

# Bericht über die Aufbauphase 2008 bis 2011 Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)

efzn

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen





# Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Niedersächsischen Ministerpräsidenten	4
Grußwort des Vorsitzenden des Kuratoriums	6
Vorwort des EFZN-Vorstandes	8
Meilensteine und Schlaglichter	10
Geschäftsbericht, Infrastruktur und Forschungsbereiche des EFZN	18 – 47
Forschungsschwerpunkte und Vorstellung ausgewählter Projekte	48 – 129
Anhang	130 – 163

# Grußwort des Niedersächsischen Ministerpräsidenten



**Sehr geehrter Herr Professor Beck,  
sehr geehrte Damen und Herren,**

herzlichen Glückwunsch an alle Beteiligten und Förderer zu vier Jahren bemerkenswerter Forschungsarbeit auf dem Energie-Campus Goslar. Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen ist eine wissenschaftliche Einrichtung der TU Clausthal in Kooperation mit den Universitäten Braunschweig, Göttingen, Hannover und Oldenburg.

Ziel der Niedersächsischen Landesregierung ist es, dazu beizutragen, dass auch künftig eine verlässliche, kostengünstige und umweltverträgliche und damit auch langfristig nachhaltige Energieversorgung für Industrie, Handel, Gewerbe, Handwerk, Landwirtschaft sowie Verbraucherinnen und Verbraucher sichergestellt wird. Die Notwendigkeit, das Klima zu schützen, sowie der beschleunigte Ausstieg aus der Kernenergienutzung, stellen Deutschland und unser Bundesland vor gewaltige Herausforderungen. Als Energieland mit hervorragenden natürlichen Bedingungen hat Niedersachsen beste Voraussetzungen, wesentlich dazu beizutragen, diese Herausforderungen zu meistern und die darin liegenden Chancen für Arbeitsplätze und Wachstum zu nutzen.

Dabei sind die Fragestellungen zu Energie und Klimaschutz besonders komplex und nur in der Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen zu lösen. Und genau so ist das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen in Goslar aufgestellt. Forscherinnen und Forscher aus den Naturwissenschaften, den Ingenieur-

wissenschaften, den Rechtswissenschaften sowie den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften arbeiten unter einem Dach zusammen. Auf diese Weise wird eine fächerübergreifende Energieforschung möglich.

Beim EFZN werden alle wichtigen Fragestellungen der zukünftigen Energieversorgung behandelt. Die Energiewende beschleunigt die bereits begonnenen Entwicklungen und erfordert neue Antworten. Insbesondere der zunehmende Anteil einer unregelmäßigen Stromerzeugung aus lastfernen, dezentralen Windenergie- und Photovoltaikanlagen stellt die Energieversorgung vor neuartige Herausforderungen: Übertragungs- und Verteilungsnetze müssen angepasst und ausgebaut werden, effiziente und bezahlbare Stromspeicher müssen erforscht sowie intelligente Netze aufgebaut werden.

All dies erfordert problemorientiertes Forschen mit dem Ziel praktikable und bezahlbare Lösungen herbeizuführen! Und genau hier liegt die Stärke des EFZN!

Sie sehen, das EFZN wird dringend gebraucht. Dem EFZN wünsche ich deshalb noch viele erfolgreiche Forschungsjahre.

Hannover, im März 2012



David McAllister  
Niedersächsischer Ministerpräsident

## Grußwort des Vorsitzenden des Kuratoriums



### **Sehr geehrte Damen und Herren,**

In den vier Jahren seit der Gründung des EFZN hat die Bedeutung seiner Kernaufgabe – die Gestaltung des Übergangs einer auf endlichen Ressourcen beruhenden Versorgung hin zu einem nachhaltigen Energiesystem – dramatisch zugenommen.

Die inzwischen begonnene Schwerpunktbildung zu Windenergie, Geothermie, Bioenergie, Elektrische Verteilnetze, Energiespeicher und gesellschafts- und material-wissenschaftliche Energieforschung ermöglicht bereits heute eine effektive Ressourcenbündelung und verstärkt die Chancen für nachhaltige Erfolge.

Eine stärkere Koordination und auch Bündelung der Energieforschung der fünf niedersächsischen Trägeruniversitäten mit Hilfe des EFZN eröffnet in der Zukunft weitere Potentiale, nicht nur bei der Intensivierung gemeinsamer Forschungsvorhaben sondern auch in der Gewinnung nationaler und internationaler Sichtbarkeit und Stärke.

Nur gemeinsam können wir mit ausreichender Stärke und Geschwindigkeit vorankommen – gemeinsam ernten nach gemeinsamer Aussaat!

In diesem Sinne wünsche ich dem EFZN noch viele weitere erfolgreiche Jahre.

Hubert Ovenhausen,  
Vorsitzender des Kuratoriums des EFZN



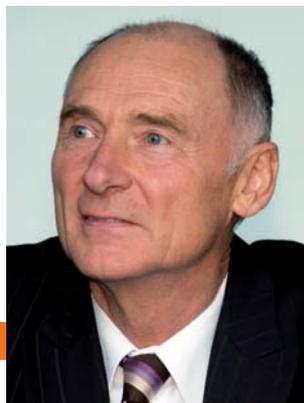
*Das Kuratorium des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen nach der konstituierenden Sitzung 2009 in Goslar.*

## Vorwort des EFZN-Vorstandes

Die Energieforschung ist im Energie- und Flächenland Niedersachsen thematisch und je nach Geldgeber in universitäre, außeruniversitäre und privatwirtschaftlich finanzierte Einrichtungen über das Land verteilt aufgestellt. Im Zuge der eingeläuteten Energiewende, bei der das Land Niedersachsen aufgrund seiner Ressourcen national und europaweit eine Schrittmacherefunktion übernehmen kann und möchte, fehlte bisher eine Einrichtung, die, dem Thema Energie angemessen, einerseits die Aktivitäten koordiniert und bündelt und andererseits neue Forschungsfelder durch institutionalisierte, disziplinübergreifende, das heißt transdisziplinäre Forschung aufbaut und ihre notwendige Bearbeitung in Abstimmung mit der Energiepolitik des Landes sicherstellt.

Hervorzuheben ist die Betrachtung des gesamten Energiesystems und dessen Umstrukturierung hin zur Nachhaltigkeit und zuvor bei der Energiebereitstellung ebenso wie bei der Energieprozesstechnik (Industrie, Gewerbe, etc.). Die Landesregierung hat sich daher bereits im Jahre 2006 entschlossen, auf Vorschlag der Technischen Universität Clausthal einen institutionellen Forschungsverbund einzurichten, der die Systemintegration eines nachhaltigen Energiesystems ohne Abstriche bei der Versorgungssicherheit in den Fokus nimmt. Die Universitäten Braunschweig, Göttingen, Hannover und Oldenburg sind diesem Forschungsverbund beigetreten und bringen ihre Expertise beim jeweiligen Teilsystem ein.

Um eine auf Dauer angelegte, systemgerechte und fakultätsübergreifende Energieforschung sicherzustellen, wurde für das EFZN eine physikalisch legitimierte Aufbauorganisation gewählt, die sich an der Energiewertschöpfungskette orientiert und die Schließung des Energieträger-Stoffkreislaufes zum Ziel hat. Zur



Hans-Peter Beck



Michael Kurrat



Hans-Jürgen Appelrath

Abdeckung der Gesamthematik wurden fünf operative und vier querschnittsorientierte Forschungsbereiche gegründet, die im weiteren Verlauf dieser Schrift vorgestellt werden. Um diese Struktur mit Leben zu erfüllen, gibt es neun Forschungsbereichskoordinatoren aus den beteiligten Universitäten und neun sogenannte Projektentwickler in der Goslarschen Zentrale vor Ort, die zusammen mit der Geschäftsstelle die Kernmannschaft bilden und die Einwerbung von innovativen Verbundprojekten vorantreiben. Neben dieser Netzwerk- und „Projektmaschinen“-Funktion gibt es im EFZN natürlich auch Wissenschaftler, die die vorhandene Forschungsinfrastruktur nutzen und eigene Forschungsarbeiten durchführen. Hierbei stehen Themen im Vordergrund, die an anderen Niedersächsischen Forschungsstellen nicht oder nicht ausreichend erforscht werden. Als Beispiel ist der Schwerpunkt Energiespeicher und -systeme zu nennen. Hierzu gibt es inzwischen auch eine Landesinitiative, die vom EFZN wissenschaftlich begleitet wird. Zu erwähnen ist auch das Anreizsystem, mit dem der Aufbau und die wissenschaftliche Etablierung der beschriebenen neuen fachübergreifenden Clusterstruktur der neun Forschungsbereiche gefördert werden soll. Eingeworbene Drittmittel werden, soweit das Budget reicht, gegenfinanziert, um den Forschern einen gewissen finanziellen Spielraum zu verschaffen und parallel zur Bearbeitung der eingeworbenen Forschungsvorhaben, die dabei entstehenden neuen Ideen zusammen mit den Projektentwicklern in Drittmittelprojekte umzusetzen. Es haben sich auf diese Weise bereits in der Aufbauphase, über die im Folgenden berichtet wird, einige EFZN-Forschungsplattformen entwickelt, die das derzeitige Kerngeschäft abbilden.

Neben der beschriebenen fehlertoleranten, sich an der Energiewertschöpfungskette orientierenden, phy-

sikalisch begründeten Aufbauorganisation, gibt es natürlich auch niedersächsische Forschungsschwerpunkte, die landesweit aufgestellt sind und sich an der aktuellen Energie- und Förderpolitik ausrichten. Diese Schwerpunkte wurden seitens der Gutachter der Wissenschaftlichen Kommission des Landes Niedersachsen (WKN) im Jahre 2008 nach eingehender Evaluation der landesweiten Forschungsaktivitäten in Kooperation mit dem EFZN definiert. Sie dienen heute als Grundlage der niedersächsischen Förderpolitik für die Energieforschung. Inhaltlich sind hierfür die jeweiligen Forschungsstellen der Standorte verantwortlich. Die strategische Vernetzung der universitären Forschungsaktivitäten erfolgt unter anderem in EFZN-Vorstandssitzungen und im Kuratorium, welches den Vorstand berät. Auf der Arbeitsebene sind hierfür die fachübergreifend ausgewählten Projektentwickler verantwortlich. Die Forschungsschwerpunkte des Landes und ihre Zuordnung zu den Forschungseinrichtungen werden im weiteren Verlauf dieses Berichtes beschrieben.

An dieser Stelle bedankt sich der Unterzeichnende im Namen des Vorstandes bei der Landesregierung und der TU Clausthal für die Bereitstellung der Ressourcen und bei den Drittmittelgebern für die Projektförderung. Ein Dank gebührt ebenso allen wissenschaftlichen Trägern des transdisziplinären EFZN-Forschungsansatzes sowie den Kollegen und Mitarbeitern für Ihren tatkräftigen Einsatz beim Umsetzen der Idee in die Praxis. Möge die transdisziplinäre Energieforschung die Lücken schließen, die die disziplinäre und interdisziplinäre Forschung nicht schließen kann.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck



Leonhard Ganzer



Jutta Geldermann



Axel Mertens



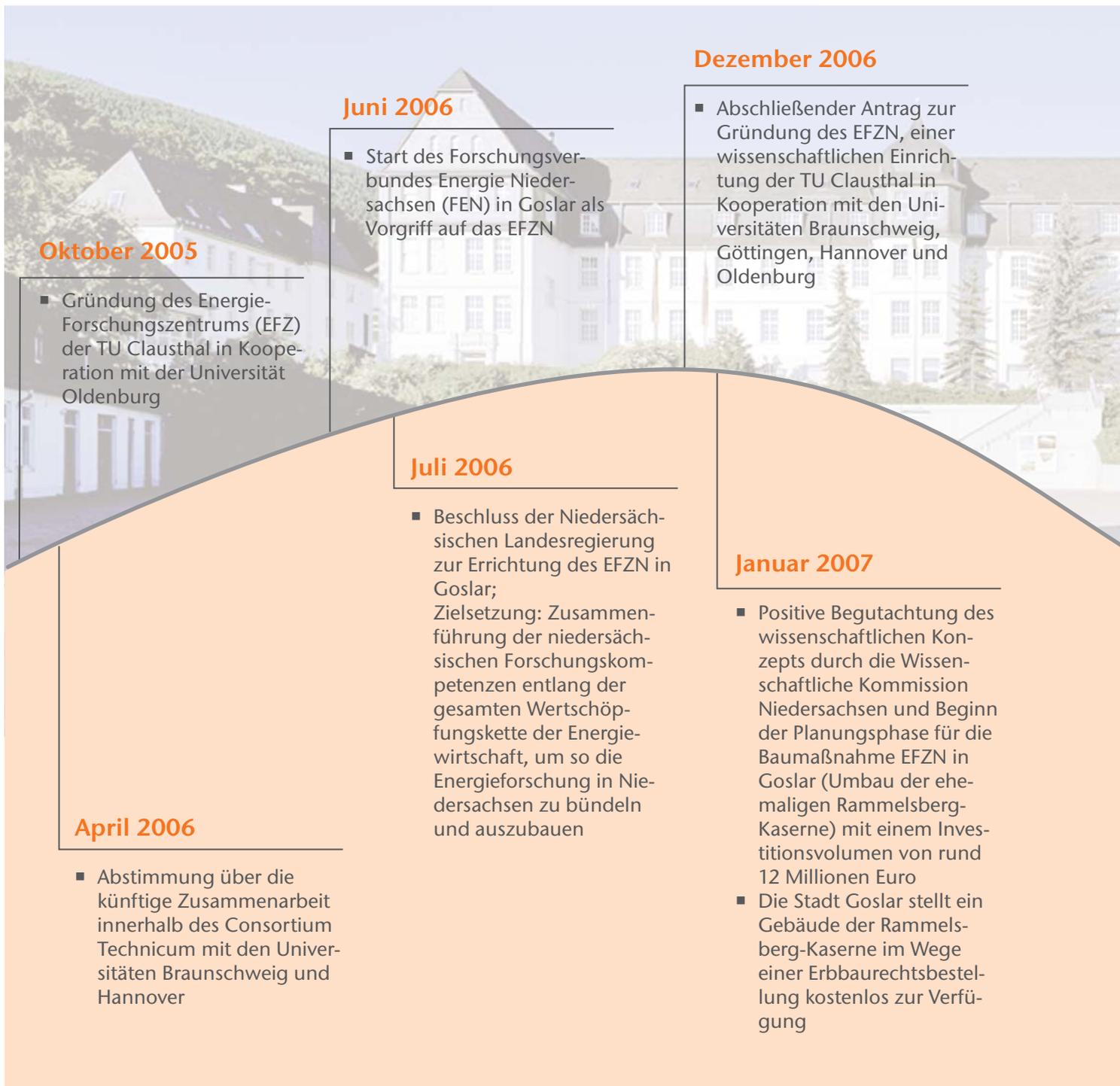
Wolfgang Schade

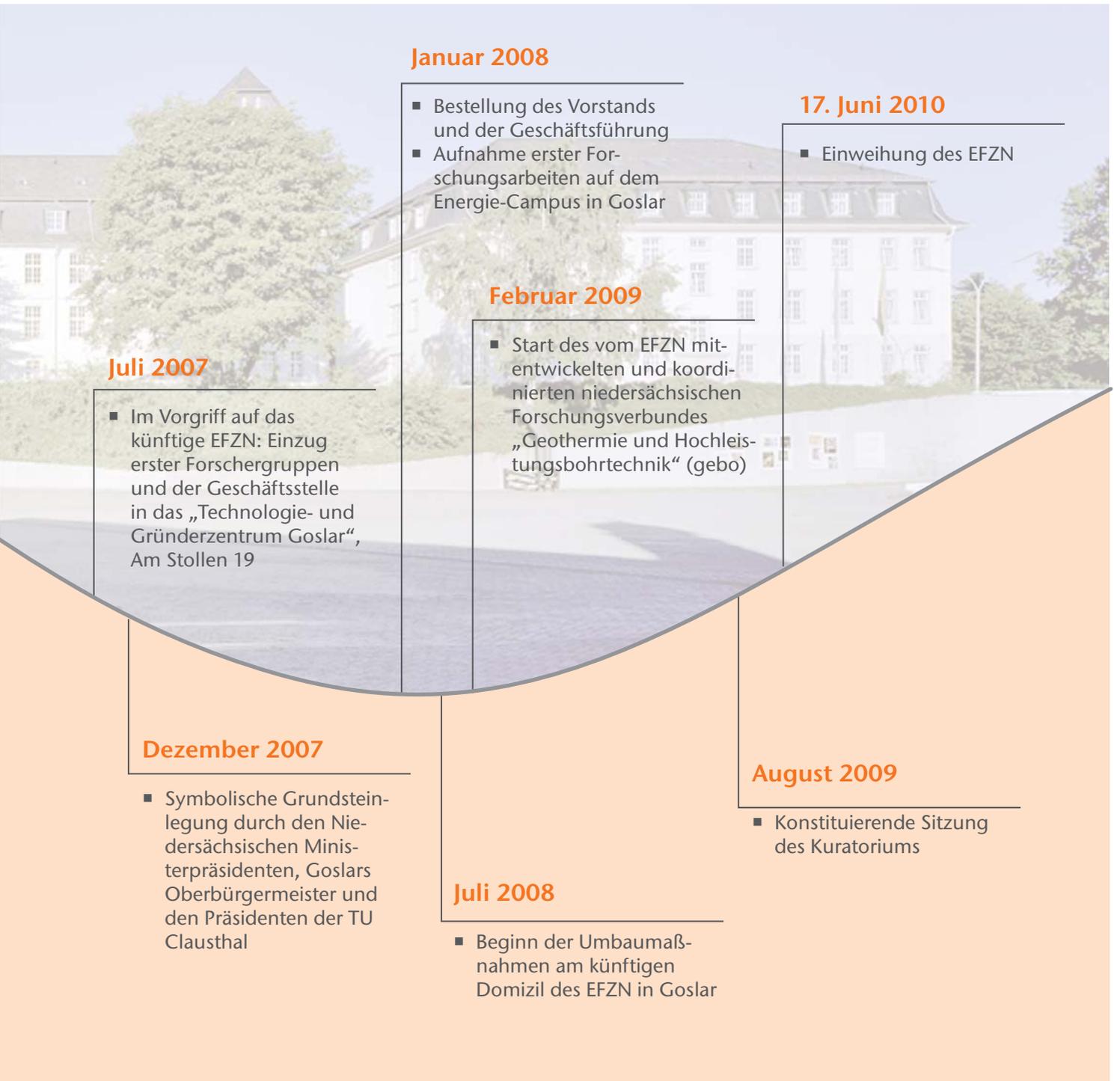


# Meilensteine und Schlaglichter



# Meilensteine des EFZN in der Aufbau- und Konzeptionsphase 2005 bis 2010





### Juli 2007

- Im Vorgriff auf das künftige EFZN: Einzug erster Forschergruppen und der Geschäftsstelle in das „Technologie- und Gründerzentrum Goslar“, Am Stollen 19

### Dezember 2007

- Symbolische Grundsteinlegung durch den Niedersächsischen Ministerpräsidenten, Goslars Oberbürgermeister und den Präsidenten der TU Clausthal

### Januar 2008

- Bestellung des Vorstands und der Geschäftsführung
- Aufnahme erster Forschungsarbeiten auf dem Energie-Campus in Goslar

### Februar 2009

- Start des vom EFZN mitentwickelten und koordinierten niedersächsischen Forschungsverbundes „Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik“ (gebo)

### Juli 2008

- Beginn der Umbaumaßnahmen am künftigen Domizil des EFZN in Goslar

### 17. Juni 2010

- Einweihung des EFZN

### August 2009

- Konstituierende Sitzung des Kuratoriums

# Schlaglichter 2010/2011

## 17. Juni 2010: Einweihung des EFZN



Das EFZN „ist ein wichtiger Meilenstein für den Übergang von einer Versorgung durch konventionelle Energieträger hin zu einer nachhaltigen Versorgung, die besonders erneuerbare Energien berücksichtigt“, betonte Landeswissenschaftsministerin Professor Johanna Wanka, die am 17. Juni 2010 vor 400 Gästen in Goslar das EFZN offiziell einweihte. Symbolisch übergab die Ministerin einen Schlüssel für das Domizil, das für gut zwölf Millionen Euro umgebaut und eingerichtet worden ist, an Clausthals Universitätspräsidenten Professor Thomas Hanschke sowie den Vorstandsvorsitzenden des EFZN, Professor Hans-Peter Beck.  
*Foto oben: Ministerin Professor Johanna Wanka inmitten von TU-Präsident Professor Thomas Hanschke (links) und Professor Hans-Peter Beck.*



## April 2010: 2. Göttinger Energietagung

EFZN und Bundesnetzagentur veranstalteten im April 2010 die zweite Göttinger Energietagung, die aktuelle Fragen zur Entwicklung der Elektrizitätsnetze thematisiert. Zur Tagung kamen zahlreiche Teilnehmer aus Unternehmen und Verbänden, Behörden und Wissenschaft sowie Beratungsunternehmen, die mit Fragen des Netzausbaus befasst sind.



## September 2010: Indienreise

Eine Woche lang begleitete eine Delegation im September 2010 den niedersächsischen Ministerpräsidenten David McAllister auf dessen Indienreise. Auch EFZN-Chef Professor Hans-Peter Beck gehörte der Delegation an. Neben der Windflügelwerkstatt „RRB Energy“ besuchte die Delegation auch „Maruti Suzuki India“ in der indischen Hauptstadt und das VW-Werk in Pune, eine Stadt etwa 1.450 Kilometer von Neu Delhi entfernt.

## Oktober 2010: Internationale Zuliefererbörse

Bereits zum sechsten Mal fand im Oktober 2010 in Wolfsburg die Internationale Zuliefererbörse (IZB) statt. Das EFZN präsentierte sich unter anderem mit einer Solaren Schnellladestation (Foto), die Elektrofahrzeuge wie das Forschungsfahrzeug der TU Clausthal – ein Tesla Roadster – in weniger als 30 Minuten komplett mit Strom „betanken“ kann. Genutzt wird dafür Solar- und Windstrom, der durch Zwischenspeicherung mittels einer Bleibatterie beinahe immer verfügbar ist. An einem Stand in der Halle demonstrierten die Wissenschaftler den Ladevorgang mit einer Lithium-Batterie.



## November 2010: Aufbau Energie-Pavillon

Im November 2010 wurde ein Energie-Pavillon aus Glas auf dem Energie-Campus aufgebaut, der die Arbeit im Fraunhofer Heinrich-Hertz Institut und dem EFZN transparent macht. Um die Konstruktion ganz im Sinne der Forschung im EFZN energieeffizient zu beheizen beziehungsweise zu kühlen, wurden zwei Geothermiebohrungen vorgenommen. Die so gewonnene Erdwärme wird auf einem Monitor im Pavillon sichtbar gemacht. Mehrere Solar Panels liefern dem gläsernen Würfel ebenfalls Energie.



## November 2010: Besuch „Green Talents“



20 weltweit herausragende Jungwissenschaftler aus der Umwelttechnologie, die vom Bundesforschungsministerium als „Green Talents“ ausgezeichnet wurden, besuchten im November 2010 auch das EFZN. Die „Grünen Talente“ aus Asien, Amerika, Afrika und Europa wurden für ihre kreativen und intelligenten Lösungen in den Bereichen Klimaschutz, nachhaltige Ressourcen- und Landnutzung sowie Energieeffizienz gewürdigt. Als Preis durften sie Deutschlands renommierteste Forschungsstelle im Bereich der Nachhaltigkeit besuchen.

## März 2011: Vierte Niedersächsische Energietage



Die Niedersächsischen Energietage, die das EFZN im März bereits zum vierten Mal mit ausgerichtet, fanden zum Thema „Energieversorgung im Übergang - Norddeutsche Perspektiven 2030“ statt. Fachleute aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik stellten für einen Übergang in Etappen konkrete Thesen für die Jahre 2020, 2030 und 2050 auf. Die Ergebnisse der Vierten Niedersächsischen Energietage sind in einer Broschüre veröffentlicht.

Von links: Prof. Fritz Vahrenholt (RWE Innogy), Katherina Reiche (Staatssekretärin im Bundesumweltministerium), Landesumweltminister Hans-Heinrich Sander, Friedrich-Otto Ripke (Staatssekretär im Nds. Landwirtschaftsministerium), Prof. Hans-Peter Beck (EFZN)

## April 2011: Hannover Messe

Das EFZN präsentierte sich auf der Hannover Messe 2011 vielen Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, um auf die Forschungsarbeit in Sachen Virtuelle Synchronmaschine (VISMA) und Geothermie aufmerksam zu machen. Etwa 6.500 Unternehmen aus 65 Ländern präsentierten sich laut Veranstalter auf dem Messegelände in Hannover. Mehr als 230.000 Besucher, darunter auch 60.000 Interessierte aus dem Ausland, seien es insgesamt gewesen. Bereits seit 2008 nutzt das EFZN die Möglichkeit, Forschungsprojekte auf dem Gemeinschaftsstand „Energie aus Niedersachsen“ dem breiten Fachpublikum zu zeigen.



## April 2011: „SmartNord“-Ausschreibung

Das Wissenschaftsministerium beauftragte das EFZN im April 2011 mit der Ausschreibung eines Forschungsverbundes „Intelligente Netze Norddeutschland“ (SmartNord). Für den Verbund stellt das Land in den kommenden drei Jahren insgesamt 3,6 Millionen Euro bereit. Zielgruppe der Förderung sind Wissenschaftler aus niedersächsischen Forschungseinrichtungen, die neben ingenieur- und naturwissenschaftlichen Disziplinen auch gesellschaftswissenschaftliche umfassen. Es gilt, die Möglichkeiten neuer Komponenten in elektrischen Netzen zu erschließen, um so Systemdienstleistungen für das Verbundnetz zu entwickeln.

## Mai 2011: 3. Göttinger Energietagung

Vertreter aus Unternehmen, Verbänden, Behörden und Wissenschaft beschäftigten sich im Mai 2011 auf der dritten Göttinger Energietagung mit Aspekten der Versorgungssicherheit von Strom und Gas. Begrüßt wurden sie in der Göttinger Paulinerkirche unter anderem vom Vizepräsidenten der Bundesnetzagentur Johannes Kindler und von Ulla Ihnen, Abteilungsleiterin Energie im niedersächsischen Umweltministerium. Die wissenschaftliche Leitung seitens des EFZN übernahm wie in den Vorjahren Professor Hartmut Weyer, Koordinator des EFZN-Forschungsbereichs Energierecht und Direktor des Clausthaler Instituts für deutsches und internationales Berg- und Energierecht.

## Juli 2011: Beitritt zur Ems-Achse

Das EFZN ist im Juli 2011 der Wachstumsregion Ems-Achse, dem Bündnis aus Wirtschaft, Kommunen und Bildungseinrichtungen in Ostfriesland, dem Emsland und der Grafschaft Bentheim, beigetreten. Speziell der Arbeitskreis Energie der Ems-Achse, der vom Landkreis Aurich koordiniert und geleitet wird, und das EFZN wollen künftig eng zusammenarbeiten.

## September 2011: „Niedersächsische Brennstoffzellen Summer School“

Nach Hannover und Braunschweig war im September 2011 das EFZN an der Reihe für 50 Studenten und Doktoranden die „Niedersächsische Brennstoffzellen Summer School“ auf dem Energie-Campus in Goslar auszurichten. An fünf Tagen beschäftigten sich die Teilnehmer aus Niedersachsen und anderen Bundesländern in Vorlesungen, Praktika und Diskussionen mit Themen aus der Elektrochemie, Thermodynamik und Materialwissenschaft. Betreut wurden sie dabei von Experten aus Forschung, Lehre und Wirtschaft.



## Oktober 2011: 1. Studientag Energie



Bereits seit Beginn seiner Aktivitäten verfolgt das EFZN das Ziel, Schüler für technische Studiengänge zu begeistern. Daraus ist die Reihe „Studientag Energie“ entstanden. Erstmals 2011 wurde diese Veranstaltung für Schüler der Sekundarstufe II mit Unterstützung des Niedersächsischen Kultusministeriums angeboten und im Oktober erfolgreich durchgeführt. Der „Studientag Energie“ ermöglicht den Teilnehmern theoretisches Wissen bei praktischen Versuchen anzuwenden.

## November 2011: Schriftenreihe des EFZN

Um die Forschungsarbeiten des EFZN noch transparenter zu gestalten, bringt das Zentrum seit November 2011 eine eigene Schriftenreihe heraus und veröffentlichte noch im selben Jahr die ersten drei Bände. Neben Dissertationen beinhaltet die Reihe unter anderem auch die Abschlussberichte einzelner EFZN-Projekte.

## Dezember 2011: 2 Millionen Euro für gebo

Niedersachsen setzt auf das Thema Erdwärme und unterstützt unter anderem die Forschung des EFZN auf diesem Gebiet. Im Dezember stellte das Land weitere zwei Millionen Euro für das EFZN-Projekt „Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik“ (gebo) bereit. Eine positiv ausgefallene Zwischenbegutachtung im Herbst hatte den Weg für die zweite Projektphase des Anfang 2009 begonnenen Forschungsvorhabens geebnet.



# Geschäftsbericht, Infrastruktur und Forschungsbereiche des EFZN



## Geschäftsstelle

### Leitung:



Jens-Peter Springmann  
Ressort Haushalt  
und Organisation



Wolfgang Dietze  
Ressort Personal, Kommunikation  
und internationale Angelegenheiten

### Verwaltung:



Jessica Heinicke



Kerstin Jur



Heike Stucki-Bammel

### IT-Abteilung:



Pascal Heinichen



Anna Tietze

### Presse- und Öffentlichkeitsarbeit:

### Bibliothek:



Nadine Kleinander

### Haustechnik:



Andreas Bierwirth

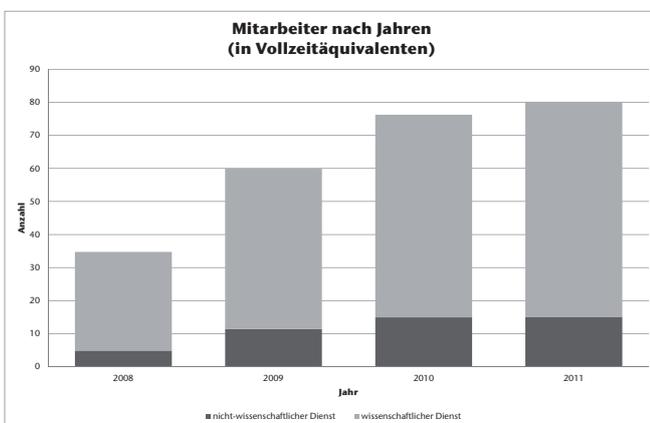


Wolfgang Schrader

# Geschäftsbericht und Infrastruktur 2008 bis 2011



Investitionsmittel des Landes Niedersachsen (Stand 2010)



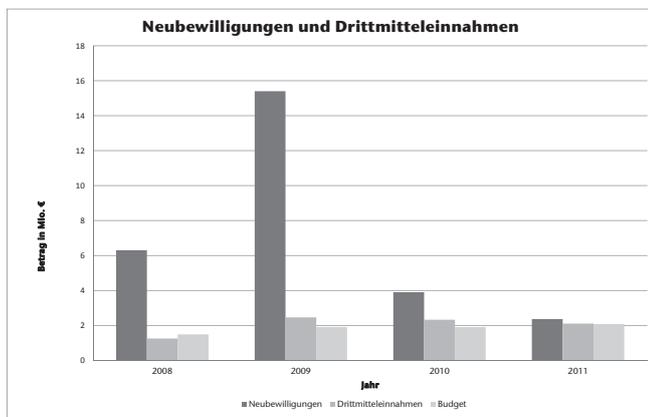
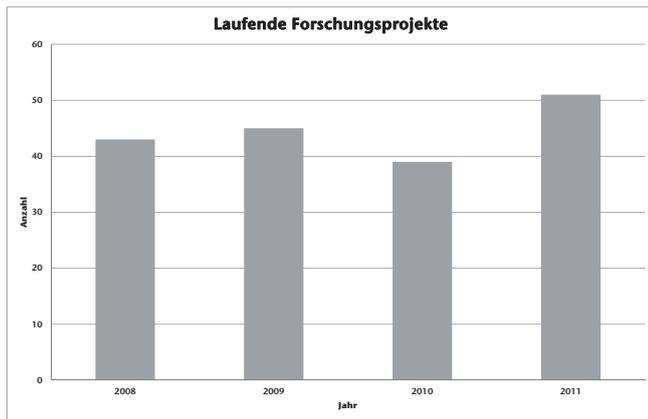
Mit Beginn des ersten Geschäftsjahres 2008 konnte der personelle und organisatorische Aufbau des EFZN vor Ort beginnen. Die Geschäftsstelle, zunächst bestehend aus dem Leiter, einem Projektentwickler und einer Verwaltungsangestellten, nahm ihre Arbeit auf. Der Vorstand und die Geschäftsführung des Zentrums wurden bestellt. Im Sommer 2009 konstituierte sich das Kuratorium. Dieses setzt sich aus Vertretern der mit Energiefragen befassten niedersächsischen Ministerien, der Energiewirtschaft, Industrie und Wissenschaft zusammen und berät den EFZN-Vorstand vornehmlich in Fragen der mittelfristigen, strategischen Forschungsausrichtung. Als weiteres beratendes Gremium tagt zudem seit 2009 mindestens einmal pro Jahr die Mitgliederversammlung.

Mit der Einstellung von Projektentwicklern für die einzelnen Forschungsbereiche nahm die Professionalisierung bei der Entwicklung transdisziplinärer Verbundprojekte bereits während der Anfangsphase 2008 und 2009 zu. Als unmittelbare Folge stieg auch die Zahl der übrigen wissenschaftlichen Mitarbeiter im EFZN kontinuierlich an. Bei der Fertigstellung des EFZN-Gebäudes im Frühjahr 2010 waren die im Antrag geplanten knapp 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vornehmlich aus dem wissenschaftlichen Dienst an der neuen Forschungseinrichtung beschäftigt.

Mit Aufnahme der Forschungstätigkeit haben sich bereits 2008 erste Schwerpunkte in den Bereichen Tiefergeothermie, dezentrale Energiesysteme mit aktiven Verteilnetzen inklusive Energiespeichern sowie Grundlagen neuer Energietechnologien abgezeichnet.

Für den laufenden Betrieb stehen dem EFZN planmäßig jährlich rund 2,1 Millionen Euro für Personal- und Sachkosten aus Haushaltsmitteln der TU Clausthal sowie weitere Forschungskapazitäten der Partneruniversitäten Braunschweig, Göttingen, Hannover, Oldenburg in einer Größenordnung von 480.000 Euro pro Jahr zur Verfügung.

Mit Abschluss des ersten Geschäftsjahres 2008 standen dem eingebrachten Budget aus Landesmitteln bereits entsprechende Drittmittelträge in nahezu gleicher Größenordnung gegenüber. Seit 2009 konnte das im jeweiligen Geschäftsjahr zur Verfügung stehende Budget aus Landesmitteln der TU Clausthal durch Drittmittel



teileinnahmen mindestens verdoppelt werden (siehe Abbildungen).

Mit dem Ziel der Entwicklung von Forschungsverbundprojekten wurden unter Verwendung von Personal- und Sachressourcen des EFZN auch Drittmittel eingeworben, welche in die Budgets der übrigen Mitgliederuniversitäten und weiterer Forschungspartner eingeflossen sind. Diese Leistungen des EFZN als koordinierender Antragsteller finden ihren Niederschlag in der Summe der jährlichen Neubewilligungen. So führte die Genehmigung des vom EFZN federführend entwickelten, vom Land Niedersachsen und dem Industriepartner Baker Hughes finanzierten Forschungsverbundes „Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik – gebo“ im Jahr 2009 zu einem außerordentlich hohen Niveau der eingeworbenen Drittmittel in Höhe von 15,4 Millionen Euro.

Die Jahre 2010 und 2011 der Aufbauphase standen vor allem im Zeichen der Entwicklung zahlreicher Forschungsanträge. Im Rahmen der Energiespeicherinitiative der Bundesregierung 2011 reichte das EFZN unter anderem sieben Projektskizzen ein, von denen vier Vorhaben zur Erstellung entsprechender Forschungsanträge aufgefördert wurden. Darüber hinaus stand 2011 der Aufbau internationaler Forschungskooperationen auf EU-Ebene im Fokus.

### Die wissenschaftliche Ausstattung des Zentrums

Die bauliche Herrichtung eines bereits vorhandenen historischen Gebäudes auf dem heutigen Energie-Campus Goslar sowie die Einrichtung des EFZN mit wissenschaftlichen Geräten wurden in den Jahren 2008 bis 2011 ausschließlich aus Mitteln des Landes Niedersachsen finanziert. Die Stadt Goslar hatte als Eigentümerin des Geländes dem Land Niedersachsen 2006 ein Gebäude im Wege einer Erbbaurechtsbestellung kostenlos für 90 Jahre überlassen. Das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur stellte der TU Clausthal rund 12,3 Millionen Euro für den Aufbau des EFZN zur Verfügung. Darin enthalten waren mehr als 3,5 Millionen Euro für wissenschaftliche Geräte, um hiermit die geplanten Forschungs-

schwerpunkte zur stärken und von Beginn an dritt-mittelfähig zu machen. Darüber hinaus wurden aus Mitteln für die allgemeine Ersteinrichtung des EFZN 280.000 Euro für die Grundausstattung einer wissenschaftlichen Bibliothek verwendet.

### Labor „Aktive Verteilnetze“



Der in dem Labor für „Aktive Verteilnetze“ vorhandene Prüfstand ist eine Nachbildung eines elektrischen Verteilnetzes (Niederspannungsnetz) mit hohem Anteil dezentraler, regenerativer Einspeisung. Der Versuchsstand ermöglicht die Untersuchung der Auswirkungen auf den sicheren Netzbetrieb, die durch vermehrten Einsatz leistungselektronischer Komponenten wie zum Beispiel PV-Wechselrichter verursacht werden. Für diese Untersuchungen stehen folgende Geräte zur Verfügung: Zwei Maschinensätze (jeweils eine Asynchronmaschine gekoppelt mit einer Synchronmaschine), die sowohl als Last als auch als Generator eingesetzt werden können, zwei hochdynamische und frei konfigurierbare Wechselrichter zur Nachbildung verschiedenster Erzeuger und Lasten, eine PV-Außenanlage und zusätzliche ohmsche und motorische Lasten. In einem aktuellen Projekt wird das Versuchsnetz zudem mit einstellbaren Netzersatzelementen (Leitungsnachbildungen) zum Nachbilden verschiedener Netzstrukturen ergänzt.

### Speicherlabor

Das Speicherlabor wird zur Konzeptentwicklung und Untersuchung von Energiespeichersystemen mit unterschiedlichen Technologien verwendet. Zur Ver-



fügung stehen Blei-Säure-Batterien (450V – 650V, 40Ah), Doppelschichtkondensatoren (250V – 500V, 5F), ein Schwungmassenspeicher (600V – 800V, 6MJ), Elektrolyt- und Snubberkondensatoren und Lithium-Ionen-Batterien (300V – 450V, 24Ah) sowie eine Redox-Flow-Batterie (10 kW, siehe Bild), die in das hauseigene Energieversorgungssystem eingebunden ist. Dieses System kann den hohen Leistungsanforderungen im Zeitbereich von wenigen Mikrosekunden bis zu etwa einer Stunde gerecht werden. Es steht zudem eine elektronische Belastungseinheit zur Verfügung, mit der Speichertechnologien bidirektional mit bis zu 200kW dynamisch getestet werden können.

### Chemielabore

Forschungsgeräte in den fünf elektrochemischen und materialwissenschaftlichen Laboren sind zwei große Redox-Flow-Prüfstände, ein Zink-Luft-Prüfstand (Eigenbau) und eine Handschuhbox.

Im Bereich der Brennstoffzellenforschung stehen ein Direkte-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC) Prüfstand, zwei kleinere Prüfstände für DMFC (Eigenbau) und ein Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) Prüfstand zur Verfügung. Darüber hinaus gibt es einen Druckelektrolyseur zur Versorgung zum Beispiel der Brennstoffzellen im Langzeittest mit Wasserstoff.

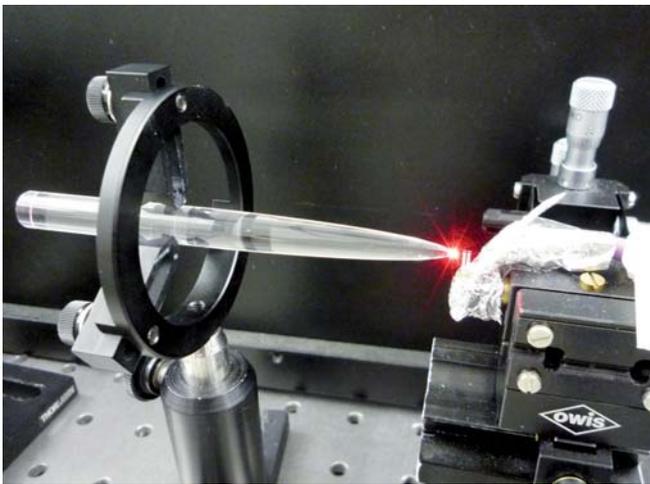
Der Aufbau des modernen Prüfstandes für die Aufladung von Brennstoffzellen und die Hochaufladung von Downsizing-Motoren soll zukünftig anwendungs-



orientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Gebiet der Aufladung von Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen und Batterien ermöglichen.

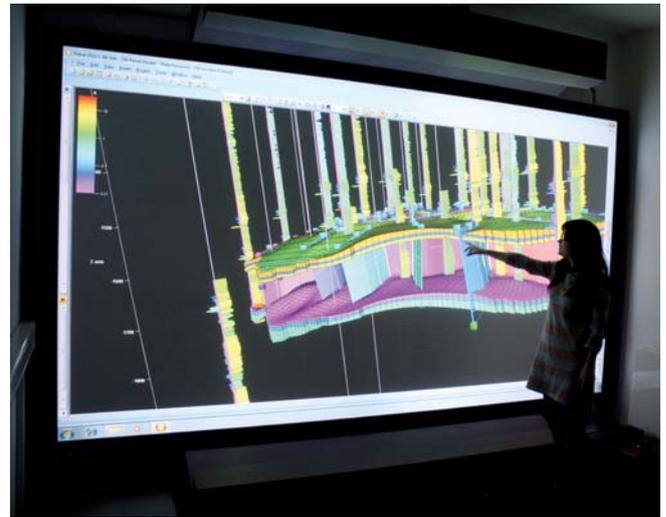
### Physiklabore

In den physikalischen Laboren befindet sich ein Femto-Sekunden-Laser (fs-Laser) zur maßgeschneiderten Modifikation von Materialien. Damit ist es zum Beispiel möglich, Wellenleiter und photonische Strukturen direkt ins Glas zu schreiben. Weiterhin wird mit dem fs-Laser schwarzes Silizium für die Prozessierung von Solarzellen hergestellt. Zur weiteren Bearbeitung ste-



hen Handschuhbox, Beschichtungsanlage, ein Excimerlaser zur Pulsed Laser Deposition (PLD) und ein Bondinggerät zur Kontaktierung bereit. Materialanalysen sind mittels Sekundärionenmassenspektroskopie (SIMS) möglich. Außerdem steht ein Solarcharakterisierungslabor zur Verfügung.

### 3D-Visualisierungsraum



Weiterhin wurde am EFZN ein System zur dreidimensionalen Darstellung eingerichtet. Die VR-Wall („VR“ steht für „Virtual Reality“), die in einem eigenen Raum installiert wurde, ermöglicht Studenten und Wissenschaftlern, die dritte Dimension in ihre Untersuchungen mit einzubeziehen. Vier Beamer, die durch einen eigenen Rechner angesteuert werden, projizieren ein Bild auf eine spezielle Leinwand. Mittels 3D-Brillen können die Betrachter dann ein dreidimensionales Bild sehen. Speziell in der Lagerstättenkunde ist das von großem Vorteil, da die Ingenieure so die Bohrungen optimal platzieren können. Ein anderes Anwendungsgebiet ist die dreidimensionale Darstellung von Strömungen in Gesteinen, die zuvor mittels Computertomographie dreidimensional gescannt und digital rekonstruiert wurden: zum Beispiel „Digital Rock“, Pumpspeicher unter Tage und Raumordnung unter Tage. Auch andere Fachbereiche nutzen dieses Labor zur Visualisierung von räumlichen Daten.

## Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im EFZN – Energielabor im praktischen Betrieb

Das EFZN wird über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit zugeordneter Absorptions-Kältemaschine mit Strom, Wärme und Kälte versorgt. Das System entspricht dem Ansatz der Dezentralisierung der Strombereitstellung mit direkter Nutzung der Abwärme in angeschlossenen Gebäuden (auch im Sommer). Das BHKW mit den Leistungsdaten 210 kW thermisch/150 kW elektrisch wird mit Erdgas betrieben und versorgt das Gebäude im Heizbetrieb mit Abwärme aus der Stromproduktion. Im Sommerbetrieb wird die Abwärme in einer Absorptions-Kältemaschine zur Bereitstellung von 70 kW Kälteleistung genutzt.

Die auf dem Niveau von 6/12 Grad Celsius verfügbare Kälte dient zur Kühlung der EDV-Räume, der Laserlabore sowie des Gebäudes. Die Kältebereitstellung im Gebäude erfolgt hierbei über als innovative Heiz- und Kühlflächen ausgeführte Radiatoren mit Taupunktregelung. Zur Harmonisierung des BHKW-Betriebes sind für die Verlängerung der Laufzeiten je ein 6-m<sup>3</sup>-Wärmespeicher und ein 3-m<sup>3</sup>-Kältespeicher der Wärme- beziehungsweise Kälteerzeugung und Kälteverteilung zwischengeschaltet. Über die zum Kältespeicher umgenutzte ehemalige Löschwasserzisterne stehen weitere 190 Kubikmeter Speichervolumen auf dem Gelände zur Verfügung. Ziel der Organisation des Anlagenbetriebes ist die Wärme-, Kälte- und Strombereitstellung bei minimiertem Einsatz von fossilen Energien und Emissionen.

Zur wissenschaftlichen Begleitung des Betriebes des Energieversorgungssystems steht ein Monitoring-System zur Verfügung, über das alle Energieströme sowie Betriebsituationen erfasst werden. Die Zentrale der Energieversorgung wird damit zum Labor mit real betriebener Anlagentechnik. Die Energieversorgung des EFZN setzt damit Maßstäbe hinsichtlich moderner Organisation der Energieversorgung und bietet Potential zur Optimierung von Betriebsstrategien in der Praxis.



# Forschungsbereich Energierohstoffe und -speicher



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr. Leonhard Ganzer

**Kontakt:**  
Agricolastraße 10  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Fon: +49 5323 72 3910  
Fax: +49 5323 72 3146  
E-Mail: leonhard.ganzer@  
tu-clausthal.de



**Projektentwicklung:**  
Dipl.-Ing. Ralf Peix

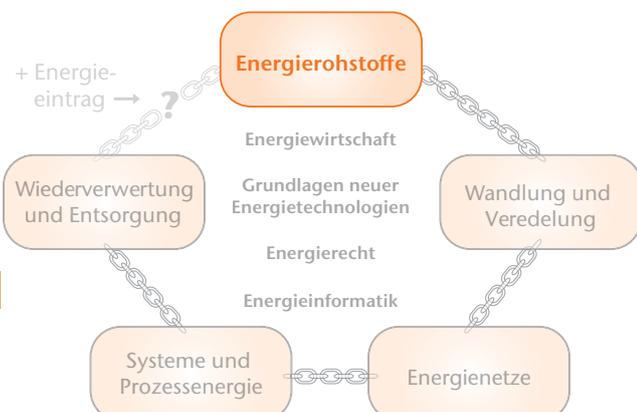
**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 309  
Fon: +49 5321 3816 8051  
Fax: +49 5321 3816 8196  
E-Mail: ralf.peix@efzn.de

## Energierohstoffe

Derzeit werden 84 Prozent der Energie in Deutschland aus den fossilen Primärenergieträgern Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas gewonnen und 13 Prozent aus Uran. Die Lagerstättenforschung zu allen fünf Energieträgern findet heute und in Zukunft an der TU Clausthal statt.

Vor dem Hintergrund der ständig steigenden Nachfrage ist die Knappheit fossiler Energieträger vorprogrammiert. Das hohe Preisniveau bietet Anreize für eine verstärkte Suche nach neuen Vorkommen, eine Verbesserung der Ausbeute bereits gefundener Lagerstätten und die Mobilisierung von bereits gefundenen, aber bisher nicht wirtschaftlich förderbaren Vorkommen. Eine erfolgreiche Energiebedarfsdeckung setzt dabei neben qualifizierten Hochschulabsolventen neue Technologien voraus, die entwickelt beziehungsweise weiterentwickelt werden müssen. Da in Niedersachsen auch nennenswerte Mengen an konventionellen Energierohstoffen gefördert werden (Förderzins auf Erdöl und Erdgas circa 450.000.000 €/a) und die weltweit tätige Serviceindustrie für Energierohstoffe überwiegend in Niedersachsen beheimatet ist, erscheint es in besonderer Weise sinnvoll, den Standort Clausthal im Bereich Energierohstoffgewinnung, -aufbereitung und -transport auszubauen und noch internationaler aufzustellen.

Neben diesen Aktivitäten im konventionellen Energiebereich, existieren in Niedersachsen ebenfalls Forschungsschwerpunkte im Bereich der Nutzung von Biomassen zur Energieerzeugung. Vor dem Hintergrund der Verfolgung des energiepolitischen Ziels, mittelfristig in den Verbrauchssektoren Verkehr, Haushalt und Kleinverbrauch den regenerativen Anteil zu erhöhen, welcher derzeit in Deutschland nur drei Prozent bezogen auf den Primärenergieeinsatz beträgt, reichen Aktivitäten in diesem Bereich von der Verfügbarmachung und Aufbereitung von Biomassen für die energetische Verwertung und der Entwicklung entsprechender Verwertungstechnologien bis hin zur Entwicklung biogener Treibstoffe (Biomass-to-Liquid). Die Nutzung von Biomasse zur Energieerzeugung



gung wird in Niedersachsen wegen der vorhandenen Tiefwasserhäfen in Zukunft in erheblichem Maße auch auf der Einbeziehung von importierter Biomasse beruhen. Sie kann in Form von Pellets zu Heizzwecken oder nach Vergasung auch zur Gewinnung elektrischer Energie oder zur Kraftstoffherstellung verwendet werden.

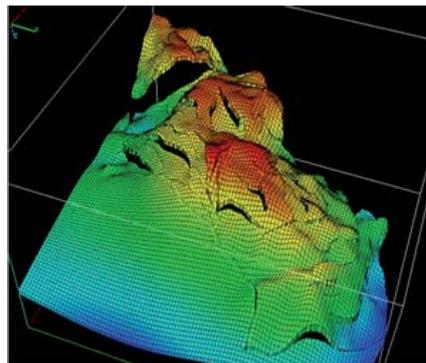
Die im Bereich der Energierohstoffe eingesetzten Technologien sind notwendige Voraussetzung für eine Beschreibung und Nutzung des Geogrundes auch für andere nutzbringende Vorhaben wie etwa der Nutzung von Erdwärme (Geothermische Vorhaben) oder der Lagerung von Schadstoffen.

### Energiespeicher

Ein steigender Anteil von regenerativen Energien, aber auch die Entkopplung von Stromerzeugung und -verteilung sowie die geplante Abschaltung der leistungsstarken Kernkraftwerke erfordern den Ausbau der Energiespeicherung zum Ausgleich der Angebots- und Nachfragerücken im Stromnetz. Niedersachsen hat gute geologische Voraussetzungen, um Untertagespeicher einzurichten. Hierzu gibt es an der TU Clausthal und der TU Braunschweig Forschungsarbeiten im Bereich Maschinenbau, Elektrotechnik, Geomechanik und Petrogeologie. Ziel ist es, geeignete Standorte, gegebenenfalls auch unter der Nordsee, und Techniken ausfindig zu machen und die Machbarkeit theoretisch und experimentell zu prüfen.

Kleinere Druckluftspeicher, die als Brenngas zur Wärmezufuhr bei der Entspannung zusätzlich Biogas nutzen könnten, lassen sich unabhängig von geologischen Randbedingungen überall dort aufbauen, wo genügend Fläche zum Einbau von Pipelinerohren als Druckbehälter zur Verfügung steht. Hierzu wurden an der TU Braunschweig und TU Clausthal bereits erste Studien und Experimente durchgeführt. Für die Zukunft ist eine engere Kooperation zwischen der TU Braunschweig und der TU Clausthal bei der Druckluftspeicherung im Rahmen eines EFZN-Projektes angestrebt.

Die Ausgleichsleistung/-energie, das heißt die so genannte Regelleistung und -energie muss nicht nur in Minuten-, Stunden- und Tagesintervallen erzeugt werden, sondern auch im Millisekunden- und Sekundenbereich (Sofortreserve) zur Sicherstellung der Netzstabilität. Hierzu laufen an der TU Clausthal ebenfalls Forschungsarbeiten mit dem Ziel, verschiedene Speichertechnologien (Druckluft, elektrochemische Speicher, Schwungräder, Kondensatoren, Superkondensatoren etc.) so zu kombinieren, dass alle Kurzzeitanforderungen erfüllt werden können. An der TU Braunschweig wird diesbezüglich bereits seit 2000 im Rahmen eines BMWi-Leitprojektes an schnell reagierenden Schwungmassenspeichern mit sehr geringen Leerlaufverlusten geforscht. So liegen heute Reaktionszeiten von 2 ms und Leerlaufverluste von circa 1–2 kW für Speicher mit 11 kWh Energieinhalt und 2 MW Nennleistung durchaus im Bereich des Machbaren.



# Forschungsbereich Energiewandlung und Veredelung



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

**Kontakt:**  
Schleinitzstraße 23  
38106 Braunschweig  
Fon: +49 531 391 7735  
Fax: +49 531 391 8106  
E-Mail: m.kurrat@tu-bs.de



**Projektentwicklung:**  
Dipl.-Ing. Katrin Beyer

**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 319  
Fon: +49 5321 3816 8098  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: katrin.beyer@efzn.de

## Energiewandlung und Veredelung

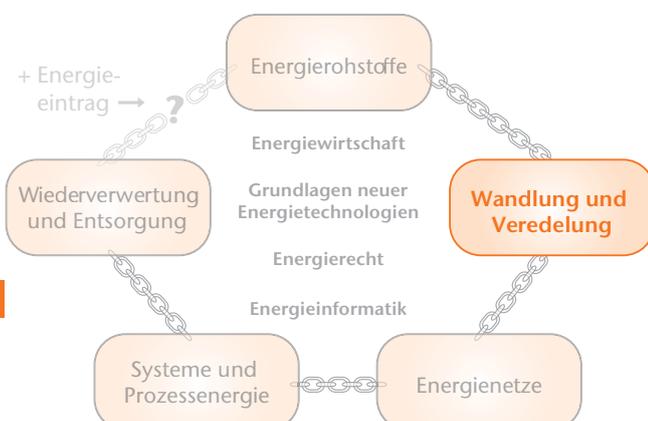
Der Forschungsbereich Energiewandlung und Veredelung umfasst die Prozesse der Energiewandlung beziehungsweise Bereitstellung von Endenergie, die umgangssprachlich häufig als Energieerzeugung bezeichnet werden. Die Veredelung der Energie ist geprägt von der Art der Bereitstellung, wie zum Beispiel Direktvermarktung, Speicherung oder stoffliche Konversion.

Niedersachsen unterstützt die ambitionierten Ziele der Bundesregierung, den Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch sukzessive bis zum Jahr 2050 auf 80 Prozent zu steigern und gleichzeitig die Treibhausemissionen in den Industriestaaten auf 80–95 Prozent (bezogen auf das Jahr 1990) zu senken. Eine wesentliche Aufgabe besteht darin, den Wandel der Energieversorgung von einer verbrauchsgeführten Erzeugung hin zu einem erzeugungsgeführten Verbrauch zu lösen.

Dabei liegt der Fokus auf der Abstimmung von regenerativen Energiequellen wie zum Beispiel Windkraft und Photovoltaik, hocheffizienten Kraftwerken (inklusive Biomasse) und der Einbindung von Energiespeichern unter Berücksichtigung der Systemstabilität und Versorgungssicherheit. Energiespeicher, die Überkapazitäten im Stromnetz mechanisch, elektrisch, chemisch oder auch stofflich speichern und bedarfsgerecht wieder abgeben können, sorgen für eine Entkopplung von Energiebereitstellung und -verbrauch. Es wird dabei zwischen leistungsstarken Kurzzeitspeichern, die sekundengenau für mehrere Stunden Leistungen im MW-Bereich liefern, und Energiespeichern mit Kapazitäten im TWh-Bereich, die saisonale Schwankungen in Tages-, Wochen- und Monatslänge auffangen können, unterschieden.

Um darüber hinaus dem zukünftig zu erwartenden Anstieg des Bruttostromverbrauchs nicht einzig mit einem Zubau fossil betriebener hocheffizienter Kraftwerke Rechnung zu tragen, können ergänzend – als zweite tragende Säule – zur Deckung der Spitzenlast Energiespeicher in das Energieversorgungssystem integriert werden.

*Bestimmung des pH-Wertes durch  
Titration im EFZN-Chemielabor*



Dieser Transformationsprozess der Energieversorgung, das heißt die Umstellung von fossile auf regenerative Energien, sollte dabei möglichst wirtschaftlich gestaltet und Fehlinvestitionen vermieden werden.

Eine für das Flächenland Niedersachsen besonders interessante Möglichkeit der Energiewandlung und Veredelung, ist die Nutzung der vorhandenen Biomasse. Biomasse kann in thermischen Umwandlungsprozessen zur Bereitstellung von Strom und Wärme genutzt werden und stellt einen grundlastfähigen regenerativen Energieträger dar. Darüber hinaus kann Biomasse als Kohlenstofflieferant für die thermochemische Konversion zur Herstellung von Kraftstoffen verwendet werden.

## Wandlung

### *Innovative Erzeugungseinheiten für Strom und Wärme*

Die vielfältigen, an die Energieversorgung gestellten Ansprüche werden in Zukunft von den momentan eingesetzten Erzeugungs- beziehungsweise Wandlungsanlagen nicht erfüllt werden können. Insbesondere die Forderung nach einer stabilen Versorgung mit Energie bei

reduzierten Emissionen zu günstigen Preisen erfordert eine Weiterentwicklung aktueller Erzeugungsanlagen.

In diesen Bereich erfolgt die Entwicklung beziehungsweise Weiterentwicklung von:

- verschiedenen Brennstoffzellentechnologien, wie Direkte-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC) oder Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) und Brennstoffzellen-Aufladung mit Turbomaschinen
- GuD- und Dampfkraftprozessen mit unterschiedlichen Brennstoffen (Kohle, Biomasse, Bioöl, Abfälle und Wasserstoff)

## Veredelung

### *Stoffkonversion und Speicherung von Energie*

Das Ziel der CO<sub>2</sub>-Minderung erfordert neue Wege in der Energieversorgung. Die Erzeugung von Wasserstoff unter Einbeziehung erneuerbarer Energien und nachfolgende Syntheseverfahren sind zum Beispiel erfolgversprechende Ansätze. Die Speicherung elektrischer Energie wird zum Ausgleich der fluktuierenden erneuerbaren Energieträger ein unverzichtbarer Bestandteil





▲ Vanadium-Redox-Flow Batterie im EFZN-Chemielabor

unserer zukünftigen Stromversorgung sein. Energie kann hier bedarfsgerecht aufgenommen und zur Verfügung gestellt werden.

Innerhalb dieses Bereichs werden zum Themengebiet „Integration von Windenergie ins Netz durch die Speicherung elektrischer Energie in Form von mechanischer, elektrischer und chemischer Energie“ folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- Druckluftspeicherkraftwerke, wie das isobare GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher
- Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse

- Wasserstoffspeicherung (Druckbehälter, Flüssiggas, Kavernen)
- Stoffliche Speicherung von „Überkapazitäten“ im Stromnetz (zum Beispiel Methanisierung, Fischer-Tropsch Synthese)

Zum Themengebiet elektrochemische Speicher werden folgende Arbeitspakete betrachtet:

- Redox-Flow-Batterien
- Metall-Luft-Batterien
- Lithium-basierte Batterien

## Zukünftige Energieversorgung

### *Wandlung plus Veredelung*

Durch den Ausbau dezentraler und regenerativer Erzeugungseinheiten für Strom und Wärme wird die unverzichtbare Aufgabe der Abstimmung von Erzeugung und Verbrauch die Herausforderung der Zukunft sein. Aufbauend auf ersten Ergebnissen der Untersuchungen zu Wandlung und Veredelung im Rahmen der kurzfristigen Entwicklungspotenziale des EFZN, werden im Weiteren mit Veredelungsmaßnahmen kombinierte Erzeugungsanlagen untersucht, die einen modularen und standardisierten Aufbau der Energieversorgung unterstützen und die Einsatzplanung im Verbund unter Berücksichtigung der Anforderungen einer sicheren Versorgung erleichtern.

Es werden in diesem Forschungsbereich zukünftig folgende Arbeitspakete untersucht:

- Adiabate Druckluftspeicher mittlerer Leistung, für die keine Kavernen-Speicher zur Verfügung stehen müssen
- Weiterentwicklung von Batteriespeichern
- Weiterentwicklung von Brennstoffzellen
- Weiterentwicklung und Unterstützung der Elektromobilität

# Forschungsbereich Energiesysteme und Prozessenergie



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck

**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Fon: +49 5321 3816 8001  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: vorsitzender@efzn.de



**Projektentwicklung:**  
Dr.-Ing. Jens zum Hingst

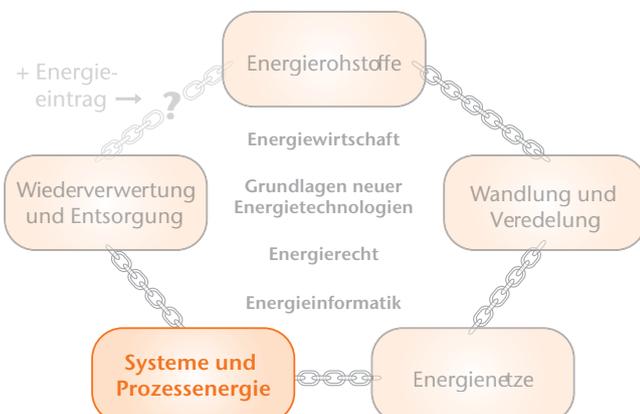
**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 329  
Fon: +49 5321 3816 8054  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: jens.zum.hingst@efzn.de

## Energiesysteme

Die Kopplung der Prozesse Wandlung, Transport, Verteilung, Speicherung und (effiziente) Nutzung von Energie erfordert eine ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen. Die Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen in das Energieversorgungssystem stellt hierfür ein Beispiel dar. Fragestellungen der Kopplung von Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung erfordern hier ebenso eine systemische Betrachtung, wie beispielsweise die Einspeisung dezentral erzeugter Energie in die Versorgungsnetze, die sich zukünftig zu aktiven Verteilnetzen entwickeln werden. Auch hier ist das Gesamtsystem zu betrachten, um Rückwirkungen, die durch die dezentrale Einspeisung hervorgerufen werden, ausreichend berücksichtigen zu können.



Die vom EFZN mitentwickelte Solare Schnellladestation mit einem Elektroauto (Tesla) ►



Auch der Einsatz dezentraler und regenerativer Energiequellen, wie zum Beispiel Geothermie oder Biogas zur Energieversorgung von Gebäuden oder Gebäudekomplexen, erfordert eine umfassende Betrachtung dieses gesamten Energiesystems.

### Leistungsmechatronik

Die Leistungsmechatronik ist ein interdisziplinäres Gebiet der Ingenieurwissenschaften. Bereits aus dem Namen geht hervor, dass leistungsmechatronische Systeme mechanische und elektronische Komponenten verknüpfen, um die Leistungsfähigkeit klassischer Systeme zu verbessern und vollständig neue Funktionen zu realisieren. Neben den klassischen Ingenieursdisziplinen rückt die Informationstechnik in den Vordergrund, ohne die viele technische Systeme heute nicht so leistungsstark wären. Mechatronische Systeme haben die Aufgabe, mit Sensorik, Prozessoren, Aktoren und Elementen der Mechanik, Elektronik und Informatik, Energie, Stoff und/oder Information umzuwandeln, zu transportieren und/oder zu speichern.

### Prozessenergietechnik

Die Problematik der Prozessenergietechnik liegt im Bereich der Energieoptimierung und Energieeinsparung in der Industrie, in Kraftwerken sowie bei Endverbrauchern. Die industrielle Prozessenergietechnik ist eine Querschnittstechnologie, die bei vielen Herstellungs- und Bearbeitungsprozessen aus technologischer und energetischer Sicht eine zentrale Bedeutung einnimmt. Die Anwendungsbereiche sind vielseitig und erstrecken sich von der Nahrungsmittelindustrie über die Textil- und Papierindustrie bis hin zur chemischen Industrie, wo überwiegend Prozesstemperaturen bis etwa 600 Grad Celsius (Niedertemperaturprozesse) zu finden sind. Hochtemperaturprozesse im Bereich oberhalb von circa 600 Grad Celsius bis etwa 1500 Grad Celsius sind beispielsweise in der Stahlindustrie, in der Baustoffindustrie, in den Eisen- und Nichteisengießereien sowie in der Glas- und Keramik-Industrie vorhanden.



▲ Die hauseigene KWKK-Anlage (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) des EFZN

# Forschungsbereich Energienetze



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr.-Ing. Lutz Hofmann

**Kontakt:**  
Appelstr. 9 A  
30167 Hannover  
Fon: +49 511 762 2801  
Fax: +49 511 762 2369  
E-Mail: hofmann@  
iee.uni-hannover.de



**Projektentwicklung:**  
Dipl.-Ing. Andreas Becker

**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 221  
Fon: +49 5321 3816 8058  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: andreas.becker@efzn.de

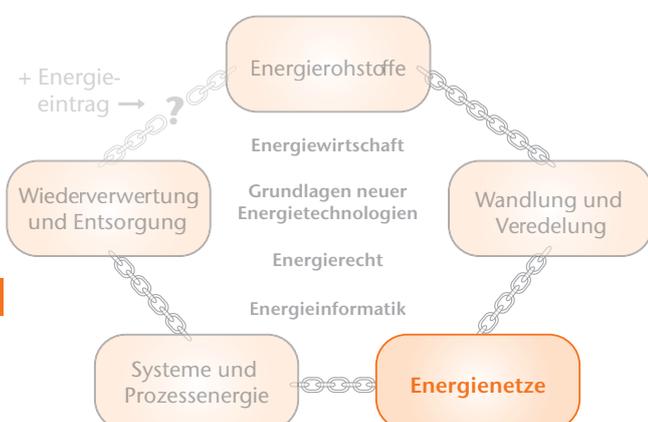
Den Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten im Forschungsbereich Energienetze bilden Systeme für den Energietransport und die Energieverteilung. Die Themenschwerpunkte sind:

- Elektrische Übertragungs- und Verteilungsnetze
- Gasnetze (einschließlich Druckluftnetze)
- Wärme- und Kältenetze

In den elektrischen Netzen ergeben sich durch die steigende dezentrale Erzeugung, die Einspeisung aus großen on- und offshore Windanlagen und Photovoltaik-Parks, Änderungen des Verbraucherverhaltens und den europäischen Strommarkt neue Übertragungs- und Verteilungsaufgaben und damit neuartige Herausforderungen. Forschungsaufgaben liegen zum Beispiel in der Verknüpfung von Kommunikations- und Stromnetz zu so genannten „Smart Grids“, der Entwicklung von neuen Netzstrukturen und Betriebsführungskonzepten, der Untersuchung und Bewertung des Einsatzes neuartiger Technologien, wie zum Beispiel der selbstgeführten Hochspannungsgleichstromübertragung (VSC HGÜ), Gasisolierten Leitungen (GIL) oder hochtemperatursupraleitenden Betriebsmitteln. Dabei muss die optimale Energienutzung, die sichere und zuverlässige Energieversorgung der Verbraucher sowie ein stabiler Betrieb des Gesamtsystems unter Berücksichtigung der Anforderungen des Strommarktes höchste Priorität haben. Weiterer Schwerpunkt ist die Untersuchung der Kopplung der verschiedenen Netze, zum Beispiel der Wärme- und Gasnetze über die Prozessenergie. Dies soll in enger Abstimmung mit den entsprechenden Forschungsbereichen erfolgen.

## Elektrische Netze

Die Veränderung des Energie-Mixes bei der Stromerzeugung zugunsten der Erhöhung des regenerativen Anteils erfordert ebenso wie die dezentrale Nutzung der Abwärme von Kleinkraftwerken zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz einen Umbau des heutigen Transport- und Verteilungsnetzes für die elektrische Energie. Die Leistungsflüsse von Wirk- und Blindleistung sind nicht mehr zwingend unidirektional vom zentralen Großkraftwerk zum Endverbraucher. Sie können sich auch



bidirektional einstellen, da der Endverbraucher auch Erzeuger werden kann und sich selbst und eventuell seinen Nachbarn oder Regionen gegebenenfalls über „virtuelle Kraftwerke“ mitversorgen kann. Es ergeben sich zeitweise und regional Leitungsengpässe und Spannungshaltungsprobleme. Durch den Rückbau der konventionellen Erzeugungsanlagen steht möglicherweise keine ausreichende Regelleistung zur Verfügung. Die Stromnetze müssen entsprechend geplant, um- beziehungsweise ausgebaut und mit neuartigen Betriebsführungsstrategien geführt werden.

### Gasnetze

Mit Inkrafttreten des neuen Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) im Juli 2005 wird den Gasnetzbetreibern aufgelegt, ihr Netz in einen offenen Verbund mit den national oder international verbundenen Netzen anderer Betreiber einzubringen. Damit wird mittelfristig eine Eigentümer übergreifende Optimierung der Transport- und Verteilkapazität des Gastransportes in Deutschland unabdingbar. Daraus resultierende Fragestellungen ranken sich um die Fokusgebiete:

- Netzwerkkapazitäten, Gasqualitätsverfolgung
- Versorgungssicherheit, vorausschauende Gasnetzsimulation
- Modellnetze/Europäischer Verbundnetz-Gassimulator

### Wärme- und Kältenetze

Mit der verpflichtenden Einführung des Energiepasses im Jahr 2008 wird der Heizenergiebedarf bei den Häusern im Gebäudebestand spürbar sinken. Durch Sanierungsmaßnahmen wie die Erneuerung der Dämmung, Fenster oder Heizungsanlage, lassen sich 50 bis 75 Prozent des Energieverbrauchs einsparen. Damit werden Niedrigenergiehäuser die Energielandschaft bestimmen und zu einem Überdenken der bisherigen Versorgungskonzepte führen. Geothermie mit Wärmepumpen, Solarthermie mit Kollektoren in Verbindung mit thermischen Speichern werden in die Energiesystemtechnik einzubinden sein. Nahwärmenetze stellen eine sinnvolle Möglichkeit dar, um Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen (KWKK) bei Niedrigenergiehäusern einsetzen zu können oder um mittels saisonaler Speicher die Solarthermie auch in der kalten Jahreszeit nutzen zu können.



# Forschungsbereich Wiederverwertung und Entsorgung



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann

**Kontakt:**  
Walther-Nernst-Straße 9  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Fon: +49 5323 72 2735  
Fax: +49 5323 72 2353  
E-Mail: goldmann@aufbereitung.tu-clausthal.de



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig

**Kontakt:**  
Adolph-Roemer-Straße 2A  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Fon: +49 5323 72 4920  
Fax: +49 5323 72 2810  
E-Mail: klaus.roehlig@tu-clausthal.de



**Projektentwicklung:**  
Bergrat Olaf T. Franz

**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 318  
Fon: +49 5321 3816 8096  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: olaf.franz@efzn.de

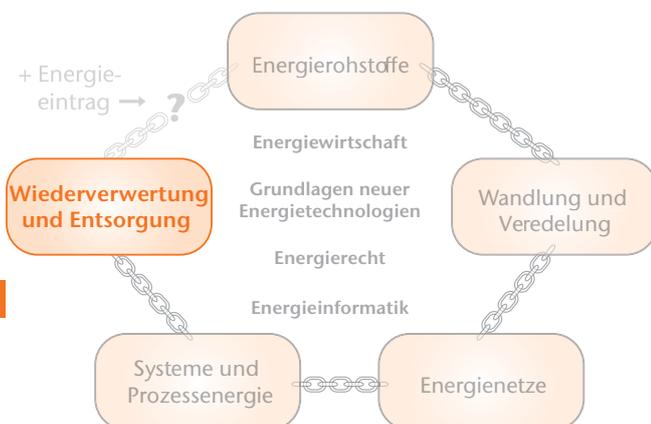
Eine effiziente Nutzbarmachung von Abfällen sowie die sichere und umweltverträgliche Entsorgung nicht wieder verwertbarer Abfälle gehören zu den Kernaufgaben der Rohstoffsicherung und des Umweltschutzes. Der Forschungsbereich „Wiederverwertung und Entsorgung“ stellt sich diesen Aufgaben und führt interdisziplinäre Forschungsarbeiten durch:

- zur Nutzbarmachung von Massenabfällen und zu Verwertungstechnologien für ausgediente Produkte und Einrichtungen (Forschungsgebiet „Recycling“),
- zur energetischen und thermischen Verwertung von Alternativbrennstoffen aus Abfällen (Forschungsgebiet „Energetische und Thermische Verwertung“),
- zur sicheren und langfristigen Speicherung von CO<sub>2</sub> im tiefen Untergrund (Forschungsgebiet „CO<sub>2</sub>-Speicherung“) und
- zur langfristig sicheren Endlagerung radioaktiver und anderer schadstoffhaltiger Abfälle in tiefen geologischen Formationen (Forschungsgebiet „Endlagerung radioaktiver Abfälle“)

## Forschungsgebiet Recycling

Knappe, teure Rohstoffe einerseits, wachsende Müllberge andererseits – wie man aus beidem energie- und ressourceneffizient sowie umweltfreundlich den Grundstoff für die Produktion neuer Waren und Anlagen macht ist Gegenstand des Forschungsgebiets Recycling.

Recycling bedeutet jedoch nicht nur die Rückführung knapper stofflicher Ressourcen in den Wirtschaftskreislauf, Recycling trägt auch wesentlich zur Einsparung an Energie in Produktionsprozessen bei. Beispielhaft hierfür kann der Aufwand zur Erzeugung von Aluminium aus dem primären Rohstoff Bauxit im Vergleich zur Erzeugung aus effizient aufbereiteten Aluminiumschrotten angeführt werden. Die Erzeugung von Aluminium ist grundsätzlich sehr energieintensiv, die Erzeugung dieses zentralen Werkstoffs aus Schrotten benötigt nach dem heutigen Entwicklungsstand jedoch nur knapp 12 Prozent der Energiemenge, die für die Erzeugung aus Bauxit aufzuwenden ist. Und die Entwicklungen in der Recyclingtechnologie sind noch nicht einmal ausgereizt.



Ähnlich sieht die Bilanz bei vielen anderen Rohstoffen, insbesondere bei den Bunt-, Edel- und Sondermetallen aus, die zudem in Abfällen oft in viel höheren Konzentrationen auftreten als in den primären Rohstoffen. Viele dieser Metalle wie Indium oder Neodym aber auch Lithium unterliegen zusätzlich einer weltweiten Verknappung und dies, weil gerade viele dieser Metalle in zunehmendem Maße Anwendung in Energietechnologien gefunden haben, so z.B. Lithium in Traktionsbatterien für die Elektromobilität oder Indium in Photovoltaik-Anlagen.

Nur durch eine intensive Weiterentwicklung und enge Verzahnung von Rückführung, Aufbereitung und Verwertung sind noch ungenutzte Rohstoff- und Energiepotentiale zu heben.

Niedersachsen ist sowohl in der Industrie als auch in Forschungsinstitutionen eine der wenigen Schwerpunkt-Regionen in Deutschland die die Kompetenzen für größere Schritte bündeln können.

Folgerichtig fügt sich das Forschungsgebiet Recycling als ein wichtiger Baustein in das Gesamtkonzept des EFZN ein.

### **Forschungsgebiet Energetische und Thermische Verwertung von Alternativbrennstoffen aus Abfällen**

Die Verwendung von Alternativbrennstoffen hat in der letzten Zeit in der Kraftwerksindustrie und in der Hochtemperaturtechnikindustrie zur Stoffbehandlung an Bedeutung gewonnen. Dafür gibt es drei Gründe. Erstens sind Alternativbrennstoffe bedeutend billiger als Primärenergieträger und können daher aus ökonomischen Gründen sehr attraktiv sein. Hierfür ist die Zementindustrie ein gutes Beispiel, in der auf diese Weise schon eine große Anzahl an Anlagen mit erheblich reduzierten Brennstoffkosten betrieben wird. Zweitens ist die Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen aus Gründen des Umweltschutzes ein wichtiges Anliegen geworden. Der kürzlich eingeführte Emissionshandel soll einen Marktmechanismus in Gang setzen, der umweltverträgliche Technologien

vorantreibt. Drittens besteht seit dem Inkrafttreten des Deponieverbotes für heizwertreiche Abfälle und den gestiegenen vorgeschriebenen Verwertungsquoten für eine ganze Reihe von Altprodukten die verstärkte Notwendigkeit einer effizienten Nutzung der Energieinhalte von Abfallströmen. Aus diesen Gründen ist absehbar, dass Alternativbrennstoffe in der europäischen Industrie und unter Umständen auch weltweit in den folgenden Jahren immer weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Biomasse, Klärschlamm, EBS (Ersatzbrennstoff aus Abfall) oder Kunststoffe werden als typische Alternativbrennstoffe zur Mitverbrennung angesehen. In der stromerzeugenden Industrie ist die Mitverbrennung von Alternativbrennstoffen mehr und mehr zum Standard geworden. Dennoch ist der Anteil der mit diesen, meist zusammen mit Kohle zum Einsatz kommenden, Brennstoffen erzeugten Energie an der Gesamtenergie heute gering. Der Grund dafür sind viele Betriebsprobleme, die bei der Mitverbrennung von Alternativbrennstoffen in Staubfeuerungen auftreten können, zum Beispiel Mahlbarkeit, Zündverhalten, Ausbrand, Verschlackung, Verschmutzung, Korrosion, Emissionen usw. Die Weiterentwicklung von Aufbereitungsverfahren, die die Erzeugung spezifisch zunehmend angepasster Einsatzstoffe in verschiedenen thermischen Prozessen erlaubt, eröffnet aber neue Potentiale. Hierbei wird die Nutzung spezifischer Materialeigenschaften auch über den reinen Heizwert hinaus genutzt.

In der Stahlindustrie erfolgt zum Beispiel der Einsatz von Kunststoffabfällen in Hochöfen als Reduktionsmittel. Auch die Mitverbrennung von Gasen mit niedrigem Heizwert, welche in Vergasungsanlagen produziert werden, hat sich bereits als brauchbare technische Option erwiesen. Aufgrund der steigenden Bedeutung von Alternativbrennstoffen sind am Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik (IEVB) der Technischen Universität Clausthal bereits mehrere Verfahren zu deren Charakterisierung entwickelt worden. Eine genaue Kenntnis der Brennstoffeigenschaften und des Verbrennungsverhaltens ist für die Konzipierung und den Entwurf zuverlässi-



ger und effizienter Verbrennungs- oder Vergasungsanlagen und Mitverbrennungstechnologien zwingend erforderlich.

Zum Zweck der Brennstoffcharakterisierung sind am IEVB mehrere Labortechniken entwickelt worden. Dazu gehören der Clausthale Mahlbarkeitstest, die Charakterisierung des Zündverhaltens in einem Zündofen und die Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens in vertikalen Technikums- und Pilotbrennkammern, hierbei wird insbesondere auf das Entgasungs-, Ausbrands-, Emissions-, und Verschlackungsverhalten eingegangen. Zu den bereits untersuchten und teilweise auch mit Steinkohlen mitverbrannten Alternativbrennstoffen gehören zum Beispiel Klärschlamm, Holz, Sägemehl, Olivenkerne, EBS (Ersatzbrennstoff

aus Abfall), Tiermehl, Kaffeereste, Tabakreste, Gärreste aus einer Biogasanlage.

### **Forschungsgebiet Entsorgung radioaktiver Abfälle**

Der in Deutschland derzeit präferierte Entsorgungsweg sieht vor, radioaktive Abfälle nach dem Isolationsprinzip durch Einlagerung in tiefen geologischen Formationen langfristig sicher und nachsorgefrei zu beseitigen. Motivation für diesen Entsorgungsweg sind die Freistellung nachfolgender Generationen von der Verantwortung für den Umgang mit den Abfällen und der nachsorgefreie dauerhafte Schutz der Biosphäre vor den gesundheitsschädigenden Wirkungen der Abfälle. Im Zentrum dieses Entsorgungsweges steht die Identi-

fizierung geeigneter Geosysteme im tieferen geologischen Untergrund, die zugleich hinreichende Zugänglichkeit (bautechnische Machbarkeit), notwendiges Isolationspotential (hinreichende Barrierenintegrität) und zuverlässige Prognosefähigkeit (geotektonische Stabilität) aufweisen. Nach Stilllegung und Verschluss der Anlage sind eine weitere Überwachung und Kontrolle nicht vorgesehen.

Niedersachsen ist das Bundesland, in dem die mit Abstand meisten und wichtigsten Aktivitäten und Projekte in Zusammenhang mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle erfolgen und auch zukünftig zu erwarten sind. Des Weiteren sind auch die Betreiberinstitution, das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), sowie eine Reihe von für den Betreiber tätigen Institutionen in Niedersachsen positioniert.

Folgende interdisziplinäre Forschungsaufgaben zur Entsorgung radioaktiver und anderer schadstoffhaltiger Abfälle in den Bereichen Geomechanik, geotechnische Barrieren, Mineralogie und Salzlagerstätten, Hydrogeologie und Geochemie werden an Forschungsstellen einzelner EFZN-Universitäten, insbesondere am Institut für Endlagerforschung der TU Clausthal, unter anderem durchgeführt:

- Analytische Bewertung von Endlagersystemen mithilfe numerischer THMC-Modellierung
- Langzeitsicherheit und Barrierenintegrität von Untertagedeponien und Endlagern
- Sicherheitsanalyse und Sicherheitsnachweise
- Vergleichende Bewertung potenzieller Entsorgungsstandorte
- Nachweis des vollständigen Einschlusses von Abfallstoffen in Salzkavernen

# Forschungsbereich Energieinformatik



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr. Dr. h.c.  
Hans-Jürgen Appelrath

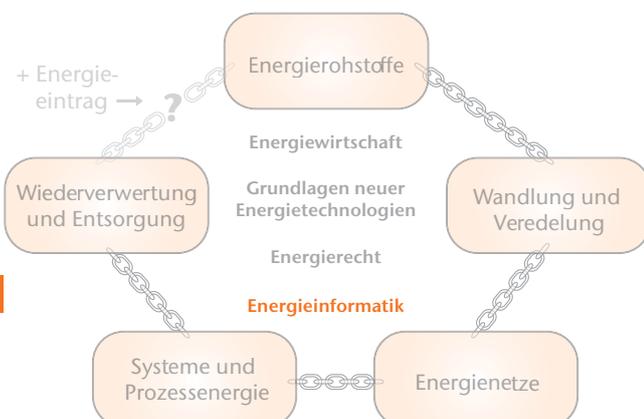
**Kontakt:**  
Escherweg 2  
26121 Oldenburg  
Fon: +49 441 9722 201  
E-Mail: [appelrath@offis.de](mailto:appelrath@offis.de)

## Bereichsentwicklung

Die Energieinformatik ist ein Bereich der Informatik, welcher auf den Anwendungsbereich Energie ausgerichtet ist. Sie hat sich in den letzten Jahren als eigene Forschungsrichtung etablieren können, die auf der Grundlage von Informations- und Kommunikationstechnologien zu innovativen Lösungen im Energiesektor wesentlich beitragen kann. Der Forschungsbereich Energieinformatik wurde im EFZN zunächst in ähnlicher Weise wie die Forschungsbereiche Energiewirtschaft und Energierecht querschnittlich angelegt. Dies hing damit zusammen, dass die Informations- und Kommunikationstechnologien allgemein in einer Querschnittsaufgabe wahrgenommen wurden.

Seit der Einrichtung des Forschungsbereichs ist mit notwendiger Spezialisierung der Informatikwissenschaft für den Anwendungsbereich Energie ein tieferes Domänenwissen erarbeitet worden, so dass die Informatik in jüngerer Vergangenheit im EFZN zunehmend unterstützend für die Energie- und Elektrotechnik verstanden worden ist. Dieses Verständnis für die Rolle der Informatikwissenschaftler im Energiesektor ist zu dieser Zeit auf europäischer Ebene durch den Begriff „ICT + Energy“ reflektiert worden. Auf dem Weg zur Energiewende hat es danach auf nationaler Ebene eine für die Energieinformatik bedeutende Förderinitiative „E-Energy“ von BMBF, BMU und BMWi gegeben, welche die IuK-Branche hinsichtlich des Energiesektors und letztlich auch den Forschungsbereich Energieinformatik bestärkt haben.

Im EFZN birgt der Forschungsbereich Energieinformatik heute einen eigenen Fundus von Methoden und Werkzeugen für den Anwendungsbereich Energie. Es gibt aktuell weitgehend eigenständige Forschungsansätze sowie Arbeits- und Entwicklungsziele, die in die interdisziplinäre Forschungsarbeit im EFZN zurückfließen. Zum erweiterten Kreis des Forschungsbereichs Energieinformatik können 14 Professuren gezählt werden. Dieser umfasst auch solche Professuren, die überwiegend den weiteren Forschungsbereich zuzuordnen sind, aber die Energieinformatik aufmerksam verfolgen oder auch mitgestalten. Übergreifend zu allen am EFZN



beteiligten Universitäten gehören dem Forschungsbereich Energieinformatik nach dem gegenwärtigen Stand im Kern zehn Professuren an.

## Themenschwerpunkte

Im Forschungsbereich Energieinformatik (IKT) wurden im Entwicklungsplan aus April 2010 folgende Themenschwerpunkte gesetzt:

### 1. IKT für Smart Grids

Bei der Ausrichtung auf die Energiewirtschaft spielen für Informatikwissenschaftler die Realisierung intelligenter Energieversorgungsnetze der Zukunft, den sogenannten „Smart Grids“, einschließlich der Elektromobilität eine bedeutende Rolle. Im Übergang zum zukünftigen Energiesystem werden sich mehr und mehr dezentrale und volatile Erzeugungsstrukturen ergeben. Mit Hilfe der Energieinformatik können die Versorgungsinfrastrukturen an dedizierten Stellen von Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen unterstützt werden, um entlang der Wertschöpfungsbereiche im Energiesektor zu einem Ausgleich der Leistungen auf Erzeuger- und Verbraucherseite sowie Speicherung zu kommen. Damit soll jederzeit eine effiziente, wirtschaftliche und sichere Energieversorgung, insbesondere aber Stromversorgung, gewährleistet werden.

### 2. IKT-basierte Interoperabilität in der Energiewirtschaft

Für zukünftige Energieversorgungssysteme wird sich die Landschaft der Informations- und Anwendungssysteme verändern. Es gibt einen wachsenden Bedarf der Weiterentwicklung sogenannter SCADA-Systeme (Supervisory Control And Data Acquisition) für den Energiesektor. Dazu befassen sich Informatikwissenschaftlicher mit der Erarbeitung internationaler Standards und Normen und führen anwendungsorientierte Evaluationen in Zusammenarbeit mit Gremien und Unternehmen durch. Die Generalisierung zu spartenübergreifenden Standards, aber auch die bloße Übertragung von Standards aus der Domäne der Strom- in die Gasversorgung ist ein Tätigkeitsfeld für die Energieinformatik.

### 3. IKT-gestützte Beteiligung adaptiver Verbraucher

In der Erwartung vieler werden zu einer Energieverwende letztlich in gesellschaftlichen Fragen entscheidende Beiträge zu liefern sein. Die Informatikwissenschaftler können im Energiebereich zum sogenannten „Smart Metering“ entsprechende Verbrauchsmessungen und -anzeigen vor allem für private Haushalte entwickeln. Es wird ein Schlüssel sein, die Verbraucher an der Führung des Stromversorgungssystems stärker partizipieren zu lassen. Es geht dann unter anderem um die Erfassung häuslicher Energieverbräuche und Rückmeldung an die Hausbewohner. Mit der Einbeziehung von Endverbrauchern kann die Abschaltung von Stromerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energiequellen vermieden werden, wenn es bei einem unerwarteten Energiedargebot zu Stromüberschüssen kommt. Dahingehend müssen Möglichkeiten zur Anpassung des Verbraucherverhaltens identifiziert werden. In diesem Zusammenhang sind auch Anreizinstrumente für private Endverbraucher zu betrachten, welche dabei helfen können, die Energieverbräuche vornehmlich außerhalb von Spitzenlastzeiträumen zu legen. Zudem müssen Reaktionen von Kunden auf Preissignale seitens des Energieversorgers weiterreichend untersucht werden.

## Themenspektrum

Die Energieinformatik bietet angefangen von der Planung und Analyse von Energieversorgungsstrukturen, der systemtechnischen Umsetzung begleitender IKT-Infrastrukturen bis hin zur Modellierung, Simulation und Optimierung zukünftiger Energieversorgungssysteme ein breites Spektrum:

- **Analyse und Planung von Versorgungsinfrastrukturen**

*Im Hinblick auf die Versorgungsinfrastrukturen sind in der Energieinformatik wohlfundierte Visionen und Szenarien über die Energieversorgung zu entwickeln, die veränderlichen Energiebedarfe und -erträge zu prognostizieren und entsprechende Entscheidungshilfen zu geben. Die Energieinformatik reicht hier in die Bereiche der Raum- und Regi-*

onalplanung für Kommunen und Regionen sowie der Investitions- und Entscheidungsunterstützung gegenüber Wirtschaft und Politik hinein.

In der Energieinformatik werden geeignete Ansätze für die planerische Gesamtschau auf Erzeugung und Verbrauch in dynamischen und komplexen Wirkzusammenhängen entwickelt; vor einem Test im Feld als Eingriff in ein System mit hohen Anforderungen an Verfügbarkeit und Sicherheit ist aber die Validierung oder gar Verifikation der entwickelten Ansätze mit Hilfe von Simulationen zwingend erforderlich. Mit der Modellierung und Simulation von Verteilungsnetzen kann die Energieinformatik die Auswirkungen eines zunehmenden Anteils dezentraler Energieanlagen aus Systemanalysen heraus erkennen. Die Energieinformatik befasst sich mit der kontinuierlichen Pflege und Verfeinerung modular aufgebauter Simulationsmodelle der Erzeuger, Verbraucher und Speicher bis hin zu den Betriebsmitteln von Strom- und Gasnetzen.

- **Systemtechnische Umsetzung begleitender IKT-Infrastrukturen**

Zu den originären Aufgaben der Energieinformatik zählt auch der Aufbau zusätzlich benötigter Dateninfrastrukturen begleitend zur Versorgungsinfrastruktur, einschließlich der Ausstattung bestimmter Netzelemente mit eingebetteten Rechnersystemen, mess- und leittechnischen Umgebungen mit entsprechendem Management der Datenströme bis hin zur Entwicklung von IKT-Lösungen zur Realisierung von Effizienzvorteilen und Erhöhung der Betriebssicherheit. Eine wichtige Rolle spielen eine mögliche Ausweitung von Überwachungs-, Steuerungs- und Automationssystemen zur stärkeren Einbeziehung von Verbrauchern in Fragen von Effizienz und Robustheit des Energieversorgungssystems. Eine wesentliche Voraussetzung ist hierbei die Interoperabilität von Anlagensystemen und IT-Systemen durch Standardisierung und Normierung von der Feld- bis zur Geschäftsprozessebene angefangen bei der Energiewirtschaft bis zur Annäherung an die Wirtschaftsbereiche von Großabnehmern von Energie.

Früher ließ sich mit einem Energieversorgungsunternehmen die gesamte Versorgungskette mit Erzeugung über Handel, Transport und Verteilung bis hin zum Endverbraucher abdecken. Darum wurden entsprechende Optimierungsprozesse für das Gesamtsystem der Energieversorgung durch die vertikal integrierten Energieversorgungsunternehmen unternehmensintern realisiert. Durch die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Entflechtung von Energieversorgungsunternehmen müssen diese Optimierungsprozesse nun über Unternehmensgrenzen hinweg erfolgen. Die Energieinformatik kann mit IKT-Lösungen dazu beitragen, dass sich Optimierungsprozesse zukünftig über die Energiemärkte einstellen, indem die Entwürfe von Energiemärkten der Zukunft und feiner ausgestaltete Marktinstrumente mit agentenbasierten Simulationsansätzen überprüft werden. Der elektronische Daten- und Informationsaustausch macht neu zu entwickelnde IT-Architekturkonzepte und IT-Sicherheitskonzepte nötig, die die steigende Anzahl von Marktteilnehmern und Anlagensystemen informationstechnologisch unter wechselnden kooperativen und kompetitiven Rahmenbedingungen unterstützen können. Darüber hinaus sind die Bewegungen in Richtung dynamischer Stromtarife und börslich indexierter Stromprodukte aufzunehmen und die Potenziale einer höheren Kostentransparenz und Weitergabe von Kostenvorteilen an enger einzubindende Endverbraucher zu bestimmen.

- **Modellierung, Simulation und Optimierung zukünftiger Energieversorgungssysteme**

Eine Kernaufgabe für die Energieinformatik besteht darin, eine rechtzeitige Organisation und Koordination sowie eine sofortige Interaktion aller Komponenten und Netznutzer im Energieversorgungssystem – egal ob sie ins Netz eingeben oder von diesem entnehmen oder beides – zu ermöglichen. Die Energieinformatik befasst sich in Bezug auf Betriebs-, Regelungs- und Marktaspekte eines intelligenten Energieversorgungssystems der Zukunft beispielsweise mit Verbundbildungsmechanismen, Steuerungsalgorithmen und Automatisierungsstrategien. Dabei werden Werkzeuge und Methoden



der verteilten künstlichen Intelligenz eingesetzt, um eine systememergente Optimierung der Energieversorgung zu erreichen. Dabei sind auch Wechselwirkungen der Strom- und Gasversorgungssysteme zu berücksichtigen und technische Lösungen zur Wärme- und Kälteversorgung mit einzubeziehen.

Die Stromerzeugung auf der Grundlage erneuerbarer Energiequellen wie zum Beispiel Windkraft und Sonneneinstrahlung ist von teilweise erheblichen Schwankungen gekennzeichnet. Die dargebotsabhängigen Erzeugungsanlagen sind bezüglich ihrer Einspeisung ins Stromnetz weniger planbar als solche Anlagen, die im Rückgriff auf fossile Energieträger Strom erzeugen. In Bezug auf eine Volatilität der Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energiequellen sind verbrauchersei-

tiges Lastmanagement und erzeugerseitiges Einspeisemanagement bedeutende Themenfelder für die Energieinformatik.

Das verbraucherseitige Lastmanagement beispielsweise umfasst alle Maßnahmen, die von Akteuren der Energiewirtschaft im Zusammenspiel mit Endverbrauchern ergriffen werden, um die Menge und den Zeitpunkt von Stromlasten zu beeinflussen. Eine Beeinflussung der Stromlasten kann sich aus einer zeitlichen Lastverschiebung sowie mengenmäßigen Lastveränderung ergeben, wobei in vielen Fällen gewisse Vorziehungs- und Nachholungseffekte auftreten können. Damit lassen sich Stromversorgungsprofile insgesamt besser abstimmen bzw. Vorgaben aus angebotsseitigen Prognosen in günstige Nachfrageverläufe umsetzen.

# Forschungsbereich Energiewirtschaft



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr. Jutta Geldermann

**Kontakt:**  
Platz der Göttinger Sieben 3  
37073 Göttingen  
Fon: +49 551 39 7257  
Fax: +49 551 39 9343  
E-Mail: geldermann@wiwi.uni-goettingen.de



**Projektentwicklung:**  
Dr. Lars Peter Lauen

**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 215  
Fon: +49 5321 3816 8077  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: lars.lauen@efzn.de

Zur Bewertung und Ausgestaltung von energetischen Konzepten ist die Betrachtung von wirtschaftlichen Aspekten essentiell. Einerseits muss die Wirtschaftlichkeit von Produktionsverfahren, zum Beispiel zur Herstellung von Biokraftstoffen oder zur energetischen Nutzung von Biomasse, ermittelt werden. Andererseits stehen den wirtschaftlichen Kriterien wie Ertrag, Verkaufspreis oder Kosten des Anlagenbetriebs etliche ökologische und soziale Herausforderungen gegenüber, wie etwa CO<sub>2</sub>-Bilanz und Akzeptanz vor Ort, die ebenfalls zu berücksichtigen sind. Dazu bietet das EFZN über die beteiligten Mitglieder an den jeweiligen Universitäten Expertise. Im Folgenden werden ausgewählte wirtschaftliche Forschungsfragen entlang der energetischen Prozesskette aufgeführt:

## Rohstoffe

- Analyse der Marktentwicklung, Prognosen
- Bewertung von Lagerstätten zur Vorbereitung von Investitions-Entscheidungen

## Erzeugung

- Betriebs- und volkswirtschaftliche Kosten von Erzeugungssystemen
- Gewährleistung der Versorgungssicherheit

## Speicherung

- Regelungen zum Speicherzugang
- Beschaffungs-/Speichermanagement

## Transport

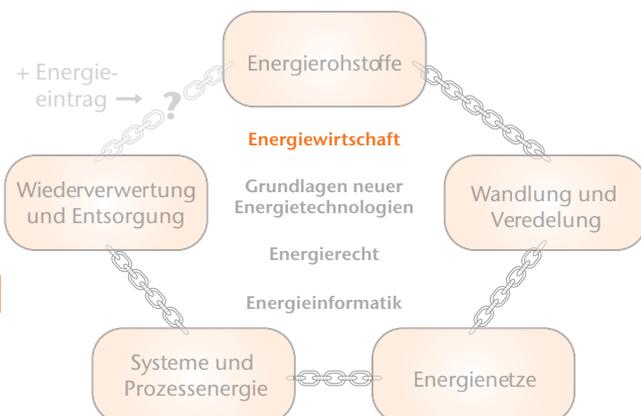
- Bewertung von Zugangsregelungen
- Netzmanagement
- Logistikplanung

## Nutzung

- Rationelle Energieverwendung
  - Energieeffiziente Produktion
  - Gebäude/private Haushalte
- Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen
- Energie-Contracting
- Kosten-/Nutzenanalysen des „Smart Metering“

## Entsorgung/Endlagerung

- Entsorgungslogistik
- Volkswirtschaftliche Kosten der Endlagerung radioaktiven Abfalls



# Forschungsbereich Energierecht



**Bereichskoordination:**  
Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer

**Kontakt:**  
Arnold-Sommerfeld-Str. 6  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Fon: +49 5323 72 3026  
Fax: +49 5323 72 2507  
E-Mail: hartmut.weyer@  
tu-clausthal.de



**Projektentwicklung:**  
Ass. jur. Ulrich Lindemann

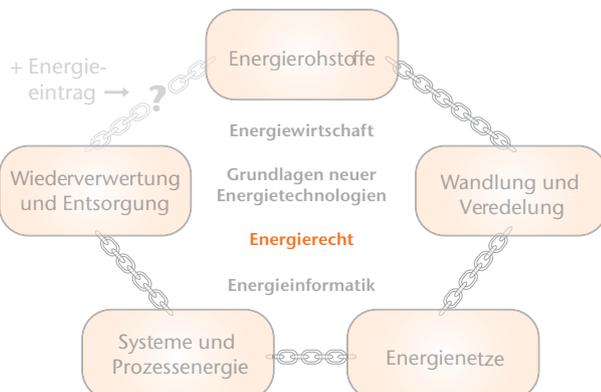
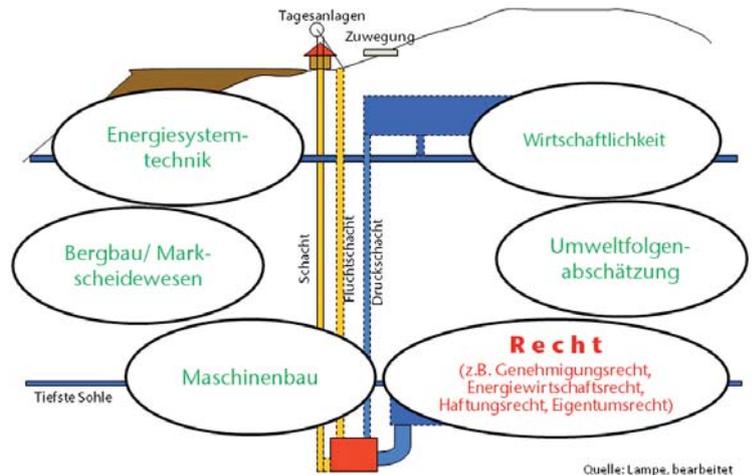
**Kontakt:**  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
Raum: 221  
Fon: +49 5321 3816 8097  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: ulrich.lindemann@  
efzn.de

Der Forschungsbereich Energierecht beschäftigt sich mit der Ermittlung, Prüfung und gegebenenfalls Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen für energiewirtschaftliche Vorhaben. Einbezogen werden sämtliche Energiequellen in ihrem jeweiligen Rechtsrahmen.

Die Mitglieder des Forschungsbereichs sind in verschiedenen, einander ergänzenden Arbeitsfeldern des nationalen und europäischen Energierechts durch Beteiligung an Forschungsprojekten, Publikationen und Studien sowie durch Lehr- und Vortragstätigkeit aktiv.

Das Rechtsgebiet Energierecht ist inzwischen stark aufgefächert. Es umfasst insbesondere die Teilrechtsgebiete Energiewirtschaftsrecht, Recht der Erneuerbaren Energien, Energieeffizienzrecht, Treibhausgasemissionsrecht, Umwelt- und Planungsrecht, Atomrecht, Bergrecht, Energiekartellrecht und Energievertragsrecht. Neben den deutschen Vorschriften kommt vor allem dem Recht der Europäischen Union große praktische Bedeutung zu.

Energierechtliche Fragestellungen werden durch den Forschungsbereich insbesondere im Rahmen transdisziplinärer Forschungsprojekte behandelt (siehe Grafik zum EFZN-Projekt „Pumpspeicher unter Tage“). Die



rechtlichen Rahmenbedingungen sind ein wesentliches Element für aussagekräftige Analysen und tragfähige Lösungen energiebezogener Aufgabenstellungen. Von besonderem Interesse für den Forschungsbereich Energerecht sind Themenbereiche, die das Zusammenspiel hoheitlicher Vorgaben und privatwirtschaftlicher Tätigkeit zum Gegenstand haben. Dies gilt etwa für den Bereich der Netzregulierung einschließlich der hoheitlichen Kontrolle der Netzentgelte nach dem System der Anreizregulierung. Ein weiteres Beispiel bildet der

Rechtsrahmen für den Netzausbau, dem im Rahmen der Energiewende besondere Bedeutung zukommt. Auch die Förderung und Integration der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ist durch ein enges Zusammenspiel von privatwirtschaftlicher Tätigkeit und hoheitlicher Steuerung gekennzeichnet. Beabsichtigt ist, gesellschaftliche Aspekte verstärkt in die energierechtlichen Betrachtungen einzubeziehen, wie etwa Akzeptanzfragen im Zusammenhang mit dem Netzausbau.



# Forschungsbereich Grundlagen neuer Energietechnologien



## Bereichskoordination:

Prof. Dr. rer. nat.  
Wolfgang Schade

## Kontakt:

Am Stollen 19B  
38640 Goslar  
Fon: +49 5321 68 55 150  
E-Mail: wolfgang.schade@  
tu-clausthal.de

Der Forschungsbereich Grundlagen neuer Energietechnologien konzentriert sich zunächst schwerpunktmäßig auf die beiden Themengebiete „Energiewandlung mit neuen Materialien“ und „Sensorik zur optimierten Energieeffizienz“.

Bei der Materialentwicklung stehen für Sensor- und Aktuatorapplikationen insbesondere Hochtemperaturmaterialien und für die Energiewandlung nanoskalige Materialien im Vordergrund zukünftiger Entwicklungen. Auf der Basis verbesserter und neuer Materialien sollen neue Funktionsprinzipien zielorientiert geschaffen und erprobt werden. Daneben spielen die Entwicklung neuer Konzepte zur Miniaturisierung von Sensoren und Sensorsystemen eine wesentliche Rolle.

Schwerpunkte:

- Sensorik zur optimierten Energieeffizienz
- Energiewandlung mit neuen Materialien
- Hochtemperatur-Aktoren für die Energiewandlung
- Entwicklung von Funktionsmaterialien für extreme Einsatzbedingungen

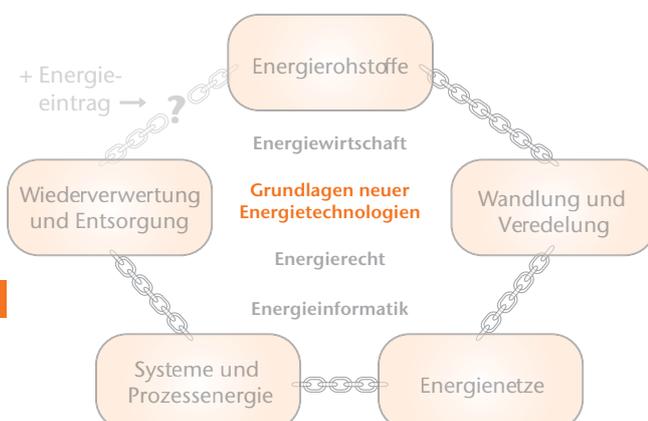
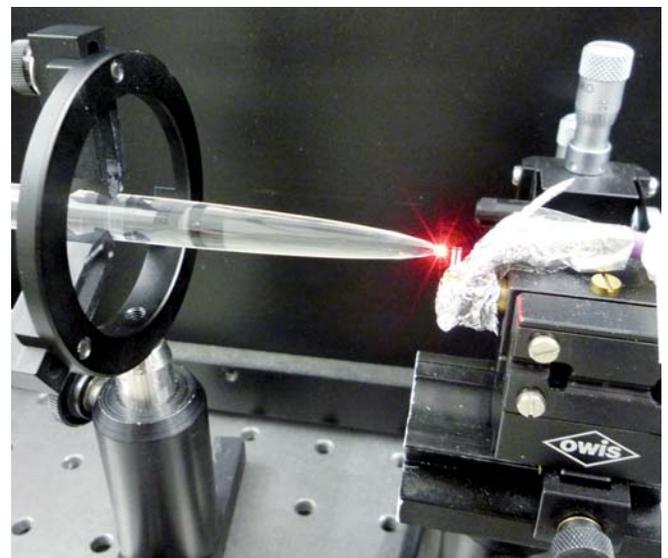


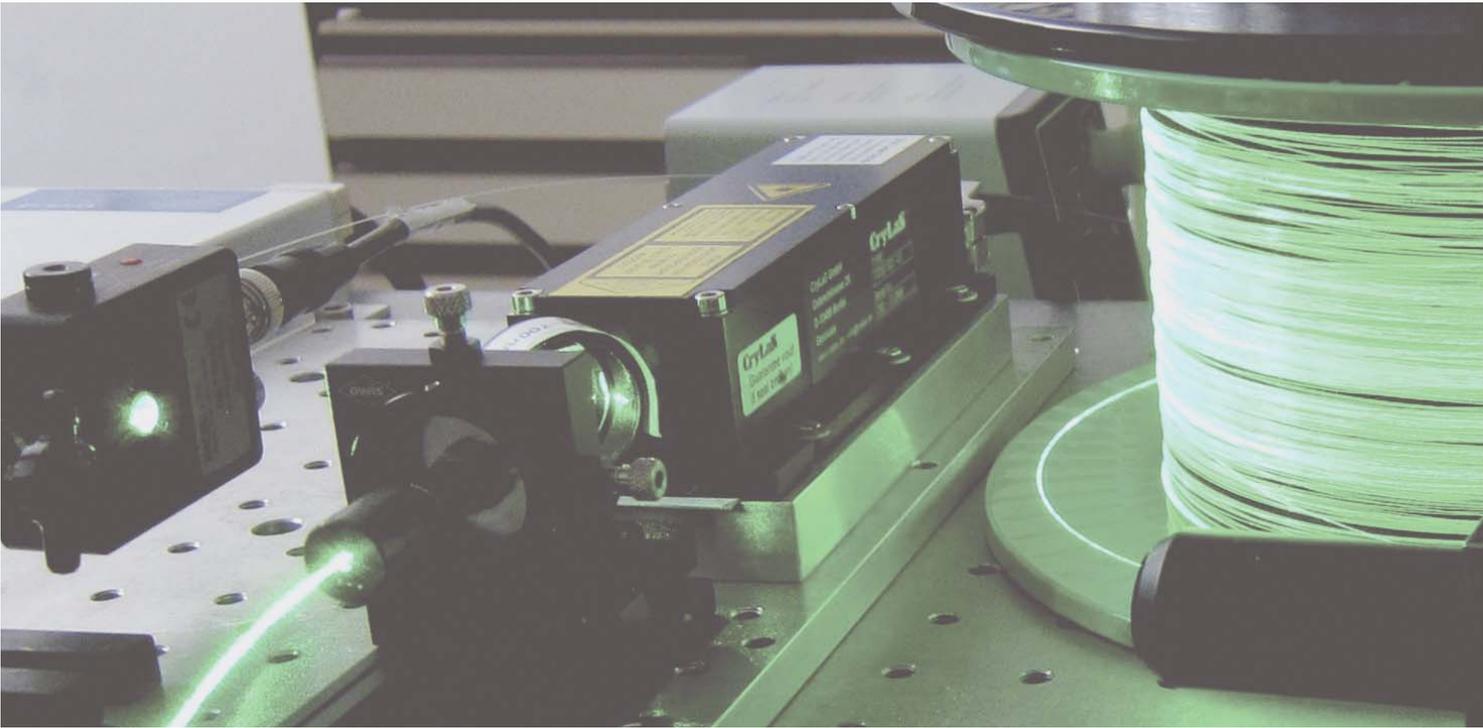
## Projektentwicklung:

Dipl.-Phys. Konrad Bethmann

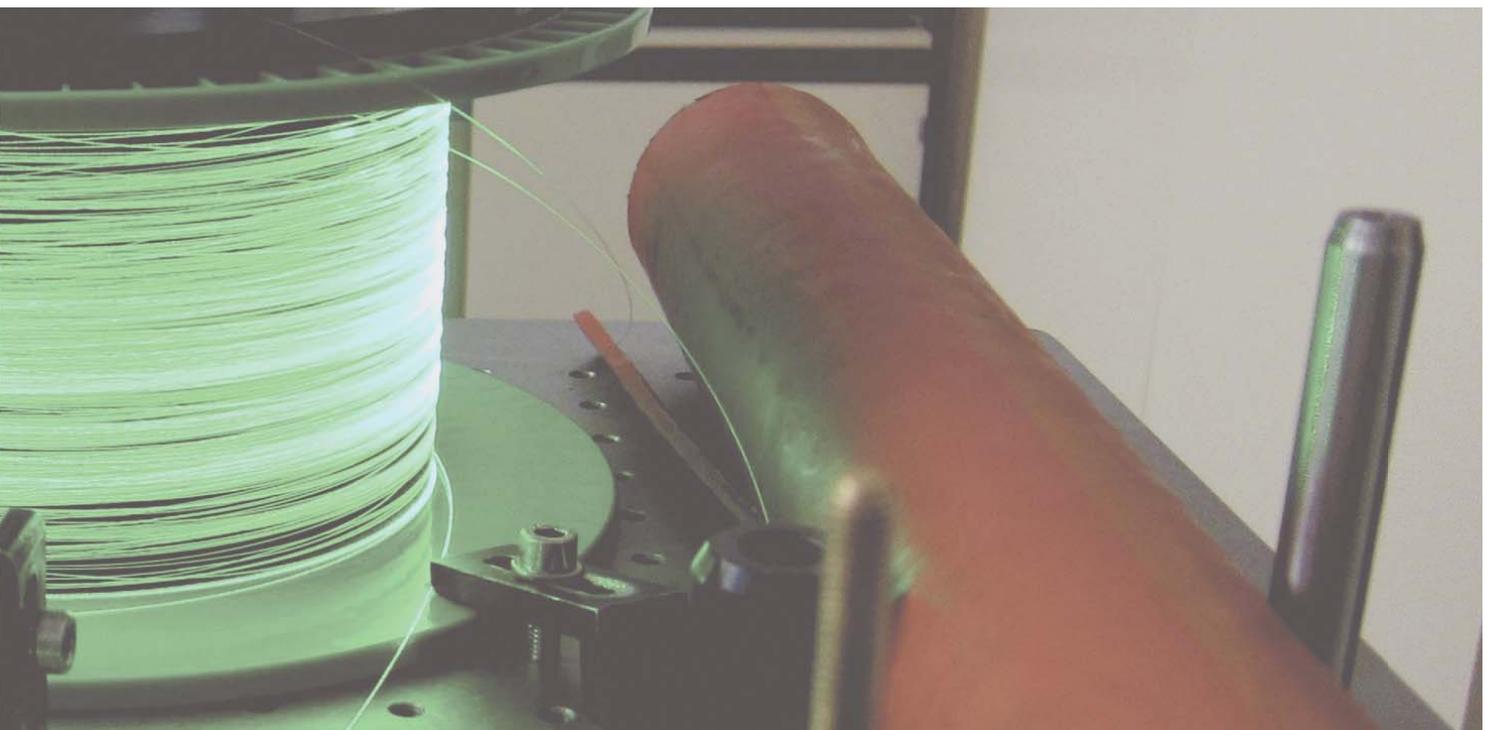
## Kontakt:

Am Stollen 19B  
38640 Goslar  
Fon: +49 5321 68 55 170  
Fax: +49 5321 3816 8009  
E-Mail: k.bethmann@  
pe.tu-clausthal.de





# Forschungsschwerpunkte und Vorstellung ausgewählter Projekte



## Forschungsschwerpunkte in Niedersachsen und die Rolle des EFZN

Im ersten Teil dieses Berichts wurde über die Aufbauorganisation des EFZN berichtet, die sich an der Energiewertschöpfungskette orientiert. Diese gliedert sich funktional nicht in Abteilungen, sondern in neun sich überlappende Forschungsbereiche. Im Folgenden soll nun die „Ablauforganisation“, das heißt die bestehenden Forschungsschwerpunkte, kurz erläutert werden. Dabei wird unter anderem auf das in Zusammenarbeit mit dem EFZN im Jahre 2008 erstellte Gutachten (Energieforschung in Niedersachsen, Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen (WKN)) über die Energieforschung in Niedersachsen zurückgegriffen. Hierbei dienen die vor Beginn der EFZN-Forschungsarbeiten in Goslar bestehenden Vorarbeiten und Expertisen der universitären und außeruniversitären Forschungsstellen als Grundlage. Als Richtschnur für die Zukunft galten die gesteckten Ziele des Landes zur Errichtung eines nachhaltigen Energiesystems unter Einbeziehung der niedersächsischen fossilen und regenerativen Energie-Ressourcen.

Das ein Jahr nach der von der Bundesregierung beschlossenen Energiewende im Januar 2012 von der Niedersächsischen Landesregierung vorgelegte Energiekonzept (Das Energiekonzept für das Land Niedersachsen, 17.01.2012) vertieft im Kapitel 8 (Forschung und Innovation) die bestehenden Ansätze der WKN, wobei insbesondere das Thema Energiespeicher und -systeme durch eine neu gegründete Landesinitiative in Niedersachsen vorangetrieben wird. Es ergeben sich danach für die Energieforschungseinrichtungen in Niedersachsen insgesamt sieben Schwerpunkte (Abbildung, dunkelblaue Kreise), die an unterschiedlichen Orten im Land je nach Forschungsinfrastruktur bearbeitet werden. Sie orientieren sich natürlich auch an der nationalen und internationalen Förderpolitik. Der EFZN-Vorstand hat es sich zur Aufgabe gemacht, diese unterschiedlichen Forschungsaktivitäten zu koordinieren und soweit wie möglich abzugleichen, um ungewollte Dopplungen zu vermeiden. Hierzu wurden die sieben universitären Forschungsschwerpunkte entsprechend den laufenden Aktivitäten, den niedersächsischen EFZN-Mitgliedsuniversitäten (Abbildung, hellblaue Kreise, Innen) und damit den jeweiligen Vorstandskollegen zugeordnet (Vorstandsbeschluss vom 26. April 2012):

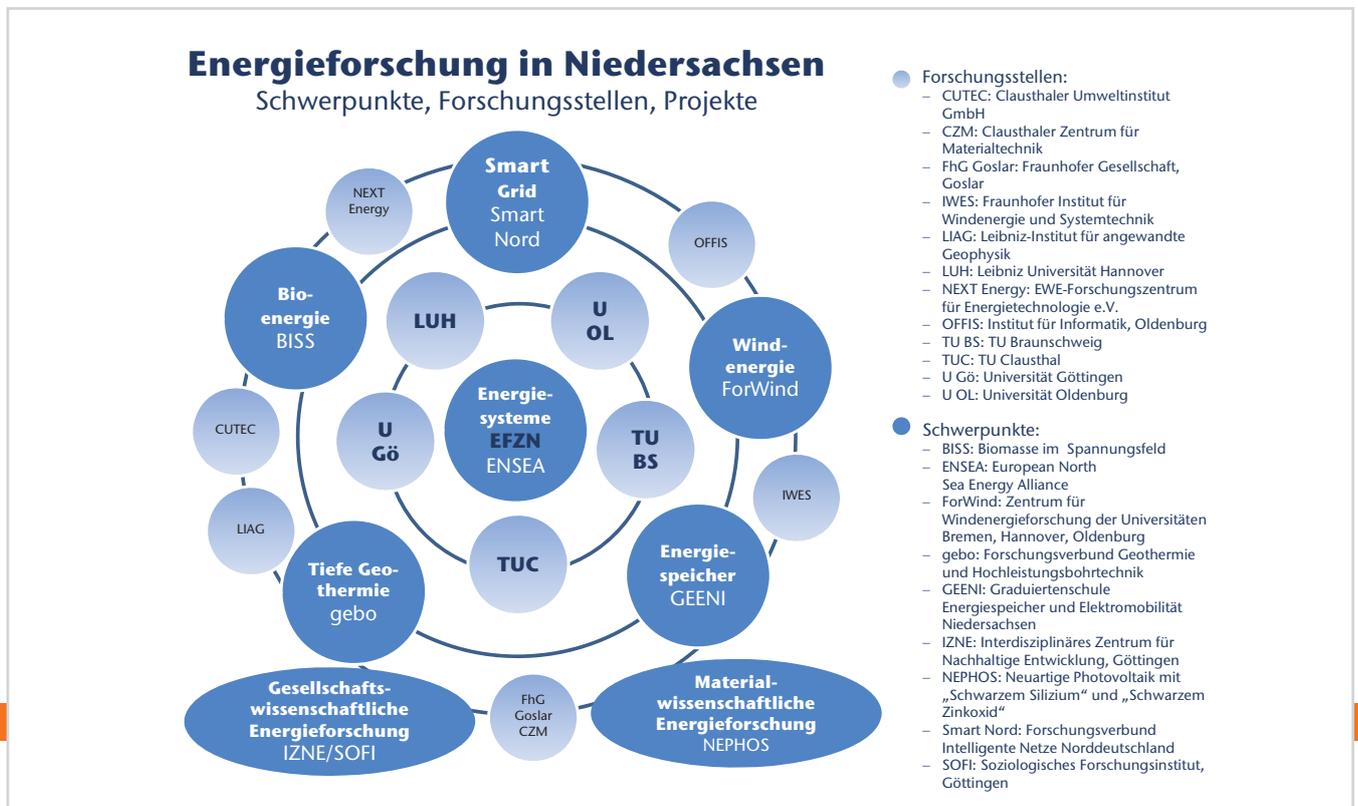
- Windenergie  
(Professor Axel Mertens, Leibniz Universität Hannover und Professor Joachim Peinke, Universität Oldenburg)
- Smart Grid  
(Professor Lutz Hofmann, Leibniz Universität Hannover und Professor Hans-Jürgen Appelrath, Universität Oldenburg)
- Bioenergie  
(Professor Jutta Geldermann und Professor Wolfgang Lücke, beide Universität Göttingen)
- Geothermie (Professor Leonhard Ganzer, TU Clausthal und Professor Ugur Yaramanci, LIAG)
- Energiespeicher und -systeme  
(Professor Michael Kurrat, TU Braunschweig und Professor Hans-Peter Beck, TU Clausthal)
- Gesellschaftswissenschaftliche Energieforschung  
(Professor Jutta Geldermann, Universität Göttingen und Professor Hartmut Weyer, TU Clausthal)
- Materialwissenschaftliche Energieforschung  
(Professor Wolfgang Schade und Professor Daniel Goldmann, beide TU Clausthal)

Die in Niedersachsen bestehenden außeruniversitären Forschungsinstitute sind im Umkreis (Abbildung, hellblaue Kreise, außen) aufgelistet, um deutlich zu

machen, dass die Möglichkeit des Technologietransfers über eine Drehscheibe von den Universitäten in die Anwendung gegeben ist. Es gilt hierbei folgende Zuordnung (Abbildung, Legende):

- Windenergie: ForWind, FhG Goslar, IWES
- Smart Grid: OFFIS
- Bioenergie: CUTEC
- Geothermie: LIAG
- Energiespeicher und -systeme: NEXT Energie
- Gesellschaftswissenschaftliche Energieforschung: IZNE
- Materialwissenschaftliche Energieforschung: FhG Goslar, CZM, Institut für Solarforschung Hameln

Neben der Koordinations- und Kommunikationsfunktion in der niedersächsischen Energieforschung nimmt das EFZN auch eine Forschungsfunktion basierend auf der bestehenden und künftigen Labor- und Testinfrastruktur in Goslar wahr. Derzeit gilt dies für die Gebiete Tiefengeothermie, Energiespeicher und -systeme und materialwissenschaftliche Energieforschung. Im Folgenden soll über diese Arbeit exemplarisch berichtet werden, wobei die Vorstellung von disziplinübergreifenden Verbundprojekten entsprechend des EFZN-Forschungsansatzes im Vordergrund steht.



# Niedersächsischer Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik (gebo)



Kurt M. Reinicke



Frank Mattioli

## Zusammenfassung

Die Landesregierung Niedersachsen verfolgt das Ziel, das im niedersächsischen Untergrund vorhandene geothermische Potenzial künftig umfassend für Wärme- und Stromversorgung zu erschließen. Trotz der eher moderaten Untergrundtemperaturen liegen in Niedersachsen gute Voraussetzungen vor, dieses Ziel zu erreichen: Niedersachsen verfügt über ein beachtliches geothermisches Potenzial, die Kenntnisse über den geologischen Untergrund sind aufgrund der hier tätigen Erdöl- und Erdgasindustrie gut und die wissenschaftliche und industrielle Infrastruktur für die Erkundung und Entwicklung des geologischen Untergrundes ist hervorragend. Die Erschließung tiefergeothermischer Energie ist bisher allerdings mit hohen Kosten und Risiken verbunden. Sie resultieren insbesondere aus der aufwändigen Herstellung der notwendigen Tiefbohrungen und der Erschließung der erforderlichen geologischen Wärmetauscher.

Ein wichtiges Ziel des Forschungsverbundes gebo ist die Erforschung neuer Konzepte und wissenschaftlicher Grundlagen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Energiegewinnung aus tiefen geologischen Schichten. Mit der deutlichen Ausrichtung seiner wissenschaftlichen Anstrengungen auf Fragestellungen im Zusammenhang mit der Herstellung von Bohrungen und untertägigen Wärmetauschern adressiert der Verbund genau die Bereiche von Geothermieprojekten, in denen die Kosten (etwa 70 Prozent Anteil an den Gesamtinvestitionen) und die Risiken am größten sind. Andere Schwerpunkte stehen im Zusammenhang mit der Verbesserung der Temperaturbeständigkeit und der Werkstoffstabilität bei Hochleistungsbohrsystemen.

## Forschungsvorhaben

„Das Land Niedersachsen verfolgt das ehrgeizige Ziel, das im niedersächsischen Untergrund vorhandene geothermische Potenzial künftig umfassend für Wärme- und Stromversorgung zu nutzen“, so der Niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kultur, Lutz Stratmann, anlässlich der Auftaktveranstaltung des neuen Forschungsverbundes „Geothermie und

Hochleistungsbohrtechnik“ (gebo) am 20.05.2009 bei Baker Hughes in Celle.

Trotz seiner eher moderaten Untergrundtemperaturen bringt Niedersachsen gute Voraussetzungen mit, um dieses Ziel zu erreichen: Es verfügt über ein beachtliches geothermisches Potenzial, die Kenntnisse über den geologischen Untergrund sind aufgrund der hier tätigen Erdöl- und Erdgasindustrie gut und die wissenschaftliche und industrielle Infrastruktur für Aufsuchung und Entwicklung des geologischen Untergrundes genießen eine anerkannt ausgezeichnete Reputation. Die Erschließung tiefen-geothermischer Energie ist bisher allerdings mit hohen Kosten und Risiken verbunden. Sie resultieren insbesondere aus der aufwändigen Herstellung der notwendigen Tiefbohrungen und der erforderlichen geologischen Wärmetauscher.

Ziel des Forschungsverbundes gebo ist die Erforschung neuer Konzepte und wissenschaftlicher Grundlagen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit geothermischer Energiegewinnung aus tiefen geologischen Schichten. Mit der Fokussierung seiner Anstrengungen auf innovative Aspekte bei der Herstellung von Bohrungen und der Entwicklung untertägiger Wärmetauscher adressiert der Verbund genau die Bereiche eines Geothermieprojekts, in denen die Kosten (etwa 70 Prozent Anteil an den Gesamtinvestitionen) und die Risiken am größten sind. Der Forschungsverbund gebo vereint die traditionellen Stärken der beteiligten niedersächsischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen in den Geowissenschaften, der Bohrtechnik, den Werkstoffwissenschaften und den

Technischen Systemen. Über 40 Wissenschaftler und Ingenieure arbeiten im Verbund interdisziplinär zusammen, um neue Konzepte, Werkstoffe und Bauteile zu entwickeln und zu bewerten.

Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgt in Abstimmung mit der kooperierenden Industrie. Während der Forschungsverbund gebo sich breit angelegten, teilweise extrem risikoreichen Fragestellungen im „High-End“ Bereich der Forschung widmet, wird in der Industrie mit ungleich höherem Aufwand eine anwendungsbezogene Systementwicklung betrieben. Neben den Forschungsergebnissen mit Zielrichtung auf die Nutzbarmachung der im Wesentlichen petrothermalen Geothermie im niedersächsischen Bereich werden auch erhebliche gebo „spin-off“ Effekte insbesondere aus den Themenschwerpunkten Werkstoffe und Techniksysteme für andere Industriesektoren erwartet.

### Hintergrund

Die Nutzung der tiefen Erdwärme (Geothermie) soll zukünftig einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und einer zukunftsfesten Energieversorgung leisten. Das ist das Fazit eines Berichts zur Geothermie, den das Bundeskabinett am 13. Mai 2009 beschlossen hat. Bis zum Jahr 2020 sollen etwa 280 Megawatt Leistung zur geothermischen Stromerzeugung installiert sein. Bei einer Leistung von etwa 5 Megawatt pro Kraftwerk entspricht dies mehr als 50 Kraftwerken und – eine Bohrungsdoulette je Kraftwerk unterstellt – mehr als 100 fündigen Bohrungen mit nachhaltig hoher Ergiebigkeit, die in den nächsten 10 Jahren hergestellt werden

### Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Niedersächsischer Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik (gebo)
<b>Fördernde Stelle:</b>	Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur Baker Hughes INTEQ GmbH
<b>Förderkennzeichen:</b>	ZN2481, ZN2525, ZN2649, ZN2741
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.02.2009 bis 31.01.2014
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.02.2009 bis 31.12.2014
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. Kurt M. Reinicke
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Frank Mattioli
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.gebo-nds.de">www.gebo-nds.de</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:frank.mattioli@efzn.de">frank.mattioli@efzn.de</a>

müssen. Nach 2020 wird mit einer Beschleunigung des Wachstums und einer installierten elektrischen Leistung von 850 Megawatt bis 2030 gerechnet.

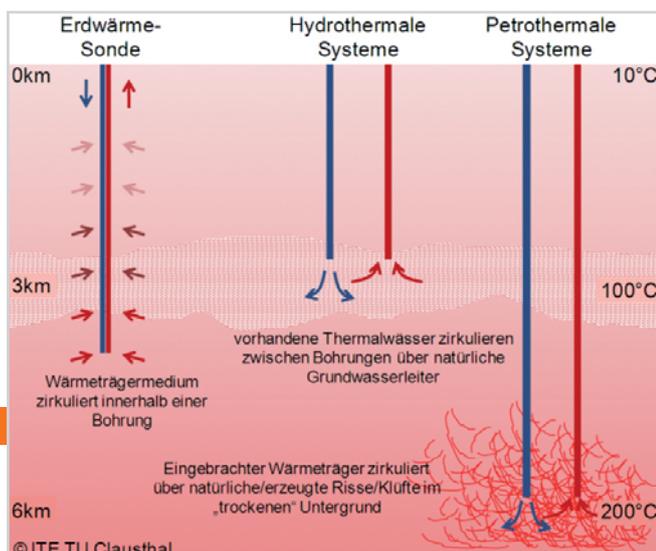
Niedersachsen bringt grundsätzlich gute Voraussetzungen für eine Nutzung geothermischer Energie aus tiefen Formationen mit sich: das geothermische Potenzial ist vorhanden, die Kenntnisse über den geologische Untergrund sind gut, die Infrastruktur für seine Aufsuchung und Entwicklung sind ausgezeichnet.

Die geologischen Bedingungen in Niedersachsen sind jedoch herausfordernd, denn Niedersachsen verfügt weder über hohe Bohrungsergiebigkeiten für Thermalwasser wie im süddeutschen Molasse-Becken noch über hohe Temperaturen im flachen Untergrund, wie dies im Oberrheintalgraben der Fall ist. In Niedersachsen muss zwischen 4.000 – 6.000 Meter gebohrt werden, um Temperaturen oberhalb von 150 Grad Celsius anzutreffen, die für eine effiziente elektrische Energiegewinnung interessant sind. Hinzu kommt eine hohe Salzbeladung der Thermalwässer, die Ablagerungs- und Korrosionsprobleme im Primärkreislauf des Thermalsystems erwarten lassen. Die daraus resultierenden technologischen Herausforderungen für eine wirtschaftliche Erschließung des großen Potenzials finden in den Zielen des Verbundes ihren Niederschlag.

### Stand der Forschung

Es gibt im Wesentlichen drei Systeme, um geothermische Energie zu nutzen:

- Hydrothermale Systeme mit einer Nutzung der Energie, die in dem im Untergrund vorhandenen Wasser gespeichert ist,



- Petrothermale Systeme mit einer Nutzung der Energie, die im Gestein des Untergrundes gespeichert ist, (Hot-Dry-Rock (HDR), Hot-Wet-Rock (HWR), Hot-Fractured-Rock (HFR), Enhanced Geothermal System (EGS)),
- Tiefe Erdwärmesonden, bei denen in Teufen von bis zu 3.000 Meter eine spezielle Wärmeträgerflüssigkeit in einem geschlossenen System zur Wärmeerzeugung zirkuliert.

Für alle drei Nutzungsmöglichkeiten werden mit Ausnahme von vulkanisch beeinflussten Gebieten Tiefbohrungen benötigt. Zur Gewährleistung ausreichend hoher Ergiebigkeiten hydrothermaler beziehungsweise petrothermaler Systeme werden durch Bohrungen gezielt natürlich vorhandene Rissysteme im Untergrund angesteuert, beziehungsweise diese nach Fertigstellung der Bohrungen künstlich erzeugt. Von den drei genannten Systemen sind für die Stromerzeugung nur einige hydrothermale und die petrothermalen Systeme von Bedeutung.

Die aktuelle Technologie zur Herstellung von Tiefbohrungen ist angepasst an die Erfordernisse der Erdöl- und Erdgasindustrie. Erdöl- und Erdgasbohrungen werden hergestellt, um für die Dauer der Ausbeute eine zuverlässige Verbindung zwischen einer Lagerstätte im Untergrund und der Übertageinstallation zu schaffen. Dies gilt grundsätzlich auch für Geothermiebohrungen, insbesondere für hydrothermale Bohrungen mit Endteufen von 3.000 – 4.000 Meter. Deutlich andere Voraussetzungen im Vergleich zu Erdöl- und Erdgasbohrungen sind jedoch gegeben für die Bohrungen petrothermaler Systeme, mit denen die im „trockenen, harten“ Gestein gespeicherte thermische Energie gewonnen werden soll:

- Die durchschnittliche Temperatur ist größer,
- Das Endziel ist nicht ein relativ weiches Lagerstättengestein sondern Hartgestein, zum Beispiel ein Vulkanit,
- Für den Betrieb des Systems sind großflächige und nachhaltige, natürlich vorhandene oder künstlich zu schaffende Wärmetauscher Voraussetzung,
- Zur Begrenzung des hydraulischen Widerstands bei

Produktion oder Injektion werden größere Fließquerschnitte gebraucht,

- Die durchschnittliche Teufe ist größer.

Für diese ungünstigeren Bedingungen müssen neue Antworten gefunden werden. Gleichzeitig müssen aber auch die Kosten gesenkt werden, denn mit dem in der Erdöl-/Erdgasindustrie gängigen Richtwert für die Herstellungskosten von Tiefbohrungen der Kategorie 5.000 Meter, in Höhe von 2,5 bis 3,0 Millionen Euro pro 1.000 Meter ist eine Wirtschaftlichkeit für eine Standard-Bohrungsdoulette nicht gegeben. Die Arbeiten des Verbundes zielen daher darauf ab, wissenschaftlich hochwertige Beiträge zu leisten, die dazu beitragen sollen,

- Die Bohrkosten zu senken,
- Die Bohrtechnologie für den Einsatz in hartem und heißem Gestein sicherer zu machen,
- Das Fündigkeitsrisiko zu reduzieren.

## Ziele

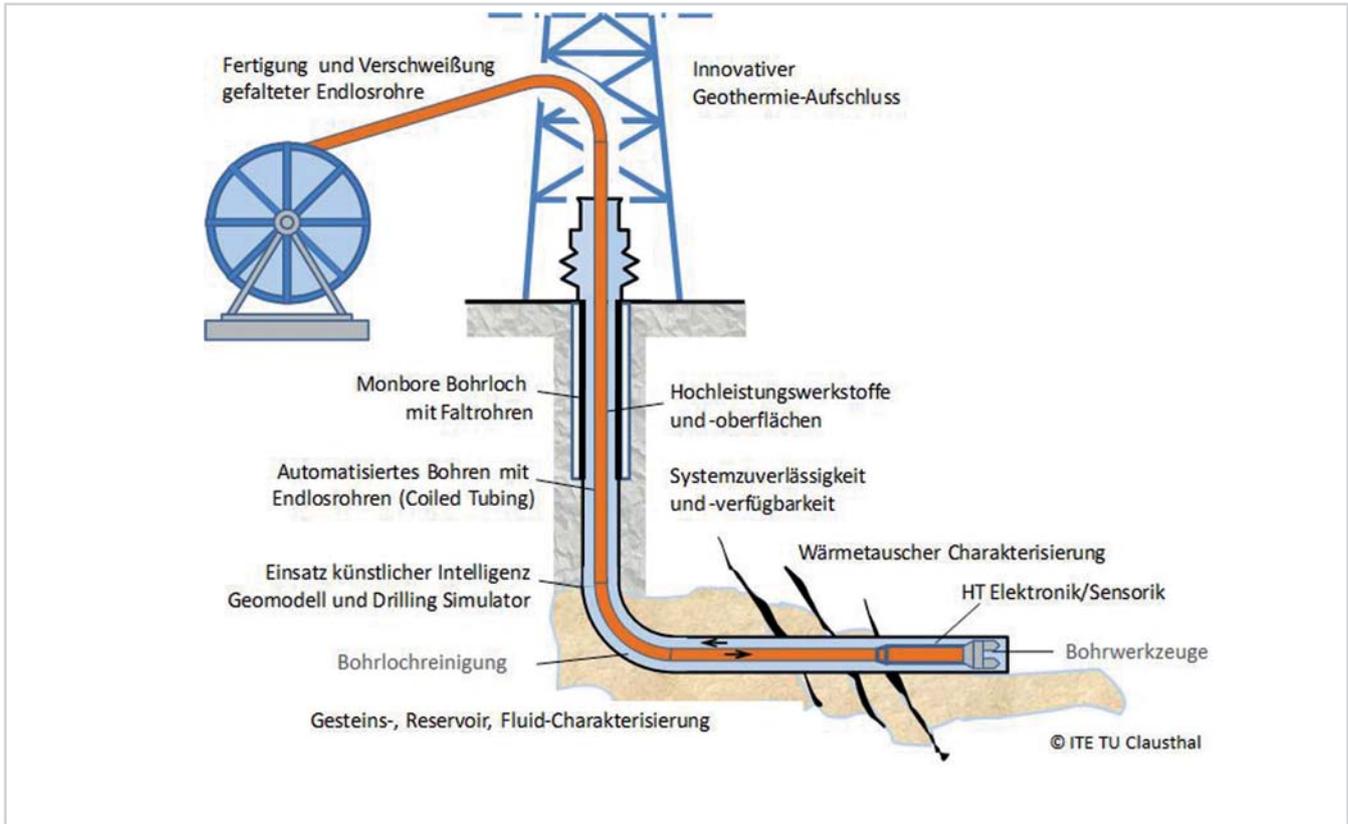
Das übergeordnete Ziel des Forschungsverbundes ist es, wesentliche Beiträge zu einer zukünftigen, sicheren Bohrungsherstellung unter niedersachsentypischen „Hot-Hard-Rock“ Bedingungen und deren Ausbau zu Geothermiebohrungen mit nachhaltigen geologischen Wärmetauschern zu leisten.

Das Ziel soll erreicht werden durch Erforschung hochinnovativer Technologieansätze als Module eines Gesamtkonzepts für neuartige Verfahren zur Herstellung tiefer Geothermiebohrungen in harten Gesteinschichten, und zwar

- in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Ingenieuren und Wissenschaftlern,
- in Kooperation von Industrie und Hochschule, Forschern und Anwendern.

Im Einzelnen sollen

- Technologien entwickelt werden für eine angemessene Erfassung und Charakterisierung des geologischen Untergrundes,



- hohe Bohrungsergiebigkeiten durch nachhaltige geologische Wärmetauscher sichergestellt werden,
- Ansätze und Konzepte zur Senkung der für Geothermie-Kraftwerke dominierenden Herstellungskosten von Tiefbohrung aufgezeigt und erforscht werden,
- kritische Beiträge für die Ermöglichung eines sicheren Einsatzes moderner Bohrtechnik auf Temperaturen >200 Grad Celsius geleistet werden,
- der Aufschluss von Hartgestein durch neue Materialien und Werkzeuge verbessert werden,
- technische Risiken aufgrund von hohen Temperaturen/Förderraten, wechselnden Beanspruchungen, Salzbeladung, etc. beherrschbar gemacht werden.

### Der Forschungsverbund

Im Forschungsverbund gebo arbeiten Wissenschaftler und Mitarbeiter verschiedener niedersächsischer Ein-

richtungen und Universitäten an 33 Projekten. Die Projekte sind jeweils einem der vier Schwerpunkte Geosystem, Bohrtechnik, Werkstoffe und Techniksystem zugeordnet. Diese stellen wir auf den Schwerpunkt-Seiten ausführlich vor.

Der Verbund hat seine Arbeit im Februar 2009 aufgenommen. Die Idee entstand bereits im Vorfeld der ersten Niedersächsischen Energietage.

Als Mitglieder des Forschungsverbundes sind sieben Projektpartner beteiligt:



- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Goslar
- Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover
- Leibniz Universität Hannover
- Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- Technische Universität Clausthal
- Georg-August-Universität Göttingen

Hinzu kommt der Industriepartner Baker Hughes, der Erfahrung und zusätzliche Mittel in das Projekt einbringt.

### **Geosystem**

Durch die Kombination verschiedener geowissenschaftlicher Methoden soll das Verständnis der physikalischen und geologischen Prozesse in geothermischen Systemen einschließlich ihrer Erkundung und Einschätzung der Ergiebigkeit erforscht werden. Die zentralen Parameter sind die Transmissivität (Maß für die Durchlässigkeit) und die Temperatur sowie die Verbreitung und Geometrie von natürlichen Störungszonen und künstlich zu schaffenden Rissystemen. Modellierungen erlauben Aussagen zu gekoppelten Prozessen des thermohydraulischen, hydrogeochemischen und mechanischen Gesteinverhaltens in der direkten Bohrlochumgebung und zum Langzeitverhalten von ausgedehnten Untergrundwärmetauschern.

Als Ergebnisse werden erwartet:

- Eine Erkundungsstrategie für Störungssysteme;
- Kenntnis der mechanischen Gesteinseigenschaften des Untergrundes zur Auswahl der optimalen Bohrtechnik;
- Die prozessorientierte Ermittlung geothermisch relevanter Parameter durch Hydraulik, Tracer- und Wärmetests;
- Die Möglichkeit, durch Langzeitsimulation des Reservoirverhaltens fundierte Empfehlungen zur wirtschaftlichen Energiegewinnung aussprechen zu können.

**Schwerpunktkoordination:** Dr. Rüdiger Thomas

## Bohrtechnik

Für eine verbreitete Nutzung der Geothermie ist die kosteneffiziente Herstellung von Tiefbohrungen eine wichtige Voraussetzung. Im Schwerpunkt Bohrtechnik sollen durch die Erforschung hochinnovativer Technologieansätze kritische Beiträge für neuartige Verfahren zur Herstellung tiefer Geothermiebohrungen in heißen, harten Gesteinsschichten geleistet werden.

Übergeordnetes Ziel des Schwerpunktes ist die sichere Bohrungsherstellung unter „Hot-Hard-Rock“ Bedingungen zu deutlich geringeren Kosten. Das Ziel soll erreicht werden durch:

- neue Bohrtechniken um kleinere, weniger komplexe Anlagen zu ermöglichen
- neue Technologien, um geringere Anfangsdurchmesser von Bohrungen zu ermöglichen und dadurch den Verbrauch von Bohrspülung, Rohr Stahl und Bohrlochzement zu verringern
- neue Bohrprozesse, um Bohrgeschwindigkeiten und produktive Bohrzeiten zu erhöhen
- neue Technologien, um die Systemzuverlässigkeit zu erhöhen
- verbesserte Bohrungsintegrität auch unter hohen Drücken und Temperaturen

**Schwerpunktkoordination:** Dr. Catalin Teodoriu

## Werkstoffe

Die Lebensdauer und Zuverlässigkeit moderner Bohrsysteme wird durch die untertage herrschenden Umgebungsbedingungen in unerwünschter Weise begrenzt und eingeschränkt. Neben der mechanischen Beanspruchung infolge der Bohrtätigkeit in größeren Teufen und harten Formationen ist in Bohrungen zur Nutzung geothermischer Energie vor allem die hohe Umgebungstemperatur kritisch. Darüber hinaus sind aber auch Beanspruchungen infolge hoher Umgebungsdrücke und korrosiver Medien von maßgeblicher Bedeutung. Dies erfordert neue Materialien, Materialbeschichtungen, Werkzeuge und Systeme.

Zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Bohrsysteme wird versucht:

- Die Belastungen realistisch zu beschreiben, um Bohrsysteme sachgerecht auslegen zu können;
- Hochfeste und temperaturbeständige Werkstoffe und Beschichtungen zu entwickeln;
- Bearbeitungstechniken und die Konstruktion des Bohrsystems zu verbessern.

Die im Rahmen dieses Schwerpunktes zu erzielenden Ergebnisse können zusätzlich zu ihrer Verwendung für Bohrsysteme auch im Bereich geothermischer Untertageanlagen eingesetzt werden.

### Schwerpunktkoordination:

Prof. Dr. Georg-Peter Ostermeyer

## Techniksystem

Moderne Bohrsysteme sind mit einer Vielzahl von elektronischen Modulen für die Stromversorgung, Kommunikation und Sensorik ausgestattet. Die rauen Umgebungsbedingungen, insbesondere die hohen Drücke und Temperaturen stellen erhebliche Anforderungen an die elektronischen Bauteile. Die Beiträge im Schwerpunkt Techniksystem zielen darauf ab, die Zuverlässigkeit der Bohrsysteme für geothermische Energienutzung deutlich zu steigern.

Dazu sollen:

- Den extremen Bedingungen angepasste Elektronik und Sensorik entwickelt werden;
- Deren Energieversorgung sichergestellt sein;
- Möglichkeiten der Positionsbestimmung und Messdatenübertragung verbessert werden.

Neben diesen drei Ansätzen erfordert die verschärfte mechanische Beanspruchung (infolge der Bohrtätigkeit in größeren Teufen und geologisch schwierigeren Formationen) eine grundlegende und systematische Bearbeitung der Zuverlässigkeitsproblematik. Die drei Komponenten hohe Systemzuverlässigkeit, hohe Funktionssicherheit und geringes Unfallrisiko, sollen durch

systematische Untersuchungen von Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten und Bauteile sowie deren Zusammenwirken sichergestellt werden.

Im Schwerpunkt Techniksistem werden also prinzipiell bekannte technische Lösungen in neuen Größenordnungen und neuen Systemumgebungen erforscht.

**Schwerpunktkoordination:**  
Prof. Dr. Ludger Overmeyer

### Über uns

Im Forschungsverbund gebo arbeiten Wissenschaftler und Mitarbeiter verschiedener niedersächsischer Einrichtungen und Universitäten zusammen. Um das Forschungsprojekt erfolgreich durchführen zu können, ist die inhaltliche und zeitliche Abstimmung der einzelnen Projekte aufeinander wichtig. Diese Aufgabe wird vom Sprecher des Verbundes, Prof. Dr. Kurt M. Reinicke, und dessen Vertreter, Prof. Dr. Georg-Peter Ostermeyer, übernommen.

Innerhalb der vier Schwerpunkte werden die Projekte von

- Dr. Rüdiger Thomas: Schwerpunkt Geosystem
- Dr. Catalin Teodoriu: Schwerpunkt Bohrtechnik,
- Prof. Dr. Ludger Overmeyer: Schwerpunkt Techniksistem,
- Prof. Dr. Georg-Peter Ostermeyer: Schwerpunkt Werkstoffe,

koordiniert.

Zur stärkeren Verknüpfung der vier Schwerpunkte ist ein Lenkungsausschuss eingerichtet, dem die Schwerpunktkoordinatoren, der Sprecher des Verbundes und die Vertreter der Industriepartner angehören.

Als beratende Stütze steht dem Lenkungsausschuss der Beirat zu Seite, insbesondere bei Fragen zur Einhaltung wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und energiepolitischer Zielsetzungen.



Daneben ist zur Unterstützung des Sprechers und des Lenkungsausschusses eine Geschäftsstelle eingerichtet.

## Lenkungsausschuss

Der Lenkungsausschuss gewährleistet die Einhaltung der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Zielsetzung. Er entscheidet über Fragen von grundsätzlicher Bedeutung und ist auch für die Vernetzung des gebo-Verbundes mit anderen Geothermie-Programmen zuständig.

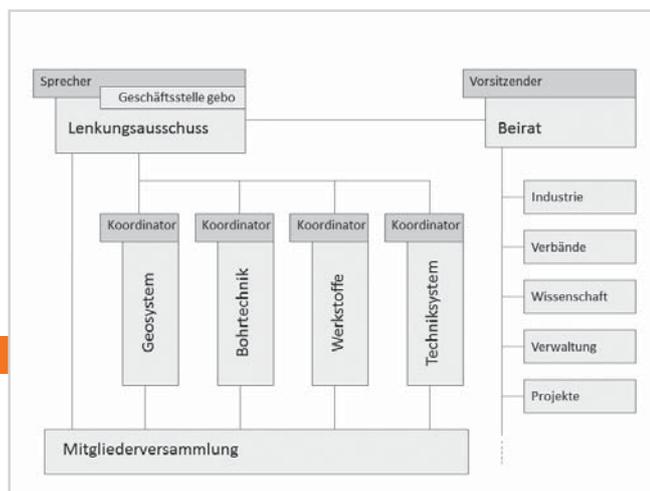
Sprecher des Verbundes ist Prof. Dr. Kurt M. Reinicke, sein Vertreter Prof. Dr. Georg-Peter Ostermeyer.

Mitglieder des Lenkungsausschusses sind:

- Prof. Dr.-Ing. Joachim Oppelt (Industriepartner Baker Hughes)
- Prof. Dr. Georg-Peter Ostermeyer (Schwerpunkt Werkstoffe)
- Prof. Dr. Ludger Overmeyer (Schwerpunkt Techniksysteem)
- Dr. Catalin Teodoriu (Schwerpunkt Bohrtechnik)
- Dr. Rüdiger Thomas (Schwerpunkt Geosystem)

Deren Stellvertreter sind:

- Prof. Dr. Martin Sauter (Stellvertreter Schwerpunkt Geosystem)
- Dr. Frank Schiefer (Stellvertreter Schwerpunkt Werkstoffe)
- Dr. Andreas Stock (Stellvertreter Schwerpunkt Techniksysteem)
- Dr. Martina Weichmann (Stellvertreter Schwerpunkt Bohrtechnik)



## Beirat

Der Beirat berät den Lenkungsausschuss und das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) in Fragen zur Einhaltung wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und energiepolitischer Zielsetzungen, unter besonderer Berücksichtigung der Stärkung der Geothermie in Niedersachsen.

Mitglieder des Beirats sind:

- Dipl. Ing. Johannes Witte, Baker Hughes (Vorsitzender)
- Prof. Dr. Bernt S. Aadnøy, Fakultät Science and Technology, University of Stavanger
- Prof. Dr.-Ing. Elmar Breitbach, European Center of Adaptive Systems (ECAS) e. V.
- Dr. Peter Burri, GEO-ENERGIE SUISSE (Schweizer Kompetenzzentrum für Tiefengeothermie)
- Dipl. Ing. Burkhard Grundmeier, Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V.
- Dr. Erwin Knapek
- Prof. Dr. Thomas Kohl, Institut für Angewandte Geowissenschaften (KIT)
- Dr. Thomas Neuber, EWE Aktiengesellschaft
- Prof. Dr. Michael Sinapius, Landesinitiative Nano- und Materialinnovationen
- Ltd. BergD Klaus Söntgerath, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)
- Dr. Christian Urbanke, Siemens AG
- Andreas Ufer, KfW IPEX-Bank GmbH

## Geschäftsstelle

Die gebo-Geschäftsstelle ist am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) in Goslar eingerichtet. Frank Mattioli, Tel.: +49 5321 3816-8080 per E-Mail erreichen Sie uns unter [gebo@efzn.de](mailto:gebo@efzn.de), per Fax: +49 5321 3816-8009

## Anschrift

gebo-Geschäftsstelle  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Am Stollen 19 A  
38640 Goslar

## Ausblick

Im September 2011 wurde der Forschungsverbund im Auftrag des MWK durch die WKN begutachtet. Im Bericht heißt es: Die Gutachtergruppe stuft gebo aus regionaler, nationaler und internationaler Sicht als innovatives Vorreiterprojekt ein, das wesentliche Beiträge dazu leisten kann, den Ausbau der (grundlastfähigen) Tiefen Geothermie in der Fläche und mit großen Kraftwerken als wichtigen Baustein in einem künftigen Mix der Erneuerbaren Energien voranzutreiben. Die Einrichtung von gebo (vor der durch die Bundesregierung 2011 eingeleiteten Energiewende) sei mutig, visionär und im Rückblick genau zur richtigen Zeit. Nirgendwo in Kontinentaleuropa seien die Voraussetzungen für die Bearbeitung eines derartigen Verbundprojekts so gut wie in Niedersachsen, da hier eine ideale Konstellation von universitären und außeruniversitären Einrichtungen sowie von weltweit agierenden Industrieunternehmen (vor allem Baker Hughes, Celle) anzutreffen sei.

Die Gutachter sind der Auffassung, dass die in gebo adressierten Themen, in neu fokussierter Form, unbedingt über das Projektende in 2014 hinaus fortgeführt werden sollten. In jedem Fall werden jedoch das Land Niedersachsen und die Industrie von Gutachterseite ausdrücklich ermutigt, sich über das Ende von gebo hinaus weiterhin und nachhaltig in der Geothermie- und Bohrtechnikforschung zu engagieren.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- TU Braunschweig
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- TU Clausthal
- Georg-August-Universität Göttingen Stiftung Öffentlichen Rechts
- Universität Hannover
- Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

#### Berater

- Baker Hughes INTEQ GmbH

## Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme (MAGS)



Michael Z. Hou



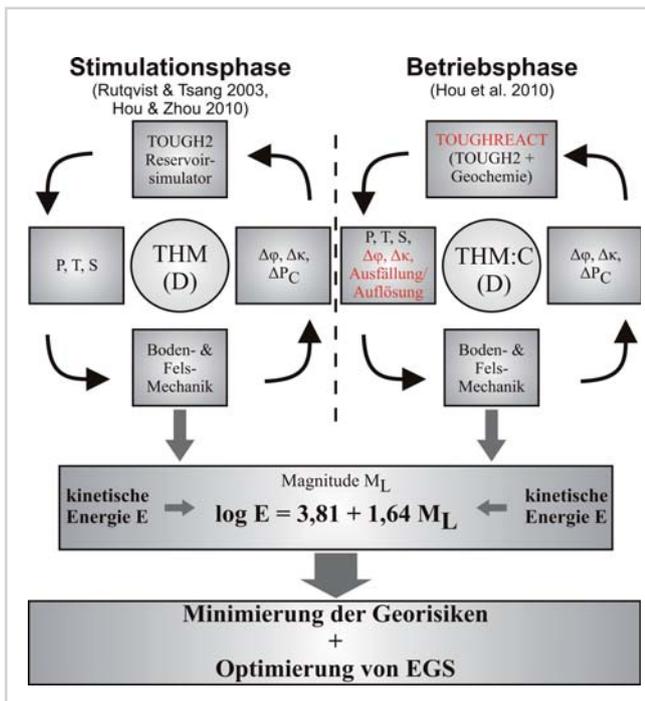
Tobias Kracke

Der weltweit weiter anwachsende Energiebedarf wird derzeit vorwiegend aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Hierdurch steigt der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Erdatmosphäre, was zu einer unerwünschten Klimaerwärmung führen kann. Die Nutzung der tiefen Geothermie in Deutschland soll zukünftig einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und einer zukunftssicheren Energieversorgung leisten. Ein wesentlicher Vorteil geothermischer Energie ist ihre Verfügbarkeit unabhängig von Tageszeiten, saisonalen Schwankungen und Witterungsbedingungen. Sie ist damit sowohl grundlastfähig als auch eine saubere Energieversorgung unabhängig von fossilen Rohstoffen. Laut eines Berichts zur Geothermie, den das Bundeskabinett am 13. Mai 2009 beschlossen hat, sollen bis zum Jahr 2020 circa 280 Megawatt Leistung zur geothermischen Stromerzeugung installiert sein. Bei einer Leistung von circa 5 Megawatt pro Kraftwerk entspricht dies mehr als 50 Kraftwerken. Nach 2020 wird mit einer Beschleunigung des Wachstums und einer installierten elektrischen Leistung von 850 Megawatt bis 2030 gerechnet.

Dieser Ausbau der Geothermie ist derzeit durch das Auftreten induzierter Mikroseismizität in der Nähe geothermischer Kraftwerke gefährdet. Nach einem induzierten Mikrobeben in Basel wurde das dortige Geothermieprojekt gestoppt. In Deutschland traten in der Nähe des Geothermiekraftwerks Landau Mikrobeben auf, die zu Beunruhigungen in der Bevölkerung führten. Auch in Soultz-sous-Forêts (Elsass) und in Unterhaching trat induzierte Mikroseismizität im Zusammenhang mit der Geothermie auf. Für die Akzeptanz der Energiegewinnung aus tiefer Geothermie ist es entscheidend, wissenschaftlich klar darzulegen, ob diese Seismizität auf Mikrobeben begrenzt bleibt oder

### Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	MAGS – Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme EP 6
<b>Fördernde Stelle:</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>Förderkennzeichen:</b>	0325191E
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.05.2010 bis 30.04.2013
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.05.2010 bis 30.04.2013
<b>Verantw. Projektleiter EP6:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. M. Z. Hou
<b>Projektkoordinator EP6:</b>	Dipl.-Geow. Tobias Kracke
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.mags-projekt.de/MAGS/DE/Home/MAGS_node.html">www.mags-projekt.de/MAGS/DE/Home/MAGS_node.html</a>
<b>Abschlussbericht:</b>	laufendes Verbundvorhaben



ob eine Gefahr für Menschen und Gebäude von den induzierten seismischen Ereignissen ausgehen könnte.

### Ziel/Vorgehen

Im Rahmen des vom BMU geförderten Verbundprojekts „Mikroseismische Aktivität Geothermischer Systeme“ (MAGS) sollen Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund entwickelt werden. Hierzu wird die Seismizität an Nutzungsstandorten der tiefen Geothermie in Deutschland zunächst möglichst genau gemessen und charakterisiert. In einem zweiten Schritt soll die seismische Gefährdung berechnet (siehe Bild oben: Modellkonzepte für Stimulations-(links) und Betriebsphase (rechts) unter Berücksichtigung THM bzw. THM:C-gekoppelter Prozesse) und mit der Gefährdung durch natürliche Erdbeben am selben Standort verglichen werden. Außerdem werden Strategien zur Vermeidung

spürbarer Seismizität bei hydraulischen Stimulationen und im Dauerbetrieb geothermischer Kraftwerke entwickelt. Schließlich soll das Verbundprojekt zu einem verbesserten Prozessverständnis zum Entstehen fluidinduzierter Mikrobeben beitragen.

- Entwicklung von Konzepten zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung tiefer geothermischer Systeme
- Verbessertes Verständnis der Prozesse, die zum Entstehen fluidinduzierter Mikrobeben führen
- Zusammenarbeit mit Betreibern und Genehmigungsbehörden für eine sichere Energiegewinnung aus tiefer Geothermie

### Projektpartner

#### Partner:

- Freie Universität Berlin
- Karlsruher Institut für Technologie
- Ludwig-Maximilian Universität München
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- TU Bergakademie Freiberg
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

#### Externe Partner:

- geo x GmbH
- Pfalzwerke geofuture GmbH
- Bernried Erwärme Kraftwerk GmbH
- GeoEnergie Kirchweidach GmbH
- Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG
- WISMUT GmbH

# Einsatz der Adjoint Methode im History Matching und Arbeitsabläufe zur Optimierung



Leonhard Ganzer



Ibrahim Ajala

Als „History Matching“ wird der Prozess bezeichnet, der Simulationsmodelle so adaptiert, dass diese Modelle Beobachtungen durch Simulationsergebnisse reproduzieren. Dafür werden Parameter im Simulationsmodell verändert (Porositäten, Permeabilitäten), um simulierte Ergebnisse so nahe wie möglich an die Beobachtungen zu bringen (siehe Foto: Geologisches Lagerstättenmodell). Dies ist eine „inverse“ Methode, weil Eingabeparameter während des Prozesses verändert werden.

Die traditionelle Vorgangsweise ist ein weitgehend manuelles Verändern von Parametern in einem räumlich definierten Bereich (Box), das durch trial-and-error bestimmt und von Erfahrung geleitet wird. Dadurch werden Simulationsläufe immer wieder mit veränderten Eingabeparametern durchgeführt, bis der Unterschied zwischen berechneten und beobachteten Werten (Mismatch) ein Minimum wird. Dieser Prozess kann durch Softwareanwendungen geleitet und optimiert werden.

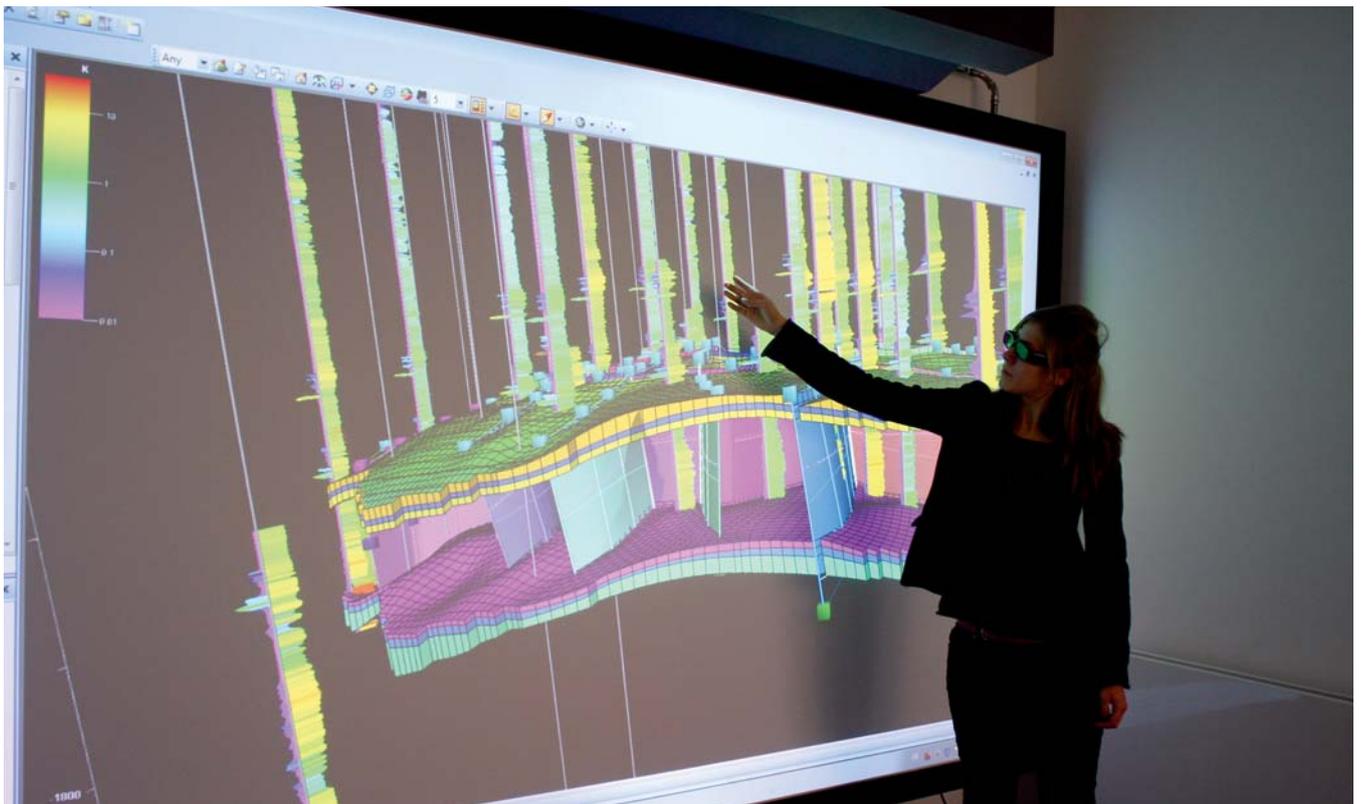
Ziel des Projektes ist es, einen leistungsfähigen Prototypen für computer-unterstütztes History Matching zu schaffen, der diesen komplexen Prozess mit Hilfe einer neuen Methode (Adjoint Methode) unterstützt und optimierte Arbeitsabläufe vorgibt.

## Vorgehen

Die Bedeutung der Lagerstättensimulation ist von der Möglichkeit abhängig, nachvollziehbare und belastbare Vorhersagen über das zukünftige Lagerstättenverhalten abzugeben. Diese Fähigkeit des Simulationsmodells ist auch davon abhängig, wie notwendige Parameteränderungen gemacht werden. Sollten bei den Änderungen geologische Randbedingungen nicht

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Einsatz der Adjoint Methode im History Matching und Arbeitsabläufe zur Optimierung
<b>Fördernde Stelle:</b>	DGMK
<b>Förderkennzeichen:</b>	742
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.08.2011 bis 31.07.2014
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.08.2011 bis 31.07.2014
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. L. Ganzer
<b>Projektkoordinator:</b>	M. Sc. I. O. Ajala
<b>Abschlussbericht:</b>	laufendes Vorhaben



eingehalten worden sein, stellt sich die Frage, wie realitätsnah ist das Simulationsmodell, obwohl es scheinbar in der Lage ist, vergangene Beobachtungen (History) zu reproduzieren.

Im Rahmen dieses Projektes wird die Adjoint Methode eingesetzt, um diese Parameteränderungen zu berechnen. Diese Methode wurde in Vorstudien getestet und hat sich als gute, allerdings mathematisch auch komplexe Methode herausgestellt, die mit relativ kleinen Parameteränderungen große Wirkung erzielen kann.

In diesem Projekt arbeiten Experten aus Universität und Industrie gemeinsam an der Entwicklung und Umsetzung des vorgeschlagenen Konzepts in ein bereits aus dem industriellen Umfeld bekanntes Softwaresystem. Erwartet werden neue und optimierte Arbeitsabläufe, die unter Einsatz dieser neuen Methode – Adjoint Methode – eine hohe Effizienz aufweisen.

Dabei sollen physikalische und geologische Randbedingungen berücksichtigt bleiben. Die Adjoint Methode bestimmt dabei den Einfluss der Modellparameter.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- DGMK, Hamburg

#### Externe Partner:

- SPT Group GmbH
- Firmsoft Technologies Inc.

#### Projektbegleitung:

- GDF SUEZ, Lingen
- RWE Dea AG, Hamburg
- Rohöl-Aufsuchungs AG, Wien

#### Projektsprecherin:

- RWE Dea Norge AS, Oslo
- DGMK-Fachbereich: Aufsuchung und Gewinnung

# Numerische Untersuchungen der Frac-Ausbreitung in Tight Gas Reservoirs mit dem FDM-Programm FLAC3D



Michael Z. Hou

In den vergangenen 20 Jahren hat die Felsmechanik eine zunehmende Bedeutung für die Erdöl- und Erdgasindustrie gewonnen. Insbesondere die Entwicklung komplexer Öl- und Gaslagerstätten – das heißt solche mit sehr geringer Permeabilität, hohen Primärspannungen/Porendrücken und hoher Temperatur sowie instabilen Speichergesteinsausbildungen – erfordern oft die gekoppelte Beschreibung von Fließprozessen und Gesteinsreaktionen, wie sie in herkömmlichen Lagerstätten simulatoren nicht a priori vorhanden sind. Davon betroffen sind die Kompaktionsprozesse in maturen Lagerstätten, die Freiförderung gefraceter Lagerstätten mit natürlichen Klüften oder mehrfach gefracete Lagerstätten mit sehr geringer Permeabilität, der Sandaustag in gering konsolidierten Sandsteinlagerstätten, die Integrität des Deckgebirges (hier: Salzgebirge, Tonschiefer, Tonstein), die unterirdische Erdöl- und Erdgasspeicherung in Salzkavernen, die Bohrlochstabilität schichtparalleler Bohrungen, das Einbetten der Frac-Proppants beziehungsweise Schädigung der Frac-Konduktivität und so weiter.

Zur Dimensionierung von hydraulisch erzeugten Fracs müssen die Frac-Geometrie sowie die zeitabhängige Frac-Ausbreitung realistisch vorausberechnet werden. Dafür werden bislang in der Praxis die bekannten analytischen Frac-Modelle wie zum Beispiel PKN und KGD Modell oder P3D Modelle eingesetzt. Alle analytischen Frac-Modelle sind auf bestimmten Annahmen beziehungsweise Vereinfachungen aufgebaut und betonen dabei den einen oder anderen Beeinflussungsfaktor.

## Projektpartner

### Projektkoordination:

- DGMK, Hamburg

### Projektbegleitung:

- EMPG, Hannover
- GDF SUEZ E&P Deutschland GmbH, Lingen
- RWE Dea AG, Hamburg
- Wintershall Holding AG, Barnstorf

### Projektsprecher:

- GDF SUEZ E&P Deutschland GmbH, Lingen
- DGMK-Fachbereich: Aufsuchung und Gewinnung

Die numerischen Simulationen finden in vergangenen Jahrzehnten mit der Entwicklung der Rechen- und Computertechnik zunehmend ihre Anwendungen bei Frac-Dimensionierungen. Hierfür sind Kontinuums-simulatoren wie Boundary Element Method (BEM), Finite Element Method (FEM) und Finite Difference Method (FDM) sowie Diskontinuums-simulatoren wie Distinct Element Method (DEM) und in letzter Zeit auch Particle Flow Method (PFM) im Einsatz. Eine grundlegende/systematische Untersuchung hinsichtlich der Vergleichbarkeit der numerischen Methoden/Simulatoren sowie hinsichtlich der Frac-Geometrie und Frac-Orientierung unter verschiedenen geologischen tektonischen Gegenbenheiten hat bislang gefehlt. Außerdem führen die verschiedenen analytischen aber auch numerischen Frac-Simulatoren oft zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Frac-Geometrie. Die Frac-Orientierung wird jedoch einheitlich von allen Simulatoren festgelegt: Senkrecht zur minimalen primären Spannung. Diese Aussage wurde auch in Laborversuchen bestätigt. Wenn aber natürliche Störungen beziehungsweise Klüfte im Nahbereich einer Bohrung existieren, müssten die Frac-Geometrie

und die Frac-Orientierung je nach Anordnungen und Eigenschaften der natürlichen Störungen beziehungsweise Klüfte unterschiedlich beeinflusst werden. Die jüngsten Laborversuchsergebnisse haben dies bestätigt, Casas et al. (2006).

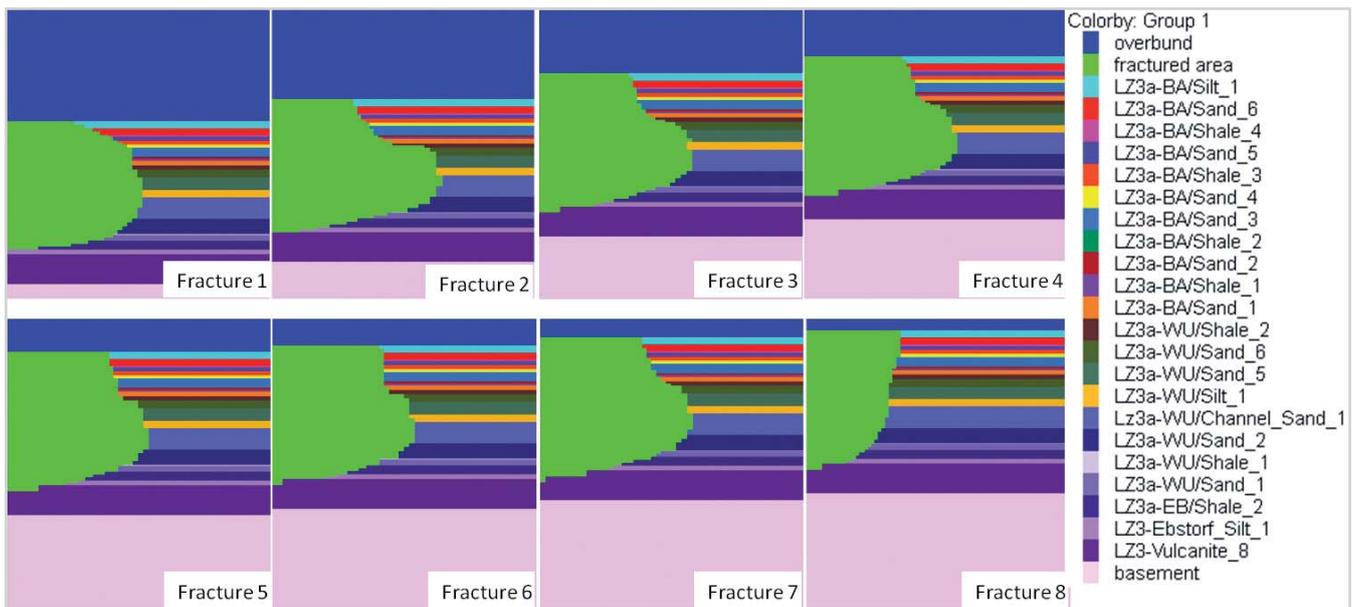
Wie schon angedeutet, bestehen hier hauptsächlich zwei Probleme:

1. Vergleichbarkeit der Frac-Verlaufsprognosen (sowohl analytische Modelle als auch numerische Simulatoren führen zu unterschiedlichen Ergebnissen) und
2. die Einflüsse der natürlichen Störungen beziehungsweise Klüfte auf die Frac-Geometrie und die Frac-Orientierung (bislang nicht von bekannten Frac-Modellen berücksichtigt).

Zur Lösung dieser Fragestellungen sollen unterschiedliche Stoffmodelle für die Spannungs-/Deformationsbeziehung (zum Beispiel poro-plastisch, Mohr-Columb und Druck-Prager, ungekoppelt und gekoppelt) sowie das FDM-Programm FLAC3D verwendet werden.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Numerische Untersuchungen der Frac-Ausbreitung in Tight Gas Reservoirs mit dem FDM-Programm FLAC3D Phase II: Untersuchung und Optimierung der Multi-Fracs
<b>Fördernde Stelle:</b>	DGMK
<b>Förderkennzeichen:</b>	680-2
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.09.2009 bis 31.08.2011
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.09.2009 bis 31.08.2011
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. M. Z. Hou
<b>Projektkoordinator:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. M. Z. Hou
<b>E-Mail:</b>	hou@tu-clausthal.de
<b>Abschlussbericht:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. M. Z. Hou, Institut für Erdöl- und Erdgastechnik, TUC M. Sc. Lei Zhou, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen DGMK 680-2 Laufendes Projekt Phase 3



▲ Bild 2

Geeignete, repräsentative Messdaten (Modellansatz und hydromechanische Kopplungsparameter) für Tight Gas Formations sind nicht vollständig vorhanden. Sie sind aber für die Anwendung unerlässlich und sollen durch eigene Laborversuche ermittelt werden. Da die geplanten Untersuchungen zeit- und kostenaufwendig sind, wird das gesamte Projekt in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase werden generische Simulationen mit dem FDM-Programm FLAC3D durchgeführt, um zu testen, ob dieser numerische Simulator den Anforderungen der realitätsnahen Frac-Verlaufssimulation entsprechen würde beziehungsweise in der Lage wäre, die üblichen Frac-Dimensionierungen mit den bekannten analytischen Frac-Modellen zu optimieren. Die für die Modellierung erforderlichen Algorithmen und Daten sollen in der ersten Phase durch Datenrecherchen in der veröffentlichten Literatur, öffentlich zugänglichen Forschungsberichten und im Fundus der begleitenden Firmen gewonnen werden. Erst nach einem positiven Verlauf der ersten Phase wird eine Fortsetzung des Projektes beantragt. In der zweiten Phase werden eigene Laborversuche mit den zu untersuchenden Tight Gas Formations sowie die realitätsnahen Simulationen mit den geologischen tekto-

nischen Gegebenheiten und den im Labor ermittelten Messdaten durchgeführt.

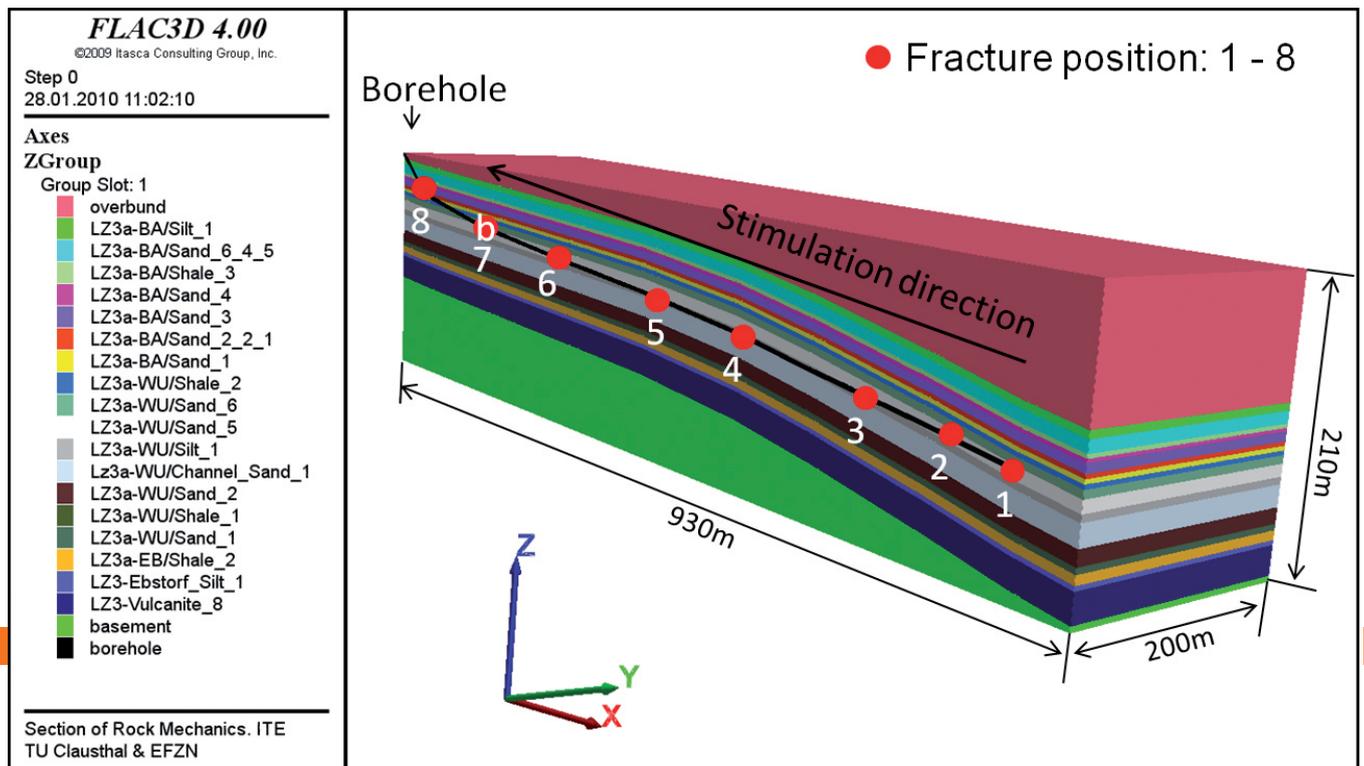
### Ergebnis

In diesem DGMK-Projekt wurde für die Simulation der Frac-Ausbreitung eines realen Geomodells das FDM-Programm Flac3D eingesetzt. Die Ergebnisse in Bezug auf Frac-Ausbreitung wurden mit denen vom analytischen P3D Simulator FracPro verglichen. Es kann festgestellt werden, dass Flac3D auf Basis der Kontinuumsmechanik für die Simulation von Feldanwendungen mit in-situ Maßstab ungeeignet ist. In den weiteren Untersuchungen wurde ein selbst entwickelter Algorithmus auf der Basis der Diskontinuumsmechanik implementiert und die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit denen von FracPro. Als Vorteil dieses neuen Verfahrens ist die Frac-Ausbreitung mit flexibler und unregelmäßiger Frac-Front zu nennen, die den Spannungszustand und die Schichtung des Modells widerspiegelt. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Frac-Geometrie in starkem Maße von der Viskosität des Frac-Fluids abhängt, während die Injektionsrate und die Zugfestigkeit einen wesentlich geringeren Einfluss haben.

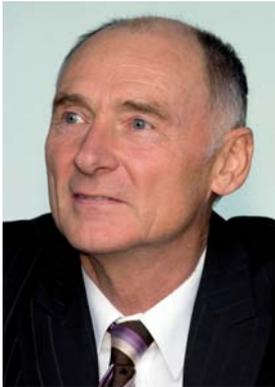
Bild 1 ►

Für weitere Untersuchungen, insbesondere für das geplante Multifrac-Projekt U-MR Z2, kann diese Arbeit als Grundlage dienen. Flac3D auf Basis der Diskontinuumsmechanik bietet den Vorteil, alle Fracs in einem einzigen gesamten Modell integrieren zu können und ermöglicht somit realitätsnahe Simulationen der Frac-Ausbreitung von Multifracs.

In der zweiten Phase des Projektes 680 war zu prüfen, welche Möglichkeiten das FDM-Programm FLAC3D zur Modellierung einer mehrfach gefracnten Horizontalbohrung bietet (Bild 1: Stratigraphische Modellierung und Stimulation). Die Untersuchungen wurden am Beispiel der Bohrung Leer Z6 durchgeführt, die in 2009 einer hydraulischen Frac-Stimulation mit insgesamt 8 transversalen Fracs unterzogen wurde. Die mit FLAC3D berechneten Frac-Geometrien (Bild 2: Frac-Ausbreitung) sind mit den Ergebnissen des semi-analytischen Simulators FracPro vergleichbar. Im Gegensatz zu FracPro kann FLAC3D die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Fracs berücksichtigen, ohne die Frac-Geometrie, -Orientierung und -Typ vorab festzulegen. In Tight Gas Reservoiren sind zur Produktionsmaximierung nach Möglichkeit transversale gegenüber longitudinalen Multi-Fracs mit einem optimalen Abstand von zum Beispiel 57 Meter (in Leer Z6) vorzuziehen. Im Fall eines longitudinalen Multi-Frac-Systems wird empfohlen, dass die Bohrriichtung nicht genau in der Richtung von  $\sigma_H$  liegt.



# Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke – Pumpspeicher unter Tage



Hans-Peter Beck



Marko Schmidt

Zur Netzintegration von Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energieträger – in Deutschland insbesondere auch die Windkraft – werden verschiedene Technologien diskutiert. Dabei werden Erzeugungsmanagement, zusätzliche Speicher, ein europaweiter Netzausbau und Lastmanagement diskutiert. Während das Erzeugungsmanagement klimapolitisch (noch) als umstritten gilt, werden den Optionen zusätzliche Speicher in Verbindung mit einem europaweiten Netzausbau die meisten Potenziale eingeräumt. Obwohl hydrodynamische Pumpspeicherwerke derzeit die einzige großtechnisch verfügbare Speichertechnologie am Markt darstellen, ist die Zahl der entwickelbaren übertägigen Standorte für derartige Anlagen stark limitiert. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde daher die Idee näher untersucht, Pumpspeicherwerke unter Nutzung vorhandener stillgelegter Bergwerke untertägig zu errichten. Dabei versprechen vor allem die hohe zu erwartende Akzeptanz an den jeweiligen Standorten und die durch die Teufendifferenz bestimmte, von der Morphologie des Standortes weitgehend unabhängige relativ große Fallhöhe Vorteile gegenüber konventionellen Pumpspeicherwerken, um so einen Beitrag zur Deckung des Speicherbedarfs in Deutschland zu leisten.

Im Rahmen des Forschungsprojekts war die Option der Nachnutzung von stillgelegten Bergwerken durch untertägige hydraulische Pumpspeicherwerke als dezentrale Speicher für die durch Windenergie erzeugte elektrische Energie zu bewerten und das deutschlandweit auf diese Weise erschließbare Speicherpotenzial zu ermitteln. Dabei wurden ingenieur- und umwelttechnische, wirtschaftswissenschaftliche und rechtliche Fragestellungen mit dem Ziel bearbeitet, die Chancen und Risiken der Technologie Pumpspeicherwerke unter Tage durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke zu verifizieren. Die Bergbau-Regionen Deutschlands wurden hinsichtlich ihrer Eignung klassifiziert, das sich daraus ergebende Potenzial in den besonders geeigneten Gebieten geschätzt und für zwei konkrete Standorte im Harz sowie im Erzgebirge detailliert.

Unter Berücksichtigung der geotechnischen, bergmännischen und markscheiderischen Verhältnisse

sowie den Möglichkeiten der Integration in das elektrische Energieversorgungssystem wurden drei Regionen in Deutschland identifiziert, in denen die Suche nach geeigneten Schächten zur Nachnutzung als Pumpspeicherwerk unter Tage erfolgversprechend erscheint: das Erzgebirge, das Siegerland und Lahn-Dill-Gebiet sowie der Harz. In diesen Regionen wurde die erste Schätzung durch Recherche nach einzelnen Schächten beziehungsweise Schachtsystemen konkretisiert.

Die beiden exemplarisch ausgewählten Standorte Wiemannsbucht und Pöhla wurden genutzt, um die allgemeinen Erkenntnisse aus den Bergbauregionen zu vertiefen und im konkreten Fall anzuwenden. Dafür wurden die jeweiligen geotechnischen, bergmännischen, markscheiderischen sowie die maschinen- und elektrotechnischen Fragestellungen untersucht. Einen großen Raum nahm die Betrachtung der (genehmigungs-)rechtlichen Situation und der Grundfragen zur Umweltverträglichkeit eines solchen Vorhabens ein. Im Rahmen der wirtschaftswissenschaftlichen Betrachtung wurde insbesondere eine Kostenbetrachtung durchgeführt. Offen bleiben musste die abschließende Bewer-

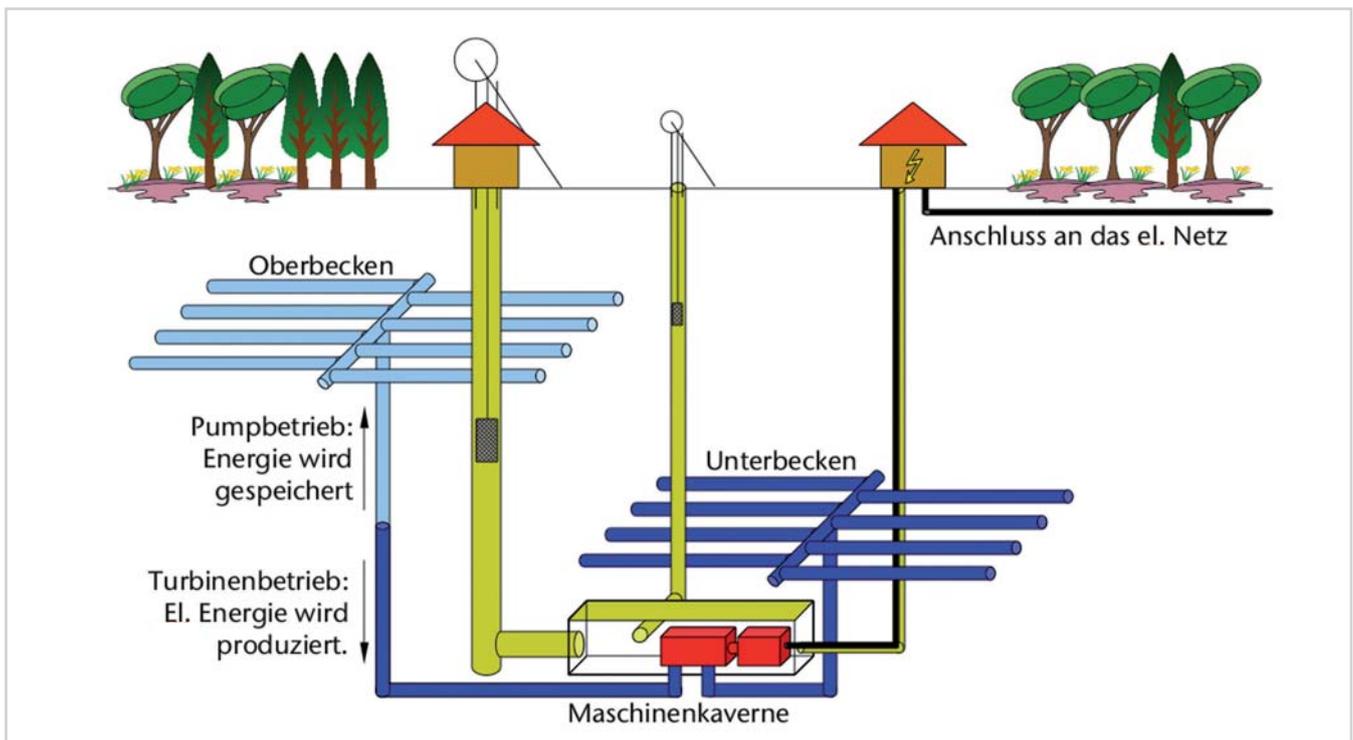
tung und Auswahl von erfolgversprechenden Businessmodellen für untertägige Pumpspeicherwerke.

Die erreichten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammen fassen:

- Es erscheint technisch möglich und realistisch, untertägige Bergwerke für die Errichtung von Pumpspeicherwerken nachnutzen zu können.
- Unter den in der Studie näher beschriebenen Annahmen und auf Basis bergmännischer Erfahrungen wurden sechs Bergwerksregionen in Deutschland identifiziert, die gut oder bedingt geeignet für die Suche nach Standorte für die Errichtung untertägiger Pumpspeicherwerke erscheinen.
- Da die ehemaligen Bergwerke nicht für diesen Zweck errichtet wurden, ist es notwendig, sie durch Auf-fahrungen und Erweiterungen für die neue Aufgabe zu ertüchtigen. Dabei erfordert jedes Bergwerk aufgrund der spezifischen Verhältnisse eine gesonderte Betrachtung.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke
<b>Fördernde Stelle:</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>Förderkennzeichen:</b>	0325074
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2009 bis 31.12.2010
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2009 bis 31.12.2010
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.pumpspeicher-unter-tage.de">www.pumpspeicher-unter-tage.de</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:koordinator@pumpspeicher-unter-tage.de">koordinator@pumpspeicher-unter-tage.de</a>
<b>Abschlussbericht:</b>	H.-P. Beck, M. Schmidt (Hrsg.): Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, urn:nbn:de:gbv:104-2011EB11300



- Nach einer ersten Schätzung wird erwartet, dass deutschlandweit 100 Standorte alter Bergwerke zu finden sind, in denen Pumpspeicherwerke mit einer Mindestleistung von 100 MWel bei 4h Vollast (respektive 400 MWhel minimale Speichergröße) errichtet werden können.
- Nach aktuellem Stand der Untersuchungen erscheint derzeit die Erteilung einer Genehmigung für den Bau und Betrieb eines unterirdischen Pumpspeicherwerks möglich. Der bestehende Rechtsrahmen ist nur sehr bedingt auf diese neue Technologie ausgerichtet. Insbesondere eine Anwendung des Bergrechts im Genehmigungsverfahren erscheint (derzeit) problematisch.
- Für die Planung und Errichtung eines derartigen untertägigen Speicherkraftwerks müssen auf ingenieurwissenschaftlicher Seite geotechnische, bergmännische und markscheiderische Probleme gelöst sowie die notwendigen maschinen- und elektro-  
  - technischen Voraussetzungen geschaffen werden. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse sind die Fragen zur Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung zu beantworten sowie insbesondere als Voraussetzung für staatliche Förderungen die ökonomische Vorteilhaftigkeit darzustellen. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sind insbesondere umweltrechtliche Fragestellungen zu beachten.
  - Das für die Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherwerks entwickelte Konzept ist grundsätzlich für die verschiedenen durch Schächte erschlossenen Bergwerke anwendbar. Dennoch ist eine genaue Anpassung an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse durch eine Einzelfalluntersuchung notwendig.
  - Die Errichtung einer Pilotanlage am Wiemannsbuchtschacht im Harz ist aus markscheiderischer, geomechanischer, bergmännischer, maschinen- und energiesystemtechnischer sowie aus rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht bei sorgfältiger Beachtung

der Umweltfolgen und Akzeptanz grundsätzlich möglich. In weiteren Schritten sollte eine Pilotanlage detailliert geplant und im Hinblick auf einen Business Case bewertet werden.

- Im Ergebnis der Untersuchungen erscheint auch im Bereich des Erzbergwerks Pöhla eine Nachnutzung grundsätzlich möglich, die aber mit im Vergleich zum Standort Grund mit signifikant höheren Restriktionen und einem entsprechend höheren Aufwand hinsichtlich der Realisierung verbunden wäre.



### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- Institut für Aufbereitung Deponietechnik und Geomechanik, TU Clausthal
- Institut für Bergbau, TU Clausthal
- Institut für Geotechnik und Markscheidewesen, TU Clausthal
- Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal
- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht, TU Clausthal
- Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Externe Partner:

- OECOS GmbH
- Deilmann-Haniel Shaft Sinking GmbH
- Harz Energie GmbH & Co KG
- Voith AG (Voith Siemens Hydro Power Generation)
- Bergarchiv Clausthal

#### Quellen:

Beck, H.-P.; Schmidt, M. (Hrsg.): *Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke – Abschlussbericht*. Universitätsbibliothek. Clausthal-Zellerfeld, 2011.

Beck, H.-P.; Schmidt, M. (Hrsg.): *Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke - Kurzbericht. Band 7, Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen*

# Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen



Von links: Lutz Hofmann, Christian Rathke, Wolfgang Dietze, Karsten Runge, Diana Schneider, Hartmut Weyer, Hans-Peter Beck, Thomas Mann

Aufgrund der wachsenden Einspeisung von Strom aus der Windenergienutzung und anderen erneuerbaren Energien sowie neuer fossiler Kraftwerke an der Küste, aber auch aufgrund des steigenden Stromhandelsvolumens, müssen die deutschen Stromnetze und insbesondere das deutsche Höchstspannungsnetz (220- und 380-kV-Ebene) an die Veränderung der Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen angepasst und ausgebaut werden.

Die Studien „dena I“ und „dena II“ sehen bis 2015 beziehungsweise bis 2020 einen erheblichen notwendigen Ausbaubedarf des deutschen Höchstspannungsnetzes, der bis 2015 850 Kilometer und bis 2020 je nach Übertragungstechnologie zusätzliche 1700 und 3600 Kilometer beträgt. Relevant für den realen Ausbau der Höchstspannungsnetze ist allerdings der Netzentwicklungsplan, den die Übertragungsnetzbetreiber bis Juni 2012 bei der Bundesnetzagentur einreichen müssen. Die Übertragungsnetzbetreiber planen den Netzausbau größtenteils in Form von neuen 380-kV-Drehstrom-Freileitungen. Diese Planungen stoßen auf zum Teil massive Widerstände bei den betroffenen Bürgern und Kommunen sowie Umwelt- und Naturschutzverbänden, die für den Netzausbau vor allem erdverlegte Kabel in Drehstrom- oder Gleichstromtechnik, teilweise aber auch HGÜ-Freileitungen fordern. Die derzeitigen Realisierungszeiträume von teilweise mehr als zehn Jahren für Freileitungsprojekte sind vor dem Hintergrund der beschleunigten Energiewende deutlich zu lang.

Ziel der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Auftrag gegebenen Studie war es, die technischen Möglichkeiten eines Ausbaus der Höchstspannungsnetze auf Basis der

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.10.2009 bis 31.12.2011
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.10.2009 bis 31.12.2011
<b>Auftraggeber:</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Ass. jur. Wolfgang Dietze
<b>E-Mail:</b>	Wolfgang.Dietze@efzn.de
<b>Abschlussbericht:</b>	Hans-Peter Beck, Lutz Hofmann, Karsten Runge, Hartmut Weyer, Thomas Mann, Wolfgang Dietze: „BMU-Studie ‚Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Leitungen‘“ urn:nbn:de:gbv:104-2012EB1370

380-kV-Drehstromübertragung (HDÜ) und der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) vor allem aus Umweltsicht zu beleuchten und zu bewerten. Von besonderer Bedeutung waren dabei die Möglichkeiten der Erdverkabelung im Vergleich zur Freileitungstechnik. Um einen Beitrag zur Versachlichung der Diskussion über die Umweltwirkungen des Netzausbaus in Deutschland zu leisten und nachvollziehbare Bewertungsgrundlagen für die zu wählenden Leitungstechnologien bereitzustellen, war neben der Betrachtung aus Umweltsicht auch eine intensive Auseinandersetzung mit den technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Voraussetzungen sowie deren gegenseitigen Abhängigkeiten und Möglichkeiten von der Studie umfasst.

Für die Bearbeitung der Studie war ein transdisziplinäres Projektkonsortium unter Koordination des EFZN (Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck; Ass. jur. Wolfgang Dietze) tätig; es erfolgte eine Betrachtung aus umweltplanerischer, technisch-wirtschaftlicher und rechtlicher Sicht. Die Erstellung der Studie wurde von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe aus Vertretern von Bundesumweltministerium, Bundesnetzagentur, Umweltbundesamt, Bundesamt für Naturschutz, Länderbehörden, Netzbetreibern und Herstellern unterstützt, um ein auch von Fachleuten aus der Praxis getragenes Ergebnis zu erzielen.

Der im März 2012 veröffentlichte Abschlussbericht der Studie umfasst vier Bände. Im ersten Band werden die wesentlichen Ergebnisse und Empfehlungen zusammengefasst. Dem Schwerpunkt der Studie entsprechend gliedern sich die weiteren Teilbände nach den Themenfeldern „Umwelt“ (Band 2), „Technik und Ökonomie“ (Band 3) sowie „Recht“ (Band 4). Die Teilberichte sind inhaltlich soweit wie möglich miteinander verbunden.

Die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen:

### 1. Arbeitsgruppe Umwelt

- Anhand des Schutzgüterkataloges des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG) werden die

Umweltauswirkungen von Freileitungen und Erdkabeln untersucht und beschrieben. Zusammengefasst in einer tabellarischen Übersicht können diese als eine grobe Orientierung für die ersten Planungsschritte herangezogen werden.

- Insgesamt ergibt sich dabei ein differenzierendes Bild hinsichtlich der Vor- und Nachteile von Freileitungen beziehungsweise Erdkabeln aus ökologischer Sicht. So legen beispielsweise dichte Siedlungsabstände und eine hohe Betroffenheit des Landschafts- und Ortsbildes vielfach eine Verwendung von Erdkabeln nahe, bei einem Vorliegen von schützenswerten Böden oder Gewässern kann dagegen eine Überspannung mit Freileitungen ratsam sein.
- Eine tragfähige Empfehlung ist im Einzelfall nur durch die Vornahme ökologischer Vor-Ort-Untersuchungen möglich.

### 2. Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie

- Alle durch die Arbeitsgruppe untersuchten Drehstrom- und Gleichstrom-Übertragungssysteme stellen bewährte Technologien dar und sind grundsätzlich im Höchstspannungsnetz einsetzbar. Unterschiede bestehen allerdings in Bezug auf ihre technische, betriebliche und wirtschaftliche Bewertung. Diese sind bei Übertragungsleitungen in der HöS-Ebene immer abhängig vom konkreten Projekt, den betrieblichen Anforderungen und seinen speziellen Randbedingungen.
- Die Drehstrom-Freileitung ist in der Höchstspannungsebene das meistverbreitete Übertragungssystem, umfassende Betriebs- und Langzeiterfahrungen liegen hier vor. Drehstrom-VPE-Kabel sowie selbstgeführte VSC-HGÜ mit VPE-Kabeln stellen eine vergleichsweise neue Technik dar; Betriebs- und Langzeiterfahrungen fehlen hier weitgehend.
- Aus technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Sicht ergeben sich in der HöS-Ebene Vorteile der Freileitung gegenüber dem Kabel aufgrund höherer Verfügbarkeit, Übertragungsleistung und Nutzungsdauer. Zudem ist die nicht alternde, nach Durchschlägen selbstheilende Luftisolierung, Flexibilität sowie die höhere Überlastbarkeit von Freileitungen zu betonen. Schließlich ist die Legung von

Drehstrom-Kabelsystemen aufgrund der umfangreichen Tiefbauarbeiten erheblich teurer als die Errichtung von Freileitungen.

- Die HGÜ-Technik besitzt Vorteile bei der Übertragung elektrischer Energie über sehr große Entfernungen. Sie kann diese aber im stark vermaschten deutschen und europäischen Übertragungsnetz in der Regel nicht ausspielen, so dass ein Einsatz dieser Technologie aufgrund anderer nachteiliger Betriebseigenschaften nach heutigem Stand der Technik gegenüber der HDÜ mit Freileitungen und bei kürzeren Strecken auch gegenüber der HDÜ mit Kabeln nachteilig erscheint. Ein Einsatz der HGÜ-Technik sollte dort erfolgen, wo dessen technische Vorteile gegenüber der Drehstromtechnik zur Geltung kommen, beispielsweise bei der Kupplung asynchroner Netze sowie der Energieübertragung über sehr große Entfernungen wie zum Beispiel als Seekabelverbindung.

### 3. Arbeitsgruppe Recht

- Der derzeitige Rechtsrahmen setzt einer Erdverkabelung auf der Höchstspannungsebene sowohl in Drehstrom- als auch in Gleichstromtechnik enge Grenzen. Diese Grundentscheidung wurde im Rahmen des Energiepaketes 2011 trotz der deutlichen Ausweitung der Erdverkabelungsvorgaben für die 110-kV-Ebene für die Höchstspannungsebene beibehalten. Allerdings erscheint die Zulässigkeit außerhalb der geregelten Anwendungsfälle (Seekabel-Fortführungen sowie Teilverkabelungs-Pilotvorhaben des EnLAG und nach § 12e Abs. 3 EnWG) gesetzlich nicht als ausgeschlossen.
- Die Anerkennung der Mehrkosten in der Anreizregulierung ist bewusst restriktiv ausgestaltet und bedarf außerhalb der genannten Fälle besonderer Begründung, weswegen eine Erdverkabelung außerhalb der angesprochenen Konstellationen weitgehend ausgeschlossen sein dürfte, solange nicht ein Dritter aufgrund besonderer Umstände die Kosten übernimmt.
- Die durch das Energiepaket neu eingeführte Vorschaltung einer hoheitlichen Bedarfsplanung mit weitreichender Öffentlichkeitsbeteiligung vor die Festlegung von Trassenkorridoren beziehungsweise

die Zulassung konkreter Leitungsbauprojekte wird als akzeptanzsteigernde Maßnahme und damit als Verbesserung des Rechtsrahmens begrüßt. Zudem wird der Grundsatz der Nutzung bestehender Stromtrassen sowie die Bündelung von Stromtrassen im Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) durch die Einführung eines vereinfachten Verfahrens für diese Fälle zu Recht unterstützt.

- Zu weiteren Akzeptanzsteigerungen von Höchstspannungsleitungen können die durch das Energiepaket 2011 nun ausdrücklich zugelassenen Ausgleichsleistungen für die vom Leitungsbau betroffenen Kommunen beitragen.
- Die Festlegung der Trassenkorridore ist unter anderem aufgrund der Probleme bei länderübergreifenden Vorhaben nunmehr der Bundesfachplanung durch die Bundesnetzagentur vorbehalten. Diese Entscheidung birgt sowohl Vorteile (Behebung von Koordinationsproblemen) als auch Nachteile (Akzeptanzprobleme aufgrund des größeren Abstands zu den betroffenen Regionen, mangelnde Wahrnehmung der Bundesnetzagentur als neutrale Instanz).
- Soweit die Auswahlentscheidung zwischen Frei- und Erdleitung nicht bereits auf der Ebene der Bedarfsermittlung getroffen wird, sollte die raumordnerische/bundesfachplanerische Beurteilung auf den für eine Erdverkabelung in Betracht kommenden Abschnitten zu beiden Möglichkeiten Stellung nehmen. Eine abschließende Auswahlentscheidung (insbesondere die Vorgabe der Erdverkabelung im Rahmen der Raumordnung) erscheint dabei problematisch; vielmehr sollte diese Frage auf der Genehmigungsebene entschieden werden.
- Eine Verfahrensdauer bei Netzausbauvorhaben auf Höchstspannungsebene von 10 Jahren und länger ist bislang nicht ausgeschlossen. Die Änderungen des Energiepakets 2011 können hierbei zu einer Beschleunigung beitragen.

### 4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass eine pauschale Bewertung und Bevorzugung einer Übertragungstechnik für den erforderlichen Netzausbau in Deutschland nicht möglich ist. Vielmehr hat jede der

untersuchten Übertragungstechniken aus ökologischen, technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Gesichtspunkten Vor- und Nachteile. Diese sind insbesondere von den Rahmenbedingungen des jeweiligen Vorhabens abhängig und somit auch individuell im Einzelfall gegeneinander abzuwägen. Um die mit dem Netzausbau befassten Akteure bei ihren jeweiligen Einzelfallbewertungen bestmöglich zu unterstützen, wurden die in den einzelnen Teilberichten ausführlich dargelegten Ergebnisse als Kriterienkataloge beziehungsweise Empfehlungslisten zusammengestellt. Insbesondere mit diesen Instrumenten will die Studie bei der Abwägung zwischen Freileitung und Erdkabel – in ihren jeweiligen technischen Ausführungen – eine praxisnahe Entscheidungshilfe bieten und damit ihren Beitrag zum erforderlichen Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes leisten.



▲ Höchstspannungs-Erdkabel im Querschnitt

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Universität Hannover
- Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht, TU Clausthal
- Lehrstuhl für Öffentliches Recht, insbesondere Verwaltungsrecht, Universität Göttingen
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Externe Partner:

- OECOS GmbH

# Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher (ISACOAST-CC)



Reinhard Leithner



Lasse Nielsen

Die grundsätzliche Motivation für die großtechnische Speicherung elektrischer Energie ist die Einspeicherung von Überschuss-Energie, erzeugt zum Beispiel durch Wind- und Solarenergieanlagen, sowie die Ausspeicherung wenn der Wind nicht weht oder die Sonne nicht scheint und als Spitzenlast-Energie („Energie-Veredelung“) zu Zeiten hoher Nachfrage. Weitere Einsatzmöglichkeiten bestehen beispielsweise in der Sekundärregelung (Leistungs-Frequenz-Stabilisierung) und in der Bereitstellung von schnell einsetzbarer Reserveleistung zur Erhöhung der Betriebssicherheit des Stromverbunds. Der Speicherwirkungsgrad (ausgespeicherte/eingespeicherte Energie) ist hierbei insbesondere bei kurzfristiger Speicherung, das heißt vielen Speichervorgängen pro Jahr, von entscheidender Bedeutung und derzeit bei Pumpspeicherwerken mit circa 80 Prozent am höchsten. Diese sind jedoch auf geodätische Höhenunterschiede sowie große Speichervolumina angewiesen und können dementsprechend nur im Mittelgebirge und im Süden Deutschlands beziehungsweise in den Alpen errichtet werden. Da für die Errichtung solcher Anlagen starke Eingriffe in die Natur von Nöten sind, schwindet die Akzeptanz auch gegenüber Pumpspeichern, was den Bau neuer Anlagen erschwert. Druckluft- und Wärmespeicher stellen daher insbesondere in Norddeutschland eine Alternative dar, wo große Kavernen in den zahlreichen untertägigen Salzstöcken bzw. Salzschichten preiswert ausgesolt werden können und die Landschaft nicht stören. Ausgeführte Salzkavernen (überwiegend Erdgasspeicher) verfügen über ein Volumen von 300.000 bis 700.000 Kubikmeter und liegen in Teufen von 600 bis 1.800 Meter [1]. Deutschland verfügt über 19 Milliarden Kubikmeter Erdgasspeicher.

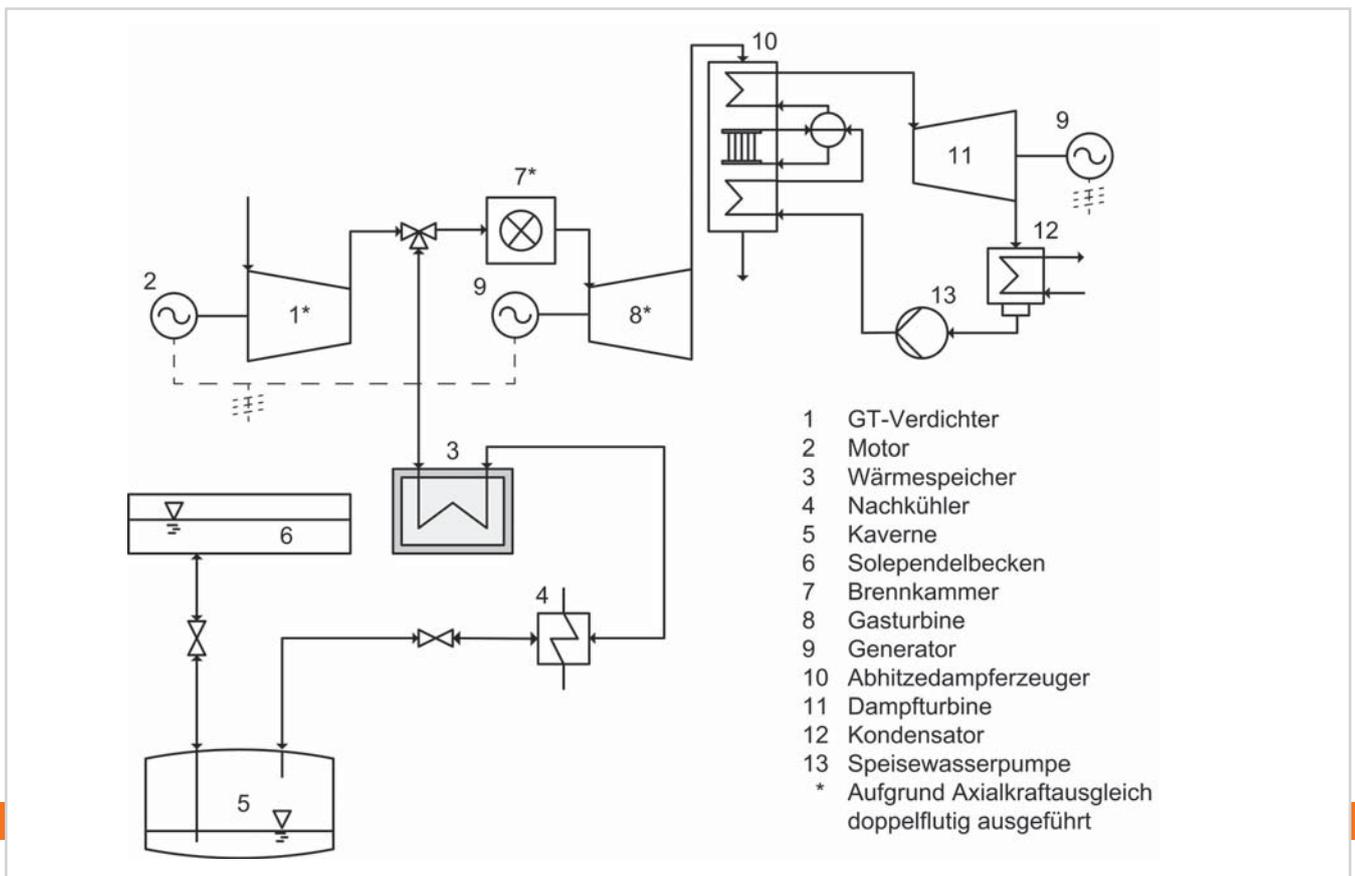
## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher (ISACOAST-CC)
<b>Fördernde Stelle:</b>	E.ON International Research Initiative
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.11.2008 bis 31.05.2012
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.11.2008 bis 31.05.2012
<b>Zuwendungsempfänger:</b>	Technische Universität Braunschweig Ruhr-Universität Bochum
<b>Ausführende Stelle:</b>	Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU-Braunschweig, Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie der Ruhr-Universität Bochum
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. techn. Reinhard Leithner, Prof. Dr.-Ing. Martin Mönningmann
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Lasse Nielsen
<b>E-Mail:</b>	iwbt@tu-bs.de
<b>Abschlussbericht:</b>	Warten auf Freigabe

Weltweit gibt es bisher zwei CAES (Compressed Air Energy Storage)-Kraftwerke, das der E.ON AG in Huntorf sowie eine Anlage in McIntosh (Alabama USA), welche im Vergleich zu bestehenden Pumpspeicherkraftwerken jedoch wesentlich schlechtere Speicherwirkungsgrade aufweisen. Dies lässt sich u.a. dadurch erklären, dass die bei der Luftverdichtung entstehende Kompressionswärme bisher nicht mittels Wärmespeicher zwischengespeichert und die Luft bei einem wesentlich höheren Druck (zum Beispiel 70 bar) gespeichert wird als die Gasturbine verarbeiten kann (zum Beispiel 40 bar). Dies bedeutet aber, dass eine unnötig hohe Kompressionsleistung erforderlich ist, welche teilweise in einem Drosselventil ungenutzt abgebaut wird. Um diese Nachteile zu vermeiden, wurde am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen und am Institut für Wärme- und Brennstofftechnik (IWBT) der Technischen Universität Braunschweig und dem Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie der Ruhr-Universität Bochum ein Konzept für ein isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher (ISACOAST-CC) entwickelt, welches im Folgenden vorgestellt wird [2],[3].

Die Grundlagen für die Auslegung der benötigten Speichergröße bei einer Stromversorgung nur mit regenerativen Energien sind unter anderem in [4] zu finden. Bei einer Stromversorgung rein aus erneuerbaren Energien wird unter den angegebenen Randbedingungen ein minimaler Speicherbedarf von circa 2,5 Tagen mittlerer Leistung für Deutschland benötigt. Der durchschnittliche Energiebedarf Deutschlands beträgt in etwa 1.644 GWhel täglich (68,5 GW durchschnittlicher Leistungsbedarf). Vorhanden sind derzeit Stromspeicher mit einer Kapazität von 40 GWhel was circa ½ h der mittleren Leistung entspricht [5].

Da Kompressor und Gasturbine zeitversetzt betrieben werden, wurden zwei Kompressoren einer GT 26 von Alstom mit einem Motor und zwei GT 26 Gasturbinen mit einem Generator auf jeweils einer Welle angeordnet, um einen Ausgleich der Axialkräfte zu erhalten. Generator, Motor und elektrisches Netz sind elektrisch verkoppelt. Auch eine Einwellen-Anordnung, bei der der Generator auch als Motor verwendet wird, ist mit entsprechenden Kupplungen zur mechanischen Verkopplung denkbar.



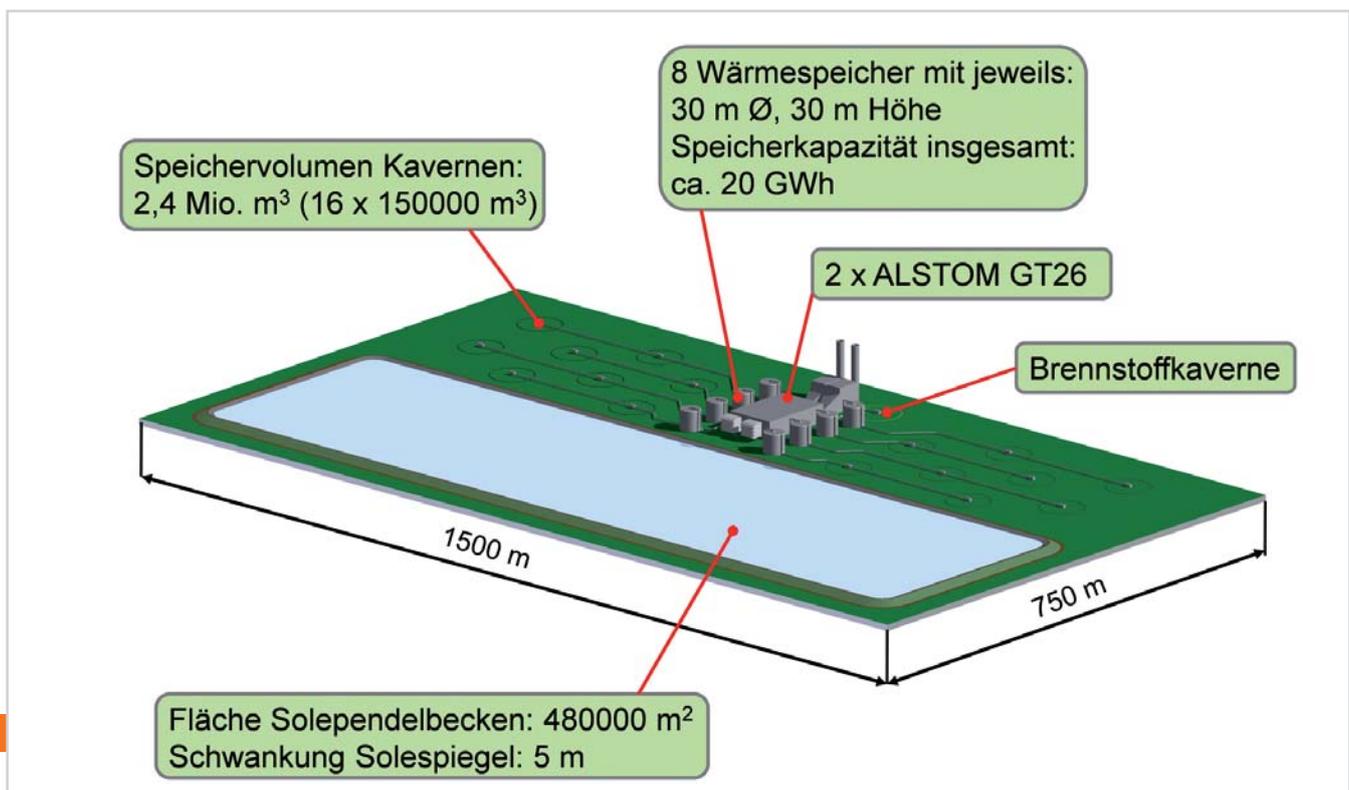
▲ Abbildung 1: ISACOAST-CC Prinzipskizze [7]

Im Einspeicherbetrieb wird der Motor (circa 825 MWel), welcher die Kompressoren antreibt, aus dem Netz gespeist. Da die Druckluft nur mit 50 Grad Celsius in die Kavernen geleitet werden darf, damit das Salz nicht zu fließen beginnt, wird die heiße Druckluft über Wärmespeicher geführt, in denen die Kompressionswärme zwischengespeichert wird. Anschließend wird sie in die Kavernen gedrückt und verdrängt die Sole in das oberirdische Solependelbecken. Abbildungen 1 und 2. Im Ausspeicherbetrieb fließt die Sole wieder in die Kaverne zurück und verdrängt die Druckluft. Diese wird im Wärmespeicher nahezu auf Kompressoraustrittstemperatur aufgeheizt, in der Gasturbinenkammer auf Turbineneintrittstemperatur erhitzt und anschließend entspannt. Die noch heißen Abgase der Gasturbinen werden in einem Abhitzedampferzeuger verwendet, um Dampf für eine Dampfturbine zu erzeugen. Im Ausspeicherbetrieb liefert die Anlage circa 1.620 MWel. Bei einer Auslegung der Kaverne und der Wärmespeicher für 24 Stunden können 38,5 GWhel im Ausspeicherbetrieb abgegeben werden. Dafür muss ein Solependelbecken mit einer Fläche von circa 1,5 Kilometer auf circa 350 Meter vorgesehen werden, wenn der Solespiegel nicht mehr als circa 5 Meter schwanken soll. Das Speichervolumen der Kavernen beträgt 2,4 Millionen Kubikmeter, was mindestens 4

Kavernen mit einer üblichen Größe von circa 700.000 Kubikmeter oder 16 Kavernen von etwa gleicher Größe wie in Huntorf erfordert. Der ermittelte Speicherwirkungsgrad liegt mit über 80 Prozent im Bereich von Pumpspeicherkraftwerken.

Die Anlage kann auch ohne Druckluft- und Wärmespeicher im reinen Kombibetrieb gefahren werden und liefert dann etwa 850 MWel. Die Kopplung von Gasturbinen und Kompressoren kann mechanisch über Kupplungen oder elektrisch erfolgen. Die elektrische Kopplung hat die Vorteile eines wesentlich verbesserten Teillastwirkungsgrades und einer einfacheren Anpassung an verschiedene Brennstoffe, da die Drehzahlen der Kompressoren unabhängig von den Gasturbinen eingestellt werden können. Allerdings ist durch die zusätzlich benötigten Motoren und Generatoren mit Verlusten bei Volllast von circa 2 Prozent und erhöhten Investitionskosten zu rechnen.

107 solcher Anlagen können die geforderten 2,5 Tage mittlere Leistung speichern. Gleichzeitig können 107 Anlagen im reinen Kombibetrieb ohne Speicher 91.000 MW liefern und damit die Spitzenlast in Deutschland abdecken, sodass keine weiteren Kraftwerke mehr nötig wären. Natürlich können auch kleinere Anlagen auf der



▲ Abbildung 2: ISACOAST-CC Aufstellungsplan im Gelände [7]

Basis kleinerer Gasturbinen gebaut werden. Als Brennstoff kommen neben Erdgas und Diesel auch Kohlevergasungsgas, Biogas, Wasserstoff aus einer Elektrolyse die zum Beispiel überschüssigen Windstrom verwertet, Synthetic Natural Gas - SNG aus Wasserstoff und CO<sub>2</sub> sowie Biodiesel in Frage. Die Anlage kann ggf. als kleinere Version Offshore installiert werden und als Druckluftspeicher Subsea-Energy-Bags verwenden, welche an der Universität Nottingham ebenfalls im Rahmen der E.ON International Research Initiative entwickelt werden [6].

Um Salzvorkommen zu nutzen, welche in großer Tiefe liegen, kann ein Topping-Cycle, bestehend aus einem zusätzlichen Kompressor, Wärmespeicher und Turbine, installiert werden um die hohe Druckdifferenz zwischen Kaverne und Gasturbinen zu kompensieren.

#### Quellen:

- [1] Crotojino, F.-R.: *Kavernen als Energiespeicher, Sonderdruck aus HdT-Heft 451, 1982*
- [2] Schlitzberger, C.; Leithner, R.; Nielsen, L.; *Isobares GuD - Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher; Kraftwerkstechnisches Kolloquium Dresden; 2008*
- [3] Nielsen, L., Qi, D., Brinkmeier, N., Leithner, R., Grote, W., Kastsian, D., Mönningmann, M.: *Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher, IRES 2011*
- [4] Popp, M., *Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien, ISBN 978-3-642-01926-5, 2010*
- [5] *Deutsche Energie-Agentur GmbH, dena-Netzstudie II, Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025, 2010*
- [6] Pimm A.J.; Garvey S.D.; Drew R.: *Shape and cost analysis of pressurised fabric containments for subsea compressed air energy storage. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C -Journal of Mechanical Engineering Science; April 2011;225(5):1027e43*
- [7] *Institut für Wärme- und Brennstofftechnik, TU-Braunschweig*

#### Projektpartner

##### Projektkoordination:

- Institut für Wärme- und Brennstofftechnik, TU Braunschweig

##### Forschungsstellen:

- Institut für Wärme- und Brennstofftechnik, TU Braunschweig
- Lehrstuhl für Regelungstechnik und Systemtheorie, Universität Bochum

##### Externe Partner:

- Fachliche Unterstützung durch KBB Underground Technologies GmbH

# Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme



Heinz Wenzl



Ralf Bengler

## Problemstellung

Im DFG-Vorhaben „Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme“ wurden in der Laufzeit bis Ende 2009 verschiedene elektrische Energiespeichersysteme (Lithium-Ionen und Blei-Säure-Batterie, Doppelschichtkondensatoren, Schwungmassenspeicher) hinsichtlich ihres Verhaltens bei hohen dynamischen Anforderungen untersucht, um hieraus ein geeignetes System- und Betriebsführungskonzept zu entwickeln. Die Anwendung orientiert sich an stationären Energieversorgungsanlagen beispielsweise zur Netzstabilisierung und der Kompensation fluktuierender erneuerbarer Erzeuger oder Verbraucher in zukünftig stärker dezentralisierten Netzen. Eine Übertragbarkeit auf andere Anwendungen wie etwa der Elektromobilität ist gegeben.

Die Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern, Filterkapazitäten und Glättungsinduktivitäten auf das dynamische Verhalten von elektrischen Energiespeichern und die Auswirkungen auf die Betriebsführung von Gleichspannungszwischenkreisen bei stark fluktuierender Leistung sind bisher noch unzureichend beantwortet.

## Ziel

In der Fortsetzung des Projekts ist daher das konzipierte und aufgebaute Speichersystem weitergehend zu untersuchen, insbesondere sind die Modellvorstellungen bezüglich inhomogener Stromdichteverteilungen, unter anderem aufgrund elektromagnetischer Felder, zu erweitern und die Auswirkungen auf die Regelung der Speichersysteme darzustellen. Die Relevanz der Betrachtungen ist durch Simulation, Messung auf Zellebene und im Verbund des Prüfstandaufbaus (siehe Bild 1) zu prüfen und darzustellen.

Der zunächst am Institut für Elektrische Energietechnik aufgebaute Prüfstand ist im Zuge der Einweihung des Energie-Forschungszentrums in neue Räumlichkeiten nach Goslar umgezogen. In diesem Zusammenhang

ist auch die Versorgung der Gleichspannungs-Sammelschiene verstärkt worden. Es stehen drei Gleichrichter mit jeweils 400VDC und 250A zur Verfügung, die je nach Konfiguration in Reihe oder auch parallel verschaltet werden können. Im Rahmen des Projekts sind die Umrichter parallel verdrahtet.

### Lösungsweg

Es wurde ein Gleichspannungszwischenkreis mit bis zu 800 Volt Spannung aufgebaut. Der Zwischenkreis besteht aus Blei-Säure-Batterie, Lithium-Ionen-Batterie Doppelschichtkondensator, Schwungmassenspeicher sowie Elektrolyt- und Snubberkondensatoren und wird dynamisch von einem elektronischen Laststeller bidirektional belastet. Die Ankopplung von Lithium-Ionen-Batterie, Doppelschichtkondensator und Schwungmassenspeicher an den Zwischenkreis geschieht über Gleichstromsteller, deren Sollwerte auf Basis eines modellbasierten Leistungs- und Energiemanagements generiert werden. Die Blei-Säure-Batterie ist direkt mit dem Zwischenkreis verbunden.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

– Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

– Institut für elektrische Energietechnik,  
TU Clausthal

– Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe  
und Bahnen, TU Braunschweig

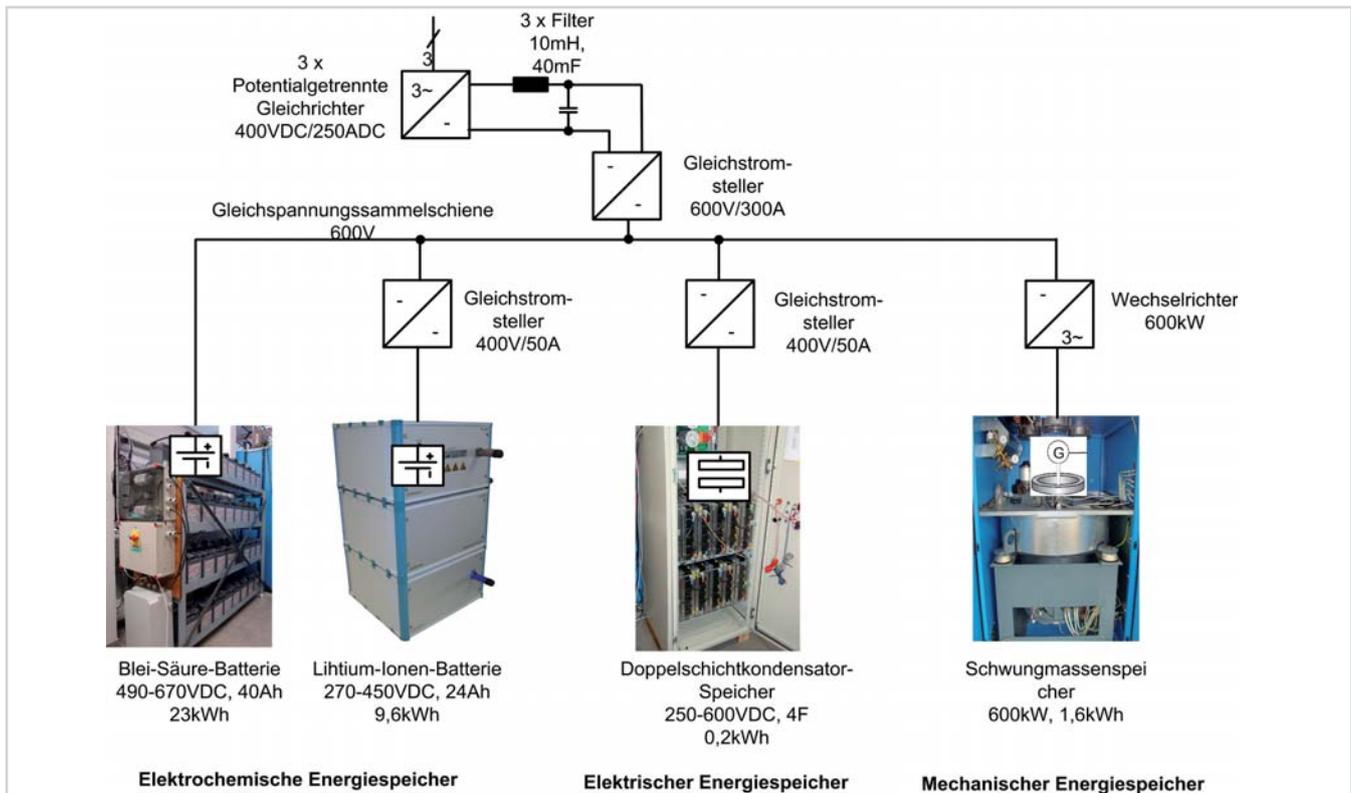
### Projektstand

Die Identifikation der einzelnen Speichertypen wurde erfolgreich durchgeführt. Zurzeit erfolgen Messungen im Gleichspannungszwischenkreis im gesteuerten und geregelten Betrieb bei schnellen Leistungsänderungen durch den elektronischen Laststeller.

Die Bestimmung von Regelparametern und die experimentelle Verifikation der optimierten Betriebsführung bilden zusammen mit der Analyse, Quantifizierung

### Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme
<b>Fördernde Stelle:</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
<b>Förderkennzeichen:</b>	BE 1496/14-1; 542841 und BE 1496/14-2; 575753
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2008 bis 31.12.2009 und 01.08.2012 bis 31.03.2012
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2008 bis 31.03.2012
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Ralf Bengler
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi4[showUid]=96">www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi4[showUid]=96</a>



▲ Bild 1: Aufbau des Gleichspannungszwischenkreises mit den über Gleichstromsteller gekoppelten Speichern

und Bewertung der Signifikanz des Effektes der transienten Stromverdrängung bei elektrochemischen Speichern den Abschluss des Projekts.

### Literatur

- Performance of electrochemical systems for HEV or EV application during fast current Steps, Advanced Automotive Battery Conference, Tampa, Florida, 12.-16. Mai 2008
- Behaviour of electrochemical systems like lithium ion, NiMH, lead acid batteries and ultra capacitors during fast current steps, 3. European Ele-Drive Conference, 11.-13. März 2008
- Requirements for Energy Storage Systems in Inverterfed DC Circuits: DC distortion power and its Impact on the Lifetime of Batteries, Kraftwerk Batterie, Essen, 20.-21. Januar 2009-12-01
- Characterizing electrochemical systems used for high-current applications by measuring the short circuit current and the internal resistance, Electric Vehicle Symposium 24, 13.-16. Mai 2009
- Auswirkungen steiler Stromänderungen auf elektrochemische Systeme, etz Heft 3/2008
- Optimization of a multi energy storage system, 4th International Conference for Renewable Energy Storage Systems (IRES 2009), Berlin, 24.-25. November 2009

# Energetische Optimierung langfristig gewachsener Produktionsstandorte – Sektor Lebensmittelindustrie



Lars Kühl



Jens-Peter Springmann

Die stetig steigenden Energiepreise stellen insbesondere Industrieunternehmen vor große Herausforderungen. Der Kostendruck auf dem Markt erfordert die Optimierung der Fertigungsprozesse mit der Reduzierung der eingesetzten Energien. Vor diesem Hintergrund ist es auch aus wirtschaftspolitischen Erwägungen erforderlich, die bestehenden Standorte der in Deutschland produzierenden Unternehmen mit effizienten Technologien zur Energiebereitstellung auszustatten. Dabei gilt es, diese Technologien für alle Betriebsmedien an die jeweiligen Standortbedingungen anzupassen und über eine intelligente Vernetzung der einzelnen Komponenten zukunftsfähige Betriebsmanagementsysteme zu implementieren, ohne dabei den laufenden Produktionsprozess und die Qualität der Erzeugnisse negativ zu beeinflussen.

In dem Projekt werden geeignete Methoden für eine energetische Sanierung beziehungsweise Modernisierung von gewachsenen Produktionsstandorten entwickelt. Neben der Methodenentwicklung, welche die branchenbezogene Bestandsanalyse sowie die Entwicklung eines „Morphologischen Kastens Energieversorgung“ beinhaltet, wird im Rahmen des Projektes

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Energetische Optimierung langfristig gewachsener Produktionsstandorte – Sektor Lebensmittelindustrie (Bahlsen)
<b>Fördernde Stelle:</b>	NBank (EFRE)
<b>Förderkennzeichen:</b>	EFRE W3-80114312
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	21.12.2009 bis 31.01.2013
<b>Berichtszeitraum:</b>	21.12.2009 bis 31.01.2013
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Jens-Peter Springmann
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi2[showUid]=92">www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi2[showUid]=92</a>



eine modellhafte energetische Optimierung der Fertigung des seit 1957 in Barsinghausen betriebenen Produktionsstandortes der Firma Bahlsen durchgeführt. Der Sektor der Lebensmittelindustrie bietet für die Durchführung des Projektes ideale Voraussetzungen, da hier Wärme, Kälte, Druckluft und Strom innerhalb des Produktionsprozesses benötigt werden und so alle Technologien der Energieerzeugung und -bereitstellung zu betrachten sind. Ein Betriebsmanagementsystem zur Optimierung des Energieflusses ist ebenfalls noch nicht am Standort eingerichtet.

Innerhalb des Modellprojektes werden Messungen durchgeführt und so Leistungen und Energiemengen im Produktionsprozess sowie Potentiale der Wärmerückgewinnung identifiziert. Auf Basis der Messergebnisse werden Strategien zur Optimierung des Energieflusses und der Anpassung der Anlagentechnik entwickelt und umgesetzt. Es werden Methoden ent-

wickelt, die auf Standorte anderer Unternehmen unterschiedlicher Branchen übertragen werden können und so zur Einsparung von Primärenergie und Ressourcen beitragen.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Institut für energieoptimierte Systeme, Ostfalia

#### Externe Partner:

- energy design braunschweig GmbH
- Bahlsen GmbH & Co. KG

# Entwicklung von Elastomer-Bipolarplatten für den Einsatz in vanadiumsalzbasierten Redox-Flow-Batterien



Ulrich Kunz

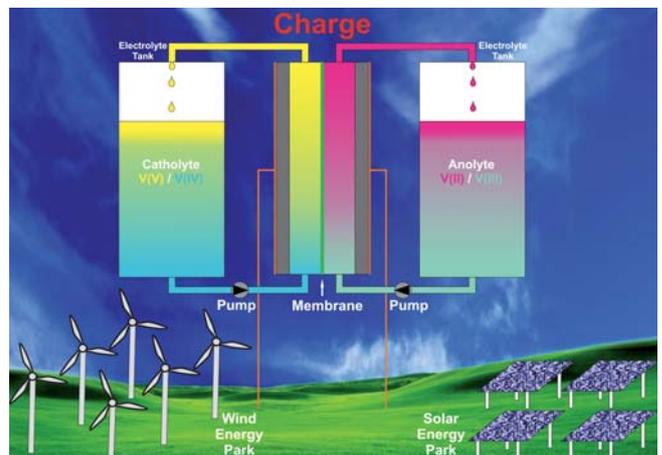


Antonio Rodolfo dos Santos

Die Bedeutung der regenerativen Energiequellen wird in den nächsten Jahren in Deutschland stark zunehmen. Es kann erwartet werden, dass der gleichzeitig steigende Energiebedarf primär aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen gedeckt werden wird. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach einer effizienten Speicherung dieser nur fluktuierend anfallenden Energie. Redox-Flow-Batterien (RFB) stellen eine wichtige elektrochemische Speichermöglichkeit dar [1–5]. In RFB wird elektrische Energie in chemische Energie gewandelt und in Form von flüssigen Elektrolyten gespeichert. Die Elektrolyten werden durch poröse Elektroden (Kohlenstoffvliese) gepumpt, wo sie in Redoxreaktionen reagieren und so Energie wandeln. Die Elektrolyte auf der Kathodenseite (Katholyt) und auf der Anodenseite (Anolyt) werden dabei durch eine Membran (Nafion®) voneinander getrennt, welche jedoch Protonen durchlässt, um den elektrischen Kreislauf zu schließen. Abbildung 1 zeigt das Schema einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB). Die Schlüsselkomponenten der VRFB sind Elektroden, Membranen und Bipolarplatten. Der Wirkungsgrad der Batterie ist stark vom Ohm'schen Widerstand der verwendeten Materialien und den Kontaktwiderständen dieser Bauteile abhängig. In Abbildung 2 sind die Komponenten im Detail dargestellt.

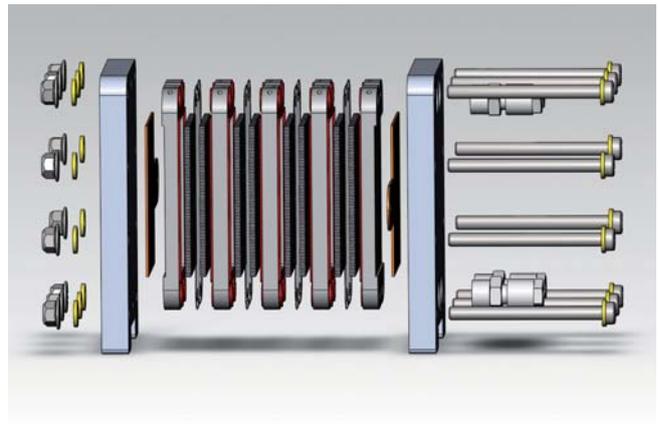
Abbildung 3 illustriert die Zusammenhänge zwischen technischen und ökonomischen Aspekten des RFB-

Abbildung 1: Schema einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie-Anwendung. ▶



Systems. Energieinhalt und Leistungsvermögen der Batterie werden durch die geplante Anwendung festgelegt und können unabhängig voneinander skaliert werden. Daher können die entsprechenden Primärkosten in leistungsbezogene, energiebezogene und Balance-of-Plant-Kosten aufgeteilt werden. Energiebezogene Kosten werden durch die Elektrolyteigenschaften und -kosten bestimmt. Leistungsbezogene Kosten sind Stack-Kosten, also maßgeblich Materialkosten von flächigen Bauteilen. Die Kosten dieser Komponenten unterliegen einem komplexen Geflecht von Einflussfaktoren und sind Gegenstand aktueller Forschung. Bezüglich Bipolarplatten sind vor allem Ausgangsmaterialien, Fertigungsmethoden und Jahresproduktion ökonomisch entscheidende Parameter.

Aus technischer Sicht werden einige charakteristische Eigenschaften für Bipolarplattenmaterialien vorausgesetzt. Die wichtigsten Eigenschaften sind hohe Leitfähigkeit, mechanische und chemische Stabilität im Elektrolyten und geringe Permeabilität. Ein Polymer-Graphit-Komposit wäre ein ideales Elektrodenmaterial, da es eine geringe Dichte und hohe Leitfähigkeit aufweist und zusätzlich einfach herzustellen ist. Die hohen Materialkosten und die Sprödigkeit der Platte



▲ *Abbildung 2: Komponenten einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie.*

stehen dem jedoch entgegen. Auch die chemische Beständigkeit im Vanadium-Elektrolyten ist nicht ausreichend gegeben. Entsprechende Korrosionsversuche mit Komposit-Materialien werden in Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid durchgeführt. Dies ist aggressiver als die in der Batterie verwendeten Vanadiumspezies und erlaubt somit relativ schnell Aussagen über

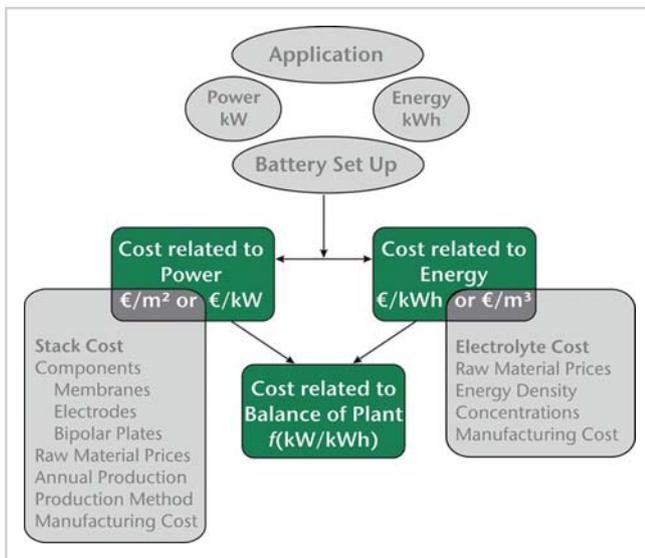
## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Innovatives FuE-Verbundprojekt Wissenschaft – Wirtschaft
<b>Fördernde Stelle:</b>	EFRE: Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
<b>Förderkennzeichen:</b>	W2-80118661
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2011 bis 31.12.2012
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2011 bis 31.12.2012
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunz
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Antonio Rodolfo dos Santos
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.efzn.de/index.php?id=234&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi2[showUid]=90">www.efzn.de/index.php?id=234&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi2[showUid]=90</a>

das Korrosionsverhalten der Platten. Darüber hinaus werden weitere Methoden zur Bewertung von Bipolarplattenmaterialien und Dichtungen evaluiert. Auch die Integration von Dichtungen in die Platten wird untersucht, da eine Reduktion der Bauteilanzahl mit einer Vervielfachung der Montage und Verringerung der Kosten einhergeht. Abbildung 4 zeigt eine Bipolarplatte mit integrierter Dichtung.

Die erreichten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Alle untersuchten Materialien für VRFB-Bipolarplatten weisen eine exzellente elektrische Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf.
- Weitergehende Tests dieser Plattenmaterialien in Versuchszellen sind notwendig.



▲ Abbildung 3: Zusammenhänge zwischen technischen und ökonomischen Aspekten des VRFB-Systems.



▲ Abbildung 4: Bipolarplatte mit integrierter Dichtung für Vanadium-Redox-Flow-Batterie-Anwendungen.

## Projektpartner

### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

### Forschungsstellen:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für Chemische Verfahrenstechnik, TU Clausthal

### Externe Partner:

- Eisenhuth GmbH & Co. KG

## Quellen:

- [1] L. Jörissen, J. Garche, C. Fabjan, G. Thomazic, *Journal of Power Sources* 127 (2004) 98.
- [2] M. Skyllas-Kazacos et al., *Journal of the Electrochemical Society* 158 (2011) R55.
- [3] C.M. Hagg, M. Skyllas-Kazacos, *Journal of Applied Electrochemistry* 32 (2002) 1063.
- [4] H.Q. Zhu et al., *Journal of Power Sources* 184 (2008) 637.
- [5] H.S. Kim, *Bull. Korean Chemical Society* 32 (2011) 571.

# Hochenergie-Lithiumionen-Batterien für die Zukunft



Frank Endres



Alexandra Prowald

## Nanoskalierte Anodenmaterialien für Lithiumionenbatterien

Gegenwärtig ist die Elektromobilität Gegenstand nahezu täglicher Berichterstattung in den Medien, und sie wird als die Zukunft der Mobilität angesehen. Angestoßen durch die CO<sub>2</sub>-Diskussion sowie durch die in den vergangenen Jahren stark gestiegenen Preise für fossile Energieträger und deren Endlichkeit hat die Bundesregierung als Antwort auf den internationalen Wettbewerb eine Elektromobilitätsstrategie auf den Weg gebracht. Ziel ist, in den kommenden 10 Jahren rund eine Million Elektrofahrzeuge auf unsere Straßen zu bringen. Batterien beziehungsweise Akkumulatoren und deren Weiterentwicklung werden als ein Kernthema in der Elektromobilität angesehen.

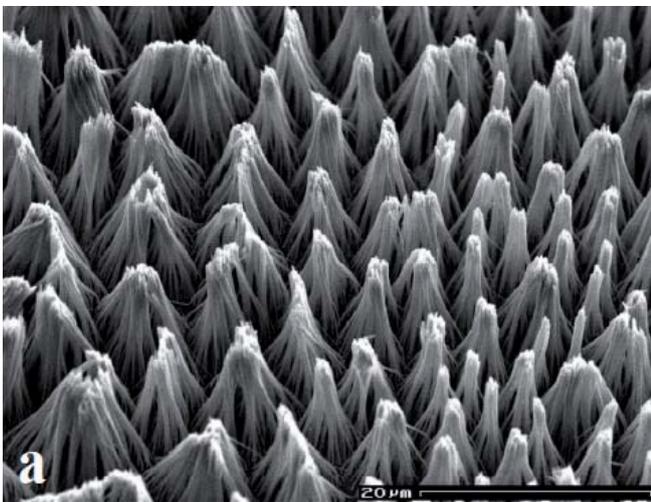
Fossile Kraftstoffe zeichnen sich durch eine sehr hohe Energiedichte aus, die circa 12 kWh/kg beträgt. Ein sehr guter Dieselmotor setzt im dynamischen Betrieb von einem Kilogramm Kraftstoff circa 5 kWh in Traktion um, allerdings geht der größere Anteil von immerhin rund 7 kWh als Abwärme verloren. Reelle Wirkungsgrade liegen daher um 40 Prozent, und dieses Betriebsverhalten resultiert direkt aus der Thermodynamik. Im Gegensatz dazu arbeiten sehr gute Elektromotoren mit Wirkungsgraden von über 90 Prozent, so dass die Nutzung der vorhandenen Primärenergie per se sehr viel höher ist. Da man Batterien nahezu verlustlos laden und entladen kann, ist es verführerisch, anzunehmen, den Antrieb von Fahrzeugen komplett auf Elektromotoren umzustellen. Das Hauptproblem besteht jedoch darin, dass die Energiedichte aktueller Batterien viel zu niedrig ist, um Reichweiten von mehr als 100 Kilometer zu ermög-

## Daten zum Projekt

Vorhabenbezeichnung:	Materialien für neuartige Lithiumionenbatterien
Fördernde Stelle:	Bundeministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	03X4612K
Laufzeit des Vorhabens:	01.02.2009 bis 31.01.2013
Berichtszeitraum:	01.01.2011 bis 31.12.2011
Verantw. Projektleiter:	Prof. Dr. Frank Endres
Projektkoordinator:	Dr. Alexandra Prowald
E-Mail:	alexandra.prowald@efzn.de

lichen. Ein Bleiakкумуляtor, wie er in jedem Auto als Starterbatterie eingesetzt wird, hat eine Energiedichte von 0,03 kWh/kg. Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren erreichen 0,1 kWh/kg und gegenwärtige Lithiumionenbatterien liegen bei 0,15–0,2 kWh/kg. Es besteht in der Literatur weitgehend Einigkeit, dass die Grenze für die Energiedichte von Lithiumionenbatterien bei circa 0,25 kWh/kg liegen dürfte, wenn Hochvoltmaterialien eingesetzt werden, die die gegenwärtige Spannung einer Einzelzelle von 3,7 V auf circa 4,5–5 V verbessern würden. Solche Batterien dürften in den nächsten Jahren auf den Markt kommen. Für ein Mittelklassefahrzeug würde sich aber auch mit einer solchen Batterie eine Reichweite von nicht mehr als 200 Kilometer ergeben.

Vergleicht man nun die genutzte Energiedichte fossiler Kraftstoffe (5 kWh/kg) mit der künftiger Lithiumionenbatterien, erhält man einen Faktor von immerhin 20 zuungunsten der Batterie. Will man nun mit dem vertrauten Komfort die Mobilität aufrecht erhalten, sind entweder Hybrid-Konzepte erforderlich, bei denen ein Verbrennungsmotor mit einem Elektroantrieb kombiniert wird, oder Batterien mit erheblich höherer Energiedichte müssen entwickelt werden. Dass dieses Ziel grundsätzlich erreichbar ist, zeigt eine grobe Abschät-



▲ *Abbildung: Elektrode aus frei stehenden Aluminiumnanodrähten (Durchmesser: 0,1  $\mu\text{m}$ , Länge: 20  $\mu\text{m}$ ), elektrochemisch hergestellt in einer ionischen Flüssigkeit*

zung: Lithium/Luft- bzw. Lithium/Sauerstoff-Akkumulatoren könnten reale Energiedichten bis zu 3 kWh/kg erreichen, weshalb an ihnen international intensiv geforscht wird. Mit einer solchen Batterie und weiter entwickelten Fahrzeugkonzepten könnten Elektrofahrzeuge entwickelt werden, die den vertrauten Komfort inklusive attraktiven Reichweiten bieten würden. Bei allen Metall-Luft-Batterien besteht die Herausforderung darin, das sog. dendritische Wachstum des Metalls zu verhindern, welches die Batterie zerstören würde.

Im Rahmen des HELION-Projektes werden an der TU Clausthal und am EFZN neuartige Nanomaterialien für die Anode (Minuspol) hergestellt und untersucht. Mit elektrochemischen Methoden werden frei stehende Nanodrähte aus Aluminium hergestellt, die als Matrix für Lithium grundsätzlich geeignet sind. Die so vorgegebene Nanostruktur würde ein dendritisches Wachstum von Lithium auf dem Aluminium verhindern und im Vergleich zu heutigen Graphit basierten Anodenmaterialien eine circa 10x höhere Energiedichte erlauben. In Kombination mit Luft beziehungsweise Sauerstoff könnten so Energiedichten von mehr als 1 kWh/kg erreicht werden.

Erste Versuche haben ergeben, dass eine Anode bestehend aus Aluminiumnanodrähten während 100 Zyklen nur wenig an Kapazität verliert. Optimierungsbedarf besteht allerdings sowohl bei der Herstellung der Nanodrähte als auch in deren für die reversible Lithiumabscheidung optimalen Verhältnis von Durchmesser und Länge.

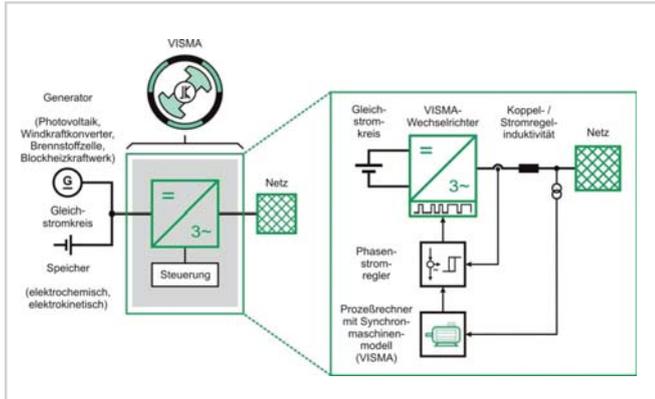
### Literatur

- S. Z. El Abedin and F. Endres, *ChemPhysChem* 13 (2012) 250
- F. Endres, *Bunsenmagazin* 13 (2011) 112

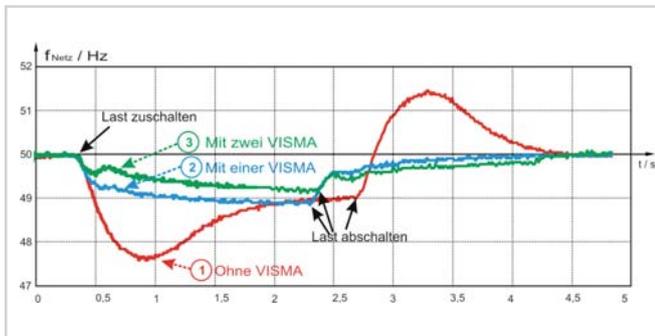
### Projektpartner

Projektkoordination:  
– BASF SE

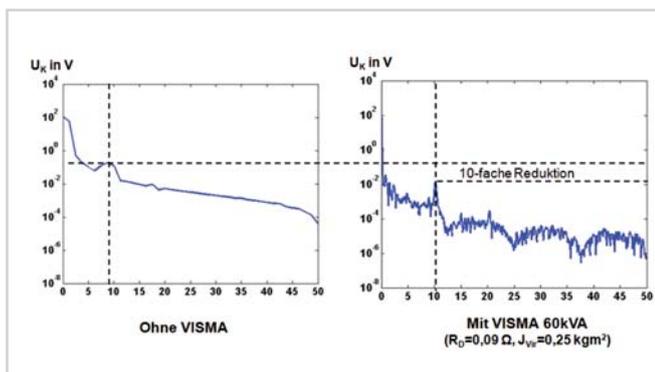
# Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) Erprobung von innovativen Umrichtersystemen in Arealnetzen und Untersuchung an der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA)



▲ Bild 1: Visma-Wechselrichter verfügen über die Eigenschaften einer elektromechanischen Synchronmaschine.



▲ Bild 2: Netzfrequenzstützende Wirkung der virtuellen rotierenden Masse der VISMA.



▲ Bild 3: Stabilisierende Wirkung der virtuellen rotierenden Masse der VISMA in einem „realen“ Netz (Energiepark Clausthal)

## Problemstellung

Die weitreichenden strukturellen und anlagentechnischen Veränderungen im Bereich der Elektroenergieerzeugung ziehen auf Grund des wachsenden Anteils an dezentraler Erzeugung, Fragen hinsichtlich eines sicheren selbstorganisierenden Netzbetriebes nach sich. Bisher war der sichere Netzbetrieb mit diesen Erzeugern aufgrund ihrer geringer Anzahl und Einspeiseleistung weitgehend gewährleistet, da das Netz das zumeist nur nach lokalen Aspekten ausgerichtete Betriebsverhalten dieser Erzeuger aufgrund der dynamischen Rotations- sowie der statischen Regelreserven der Synchrongeneratoren ausgleichen konnte. Erfolgt der Ausbau der regenerativen Elektroenergieerzeugung im geplanten Maßstab in Gestalt der Substitution konventioneller, über Synchrongeneratoren einspeisender Quellen, gilt der stabile Netzbetrieb als gefährdet.

## Ziel

Um die durch die neuartigen Quellen prinzipbedingt hervorgerufene Dynamik der Leistungsflüsse im Netz zu begrenzen, wird allgemein die Erhöhung der Energiespeicherkontingente im Netz angestrebt. Dabei liegt es nahe, die Speicher in kleinen Einheiten gemeinsam mit den Erzeugern dezentral zu installieren, statt große, zentrale Systeme vorzusehen. Die Herausforderung beim Betrieb eines derart strukturierten Speichersystems liegt darin, die verteilt installierten Speicher für jede Stelle des Netzes im Umfang des sich ergebenden Gesamtspeichervermögens energetisch verfügbar zu machen. Im zurückliegenden Forschungszeitraum

## Projektpartner

### Forschungsstellen:

- Institut für elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig
- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Universität Hannover
- Department für Informatik, Universität Oldenburg
- OFFIS - Institut für Informatik, Oldenburg

### Externe Partner:

- CUTEC-Institut GmbH

konnte mit der VISMA die zur elektromechanischen Synchronmaschine analoge Wirkung eines entsprechend geregelten und gesteuerten Einspeisewechselrichters für Einzelsysteme gezeigt werden. Die aus diesen Untersuchungen abgeleiteten Eigenschaften der VISMA als geeigneter Einspeisewechselrichter für den dezentralen Verbundbetrieb von regenerativen Erzeugern sollen in einem realisierenden Mikronetz gezeigt werden. Das Ergebnis bildet die Beschreibung eines hinsichtlich der genannten Punkte in seiner Funktion überprüften Einspeisewechselrichters mit nachgebildeter, aber elektrisch wirksamer rotierender Masse, der im dezentralen Parallelbetrieb zuverlässig und ohne Kommunikationsverbindung arbeitet.

Dazu galt es einmal die generellen Eigenschaften der VISMA im Einzel- und Parallelbetrieb (FTP 11), und im speziellen die Netzstabilisierenden Eigenschaften der Virtuellen Synchronmaschine zu untersuchen (FTP 10).

### Lösungsweg

Auf der Grundlage des Konzeptes der Virtuellen Synchronmaschine können entsprechend ausgestattete Einspeisewechselrichter wie elektromechanische Synchronmaschinen betrieben werden (Bild 1). VISMA-Systeme sind wie traditionelle Kraftwerke (mit Kraftwerksregelungen) ohne Kommunikationsverbindung hochparallel betreibbar. Da das VISMA-System gegenüber den konventionellen Einspeisewechselrichter über eine rotierende virtuelle Masse und virtuelle Dämpfung verfügt, wird das Netz dadurch bei der Laständerung unterstützt. Der Beitrag zur Netzunterstützung wird nach der virtuellen Masse und Dämpfung solidarisch von dem einzelnen VISMA-System gegeben (Bild 2). Alle statischen und dynamischen Eigenschaften der



▲ Bild 4: Multi-VISMA-Prüfstand

VISMA wurden anhand eines Versuchsnetzes untersucht.

Zudem galt es zu zeigen, dass mit Hilfe eines VISMA Wechselrichters in geeigneter Parametrierung ein maßgeblicher Anteil zur Stabilität geliefert werden kann. Dazu wurde im Energiepark Clausthal, der im Inselnetzbetrieb in Verbindung mit den angeschlossenen Erzeugungseinheiten zu Schwingungen in der Amplitude der Spannung (siehe Bild 3) angeregt wird, ein VISMA System installiert. Diese Schwingung führte im Betrieb ohne VISMA nach einiger Zeit zum Ausfall des Gesamtsystems. Mit einer in diesem Projekt gefundenen Parametrierung konnte dieser Mode mit der VISMA wie in Bild 3 zu sehen erfolgreich bedämpft werden, so dass es zu keinem Ausfall des Gesamtsystems mehr kam.

### Projektstand

Das Projekt wurde abgeschlossen. Die Untersuchungen werden im Forschungsverbund Smart Nord fortgeführt.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Forschungsverbund Niedersachsen (FEN): Erprobung von innovativen Umrichtersystemen in Arealnetzen und Untersuchung an der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA)
<b>Fördernde Stelle:</b>	Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
<b>Förderkennzeichen:</b>	11-76251-16-1/05(8) (ZN2475) und 11-76251-16-1/05(8) (ZN2476)
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2010 bis 31.03.2011
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2010 bis 31.03.2011
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Yong Chen
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi4[showUid]=88">www.efzn.de/index.php?id=235&amp;no_cache=1&amp;tx_wiwiprojekte_pi4[showUid]=88</a>

## FEN – Simulationsmodell für die Verbundsteuerung von Anlagen im Niederspannungsnetz



Hans-Jürgen  
Appelrath



Martin Tröschel

Das Teilprojekt im Rahmen des Forschungsverbunds Energie Niedersachsen (FEN) nahm sich der Herausforderungen eines Strukturwandels in der Energieerzeugung und Energieverbrauch an, der bedingt durch einen politisch gewollten Atomausstieg, den Beschluss des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und die Bestimmungen zur Entflechtung bei Energieversorgungsunternehmen zu erwarten war. Es war davon auszugehen, dass die Zunahme dezentraler Erzeuger konsequenterweise mit verschiedenen Einflussfaktoren einhergeht, die bei zukünftigen Energiemärkten berücksichtigt werden müssen.

Damals wie heute sind die Betreiber dezentraler Erzeuger meist keine Energieversorgungsunternehmen, stattdessen werden die Anlagen von privaten Interessengruppen oder, beispielsweise bei Windparks, oft von Genossenschaften betrieben. Das führt dazu, dass die Erzeuger nicht durch die EVU gesteuert werden können, sie können ihre Energie „beliebig“ in das Verbundnetz einspeisen (selbstverständlich unter der Prämisse der Nichtgefährdung der Netzstabilität), so dass der Einfluss der EVU auf die Betriebsführung sinkt. Durch garantierte Einspeisevergütungen und Abnahmeverpflichtungen nach dem EEG werden die durch regenerative Erzeuger eingespeisten Energien gestützt. Dies führt dazu, dass möglichst viel an Leistung eingespeist wird, damit sich eine Anlage so schnell wie möglich amortisiert.

Diese Unsicherheit in der Betriebsführung und auch in der Erzeugung der Energie selbst, wie etwa durch Schwankungen bei Windenergieerzeugung oder Solarstrahlung, führt zu Bestrebungen, die verschiedenen DEA miteinander zusammenzuschließen, um ein durch nicht planbare Versorger verursachtes Vorhalten einer zu großen Regelleistung zu vermeiden. Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, die benötigte Regelleistung zu optimieren, entweder durch eine Verbesserung der Prognoseverfahren zur Berechnung der benötigten Regelleistung oder durch den Zusammenschluss der verschiedenen verteilten Erzeuger und Lastgruppen zu einem virtuellen Kraftwerk.

Ein virtuelles Kraftwerk (VK) ist eine auf Energie- und Steuerungsebene zusammengeschaltete große

Menge an räumlich weit verteilten Energieerzeugern (etwa einzelne Haushalte mit einem BHKW in einem größeren Stadtteil). Ein Zusammenschalten führt zu einer verbesserten Nutzung und Planbarkeit der DEA und erhöht ihre Effizienz. Virtuelle Kraftwerke müssen jedoch – um wie normale Kraftwerke in Bilanzkreisen verplant werden zu können – verschiedenen Anforderungen genügen. Ein VK muss sowohl mit vielen, als auch mit wenigen Erzeugern funktionieren, die Versorgungszuverlässigkeit darf nicht sinken, sie sollte sich im Gegenteil erhöhen. Die Kommunikation mit der Anlage muss der weiten räumlichen Verteilung gerecht werden, entsprechend den relativ gesehen meist sehr geringen Umsätzen (im Vergleich zu den möglichen Kosten der Kommunikation) sollte die Kommunikation so kostengünstig wie möglich erfolgen. Zu beachten ist ferner, dass der Transport bzw. die Verteilung der Energie von ihrer Erzeugung getrennt ist. Die Zugehörigkeit zu einem VK muss diskriminierungsfrei und liberal geschehen, ein Betreiber ist nicht zwangsläufig immer auch Eigentümer der Erzeugungseinheit, der Betrieb und die Einrichtung dürfen daher auch nicht vom guten Willen anderer Netznutzer abhängen.

Die Verteiltheit der Systeme führt noch heute zu Problemen mit der Steuerung und Wartung, während die Sicherheit eines reibungslosen Netzbetriebs natürlich auch immer gegeben sein sollte. Ein geordneter Betrieb gemäß einem Fahrplanmanagement bedingt eine Kommunikation der Anlagen über Leistungsmessungen, Zählwerten und Leistungssollwerten. Für diese

Kommunikation müssen etablierte und aufkommende Standards und Verfahren entwickelt und genutzt werden.

Das Ziel des Teilprojektes 10 war vor diesem Hintergrund die Schaffung eines Simulationsmodells, welches die aufkommenden Smart Grid Standards berücksichtigt und eine Steuerung und Prognose für eine wirtschaftliche Zusammenstellung und den Betrieb eines Virtuellen Kraftwerks im Niederspannungsnetz ermöglicht und prototypisch implementiert. Es sollte eine differenzierte Analyse der Möglichkeiten bieten, die zu erwartende Vielzahl kleiner dezentraler Energieanlagen (DEA) und insbesondere auch Mikro-KWK-Anlagen im Niederspannungsnetz, zu VK zusammenzufassen, die als kumulierte Einspeiser beziehungsweise Verbraucher mit beeinflussbarem Verhalten im übergeordneten Netz auftreten.

Einen Schwerpunkt bildete dabei die für die Anlagensteuerung und -koordination notwendige sichere Kommunikation zwischen den dezentralen Erzeugern im Niederspannungsnetz beziehungsweise virtuellen Verbrauchern sowie der Informationsaustausch mit Steuerungseinheiten auf der übergeordneten Netzebene. Gültige und zukünftige Standards zur Steuerung und zum Datenaustausch wurden berücksichtigt, ferner wichtige sicherheitsrelevante Aspekte einer Kommunikation. Die Analysen sollten durch ein zu entwickelndes Simulationsmodell zur Kommunikation und Regelung unterstützt werden, welches aufgrund der Verteiltheit der Anlagen diese Struktur auch besonders berück-

## Daten zum Projekt

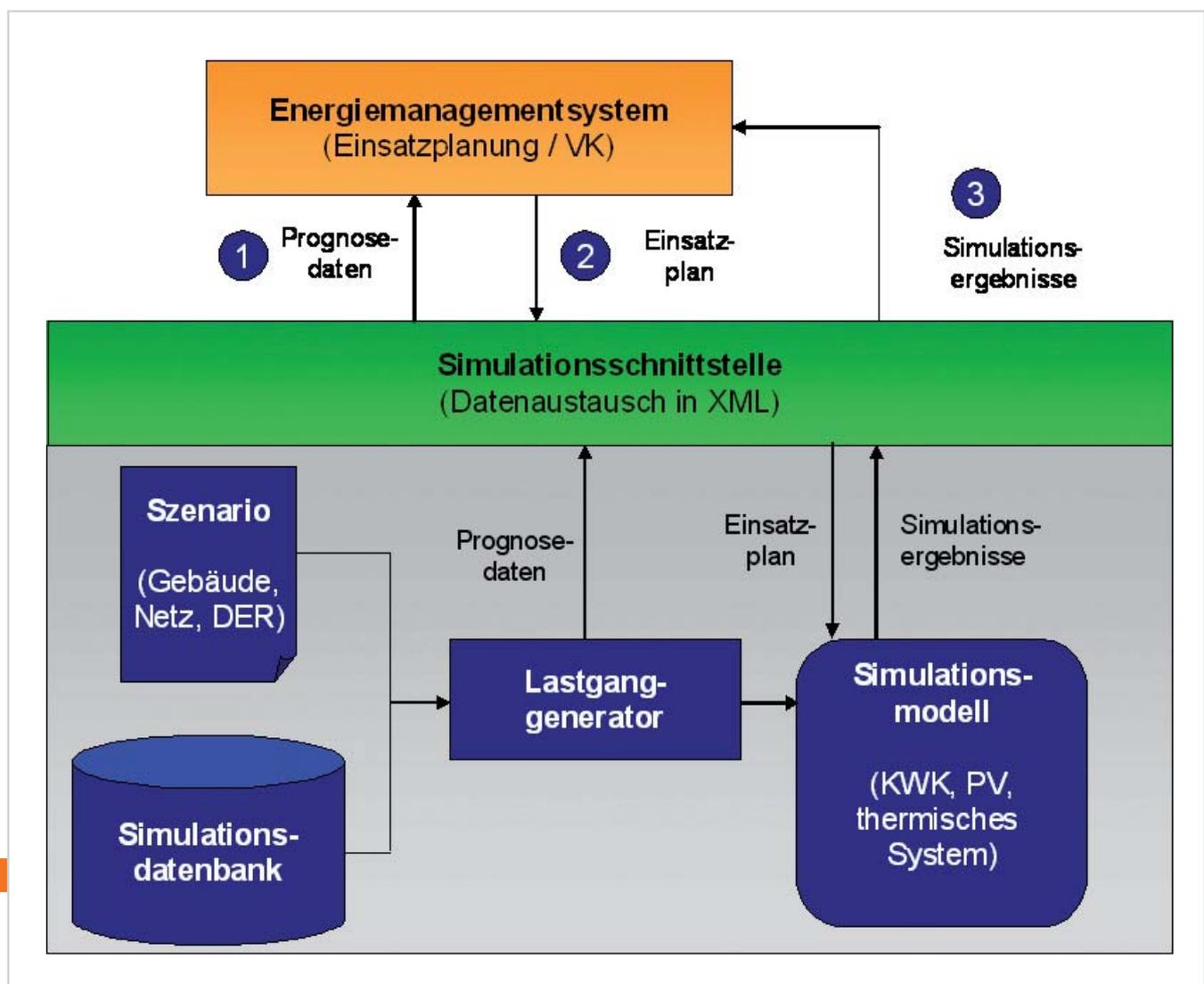
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	FEN - Simulationsmodell für die Verbundsteuerung von Anlagen im Niederspannungsnetz
<b>Fördernde Stelle:</b>	Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.04.2006 bis 31.03.2009
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.04.2006 bis 31.03.2009
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Martin Tröschel
<b>Internet:</b>	www.fven.de
<b>E-Mail:</b>	info@fven.de
<b>Abschlussbericht:</b>	Dr. Martin Tröschel, Astrid Nieße, Prof. Dr. Dr. h.c. H.-Jürgen Appelrath; Tagungsbandbeitrag FTP 01 - Simulation von Erzeugungskonzepten und Netzstrukturen; OFFIS – Institut für Informatik, Oldenburg; FEN-Symposium 2011

sichtigen muss. Aus damaliger Sicht mussten geeignete Softwarearchitekturen die dezentralen Strukturen und den angestrebten hierarchischen Aufbau zur Datenaggregation und Steuerung widerspiegeln und unterstützen. Das Simulationsmodell wurde zu einer Optimierung herangezogen, welche sowohl auf der technischen als auch der ökonomischen Ebene mögliche Optima anstrebte. Geeignete Szenarien inklusive möglicher Störfaktoren und realistischen Rahmenbedingungen wurden zum Testen der Simulationsmodelle entwickelt.

Unerlässlich für einen späteren Real-Betrieb und den Transfer der Modelle in bestehende Netzstrukturen war die Einhaltung von gängigen Kommunikations- und Datenaustauschstandards (zum Beispiel IEC 61968/61970 (CIM - Common Information Model), IEC 61850 (Standards for Substation Communication), IEC

62350 (Standards for DER – Distributed Energy Resources)) im Rahmen der Steuerung und des Datenaustausches zwischen Erzeugern, Verbrauchern und Simulationskomponenten. Dabei mussten gängige Aspekte bezüglich der Sicherheit der Kommunikation zwischen einer übergeordneten Leitebene und dem virtuellen Kraftwerk evaluiert und implementiert werden.

Zur Analyse und Bewertung der Auswirkungen der vermehrten Einspeisung dezentraler Energieerzeugungseinheiten wurde in interdisziplinärer Anstrengung ein auf MATLAB/Simulink basierendes Simulationswerkzeug entwickelt, das einerseits Energieinfrastrukturen – das heißt Gebäude- und Anlagentechnik sowie Netzstrukturen – und andererseits die für eine Verbundsteuerung notwendigen Kommunikationsmechanismen abbildet. Den funktionale Kern des Werkzeugs stellt dabei das zugrundeliegende Simulationsmodell



dar. Die Anbindung an ein Energiemanagementsystem liefert Aussagen über das Erzeuger- und Verbraucherverhalten sowie den Lastausgleich des simulierten Szenarios. Zur Einsatzplanung der steuerbaren Anlagen wurde ein multiagentenbasierter Ansatz für ein Supply-Demand-Matching, also der (gebäude-)lokale Abgleich von Erzeugung und Verbrauch, auf Niederspannungsebene entwickelt. Als dezentrale Erzeuger verfügt das Simulationsmodell über eine Photovoltaik- und eine Mikro-KWK-Anlage, welche sich anhand verschiedener Betriebsmodi steuern lassen.

Als erstes Referenzszenario wurde ein Braunschweiger Siedlungsgebiet, dessen elektrische und thermische Gesamtbedarfe in geeigneter zeitlicher Auflösung über ein Jahr hinweg aufgezeichnet wurden, mit verschiedenen Durchdringungsgraden an KWK-Anlagen simuliert. Dabei zeigte sich in der Simulation, dass bei hohen Durchdringungsgraden eine zunehmend unkontrollierte Einspeisung mit entsprechender Wirkung auf den Lastausgleich erfolgte. Des Weiteren bestätigten erste Simulationsergebnisse eine verbesserte Vergleichmäßigung und Spitzenlastabsenkung der netzorientierten Betriebsweise für KWK im Vergleich zur wärme- oder elektrischgeführten Betriebsweise.

### **Projektpartner**

#### **Forschungsstellen:**

- OFFIS - Institut für Informatik, Oldenburg
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig
- Department für Informatik, Universität Oldenburg

## Metrology for Smart Electrical Grids



Christian Bohn



Wiebke Heins

Im Rahmen des Projektes “Metrology for Smart Electrical Grids” bearbeitet das EFZN in Kooperation mit der PTB das Teilprojekt 4 „Smart Grid system state for stabilised power flow“. Weitere Projektpartner im Teilprojekt 4 sind TU Braunschweig, NPL und STRAT.

In einem ersten Schritt werden vorhandene SmartGrids analysiert und für die weitere Arbeit entsprechende Modelle entwickelt. Dabei finden heute vorhandene Aufbauten (Topologien, Betriebsmittel) und Ausführungen hinsichtlich Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen sowie derzeit und zukünftig an das Netz angeschlossene Aggregate Berücksichtigung. Darauf aufbauend werden Algorithmen zur Optimierung bestehender Strukturen und mögliche Regelkonzepte entwickelt. Einen zentralen Punkt der Arbeiten des EFZN / PTB stellt die Weiterentwicklung einer Theorie zur Beobachtung elektrischer Netze (Knotenlastbeobachter, Zustandsbeobachter) dar. Dieser unterscheidet sich von bestehenden Ansätzen der state-estimation dahingehend, dass auch in Zukunft in der NS-Ebene ein hinsichtlich der messtechnischen Ausführung regelungstechnisch unterbestimmtes System vorliegen und hierfür eine Rekonstruktion unbekannter Größen vorgenommen wird. Dabei wird weiterhin gemeinsam mit den Partnern eine für die Zustandsrekonstruktion minimal notwendige Messinfrastruktur entworfen und dabei mögliche Unsicherheiten der verwendeten Messwerte mit bedacht. Seitens der TU Braunschweig werden probabilistische Analysen

### Projektpartner

#### Forschungsstellen:

- Institut für Elektrische Informationstechnik, TU Clausthal
- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Externe Partner:

- VSL (Dutch Metrology Institute)
- Centro Español de Metrología (CEM)
- Czech Metrology Institute (CMI)
- Biroul Roman de Metrologie Legală – National Institute of Metrology (INM)
- Istituto di Ricerca Metrologica INRiM
- Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial (FFII)
- Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE)
- Federal Office of Metrology (METAS)
- Mittatekniikan Keskus (MIKES)

bezüglich der Einflüsse der Elektromobilität auf der Niederspannungs-Netzebene durchgeführt und vehicle-to-grid-Konzepte entworfen.

In einem zweiten Schritt werden die zuvor theoretisch entwickelten Erkenntnisse an vorhandenen Smart-Grids/MicroGrids (STRAT und EFZN) erprobt. Dabei werden die Modelle unter Anwendung realer Messdaten validiert und vorgeschlagene Einstellwerte für vorhandene Regler hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht.

In einem dritten Arbeitspaket wird gemeinsam mit den zuvor genannten Untersuchungen eine kryptografische Infrastruktur für einen Betrieb eines SmartGrids und zur Realisierung zu entwickelnden vehicle-to-grid-Konzepte entworfen. Hierfür werden vorab notwendige Datenflüsse identifiziert und hinsichtlich der Anforderungen an Sicherheit, Vertraulichkeit und regulatorischer/rechtlicher Rahmenbedingungen untersucht.

Parallel zu diesen Arbeiten werden in einem weiteren Arbeitspaket durch die PTB hochgenaue Stromwandler entworfen, welche in der Lage sind, Ströme bis zur 20. Oberschwingung mit einer Unsicherheit <0.01 Prozent zu übersetzen. Die entwickelten Stromwandler werden in Kooperation mit dem EFZN im Feldversuch mit realen Signalen beaufschlagt und getestet.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Metrology for Smart Electrical Grids
<b>Fördernde Stelle:</b>	EURAMET e.V., Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.09.2010 bis 31.08.2013
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Christian Bohn
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Andreas Becker, Dipl.-Math. Wiebke Heins
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.vsl.nl/knowledge/smart-electrical-grids/442">www.vsl.nl/knowledge/smart-electrical-grids/442</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:andreas.becker@efzn.de">andreas.becker@efzn.de</a>

# Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen



Ernst-August  
Wehrmann



Torsten Hager

Diverse Gesetzesinitiativen in den vergangenen Jahren, sowohl auf europäischer wie auch auf nationaler Ebene, der stetige Ausbau von Biogasanlagen mit einer Einspeisung in das Erdgasnetz und das gestiegene Interesse der Gasnetzbetreiber die Prozesse in ihren Erdgasverteilnetzen besser kennen zu wollen, stellen neue Anforderungen an die eingesetzten Simulationssysteme. Vor allem bei Erdgasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur liefern die kommerziell erhältlichen Simulationssysteme keine ausreichende Simulationsgüte. Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen dieses Projektes eine Weiterentwicklung und Implementierung einer Gasnetzsimulationssoftware in ein regionales Erdgasverteilnetz der E.ON Avacon AG. Des Weiteren wird die Anzahl und Lage der dafür notwendigen Messeinrichtungen festgelegt.

Grundlage für die Arbeiten bildet der zusammen mit der E.ON Thüringer Energie AG und der PSI AG im Zeitraum von 2005 bis 2009 am Institut für Elektrische Energietechnik der TU Clausthal entwickelte Knotenlastbeobachter. Es handelt sich hierbei um eine Weiterentwicklung des Gasnetzsimulators (GANESI), der um einen Störgrößenbeobachter (Knotenlastbeobachter) zur Nachbildung der ungemessenen Ausspeisungen erweitert wurde (siehe Abbildung 1). Die damaligen Entwicklungen und Validierungen erfolgten an einem Netzausschnitt mit 26 Ausspeisungen eines komplett instrumentierten Netzes. Aufgrund der geringen Netzgröße und der Einfachheit des Netzes ist eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Netze nicht direkt möglich, weshalb Weiterentwicklungen am Knotenlastbeobachter notwendig sind.

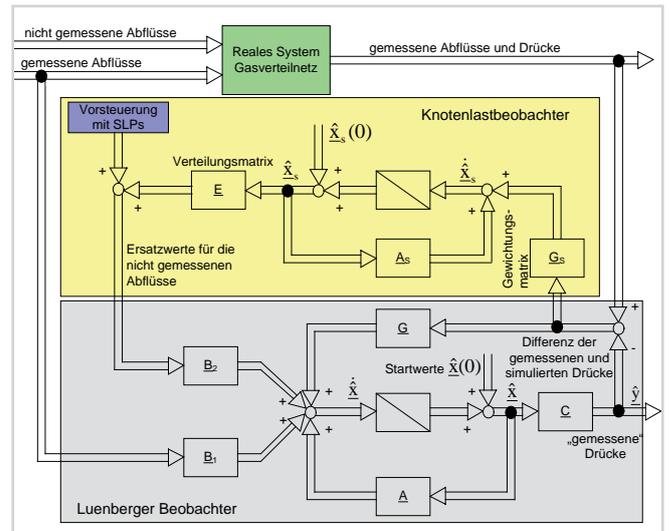
Seit dem Projektstart Anfang 2009 wurde eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Messeinrichtun-

## Daten zum Projekt

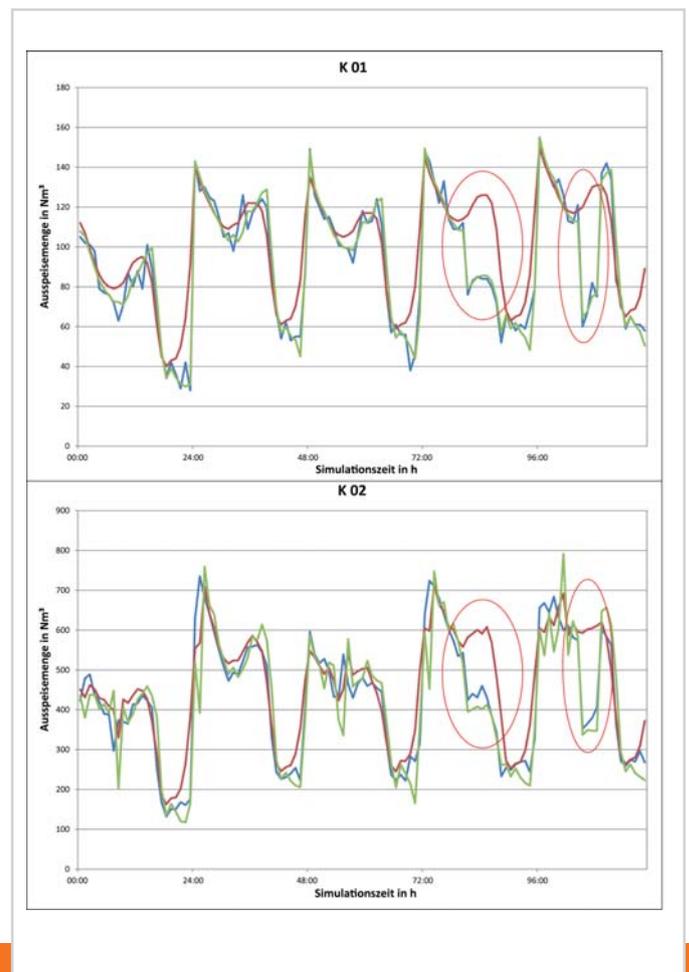
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen
<b>Fördernde Stelle:</b>	E.ON Avacon AG
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	15.06.2008 bis 31.07.2012
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann
<b>Projektbearbeitung:</b>	Dipl.-Ing. Torsten Hager
<b>E-Mail:</b>	torsten.hager@tu-clausthal.de

gen durchgeführt, die Messwerte beschafft und für die nicht gemessenen Ausspeisestellen Standardlastprofile entwickelt. Auf Grundlage der Bestandsaufnahme und der Standardlastprofile und der damit einhergehenden Analyse der Kundenstruktur an den Ausspeiseknoten sind die zusätzlich zu installierenden Messeinrichtungen identifiziert worden. Der Bau der zusätzlichen Messstellen wurde Ende 2009 ausgeschrieben, die Baumaßnahmen wurden in 2011 durchgeführt, so dass seit Dezember 2011 alle Messeinrichtungen auf deren korrekte Funktionsweise getestet werden konnten.

Des Weiteren wurden die für die Simulation benötigten Druckmessstellen ausgewählt und die entsprechenden Knoten als Teilnetzknotten und damit einhergehend die Teilnetze definiert. Daran anschließend wurde der Knotenlastbeobachter in der Variante mit mehreren Eingrößenbeobachtern für das Netz implementiert und die synthetischen Messwerte generiert. Nach ersten Testläufen erfolgte eine Anpassung der Auslegung der Matrix E des Knotenlastbeobachters (vgl. Abbildung 1). Durch weitere Spezifikationen des Knotenlastbeobachters, unter anderem die Reduzierung der Anzahl an Teilnetzen, konnten die in Abbildung 2 exemplarisch für zwei Ausspeisungen gezeigten Verläufe simuliert werden. Die grüne Kurve entspricht dabei den Messwerten und die blaue Kurve den simulierten Ausspeisemengen. Zusätzlich ist in rot die Vorsteuerung mit eingezeichnet. Die interessanten Bereiche, in denen die Vorsteuerung und die Messwerte stark voneinander abweichen, sind in den Diagrammen eingekreist. An diesen Bereichen lässt sich die Funktionsfähigkeit des Knotenlastbeobachters sehr gut nachweisen, er kommt seiner Aufgabe nach und gleicht die Abweichung zwischen Vorsteuerung und Messwert sehr gut aus.



▲ Abbildung 1: Strukturdiagramm des Simulationssystems mit Knotenlastbeobachter



▲ Abbildung 2: Simulierte Abflüsse (blau), synthetische Messwerte (grün) und Vorsteuerung (rot) für die Knoten K 01 und K 02

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Externe Partner:

- E.ON Avacon AG, Helmstedt
- PSI AG, Berlin

## e-Home Energieprojekt 2020



Lutz Hofmann



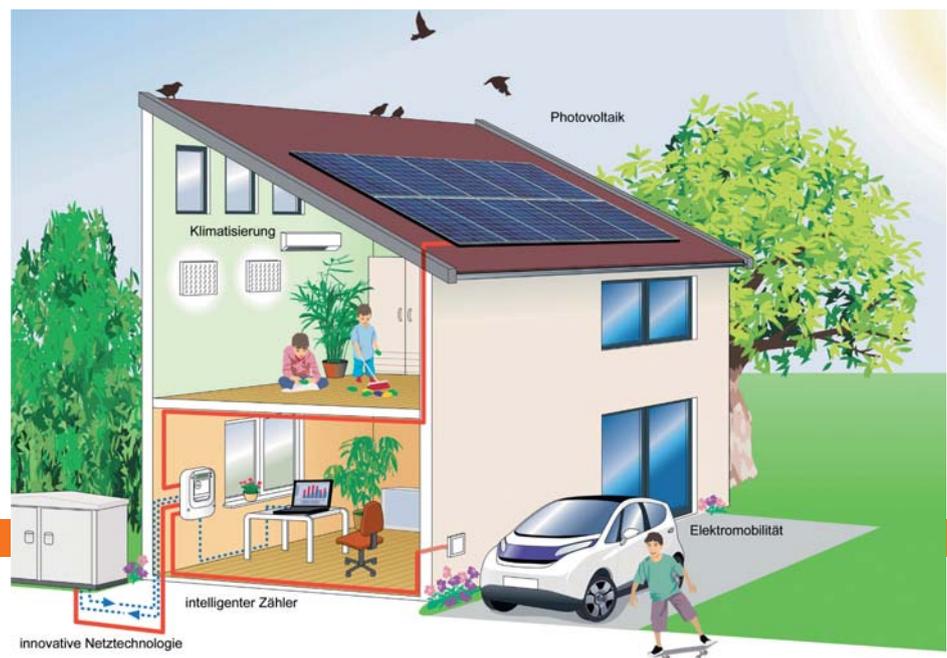
Andreas Becker

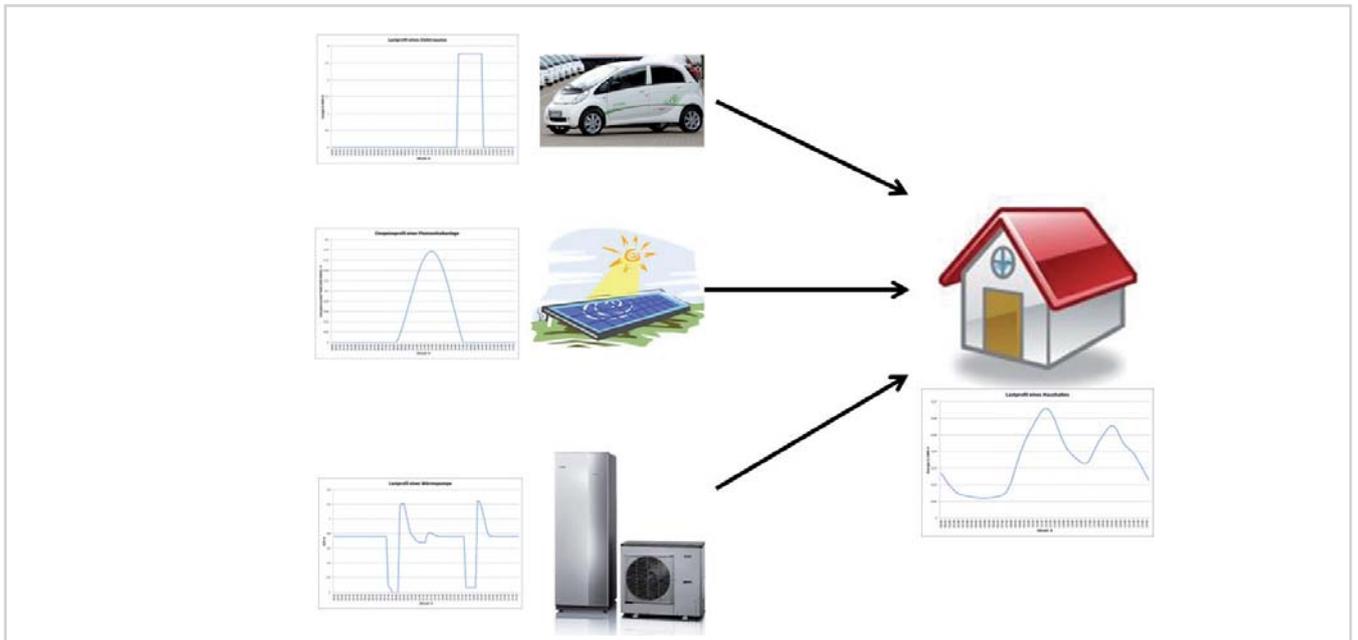
Im Rahmen des Verbundprojektes „e-Home Energieprojekt 2020“, welches durch die E.ON Avacon AG (EAV) und das EFZN finanziert wird, arbeiten im technischen Bereich das Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) der TU Braunschweig, das Institut für Elektrische Energietechnik (IEE) der TU Clausthal sowie das Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEH) der Leibniz Universität Hannover und im geisteswissenschaftlichen Bereich das Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht (IBER) der TU Clausthal, die Professur für Produktion und Logistik (PPL) sowie das Interdisziplinäre Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Georg-August-Universität Göttingen transdisziplinär zusammen.

EAV unterstützte insgesamt 32 Haushalte jeweils bei der Anschaffung einer Photovoltaik- und Klimaanlage sowie eines Elektroautos, um über einen Zeitraum von drei Jahren die Auswirkungen von verändertem Einspeise- und Verbraucherverhalten auf die Verteil- oder Ortsnetze unter realen Bedingungen messen und auswerten zu können. Des Weiteren sind in den ausgewählten Zielnetzen der Gemeinden Stuhr und Weyhe komplexe Messinfrastrukturen (Smart Meter, PowerQuality-Messgeräte, Powerline-Communication, Datenserver, Datenportal) sowie Prototypen regelbarer Ortsnetztransformatoren installiert worden. (Abb. 1)

Im technischen Bereich wird eine Aufnahme der Ist-Situation der eingebundenen e-Home-Netze auf Basis vorliegender realer Messwerte durchgeführt. Als

Abbildung 1: Im Projekt eingesetzte und untersuchte Komponenten ([www.ehomeprojekt.de](http://www.ehomeprojekt.de))





▲ Abbildung 2: Entwicklung realistischer Haushalts-Leistungsprofile

Untersuchungsgegenstand rücken hier die bestehenden Betriebsmittel sowie die eingebundenen Lasten und Erzeuger in den Fokus. Hierauf aufbauend werden Aussagen über die zukünftige Netzauslastung in einer Prognose der Netzaufgabe getroffen. Dabei stellt die Abschätzung der zukünftigen Netzaufgabe (Verbrauchs- und Erzeugungsleistung) eine zentrale Herausforderung dar, welche primär durch das elenia verantwortet wird. Im Rahmen des Projektes werden dazu Zeitreihen der betrachteten Komponenten theoretisch entwickelt. Neben den Lastprofilen der eingebundenen Haushalte, Klimageräte und Elektrofahrzeuge werden in umfangreichen Simulationen ebenso Erzeugungsprofile für die eingesetzten Photovoltaikanlagen generiert. Aktuell

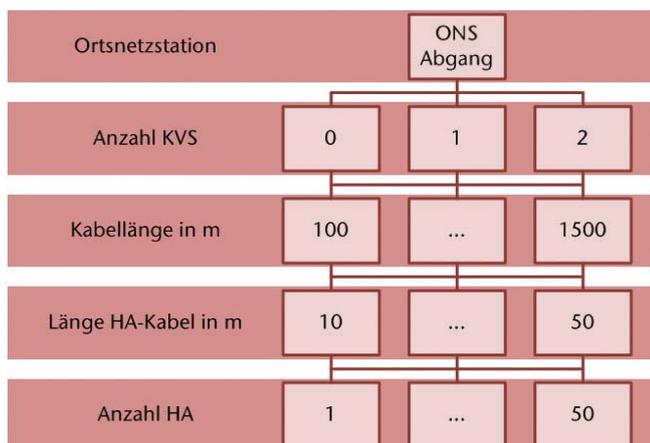
können bereits 410 Haushaltsprofile, 32 Photovoltaikprofile sowie 32 Ladekurven von Elektrofahrzeugen zur Netzberechnung herangezogen werden. (Abb. 2)

Aus der probabilistischen Interaktion der verschiedenen Komponenten werden Planungs- und Worst-Case-Szenarien abgeleitet. In Ergänzung hierzu werden elektrische Speicher ebenso wie verschiedene Möglichkeiten des Erzeugungsmanagements in die Betrachtung mit einbezogen.

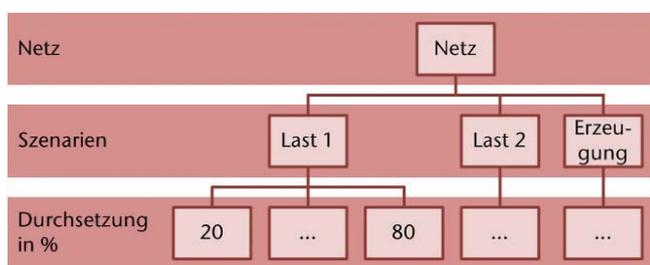
Weiterhin stellen die intensive Modellierung von Netzstrukturen und die Untersuchung des Einflusses einer hohen Zahl dezentraler Erzeugungsanlagen und der

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	e-Home Energieprojekt 2020
<b>Fördernde Stelle:</b>	E.ON Avacon AG
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.11.2010 bis 31.06.2013
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Ing. Andreas Becker
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.ehomeprojekt.de">www.ehomeprojekt.de</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:andreas.becker@efzn.de">andreas.becker@efzn.de</a>



▲ *Abbildung 3a: Verwendete Topologieparameter*



▲ *Abbildung 3b: Szenarioentwicklung*

## Projektpartner

### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

### Forschungsstellen:

- Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig
- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Universität Hannover
- Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Professur für Produktion und Logistik, Universität Göttingen
- Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht, TU Clausthal
- Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung, Universität Göttingen
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

### Externe Partner:

- E.ON Avacon AG

genannten neuartigen elektrischen Verbraucher auf die Netze einen weiteren Schwerpunkt des Projektes dar. Die Netzmodellierung, welche mehrheitlich durch das IEH verantwortet wird, umfasst dabei sowohl die zwei im Rahmen des Projektes untersuchten Ortsnetze der EAV, als auch die Bildung von Beispielnetzstrukturen, die typisch für den Bestand der EAV sind. Hierfür werden die bei EAV vorhandenen Netzdaten hinsichtlich verschiedener Parameter analysiert und diese zur Bildung synthetischer Netzstrukturen herangezogen. Neben den sich ergebenden Topologievariationen werden weiterhin verschiedene Szenarien zur Anwendung kommen.

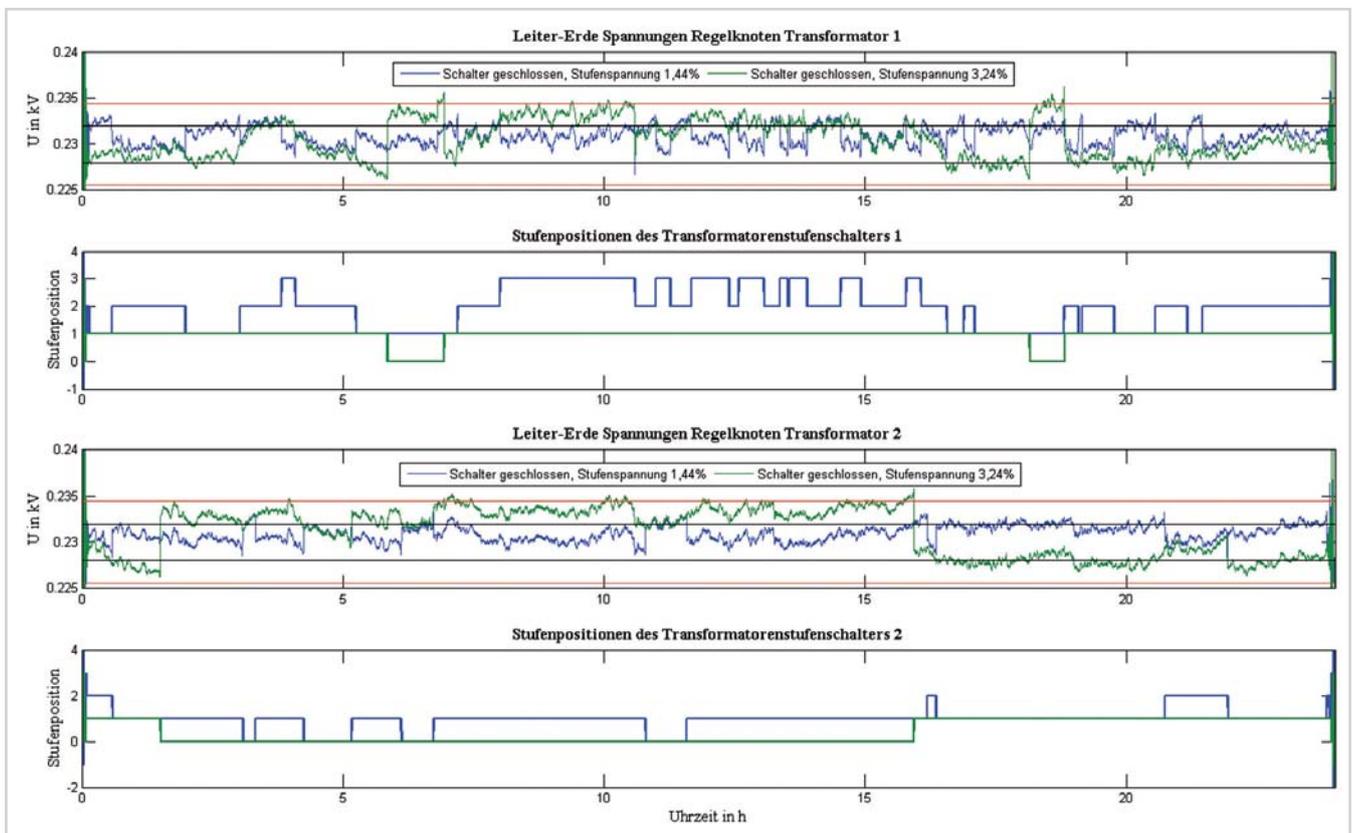
An den oben genannten Netzstrukturen werden Untersuchungen mit unterschiedlichen Last- und Erzeugungsszenarien durchgeführt, die Ergebnisse liefern Aussagen zur zukünftigen Planung und Führung von Niederspannungsnetzen. (Abb. 3a und 3b)

Einen weiteren Themenschwerpunkt stellt die Netzintegration und Auslegung regelbarer Ortsnetztransformatoren zur Spannungshaltung im Niederspannungsnetz dar. In ersten Untersuchungen, die vornehmlich durch das IEE verantwortet werden, wurden vorhandene Messwerte aus Mittel- und Niederspannungsnetzen auf Spannungsextrema untersucht, um einen geeigneten Regelbereich und die daraus resultierende Stufenanzahl und Stufenspannung ermitteln zu können. Basierend auf den Berechnungen im Rahmen einer am EFZN durchgeführten Orientierungsstudie zum regelbaren Ortsnetztransformator geht hierbei ein Regelbereich von  $\pm 5 \cdot 2,15 \% U_N$  hervor. (Abb. 4)

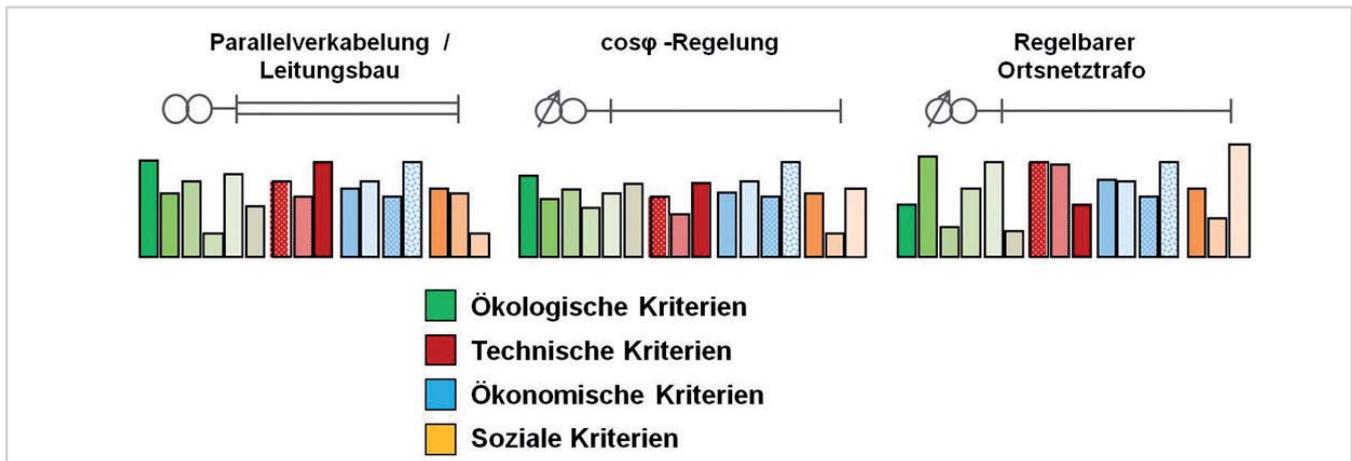
Im weiteren Projektverlauf werden verschiedene Regelalgorithmen in einem Netzsimulationsprogramm implementiert und die Simulationsergebnisse in Bezug auf verschiedene Gesichtspunkte verglichen. Der hieraus hervorgehende Regler wird anschließend für Simulationen in realen Niederspannungsnetzstrukturen verwendet, so dass Rückwirkungen mit anderen im Niederspannungsnetz vorkommenden Regelkreisen (zum Beispiel Q(U)-Regler,  $\cos \varphi$  (P)-Kennlinien) ebenfalls untersucht werden können.

Durch Beantwortung der aufgeführten Fragestellungen und Zusammenführung der erzielten Erkenntnisse kann im Ergebnis ein technologischer Vergleich der verschiedenen Technologien und Netzausbaustrategien durchgeführt werden. Schließlich werden Empfehlungen zu zukünftigen Planungsrichtlinien abgeleitet. Das Einsatzpotential eines regelbaren Ortsnetztransformators wird dabei gesondert bestimmt. Die technischen Ergebnisse werden weiterhin in enger Zusammenarbeit mit den Geisteswissenschaften hinsichtlich Ihrer Wirtschaftlichkeit im regulierten Markt, der juristischen Machbarkeit als auch hinsichtlich möglicher Akzeptanzprobleme untersucht, um im Ergebnis nachhaltige technische Lösungen zu erhalten.

Im wirtschaftswissenschaftlichen Bereich werden unter anderem Geschäftsmodelle für innovative Systemdienstleistungen untersucht. Die verschiedenen Arbeitspakete des Projekts umfassen einerseits eine monetäre Bewertung von Ausbaualternativen in Niederspannungsnetzen anhand der Betrachtung von Kostenstrukturen, andererseits werden Methoden der Kapazitätserweiterungsplanung in das Projekt eingebracht, um den aktuellen Netzausbaubedarf zu bewerten und zu planen. Darüber hinaus bringt die PPL Methoden der Mehrzielentscheidungsunterstützung in das Projekt mit ein. Das Ziel ist ein multikriterieller Vergleich verschiedener Netzausbauvarianten, die in den betreffenden Niederspannungsnetzen zur Bewältigung der zukünftigen



▲ *Abbildung 4: Exemplarische Simulationsergebnisse für einen Netzausläufer mit zwei regelbaren Ortsnetztransformatoren zur Spannungsanpassung bei hohem Anteil dezentraler Energieeinspeisung. Dargestellt sind die Sekundärspannungen und Stufenpositionen bei Variation der Stufenspannung.*



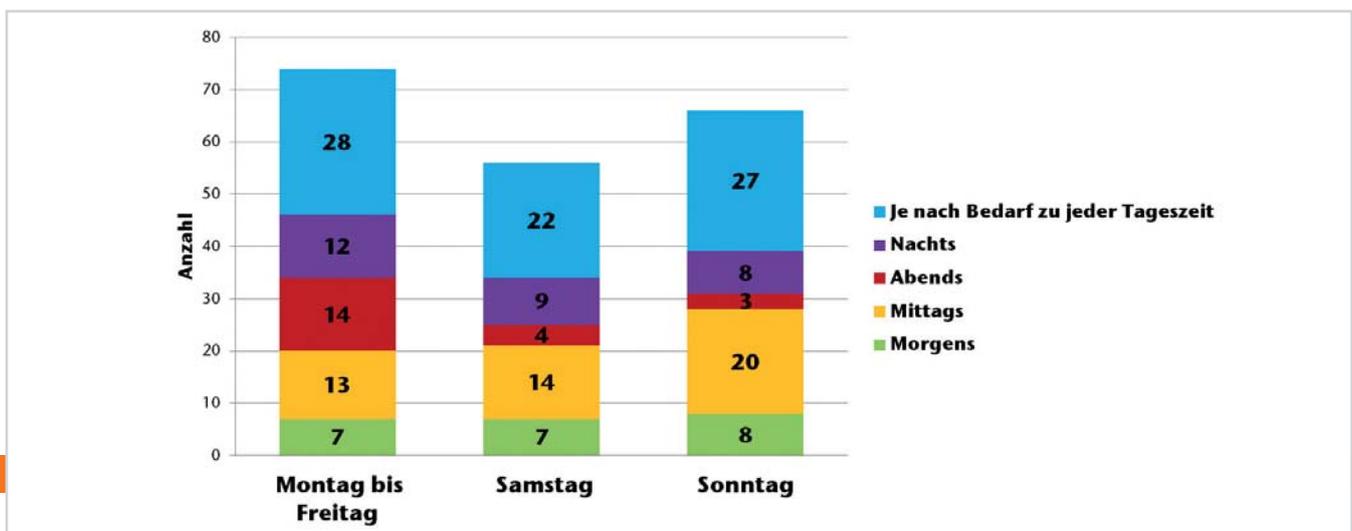
▲ *Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung eines multikriteriellen Vergleichs*

Netzaufgaben umgesetzt werden können. Berücksichtigt werden dabei sowohl ökologische, ökonomische und soziale als auch technische Aspekte. (Abb. 5)

Aus juristischer Sicht wird im e-Home-Projekt zum einen die Anerkennung bestimmter, im Zusammenhang mit dem Netzbau anfallender Kosten in der Anreizregulierung untersucht. In den Blick genommen werden die Kosten für Smart Metering, für regelbare Ortsnetztransformatoren, Kosten für Forschung und Entwicklung, Kosten für vermiedene Netzentgelte sowie weitere Kosten in Zusammenhang mit einem Smart Grid. Zum anderen werden die rechtlichen Möglichkeiten der Einwirkung des Verteilernetzbetreibers auf die Ein- und Ausspeisungen in sein Netz untersucht. Dabei werden drei Zielrichtungen der Einwirkung unterschieden. Neben Aspekten der Netzzuverlässigkeit werden Aspekte der Netzleistungsfähigkeit ebenso untersucht

wie Aspekte des (energie- und kosten-) effizienten Netzbetriebs.

Im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Betrachtungen im e-Home-Projekt wird die Akzeptanz gegenüber den einzelnen Projektbausteinen und des Gesamtprojektes bei der Bevölkerung der Ortschaften und ausgewählten Haushalte untersucht. Zum Einsatz kommen gängige quantitative und qualitative Methoden der Sozialforschung, wie schriftliche Befragungen und qualitative Interviews. Bisher wurden zwei Fragebogenstudien durchgeführt. In der ersten Haushaltsbefragung wurden die Motivationen zur Projektteilnahme sowie die Erwartungen, Hoffnungen und Bedenken hinsichtlich des e-Home-Projektes untersucht. Die zweite Befragung befasste sich mit der Einschätzung und Akzeptanz des Elektrofahrzeuges und richtete sich an alle Nutzer dieses Fahrzeuges. (Abb. 6)



▲ *Abbildung 6: Exemplarisches Ergebnis der 2. Haushaltsbefragung zu bevorzugten Ladezeiten*

# Ermittlung der CO<sub>2</sub> – Vermeidungskosten in Niedersachsen



Jutta Geldermann

Ausgehend von bereits vorliegenden Studien zur Ermittlung der Potenziale und Kosten der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in der Bundesrepublik Deutschland sowie vorliegender Daten der Energie- und CO<sub>2</sub>-Statistik des Landes Niedersachsen hat das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) zur Unterstützung der Arbeit der niedersäch-

sischen Regierungskommission Klimaschutz einzelne Bereiche identifiziert, von denen ausgehend von der verfügbaren Literatur ein hohes CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial für Niedersachsen erwartet wurde.

Unter Berücksichtigung der zu identifizierenden relevanten Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung (Vermeidungshebel) wurde eine erste CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostenkurve für Niedersachsen aufgestellt, welche die betrachteten Bereiche berücksichtigt. Diese Vermeidungskostenkurve kann damit als Ausgangspunkt der Entwicklung geeigneter politischer Maßnahmen einer möglichst effizienten Realisierung der niedersächsischen Klimaschutzziele dienen.

Die Studie EFZN ist die erste dieser Art, die sich explizit auf Niedersachsen bezieht. Sie entstand unter der Leitung von Prof. Dr. Jutta Geldermann von der Univer-

## Projektpartner

### Projektkoordination:

- Professur für Produktion und Logistik, Universität Göttingen
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

### Forschungsstellen:

- Institut für Wirtschaftswissenschaft, TU Clausthal

sität Göttingen in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Heike Schenk-Matthes von der TU Clausthal und soll der Landesregierung beim Erstellen eines eigenen Klimaschutzprogrammes helfen. Dafür wurde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß und der Energieverbrauch in den Bereichen Erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung, Gebäude, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, Transport und Landwirtschaft recherchiert und auf mögliche Wechselwirkungen und Hindernisse beim Umsetzen der empfohlenen Maßnahmen hingewiesen. Ein Beispiel dafür sind Zielkonflikte zwischen Hauseigentümern und Mietern bei der energetischen Gebäudesanierung.

Konkrete Angaben zur Menge des eingesparten CO<sub>2</sub> oder den damit zusammenhängenden Kosten waren explizit für Niedersachsen aufgrund der fehlenden verlässlichen Datenbasis nicht möglich.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Niedersächsische CO <sub>2</sub> -Vermeidungspotenziale und Vermeidungskosten
<b>Fördernde Stelle:</b>	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	09/2008 bis 11/2009
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. Jutta Geldermann, Professur für Produktion und Logistik, Georg-August-Universität Göttingen
<b>Projektkoordinator:</b>	Prof. Dr. Jutta Geldermann, Professur für Produktion und Logistik, Georg-August-Universität Göttingen
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.produktion.uni-goettingen.de">www.produktion.uni-goettingen.de</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:geldermann@wiwi.uni-goettingen.de">geldermann@wiwi.uni-goettingen.de</a>
<b>Abschlussbericht:</b>	<a href="http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2147&amp;article_id=9113&amp;_psmand=10">www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2147&amp;article_id=9113&amp;_psmand=10</a>

# Neuartige Photovoltaik mit „Schwarzem Silizium“ und „Schwarzem Zinkoxid“ (NEPHOS)



Wolfgang Schade



Stefan Kontermann

Eine interessante Zukunftsvision ist die Entwicklung von Sensoren und Sensornetzwerken, die unabhängig von externen Energiequellen arbeiten. Autarke Sensoren benötigen kleine, hocheffiziente und billige Energiequellen wie Solarzellen, die erneuerbare Energien nutzen. Solarzellen funktionieren in nahezu jeder Klimazone und Region der Welt und nutzen das Sonnenlicht als Energiequelle. Das ist vor allem in solchen Fällen interessant, wenn Sensoren zum Aufspüren von Gasen an Vulkanen, zur Minendetektion oder im Konzept faseroptischer Sensoren beim Erfassen von mechanischen Belastungen bei Windkraftrotorblättern, eingesetzt werden sollen. Ziel ist, die Energieaufnahme von Sensoren zu senken und hocheffiziente sowie billige Energiequellen aus erneuerbaren Energien zu erforschen. Dafür erweisen sich neue Solarzellenkonzepte als sehr attraktiv. Die zentrale Herausforderung ist dabei die des Wirkungsgrades von Solarzellen. Die Bearbeitung von Siliziumoberflächen mittels eines Femtosekundenlasers ist eine erfolgversprechende Methode, um Solarzellen der dritten Generation massenmarktfähig herzustellen.

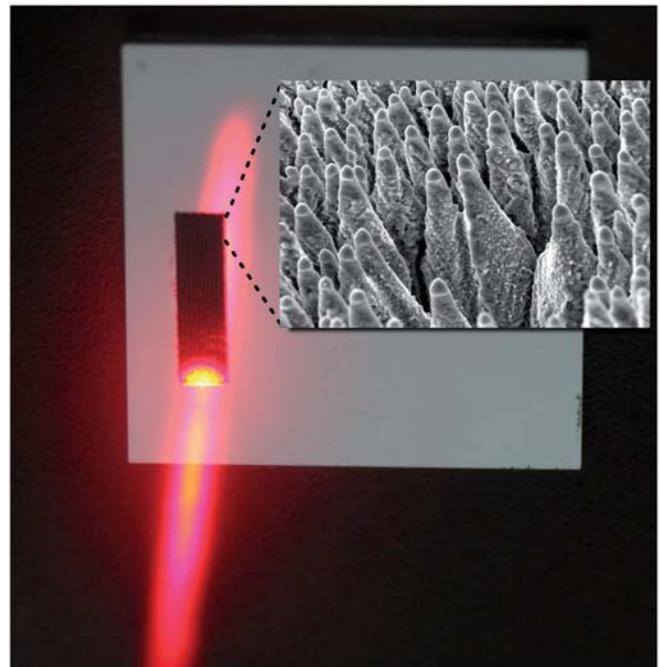
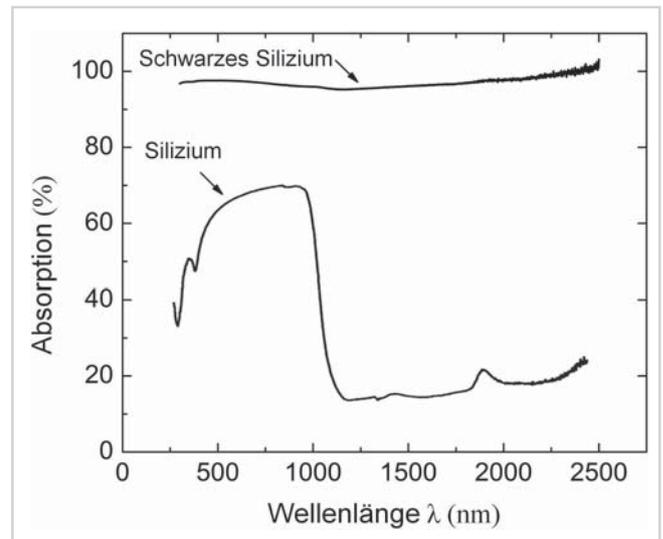


Abbildung 1: Sicht in die Probenkammer beim Prozessieren von Schwarzen Silizium. An der Oberfläche entstehen spitze kegelförmige Strukturen. ►

Das Projekt NEPHOS setzt an diesem Punkt an und ist darauf fokussiert ein Solarzellenkonzept zu entwickeln, das auf Schwarzem Silizium – auch Black Silicon genannt – beruht: Wird eine Siliziumoberfläche mit ultrakurzen Laserpulsen hoher Intensität beleuchtet, erzeugt dies eine Oberflächenmodifikation. Das Besondere daran ist, dass in der Folge die Absorption im visuellen und nahen infraroten Teil des Sonnenspektrums zunimmt. Im Gegensatz zu Schwarzem Silizium absorbiert normales Silizium kein Licht mit einer Wellenlänge über 1100 nm, was dem Bandabstand von Silizium entspricht. Mit Black Silicon lässt sich also der Spektralbereich >1100 nm photovoltaisch nutzen; immerhin 1/3 des Sonnenspektrums liegt in diesem Bereich. Weiterhin verursachen die Spitzen auf der Oberfläche des schwarzen Siliziums eine nahezu perfekte Lichtabsorption von mehr als 90 Prozent im gesamten Sonnenspektrum.

Innerhalb NEPHOS ist es gelungen, zunächst den Wirkungsgrad von 2,2 Prozent (Veröffentlichung durch die Harvard University) zu demonstrieren. Aktuell wurde ein neuer Rekord mit einem Wirkungsgrad von 4,5 Prozent erzielt. Die Laserprozessierung von Black Silicon grenzt sich vom Stand der Technik dadurch ab, dass hier erstmals sogenannte „geformte“ Femtosekunden Laserpulse eingesetzt werden. Der Vorteil dabei ist, dass mit diesen maßgeschneiderten Femtosekunden Laser-

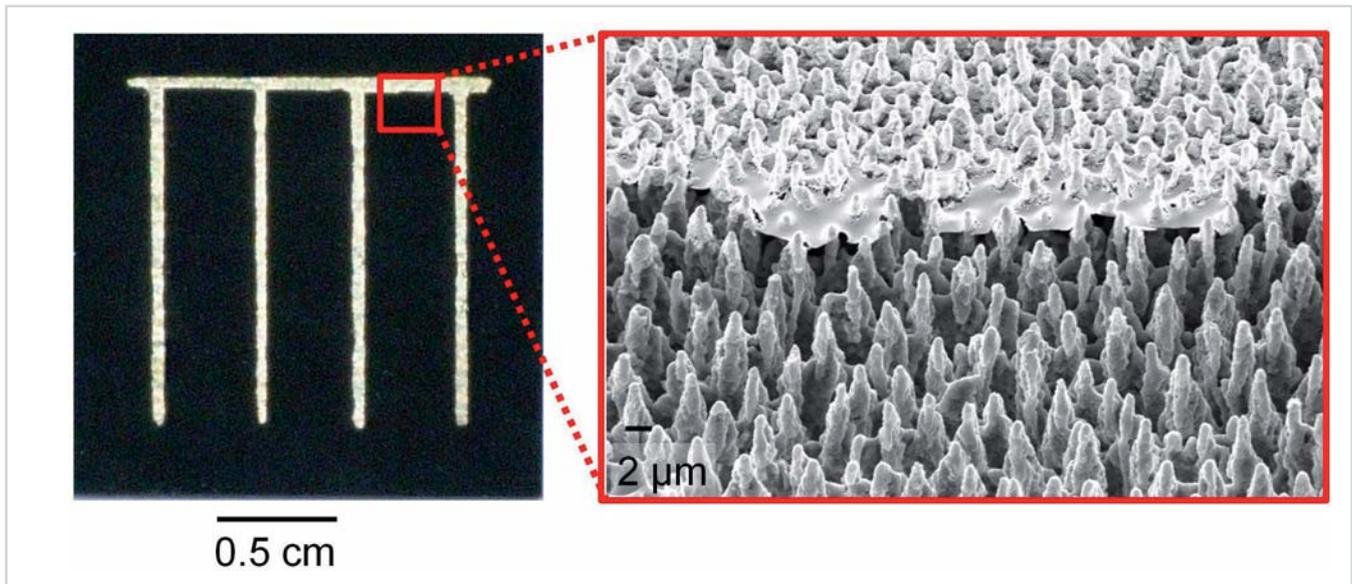


▲ *Abbildung 2: Vergleich der Absorption von konventionellem und Schwarzem Silizium*

pulsen maßgeschneiderte Materialeigenschaften realisiert werden können. Durch geeignet geformte Femtosekunden-Laserpulse kann das Black Silicon Material „maßgeschneidert“ werden, zum Beispiel lassen sich die Zwischenenergieniveaus hinsichtlich ihrer energetischen Position manipulieren. Damit kann das Material

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Neuartige Photovoltaik mit „Schwarzem Silizium“ und „Schwarzem Zinkoxid“ (NEPHOS)
<b>Fördernde Stelle:</b>	Bundministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>Förderkennzeichen:</b>	0325157C
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.08.2009 bis 31.10.2011
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.08.2009 bis 31.10.2011
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. Wolfgang Schade
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Stefan Kontermann
<b>E-Mail:</b>	stefan.kontermann@tu-clausthal.de
<b>Abschlussbericht:</b>	S. Kontermann (Hrsg.): Neuartige Photovoltaik mit „Schwarzem Silizium“ und „Schwarzem Zinkoxid“ (NEPHOS), Abschlussbericht.

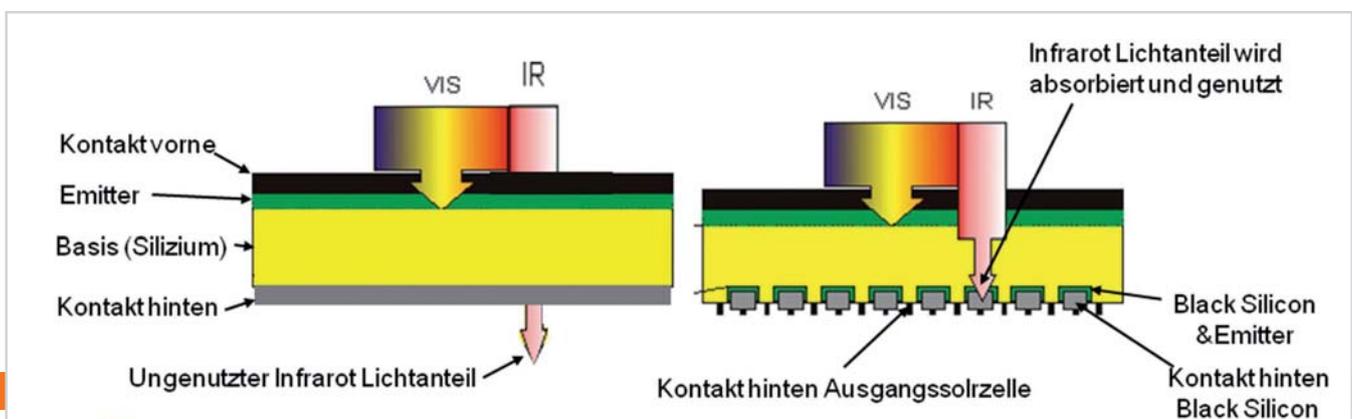


▲ *Abbildung 4: Femtosekunden Laser prozessierte Schwarze Siliziumsolarzelle und eine Rasterelektronenmikroskopieaufnahme der Oberflächenstruktur im Bereich der Metallisierung.*

mehr Richtung Photovoltaik Anwendung oder Thermophotovoltaik „getrimmt“ werden, indem beispielsweise bevorzugt Absorption im mittleren Infrarotbereich (Intensitätsmaximum eines thermischen Strahlers) induziert wird. Dieses Konzept wurde im November 2010 als Patent angemeldet. Der erreichte Wirkungsgrad von 4,5 Prozent ist weiter steigerbar, da die Oberfläche des Schwarzen Siliziums und die Zellkontaktierung auf das Schwarze Silizium anzupassen ist.

Die Arbeiten in NEPHOS sind in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Heinrich Hertz Institut, das auch auf dem EnergieCampus ansässig ist entstanden. Die Ergebnisse haben erfolgreich gezeigt, dass Femtosekundenlaser prozessiertes Black Silicon sich als infra-

rotaktives Material für photovoltaische Anwendungen sehr gut eignet. Darüber hinaus könnte das Material sich auch sehr gut für thermophotovoltaische Anwendungen eignen – zum Beispiel zur Konversion von Abwärme in elektrischen Strom. Im Bereich Photovoltaik erscheint Black Silicon besonders interessant in der Anwendung als Sekundärzelle in einer Tandemsolarzelle. In einem vergleichsweise einfachen, zusätzlichen Prozessschritt wird die Unterseite einer konventionellen Siliziumsolarzelle mit dem Laser bestrahlt, es entsteht dabei Black Silicon und diese neue Schicht ist im Gegensatz zur restlichen Zelle infrarotaktiv. Damit ist eine Erhöhung des Wirkungsgrads dieser Standard-solarzellen von 17 auf circa 18,5 Prozent Wirkungsgrads angestrebt.



▲ *Abbildung 5: Schematischer Aufbau einer Standard Siliziumsolarzelle (links) und einer Black Silicon Tandemsolarzelle (rechts).*

Im Rahmen eines BMU Verbundprojektes wird der in NEPHOS entstandene Laserprozess weiterentwickelt, um ihn einerseits zur einseitigen Texturierung von multikristallinen Siliziumsolarzellen zu verwenden und andererseits um durch die starke Oberflächenvergrößerung die mechanische Haftung und die elektrischen Eigenschaften von plattierten Kontakten zu verbessern und so für die Photovoltaikindustrie umsetzbar zu machen.

In einer Kooperation mit der Universität Göttingen werden die elektrooptischen und strukturellen Eigenschaften von Black Silicon in Abhängigkeit der Femtosekunden Laserpulsform erarbeitet.

Der Black Silicon Laserprozess ist jedoch nicht auf Anwendungen in der Photovoltaik beschränkt:

Deshalb ist der Übertrag des Black Silicon Laserprozesses auf andere Materialien wie zum Beispiel Metalle ein weiterer aktueller Forschungsschwerpunkt. Damit können Metalloberfläche in einer ähnlichen Weise wie Black Silicon strukturiert werden. Diese strukturierten Metalloberflächen stellen ein hervorragendes Elektrodmaterial für Brennstoffzellen, und insbesondere in Batterien dar.

### **Projektpartner**

#### **Projektkoordination:**

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### **Forschungsstellen:**

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für Energieforschung und Physikalische Technologien (IEPT), TU Clausthal

#### **Externe Partner:**

- Institut für Festkörperphysik, Universität Bremen
- Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut, Goslar

### **Quellen:**

- Schade, W.; Kontermann, S.; Gimpel, T.; Baumann, A. L.; Günther, K.-M., Ruibys, A.: *PTJ-Jahrbucheintrag* (2011).
- S. Kontermann, A. L. Baumann, T. Gimpel, K.M. Guenther, A. Ruibys, Ulrike Willer, and W. Schade, *Structural and optical property tailoring of black silicon with fs-laser pulses*, *MRS Proceedings*, 1405, mrsf11-1405-y03-03 doi:10.1557/opl.2012.20 (2012) [Invited Talk]
- T. Gimpel, K.-M. Günther, S. Kontermann, and W. Schade, *Study on contact materials for sulfur hyperdoped black silicon*, *Proceedings of the 37th IEEE PVSC, Seattle, Washington, USA, 002061-002065*, doi: 10.1109/PVSC.2011.6186358 (2011)

# Elektrolyse von Chlorwasserstoff in einem Polymerelektrolyt-Membranreaktor mit Sauerstoffverzehrkatode



Thomas Turek



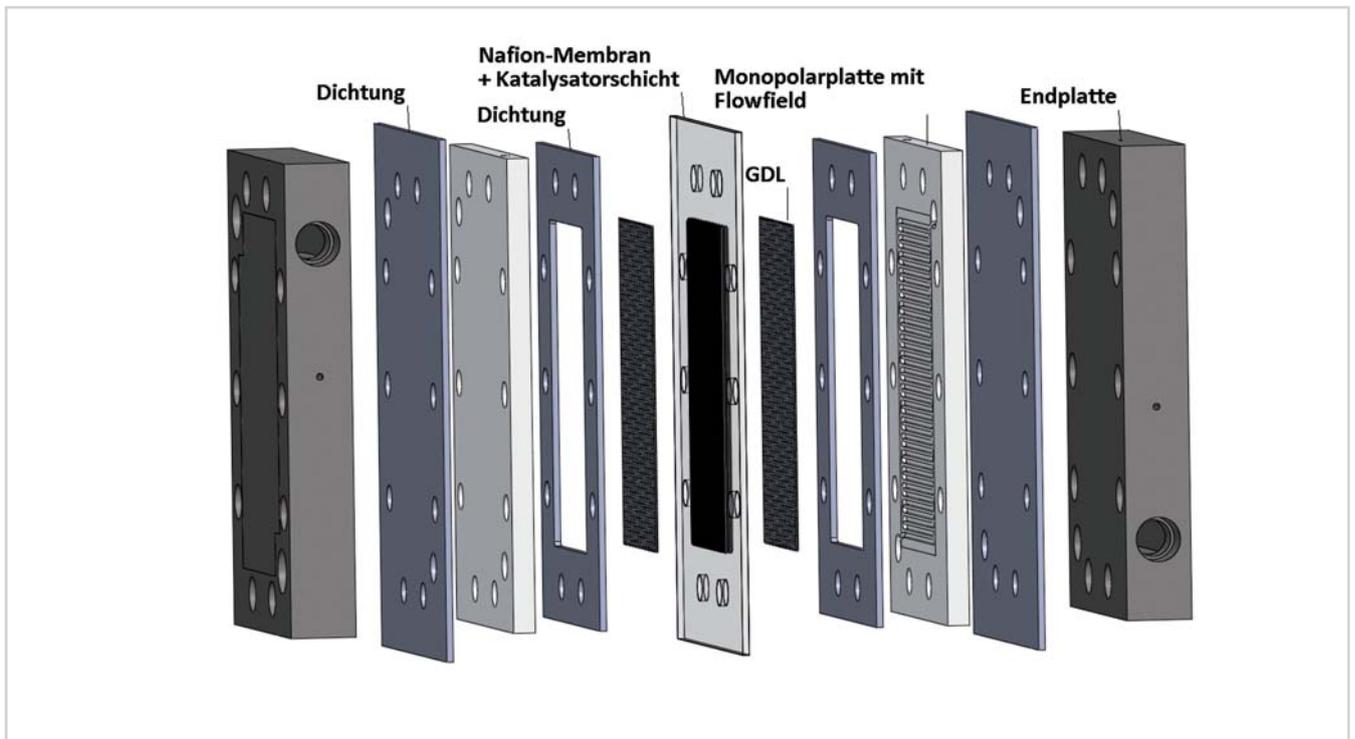
Rafael Kuwertz

Chlor zählt mit einer weltweiten Herstellungskapazität von etwa 68 Millionen Tonnen (2008) zu den wichtigsten Grundchemikalien [1]. Es wird für circa 2/3 aller chemischen Erzeugnisse wegen seiner hohen Reaktivität und Selektivität benötigt und bei der Herstellung von Polymeren, Pestiziden, Arzneistoffen und in der Wasser- und Abwasserbehandlung eingesetzt. Nahezu die gesamte Chlorproduktion wird mittels Elektrolyse hergestellt, wobei der Großteil auf die Elektrolyse von wässrigen Natriumchlorid-Lösungen nach dem Amalgam-, Diaphragma- oder Membranverfahren entfällt. Ein kleiner, aber stetig wachsender Anteil basiert auf Chlorwasserstoff, welcher entweder chemisch nach dem Deacon-Verfahren oder elektrochemisch durch Elektrolyse umgesetzt werden kann. Das Deacon-Verfahren konnte sich bis heute nur in einzelnen Anlagen durchsetzen, da die hohen Kosten des Edelmetallkatalysators, der nicht vollständige Chlorwasserstoff-Umsatz bei den erforderlichen Betriebstemperaturen von 400 Grad Celsius – 450 Grad Celsius und die aufwändige Produktreinigung hohe Anforderungen stellen [2, 3]. Die elektrochemische Umsetzung bietet die Vorteile einer niedrigeren Betriebstemperatur (70 Grad Celsius – 90 Grad Celsius) und die Möglichkeit des modularen und dezentralen Einsatzes. Daher besteht Bedarf an der Weiterentwicklung der elektrochemischen Verfahren zur HCl-Elektrolyse.

Bei dem elektrochemischen Verfahren können zwei grundlegende Prozessvarianten unterschieden werden. Zum einen kann der Chlorwasserstoff in seine Elemente zerlegt werden und zum anderen kann entsprechend der Stöchiometrie des Deacon-Prozesses die Sauerstoffreduktion an einer Sauerstoffverzehrkatode (SVK) mit der Chlorerzeugung kombiniert werden. Des Weiteren kann die Chlorreduktion entweder durch

## Daten zum Projekt

Vorhabenbezeichnung:	Elektrolyse von Chlorwasserstoff
Fördernde Stelle:	Deutsche Forschungsgemeinschaft
Förderkennzeichen:	KU 853/5-1
Laufzeit des Vorhabens:	01.10.2009 bis 31.03.2013
Berichtszeitraum:	01.10.2009 bis 31.03.2013
Verantw. Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunz, Prof. Dr.-Ing. Thomas Turek
Projektkoordinator:	Dipl.-Chem. Rafael Kuwertz
Internet:	<a href="http://www.icvt.tu-clausthal.de">www.icvt.tu-clausthal.de</a>
E-Mail:	<a href="mailto:kuwertz@icvt.tu-clausthal.de">kuwertz@icvt.tu-clausthal.de</a>



Elektrolyse von Salzsäure erfolgen oder durch die Elektrolyse in der Gasphase. Großtechnisch angewendet wird bisher nur die klassische Salzsäure-Elektrolyse nach dem Bayer-Hoechst-Uhde-Verfahren [4, 5] sowie mit einer SVK im Bayer-Uhdenora-Verfahren [6].

In diesem Projekt wird ein Verfahren zur gasförmigen Elektrolyse von Chlorwasserstoff mittels einer SVK entwickelt. Die Grundidee dieses thermodynamisch günstigen Verfahrens wurde 1995 in einem US Patent [7] beschrieben, jedoch bisher nicht technisch realisiert. Es kombiniert die Vorteile einer gasförmigen Oxidation von HCl mit der Sauerstoffreduktion an einer SVK.

Prinzipiell erreicht man bei der Oxidation in der Gasphase höhere Stromdichten, da die Stofftransportvorgänge wesentlich schneller als in der flüssigen Phase sind. Außerdem entfällt der Schritt der HCl-Adsorption vor der Elektrolyse. Das Reaktorkonzept der hier vorgestellten Elektrolyse baut auf den Komponenten der PEM-Brennstoffzellen auf. Dazu gehören die Polymer-

Elektrolyt-Membran (PEM), die Katalysatorschichten, die beiden angrenzenden Gasdiffusionsschichten sowie die Bipolarplatten. Besonderes Augenmerk wurde bei der Entwicklung des Laborreaktors auf die Materialbeständigkeit gelegt, da unter diesen aggressiven Bedingungen die Materialauswahl von entscheidender Bedeutung ist [8].

Ziel dieses Projektes ist es die verfahrenstechnischen Grundlagen für die Realisierung eines neuen Prozesses zur Elektrolyse von gasförmigem Chlorwasserstoff in einem PEM-Reaktor mit SVK zu erarbeiten. Dabei sollen experimentelle und modellgestützte Untersuchungsmethoden eng miteinander verzahnt werden.

Für die experimentellen Untersuchungen an dem Gesamtprozess ist ein PEM-Reaktor im Labormaßstab unter Verwendung bewährter Materialien der PEM-Brennstoffzellentechnik aufgebaut und in eine geeignete Versuchsanlage integriert worden. Dadurch können systematische Parameterstudien wie

Betriebsparameter und strukturelle Parameter, für eine quantitative Aussagekraft erfolgen. Für den Einfluss der Reaktions- und Transportprozesse an den Elektroden des Reaktors werden separate Messungen in einer speziellen elektrochemischen Zelle (Zyklonzelle) durchgeführt. Die Transportprozesse von Chlorwasserstoff und Wasser durch die PEM werden direkt im Laborreaktor sowohl stromlos als auch unter Elektrolysebedingungen untersucht.

Parallel zu den Experimenten wird ein mathematisches Modell entwickelt. Dazu wird in dem Modell von einer Sandwich-Struktur (Schicht-Struktur) ausgegangen. Die einzelnen Schichten und die dazugehörigen Prozesse werden dann mit Hilfe der experimentellen Daten modelliert und dann zu einem Gesamtprozess kombiniert. Nach der experimentellen Validierung kann eine modellgestützte Reaktoroptimierung erfolgen.

Bei einem erfolgreichen Verlauf des Projekts, eröffnet sich für diesen hier vorgeschlagenen Prozess ein großes Anwendungspotential für die Chemische Industrie im Bereich des produktionsinternen Umweltschutzes bei der Chlorrückgewinnung. Dieser Prozess bietet eine potentielle Energieeinsparung gegenüber bisher eingesetzten Chlorwasserstoff-Elektrolyseprozessen.

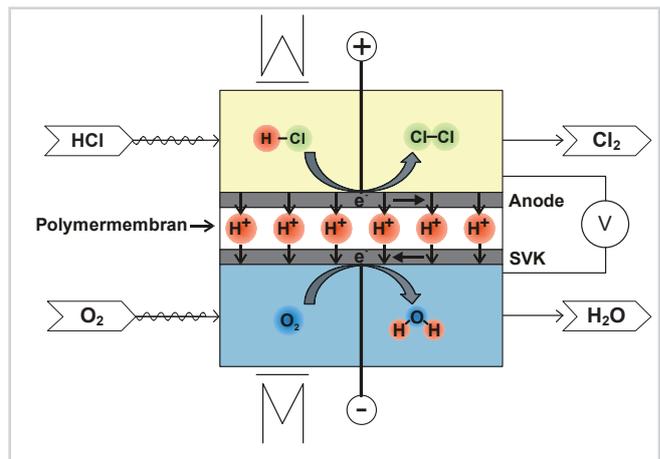
### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Institut für Chemische Verfahrenstechnik, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Externe Partner:

- Institut für Verfahrenstechnik, Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



### Quellen:

- [1] Jörissen, J., Turek, T., Weber, R., „Energieeinsparung bei der Elektrolyse: Chlorherstellung mit Sauerstoff-verzehrkatoden“, *Chem. Unserer Zeit* 45 (2011) 172-183.
- [2] Motupally, S. „Recycling Chlorine from Hydrogen Chloride: A New and Economical Electrolytic Process“, *The Electrochemical Society Interface* 7 (1998) 32-36.
- [3] Teschner, D. et al., „An integrated approach to Deacon chemistry on RuO<sub>2</sub>-based catalysts“, *J. Catal.* 285 (2012) 273-284.
- [4] Barmashenko, V., Jörissen, J. „Recovery of chlorine from dilute hydrochloric acid by electrolysis using a chlorine resistant anion exchange membrane“, *J. Appl. Electrochem.* 35 (2005) 1311-1319.
- [5] EP 0785294, „Improved Method for Electrolysis of Aqueous Solutions of Hydrochloric Acid“, De Nora S.P.A., 23.07.1997.
- [6] Hoormann, D., Jörissen, J., Pütter, H., „Elektrochemische Verfahren – Neuentwicklungen und Tendenzen“, *Chem. Ing. Tech.* 77 (2005) 1363-1376.
- [7] US Patent 5411641, „Electrochemical Conversion of Anhydrous Hydrogen Halide to Halogen Gas Using a Cation-Transporting Membrane“, E.I. Du Pont de Nemours and Company, 02.05.1995.
- [8] Eames, D. J., Newman, J. „Electrochemical Conversion of Anhydrous HCl to Chlorine Using a Solid-Polymer-Electrolyte Electrolysis Cell“, *J. Electrochem. Soc.* 142 (1995) 3619-3625.

# Korrelation von Modell- und kommerziellen Aktivmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien mittels *In-situ*-Bestimmung thermodynamischer und kinetischer Daten



Holger Fritze



Hendrik Wulfmeier

## Projekthintergrund

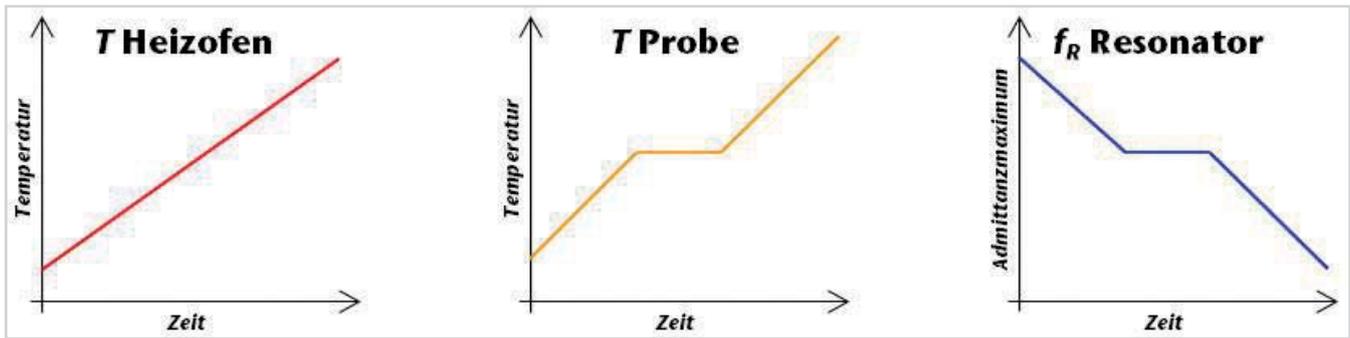
Dieses Projekt ist in das Schwerpunktprogramm 1473 „WeNDeLIB“ (Werkstoffe mit neuem Design für Lithium-Ionen-Batterien) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) eingebettet. Bearbeitet wird es gemeinsam vom Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (Forschungsbereich Grundlagen neuer Energietechnologien, Arbeitsgruppe Prof. Fritze) und der Technischen Universität Ilmenau (Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Arbeitsgruppe Prof. Bund) unter Einbeziehung des Industriepartners H.C. Starck GmbH, Goslar.

## Grundkonzept

Die Kenntnisse der kinetischen Einsatzgrenzen und der thermodynamischen Stabilität sind notwendig, um Lithium-Batterien mit hervorragender Kapazität und hoher Lebensdauer herstellen zu können. Im Rahmen dieses Projekts wird mit der Dünnschicht-Kalorimetrie ein neues Messverfahren realisiert, welches die Untersuchung der Temperatur und der Enthalpie von Phasenübergängen als Funktion der Zusammensetzung und des Lithium-Gehaltes ermöglicht. Dünne Schichten der Elektrodenmaterialien werden auf die Oberfläche eines piezoelektrischen Resonators (Langasitkristall) abgeschieden, welcher sehr kleine Temperaturschwankungen von circa 10 mK detektieren kann. Neben diesem Verfahren werden gleichzeitig Untersuchungen mittels

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Korrelation von Modell- und kommerziellen Aktivmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien mittels <i>In-situ</i> -Bestimmung thermodynamischer und kinetischer Daten
<b>Fördernde Stelle:</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft
<b>Förderkennzeichen:</b>	SPP 1473, FR 1301/16-1
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2011 bis 30.09.2013
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2011 bis 31.12.2011
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Holger Fritze
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Phys. Hendrik Wulfmeier
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.spp1473.kit.edu">www.spp1473.kit.edu</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:hendrik.wulfmeier@efzn.de">hendrik.wulfmeier@efzn.de</a>
<b>Abschlussbericht:</b>	in Arbeit



▲ *Abbildung 1: schematisches Messprinzip der Dünnschicht-Kalorimetrie*

Röntgendiffraktometrie und Impedanzspektroskopie durchgeführt. Im Rahmen des Projektes werden daher Methoden und Materialien entwickelt, die disziplinübergreifend bei anderen Batterie-Projekten des EFZN einsetzbar sind.

### Bisherige Forschungstätigkeiten

Dünnschicht-Kalorimetrie basierend auf hochtemperaturstabilen piezoelektrischen Langasitkristallen:

Ein Hauptaspekt der bisherigen Forschungstätigkeit lag auf dem Aufbau und der Etablierung des neu entwickelten Messverfahrens „Dünnschicht-Kalorimetrie“. Hierbei wird das kalorimetrisch zu untersuchende Material als dünne Schicht auf einen piezoelektrischen Resonator (Volumenscherschwinger) aufgebracht und dieser im Bereich seiner Resonanzfrequenz angeregt. Bei langsamen Temperaturänderungen folgt die Temperatur des mit Aktivmaterial beschichteten Resonators der Temperatur des Ofens genau nach, so dass auch kleine Änderungen im Temperaturgang mittels eines Hochgeschwindigkeits-Netzwerkanalysators detektiert werden können.

Ein ungestörter Resonator aus dem hier verwendeten Langasit ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) zeigt bei einer kontinuierlichen Temperaturerhöhung einen kontinuierlichen Abfall seiner Resonanzfrequenz. Bei Bedeckung mit einem Aktivmaterial wird nun während einer Phasenumwandlung dieses Aktivmaterials die vom Heizofen

zugeführte thermische Energie nicht zum Erwärmen des Systems, bestehend aus Resonator und Aktivmaterial, verwandt, sondern zum Aufbringen der erforderlichen Enthalpie; die Probe zeigt somit während der Phasenumwandlung trotz steigender Umgebungstemperatur eine konstante Temperatur, die sich durch ein Plateau im Resonanzfrequenz-Zeit-Diagramm manifestiert (vgl. Abbildung 1). Eine Umrechnung dieser Zeitspanne in die in dieser Zeit zugeführte thermische Energie, lässt somit eine indirekte Messung der Phasenumwandlungsenthalpien zu.

Da das Einsatzgebiet dieses Dünnschicht-Kalorimeters insbesondere im Bereich Untersuchung von Batteriematerialien liegt, galt es diverse Nebenbedingungen zu beachten: Die im Rahmen des SPP zu untersuchenden Materialien zeigen im hohen Maße Reaktivität mit  $\text{CO}_2$  und Feuchtigkeit, die es für genaue Untersuchungen (insbesondere schnell durchreagierender dünner Schichten) zu unterbilden gilt. Um ein Konzept zu verwirklichen, welches eine komplette Behandlung der Proben von der Herstellung bis nach der Messung ohne

#### Projektpartner

##### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

##### Forschungsstellen:

- Institut für Energieforschung und Physikalische Technologien (IEPT), TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

##### Externe Partner:

- TU Ilmenau
- H.C. Starck GmbH, Goslar

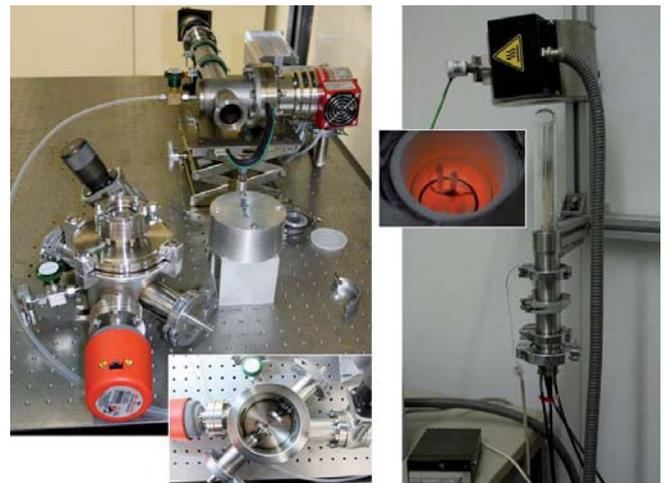
Bruch einer Inertgasatmosphäre realisiert, wurden eine portable Kammer für PLD (Pulsed Laser Deposition, Laserablation), sowie ein Probenhalter für das Kalorimeter konstruiert, die es ermöglichen, dass dieses System nur in einer Handschuhbox geöffnet werden muss; Kontaminationen der Proben durch atmosphärische Einflüsse sind somit weitestgehend minimiert.

Getestet wurde das Messverfahren „Dünnschicht-Kalorimetrie“ zunächst mit diversen Materialien, deren kalorimetrische Eigenschaften bekannt waren, um so Referenzwerte zu erlangen. Da die gemessenen Enthalpien sehr gut mit Literaturwerten übereinstimmen, ist die prinzipielle Funktionalität des im Zuge dieses Projektes aufgebauten Systems nachgewiesen und es kann auf neue zu untersuchende Materialien angewendet werden.

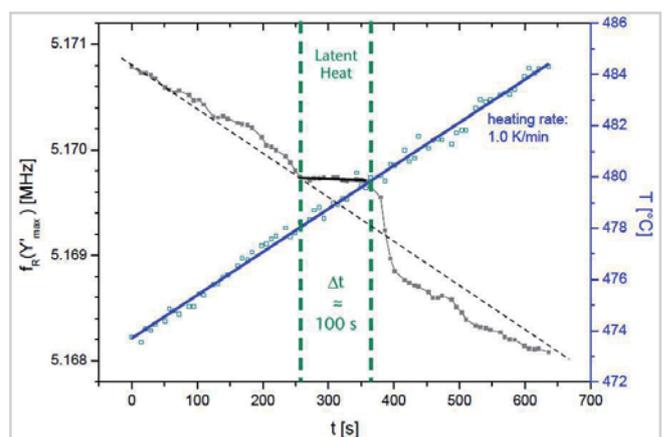
### Molybdändisulfid ( $\text{MoS}_2$ ) als Anodenmaterial

$\text{MoS}_2$  besitzt eine dem Graphit ähnliche Lagenstruktur mit Ebenen aus Molybdän-Atomen, geschichtet zwischen zwei Lagen aus Schwefel-Atomen, so dass es ein vielversprechendes Interkalations-Material für Li Ionen ist. Als Anode in Lithium-Ionen-Batterien weist  $\text{MoS}_2$  eine theoretische Kapazität von über 1100 mAh/g auf (zum Vergleich Graphit: 372 mAh/g). Neben dieser hohen vorhergesagten Kapazität macht die Variabilität der auftretenden Morphologien  $\text{MoS}_2$  (je nach Syntheseroute kann es als Volumenmaterial, diverse nanokristalline Pulvervarianten oder als Nanoröhrchen präpariert werden) zu einem aussichtsreichen Material, um den Effekt der Größe und Form auf die elektrochemischen, kinetischen und thermodynamischen Eigenschaften zu untersuchen, ohne dabei die stöchiometrische Materialkomposition zu verändern.

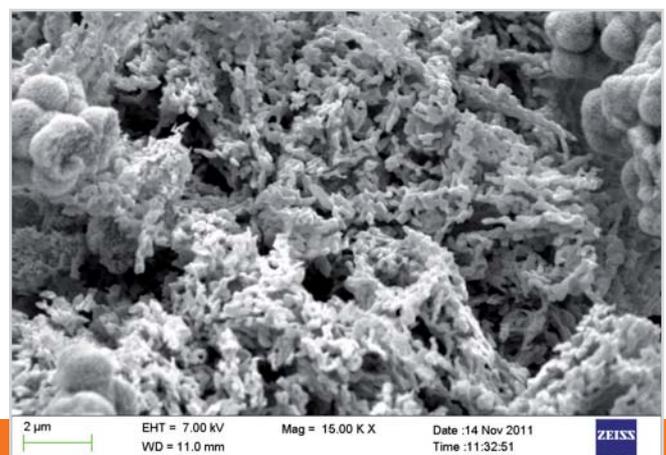
Im Zuge dieses Projekts wurden bereits verschiedenen Syntheserouten für die Präparation nanokristallinen  $\text{MoS}_2$  realisiert und die somit hergestellten Proben charakterisiert (REM, XRD) und mittels Dünnschicht-Kalorimetrie thermodynamisch untersucht. Weiterhin wurden Zyklovoltammetrieexperimente (gegen metallisches Lithium) durchgeführt.



▲ Abbildung 2: Fotos der Portablen PLD-Kammer (links) und des Dünnschicht-Kalorimeters mit Rohrofen (rechts); Resonator im Dünnschicht-Kalorimeter während einer Messung bei 800 °C (Mitte)



▲ Abbildung 3: Kristallisierung von amorphem  $\text{MoS}_2$ , gemessen mittels Dünnschicht-Kalorimetrie



▲ Abbildung 4: REM-Aufnahme nanokristallinen Molybdändisulfids

# Grundlagen neuartiger mikrooptischer-photoakustischer Gassensoren (MIOPAG)



Wolfgang Schade



Stefan Böttger

## Projektziele

Das Ziel des Vorhabens und des Verbundes ist es, grundlegende physikalisch-technische Untersuchungen zur photoakustischen Laserspektroskopie durchzuführen, um hiermit die Grundlagen für ein neuartiges und miniaturisiertes Gassensorsystem für zukünftige industrielle Umsetzungen bereitzustellen. Potentielle Anwendungsgebiete liegen in der industriellen Prozesskontrolle (zum Beispiel Brandfrüherkennung), der Sicherheitstechnik (zum Beispiel hochempfindliche und selektive Detektion von Explosivstoffkontaminationen) und in der Medizintechnik (zum Beispiel hochpräzise Sauerstoffmessung). Anstelle einer photoakustischen Absorptionszelle wird in diesem Vorhaben erstmals eine unter Raumluftbedingungen arbeitende und vollständig fasergekoppelte Schwingquarz-Stimmgabel als Sensorelement eingesetzt (QEPAS, „quartz-enhanced photoacoustic spectroscopy“). Als Strahlquellen für die selektive Anregung der zu untersuchenden Spezies werden Laserdioden (naher Infrarotbereich) und Quantenkaskadenlaser (mittlerer Infrarotbereich) verwendet. Daneben sollen die Möglichkeiten des Einsatzes neuartiger kostengünstiger LEDs im ultravioletten, nahen und mittleren Infrarotbereich für den Einsatz bei QEPAS detailliert untersucht werden. Insbesondere in Hinblick auf industrielle Anwendungen ist dieser Entwicklungsschritt von besonderer Bedeutung. Die Anbindung des QEPAS Sensorelementes zu der Strahlquelle erfolgt über eine faseroptische Schnittstelle. Dadurch können unterschiedliche Lichtquellen

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Grundlegende Untersuchungen der mikrostimmgabelunterstützten photoakustischen Spektroskopie
<b>Fördernde Stelle:</b>	Bundministerium für Bildung und Forschung
<b>Förderkennzeichen:</b>	0325074
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.06.2009 bis 31.05.2011
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.06.2009 bis 31.05.2011
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr. Wolfgang Schade
<b>Projektkoordinator:</b>	Dipl.-Phys. Stefan Böttger
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.photonikforschung.de/fileadmin/Verbundsteckbriefe/11._KMU/Projektsteckbrief_MIOPAG.pdf">http://www.photonikforschung.de/fileadmin/Verbundsteckbriefe/11._KMU/Projektsteckbrief_MIOPAG.pdf</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:s.boettger@pe.tu-clausthal.de">s.boettger@pe.tu-clausthal.de</a>
<b>Abschlussbericht:</b>	Wolfgang Schade, Stefan Böttger

(Diodenlaser, QCLs oder LEDs) einfach angeschlossen werden, es besteht auch die Möglichkeit der simultanen Verwendung mehrerer Strahlquellen für einen Multispeziesnachweis die in einer Faser geführt werden. Alternativ lassen sich über Multiplexing leicht kostengünstige Sensornetzwerke mit nur einer Strahlquelle, aber mehreren Sensoren etablieren. Das Endziel des Vorhabens ist die Bereitstellung eines fasergekoppelten QEPAS Sensornetzwerks mit dem Aufbau eines Sensornetzwerkes für den Einsatz von Lasern oder LEDs (für den Nischen- oder Massenmarkt) als anregende Lichtquelle.

### **Wissenschaftliche und technische Herausforderungen des Projektes**

Das Gesamtziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung und anschließende Bereitstellung eines miniaturisierten photoakustischen Sensorsystems zum selektiven und empfindlichen Nachweis von Gasen mit den Möglichkeiten des Multispeziesnachweises und/oder der Aufstellung von Sensornetzwerken. Als methodischer Ansatz wird dabei erstmals eine Mikro-Stimmgabel eingesetzt, die als Sensorelement fungiert und die optische Anregung erfolgt über einen Laser bzw. eine LED. Ein zentraler Entwicklungsschritt ist die Anbindung des Mikro-Stimmgabel-Sensorelementes an die jeweilige Strahlquelle über eine faseroptische Schnittstelle. Dadurch können mit demselben Sensorelement unterschiedliche Gase detektiert werden, indem zum Beispiel über Multiplexing verschiedene Strahlquellen in einer Faser geführt und mit dem Sensor verbunden werden. Durch spektrale Abstimmung der Strahlquelle erfolgt der selektive Nachweis der zu untersuchenden Spezies. Auf der anderen Seite kann auch eine Strahlquelle über Multiplexing auf verschiedene Sensorelemente verteilt werden, so dass über ein derartiges Sensornetzwerk an verschiedenen Orten eine Spezies nachgewiesen werden können. Lichtwellenleiter sind nach Stand der Technik vom ultravioletten über den sichtbaren und nahen bis in den mittleren Infrarotbereich verfügbar, so dass sämtliche hier verfügbaren Strahlquellen eingesetzt werden können. In diesem Projekt wird der beschriebene methodische Ansatz exemplarisch für den Nachweis von Ozon (UV Strahlquelle), von CO<sub>x</sub> (naher Infrarotbereich) und Triacetontriperoxid (TATP,

mittlerer Infrarotbereich) gezeigt. Bezogen auch die Auswahl der Spezies liegen die Anwendungsbereiche in Überwachung von Energieanlagen (Transformatoren in Windkraftanlagen), Brandschutz (Früherkennung von Brandaerosolen an verschiedenen Positionen eines Gebäudes) und Sicherheitstechnik (Identifizierung leicht flüchtiger Explosivstoffe).

### **Projektergebnisse**

Die Ziele des Projektes konnten im Wesentlichen erreicht werden. Bei den Untersuchungen zur Gaskonzentrationsmessung mit LEDs hat sich ergeben, dass diese nur zur Messung hoher Gaskonzentrationen geeignet sind, was sich für die Detektion von CO<sub>2</sub> und Methan jedoch als vorteilhaft erweisen kann (siehe folgender Abschnitt). Zur Erzielung geringerer Nachweisgrenzen wurde in den Strahlengang eine Absorptionsstrecke eingefügt. Durch diese Maßnahme konnten auch mit LEDs Nachweisgrenzen erreicht werden, die für viele Anwendungen interessant sind.

Laserbasierte Messungen wurden maßgeblich durch die Entwicklung eines Aufbaus zum optischen Auslesen der Stimmgabelsignale bestimmt. Dieser ermöglicht letztendlich komplett fasergekoppelte Sensoren ohne elektrische Kontaktierung. Nach dem Aufbau eines Messstandes zur Untersuchung der Grundlagen zu diesem Thema wurden verschiedene Stimmgabelgeometrien und -materialien getestet. Hierbei zeigte sich, dass neben den sonst üblichen Quarzstimmgabeln auch Silizium, Aluminiumoxid und Langasit zur Herstellung von hochwertigen Stimmgabeln geeignet sind. In der Praxis hat sich Silizium dabei bewährt, da es einerseits günstig und in hoher Qualität verfügbar ist und andererseits exzellente Materialeigenschaften für die Herstellung von Mikrostimmgabeln aufweist. Zur Demonstration des Sensorkonzeptes wurde ein fasergekoppelter Ozonsensor aufgebaut.

### **Übertragung der erreichten Ergebnisse zur Optimierung von Biogasanlagen**

Die Zahl der installierten Biogasanlagen in Deutschland ist in den vergangenen Jahren rasant angestiegen. Für

eine effektive und sichere Inbetriebnahme und Unterhaltung dieser Anlagen ist eine umfangreiche Sensorik unerlässlich. Unter anderem sind dazu auch Gassensoren nötig, denen verschiedene Aufgaben zuteilwerden. Einerseits ist die Überwachung der Biogasanlage in Bezug auf die Qualität des produzierten Gases wichtig. Gemessen wird in diesem Zusammenhang die Zusammensetzung des Biogases mit den Hauptkomponenten Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Diese Überwachung dient oft dazu, die optimalen Betriebsbedingungen für nachgeschaltete Gasmotoren zu gewährleisten. Eine zweite Aufgabe obliegt den Gassensoren im Bereich der Erkennung von Explosions- oder Gesundheitsgefahren, die durch aus eventuellen Leckagen austretendes Biogas auftreten können.

Es bestehen besondere Anforderungen an die verwendeten Gassensoren, da die Konzentrationen der beiden Gase Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) im Bereich zwischen 40 und 60 Volumenprozent liegen und in diesem Bereich die üblichen Verfahren der Infrarotabsorption aufgrund der exponentiellen Abhängigkeit von Sensorsignal und Konzentration deutlich höheren Messungenauigkeiten aufweisen, als bei geringeren Gaskonzentrationen.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- MIOPAS GmbH

#### Forschungsstellen:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Institut für Energieforschung und Physikalische Technologien (IEPT), TU Clausthal

#### Externe Partner:

- MIOPAS GmbH
- Protronic innovative Steuerungselektronik GmbH

Es soll daher eine Technik in die Biogasanalytik eingeführt werden, mit welcher hinreichend genaue Messungen bei hohen Konzentrationen möglich ist. Diese Methode ist schon seit dem Jahre 2002 bekannt und wird mit Lasern als Strahlquelle erfolgreich im Forschungsbetrieb genutzt. Breitbandige Strahlquellen wurden bisher gemieden, da ihr Einsatz diverse Neuerungen am Sensordesign notwendig macht und somit eine Nutzung sowohl finanziellen, als auch technischen Entwicklungsaufwand mit sich bringt.

Für den Bereich der Biogasanalytik bietet sich eine photoakustische Messung von Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) besonders an, da günstige Absorptionsbanden vorliegen und auch passende Breitbandstrahler erhältlich sind. Durch die Technik der Detektion mit Mikrostimmgabeln wird ein kompaktes Sensordesign möglich, was in Kombination mit Breitbandstrahlquellen nach der Entwicklungsphase zu einem ökonomisch interessanten Zusammenspiel wird.

### Quellen:

- W. Schade, S. Böttger: *Grundlegende Untersuchungen der Mikrostimmgabel-unterstützten photoakustischen Spektroskopie – Abschlussbericht*. Universitätsbibliothek Clausthal. Clausthal, 2011.
- M. Köhring, A. Pohlkötter, U. Willer, M. Angelmahr und W. Schade, *Applied Physics B*, 2011, 102, 1, 133-139
- S. Böttger, M. Angelmahr, W. Schade, *Photoacoustic gas detection with LED QEPAS*. Conference Paper CH\_P14, in: CLEO/Europe and EQEC 2011.
- M. Köhring, A. Pohlkötter, U. Willer, S. Böttger und W. Schade, *Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2012, DOI: 10.1109/JSTQE.2012.2182761
- S. Böttger, U. Willer, W. Schade, *Broadband QEPAS with IR-LEDs*. Conference Paper JW2A.119, in: CLEO: Science and Innovations (CLEO: S and I).

# Innovative Informations- und Bildungsplattform für zukunftsorientierte Energietechnologien (BIENE)



Andreas Rausch



Gottfried Römer

## Aufgabenstellung

„Internetkompetenz“ ist in vielen Bereichen notwendig, um am wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben teilzunehmen. Dabei machen neue unter WEB 2.0 zusammengefasste Technologien es möglich, die Nutzer stärker an der Gestaltung der Infrastruktur, der Inhalte und Anwendungen zu beteiligen. Vernetzung, Gruppenbildung, kooperativ erstellte Inhalte sind Beispiele der neuen Informations- und Kommunikationskultur. Ein Teil des sozialen Lebens spielt sich mittlerweile im Netz ab, berufliche und private Kontakte werden unabhängig vom physikalischen Aufenthaltsort aufgebaut und gepflegt.

Eine Weiterentwicklung des Internets in den dreidimensionalen Raum sind virtuelle Welten wie Second Life. Hier kann Informationsaustausch und Kommunikation noch direkter und realer erfahrbar stattfinden. Besonders für Weiterbildung hat sich diese Umgebung in den letzten Jahren bewährt. Die Präsenz des Dozenten und der Teilnehmer sowie die Kommunikation per Sprache vermitteln eine realitätsnahe Unterrichtssituation. Die Interaktionsmöglichkeiten und Simulationen, helfen ein Thema anschaulich zu vermitteln und Sachverhalte besser zu verstehen. Mittlerweile gibt es unterschiedlichste Lernangebote in Second Life. Das Alter der regelmäßigen Nutzer virtueller Welten bewegt sich zwischen 27 und 57 Jahren, bei gleichmäßiger Verteilung männlicher und weiblicher Nutzer.

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Innovative Informations- und Bildungsplattform für zukunftsorientierte Energietechnologien (BIENE)
<b>Fördernde Stelle:</b>	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
<b>Förderkennzeichen:</b>	W2-2-262007-0006
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.08.2008 bis 31.07.2010
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.08.2008 bis 31.07.2010
<b>Projektleitung:</b>	Prof. Dr. Andreas Rausch, Dr. Jens-Peter Springmann, Dr. Gerald Lange, Dr. Gottfried Römer
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Gottfried Römer, Ute Lange
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.energie-goslar.de">www.energie-goslar.de</a>
<b>E-Mail:</b>	<a href="mailto:gottfried.roemer@efzn.de">gottfried.roemer@efzn.de</a>

Eine zukunftsorientierte Technologie wie eine dreidimensionale Internetwelt als Informations- und Weiterbildungsplattform zum Thema zukunftsorientierter Energietechnologien zu nutzen, war die Idee des Projekts Biene. Eine konkrete Fragestellung für den Verein Goslar mit Energie e.V. war: Ist eine virtuelle Energieberatung im Second Life möglich und wird sie angenommen?

## Ziel

Einrichtung einer Lehrplattform zu Energiethemen in der virtuellen Welt Second Life. Erstellung von Werkzeugen für Präsentationen (3D-Modelle und Simulation) sowie Schulung und Einweisung von Referenten für die Energiethemen. Durchführung von Veranstaltungen, Vorlesungen und Besucherführungen auf der EnergieSim.

## Lösungsweg

Second Life ist ein Zusammenschluss aus tausenden von sogenannten Inseln, wobei jedes Areal ein anderes Themengebiet darstellen kann. Für das Projekt wurde eine Insel (Fachausdruck Sim) erworben und auf den Namen „Energie“ getauft (im Folgenden EnergieSim genannt). Sie sollte ein Anlaufpunkt für Menschen werden, die mit ihrem Avatar (Mauszeiger als Menschbild mit menschlichen Bewegungsmöglichkeiten) die virtuelle Welt besuchen und sich für Energiethemen interessieren. Die Gestaltung der EnergieSim wurde so interessant und spannend wie möglich vorgenommen, dass auch Menschen, die die virtuelle Welt vorher noch nicht kannten, neugierig werden sollten und die EnergieSim zum Anlass nehmen, einen Zugang zu fin-

den. Die Registrierung wurde so vereinfacht eingerichtet, dass von der Internetseite der Vhs aus mit wenigen Mausklicks ein Mitmachen möglich war.

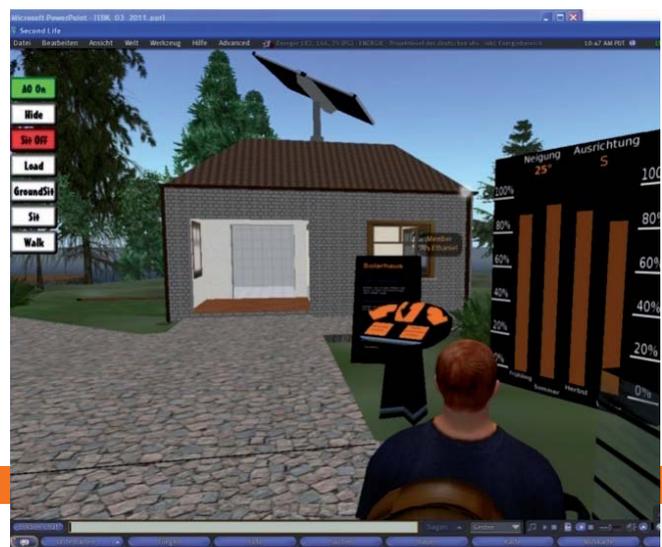
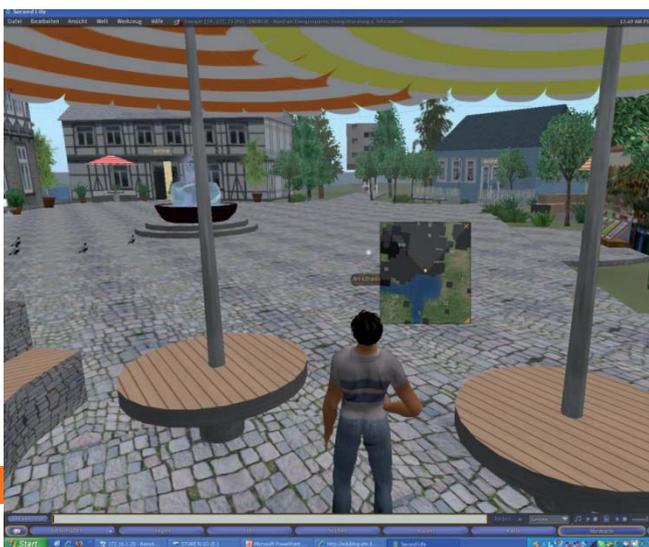
Die EnergieSim liegt in unmittelbarer Nähe der gut besuchten und bekannten Vhs-Insel und ist unter anderem mit einer gern genutzten Fähre von hier erreichbar. Der Kern der Insel ist dem Aussehen nach der Altstadt Goslars ähnlich. Weiterhin gibt es ein Neubaugebiet mit modernen Anlagen, ein „naturbelassenes“ Gebiet, in dem Teile des Oberharzer Wasserregals dargestellt sind und mehrere Stationen, in denen Konferenzbeziehungsweise Unterrichtsmöglichkeiten bestehen. Die Themeninhalte für die Gestaltung der EnergieSim sollte in den Arbeitspaketen „Strom“, „Wasser“, „Heizung“ und „Mobilität“ erfolgen.

## Projektstand

Die Arbeitspakete „Strom“, „Wasser“, „Heizung“ und „Mobilität“ wurden zunächst gemeinsam definiert und auf die „Experten“ in der Arbeitsgruppe zur Bearbeitung verteilt. Zusätzlich eingerichtet wurde bereits nach kurzer Zeit das Arbeitspaket „Marketing und Teilnehmerakquise“. Viele Ideen wurden nicht sofort formuliert sondern ergaben sich erst während des Projekts. Bis zum Ende der Projektzeit wurden neue Ideen auch „außer der Reihe“ eingebracht und umgesetzt, ohne die vereinbarten Arbeitspakete zu vernachlässigen.

## Strom

Zum Thema „Strom“ ist eine Energierallye in einem realistisch nachgebauten Haus entwickelt worden,



▲ Die EnergieSim in Second Life (Ausschnitte mit Avatar)

in dem alle erdenklichen elektrischen Geräte funktionierten. Der Avatar konnte mit einem Energiemessgerät in der Hand durch das Haus laufen und nach sogenannten „Stromfressern“ suchen. Beim Finden der Stromfresser wurden weitere Informationen durch ein automatisch ablaufendes Programm übermittelt, so dass Lernen und Informieren auch ohne eine anwesende Person möglich war. Nach dem gleichen Prinzip, Lerninhalte auch ohne die Präsenz eines Lehrenden zu vermitteln, wurde eine Datenbank mit Fragen und Antworten zum Thema Energie bestückt und als Quiz nach dem Muster „Wer wird Millionär“ angeboten. Die erzielten Punkte wurden in einem Ranking gelistet und den Siegern eines Quartals wurde ein reales Energiemessgerät als Preis zugeschickt. Diesen spielerischen Ansatz empfanden die Teilnehmer als Freizeitgestaltung und nutzten gern das Angebot in den veranstaltungsfreien Zeiten, wenn keine weiteren Avatare anwesend waren.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Erstellung einer interaktiv bedienbaren Solaranlage und eine zugehörige Ausstellung gelegt. Ein Haus mit drehbaren Solarzellen auf dem Dach machte deutlich welche Energieausbeute bei welcher Ausrichtung des Daches zur Sonne und bei Verwendung unterschiedlicher Modelle von Solarzellen möglich ist. Diese Anlage wird auch nach dem Projektende regelmäßig vom Energieberater zur Beratung von Kunden herangezogen. Das Interesse an Solarzellen ist ungebrochen groß und ein dreidimensionales Modell, das interaktiv bedient werden kann und dabei die Ausbeute sofort anzeigt, hat sich bei Veranstaltungen und Beratungen sehr bewährt.

Aus aktuellem Anlass – wegen der Abschaffung der Glühlampen – wurde eine Leuchtmittelausstellung konzipiert. Lampen unterschiedlichen Typs ließen sich aus- und anschalten und man konnte Informationen zum Energieverbrauch, zu Leuchtintensität und Farbe erhalten.

In diesem ersten Arbeitspaket wurde von den Projektmitarbeitern ausführlich getestet, welche Erstellungs-

werkzeuge und welche Programmierungen in der virtuellen Welt von Second Life zur Verfügung stehen und welche am besten geeignet sind, um die gewünschten Effekte zu erzielen und die interaktiven Möglichkeiten am besten ausnutzen zu können. Weiterhin ergab sich eine wechselseitige Befruchtung der Arbeit: Die Bedarfe des Energieberaters und der Weiterbildner wurden ausgiebig diskutiert und mit den technischen Möglichkeiten, die die Informatiker einbrachten, in Einklang gebracht. Andererseits brachte das Kennenlernen der technischen Möglichkeiten auch wieder neue Ideen zur Methodik und Didaktik.

Gegen Ende des ersten Arbeitspaketes und fortlaufend in den weiteren drei Abschnitten wurde an der Rekrutierung von möglichen Referenten und Energieberatern sowie mitwirkenden Firmen aus der Region gearbeitet. Hierbei stellte sich schnell heraus, dass es mehr Überzeugungsarbeit bedurfte als in der Projektplanung vorgesehen war, Menschen für die Mitarbeit in virtuellen Welten zu begeistern. Hauptsächlich lag dies an fehlenden technischen Voraussetzungen (DSL, relativ neuer PC oder Laptop) und an den mangelnden Vorkenntnissen im Umgang mit den Web 2.0 Technologien, insbesondere der Second Life Software.

Die Zeitressourcen, die von Ungeübten verwendet werden müssen, um sich souverän in der virtuellen Welt bewegen zu können, wurden unterschätzt. Von der Vhs wurden zahlreiche kostenlose Einführungsveranstaltungen durchgeführt, um Teilnehmenden die ersten Schritte zu erleichtern. Regionale Firmen zeigten Interesse, konnten jedoch ihren Mitarbeitern nicht die erforderlichen Zeitressourcen zur Verfügung stellen. Es fanden deshalb ausschließlich reale Treffen und fachlicher Austausch mit Firmenvertretern statt. Die Umsetzung in die virtuelle Welt wurde von den Projektmitarbeitern vorgenommen.

Erste Vortragsveranstaltungen fanden Ende 2008 online statt. Die Teilnehmenden (pro Vortrag 10 Personen) waren begeistert und gaben eine positive Rückmeldung über Informationsgehalt und die bisher vorhandenen Aufbauten auf der EnergieSim.

## Wasser

Während des zweiten Arbeitspaketes „Wasser“ konnte der Energieberater bereits seine erste Online Beratung (Beginn 2009) durchführen, die fortan regelmäßig einmal pro Woche vormittags stattfand. Dabei wurden auch Führungen über die Insel durchgeführt und die bereits vorhandenen Simulationen erklärt und demonstriert. Die Teilnehmenden empfanden die Kombination von persönlicher Präsenz eines Energieberaters in Verbindung mit funktionierenden und bedienbaren interaktiven Simulationen als sehr informativ und lehrreich. Zum Themenbereich Wasser wurden unter anderem ein Gezeitenkraftwerk, eine Wellenkraftanlage und die Regenwassernutzung im Haushalt dargestellt. Gezeitenkraftwerk und Wellenkraftanlage wurden für Vorträge/Vorlesungsergänzungen auf Hochschulniveau geplant. Die Regenwassernutzung wurde auf die Bedarfe des Energieberaters zugeschnitten.

Zur Akquise von Besuchern wurde das Pumpwerk aus Wilhelmshaven, ein historisches Gebäude, das heute für Kulturveranstaltungen genutzt wird, originalgetreu aufgebaut. Open Air-Konzerte, die dort in den Sommermonaten real stattfinden, wurden live nach Second Life auf die EnergieSim übertragen und konnten von Avataren miterlebt werden. Zahlreiche Besucher nutzten dieses Angebot und informierten sich nebenbei über Energiethemen und probierten sich an Quiz und Modellen.

Als Highlight wurde nach ausgiebiger Diskussion die historische im Harz praktizierte Energiegewinnung aus Wasserkraft in Modellen dargestellt. Das Oberharzer Wasserregal, ein System von Teichen und Gräben, das zur Energieversorgung der Bergwerke genutzt wurde, hat kürzlich Welterbe-Status bekommen und ist auch aus touristischer Perspektive interessant. Ein Teich mit Striegelhäuschen, ein Gestänge zum Kraftübertragen, Wasserräder, eine Modellanlage, die zeigt, welche Gruben durch welche Teiche mit Energie versorgt wurden und sogar eine Fahrkunst (ein historischer Fahrstuhl zum Einfahren in den Berg), die von Avataren bedient werden kann, sind erstellt worden. Besucher werden auch nach Abschluss des Projektes durch die Anlage

geführt, sind begeistert und motiviert, sich das in der Realität anzusehen.

## Heizung

Im dritten Arbeitspaket konzentrierte sich die Projektgruppe darauf, neueste noch nicht so bekannte, energiesparende Heizmethoden vorzustellen. Natürlich gehörte dazu eine Pelletheizung, die als Querschnitt dargestellt und in einer interaktiven Simulation bedient werden konnte. Verschiedene Aufbewahrungs- und Zufuhrmöglichkeiten von Pellets gehörten dazu. Gerade in der Energieberatung half diese Simulation, viele Fragen von Kunden zu beantworten. Auch eine Geothermieanlage wurde gebaut und konnte in Ausmaßen und Funktionsweise von den Besuchern nachvollzogen werden. Zudem wurden in diesem Arbeitspaket auch erstmals neuere Techniken (eingeführt 2009) der Second Life Oberfläche verwendet. So konnten 3D-Energierechner aufgebaut werden, die Verbrauch und Heizkosten ermitteln können und dabei individuelle Bedarfe der Besucher in ihren realen Wohnungen und Häusern dabei berücksichtigen können.

## Mobilität

Die Kenntnisse und Fertigkeiten der Projektmitarbeitenden waren inzwischen so gut, dass die Diskussion über die Realisierungsmöglichkeiten nicht die Ideenfindung bremste. Es wurde eine interaktive Informationswand eingerichtet, an der Besucher berechnen lassen konnten, welches Transportmittel (Flugzeug, Bahn, Auto) für den Personenverkehr, abhängig von der Anzahl der zu transportierenden Personen, am kostengünstigsten und am energieeffizientesten ist. Eine Ausstellung zur Geschichte des Automobils und ein Quiz zum energiesparenden Autofahren waren Anziehungspunkte für Besucher. Eine aufwändig gebaute Modelllandschaft zum spielerischen Testen von Elektroautos war das Highlight dieses Arbeitspaketes.

Die Projektmitarbeitenden aus dem Bereich Energie wechselten häufig. Dadurch gestaltete sich die Zusammenarbeit schwieriger als geplant, da bei jedem

Wechsel neue Einarbeitungszeit inklusive Schulung im Handling von Second Life erforderlich war.

Die Mitwirkung der Firmen, die geplant war, konnte nur zum Teil erreicht werden. Die Kontakte wurden hergestellt, Gespräche fanden allerdings immer real statt, da die technischen und zeitlichen Hürden zur Benutzung einer virtuellen Welt noch zu hoch waren. So flossen nur die übermittelten Fachkenntnisse und Wünsche in das Projekt ein, nicht die Online-Präsenz der Firmen. Bei einer Präsentation des Projekts im Kreis- haus Goslar waren allerdings alle angesprochenen Firmen anwesend und mit dem Ergebnis sehr zufrieden. Seit der Einrichtung der EnergieSim gibt es jeden Freitag die Möglichkeit der online-Energieberatung durch den Energieberater des Vereins Goslar mit Energie e.V. in Second Life. Dieses Angebot wird überwiegend überregional beziehungsweise international in Anspruch genommen.

### **Projektpartner**

#### **Projektkoordination:**

- Landkreis Goslar Kreisvolkshochschule Goslar

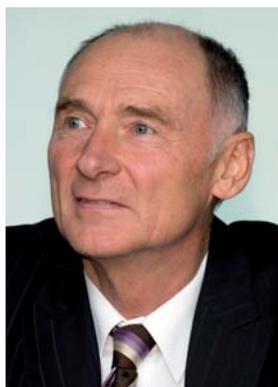
#### **Forschungsstellen:**

- Institut für Informatik, TU Clausthal
- Rechenzentrum, TU Clausthal
- Institut für elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### **Externe Partner:**

- Verein Goslar mit Energie e.V.

# 100 % Erneuerbare-Energien-Region Goslar



Hans-Peter Beck



Gottfried Römer

## Problemstellung

In der Region Landkreis Goslar mit 142.583 Einwohnern und einer Fläche von 98.505 ha werden jährlich 4.299 GWh Energie (inklusive Mobilität) verbraucht. Dafür werden etwa 200 Millionen Euro ausgegeben, von denen etwa 130 Millionen Euro aus der Region, ja aus Deutschland abfließen.

Wenn es gelingt, die Energieversorgung nachhaltig auf erneuerbare Energien aus eigenen Quellen umzustellen, also eine zukunftstaugliche Energieversorgung aufzubauen, bleiben diese 130 Millionen Euro im heimischen Wirtschaftskreislauf („Aus der Region – für die Region“). Folgen wären eine Stärkung der regionalen Wirtschaftskraft, Sicherung bestehender und Schaffung neuer Arbeitsplätze, Steigerung der Attraktivität der Region für junge Menschen, Stoppen des Bevölkerungsschwundes, verantwortliche Gestaltung der Energiewende.



- ▲ Regionale Wertschöpfung („Aus der Region – für die Region“) am Beispiel des Landkreises Goslar. (Quelle: H.-H. Schmidt-Kanefendt)

## Ziel

Schaffung eines Instrumentariums, das erlaubt, regionale und regenerative Energieträger zu identifizieren und qualitative und quantitative Basisszenarien zu erstellen. Die Lösung soll rechnergestützt und auf beliebige Regionen übertragbar sein. Eine Korrektur auf Basis der Bevölkerungsdichte muss zur bundesweiten Vergleichbarkeit möglich sein.

## Lösungsweg

Der Landkreis Goslar hat auf einer Zukunftskonferenz 2007 in einem Strategieprogramm „Unser Landkreis 2030: Leistungsfähig und Lebenswert“ zur Energie-Effizienz-Region formuliert: „Der Landkreis Goslar ist zu einer führenden Energie-Effizienz-Region auf Basis einer beispielhaften Kooperation von Forschung, Wirtschaft und aller gesellschaftlichen Akteure geworden. Er besitzt eine weitgehend eigenständige Energieversorgung unter Nutzung regenerativer Energien.“

Zur Bündelung der Aufgaben und Kompetenzen in Sachen Energie wurde 2007 eine Kooperationsvereinbarung mit der Stadt Goslar, dem Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN), dem regionalen Energieversorger Harz Energie und dem Verein „Goslar mit Energie“ geschlossen. Gemeinsam soll aus der Verantwortung der Partner für den Klimaschutz in der Region

und darüber hinaus die Förderung der regenerativen Energien sowie Energieeinsparung und Energieeffizienz intensiviert werden. Das geschieht unter anderem durch Beratung von Bürgern und Unternehmen in Sachen Energie, Initiieren und Durchführen von energetischen Pilotprojekten und Aufklärungsarbeit anhand von energetischen „Best practice-Beispielen“.

Dipl.-Ing. Schmidt-Kanefendt, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel und engagiertes Mitglied im Verein Goslar mit Energie e.V., entwickelte eine Simulationssoftware „100prosim“, mit der interaktiv Basisszenarien erarbeitet werden können, die eine Aussage zulassen, wie viel Energie mit einem jeweiligen Energieträger (Sonne, Wind, Biomasse) gewonnen und wie viel Prozent des heutigen Energieverbrauchs in einer Region abgedeckt werden können.

Die Arbeitsgruppe erarbeitete von Januar 2011 bis Januar 2012 in einer Reihe von Workshops mit „100prosim“ verschiedene Szenarien für eine angestrebte „100 % – Erneuerbare-Energien-Region Goslar“. Dazu wurden zu den einzelnen regenerativen Energieträgern ausgewiesene Fachleute, wie Dr. Karpenstein-Machan (IZNE Uni Göttingen), J. Palandt, S. Thom (Zweckverband Großraum Braunschweig), J. Hirschfeld (Bauernverband Landvolk), M. Bollmann (BUND), Dr. Wirth, H. Jensen (BGR Geozentrum), H. Kuprat (Nds. Landesforsten)

## Daten zum Projekt

<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	100 % Erneuerbare-Energien-Region Goslar
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.01.2011 bis 01.01.2012
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.01.2011 bis 01.01.2012
<b>Verantw. Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. Gottfried Römer
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.efzn.de">www.efzn.de</a>

intensiv befragt und mögliche Anteile der jeweiligen Energieträger im Szenario diskutiert.

## Projektstand

Die Software „100prosim“ wurde am konkreten Beispiel des Landkreises Goslar erprobt, wesentlich verbessert und komplett referenziert. Als Methode wurde statt der meist üblichen „Forecasting-Methode“ („Wieviel CO<sub>2</sub>-Ausstoß muss bis 2020 vermieden werden, um...?) die Backcasting-Methode nach Prof. Hohmeyer (Definition des 100 Prozent-Zieles, danach können die Etappenziele ausgerichtet werden. Durch verschiedene 100 Prozent-Szenarien lässt sich der „Möglichkeitsraum“ um das 100 Prozent-Ziel ausleuchten) gewählt. Für den Landkreis wurden dann verschiedene Basisszenarien erarbeitet und validiert.

Dem in Haushalten, Gewerbe, Industrie und Verkehr verursachten Energieverbrauch in Höhe von 4299 GWh/a steht eine regenerative Erzeugung von 2370 GWh/a gegenüber, also ein Anteil von 55 Prozent.

### Projektpartner

#### Projektkoordination:

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

#### Forschungsstellen:

- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Interdisziplinäre Zentrum für nachhaltige Entwicklung (IZNE), Universität Göttingen

#### Externe Partner:

- Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel, Fak. Versorgungstechnik und regionale Energiekonzepte
- Landkreis Goslar
- Stadt Goslar
- Goslar mit Energie e.V.

In einem fachlich nachhaltigen Szenario werden diese 2370 GWh/a mit einem Anteil von 45 Prozent aus Windenergie, zu 29 Prozent aus Solarstrom und –wärme und zu 11 Prozent aus Bionenergie aus Forst- und Landwirtschaft erzeugt. Um das 100 Prozent Erneuerbare-Energien-Ziel für die Region zu erreichen, ist somit eine Verbrauchsminderung (Einsparung und Effizienz) von 45 Prozent erforderlich. Eine Verbrauchsminderung in dieser Größenordnung erscheint zunächst sehr ehrgeizig. Sie kann jedoch zum überwiegenden Teil durch effizientere Energieverwendung erreicht werden. Die wesentlichen Verbrauchsminderungen entfallen hierbei auf Wärme (zum Beispiel Gebäudesanierung) und auf Antriebsenergie (zum Beispiel Elektromobilität) im Verkehrsbereich.

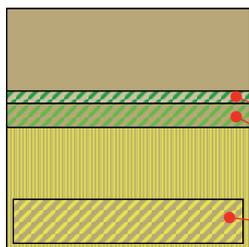
Die erarbeiteten Ergebnisse wurden zunächst im Februar 2012 dem Projektkoordinator und am 26. April 2012 im Wirtschaftsausschuss des Landkreises erfolgreich vorgestellt. Nach der Vorstellung der Projektergebnisse vor den Hauptverwaltungsbeamten am 6. Juni 2012 werden in einer ersten Stufe Workshops für Entscheider aus Politik und Verwaltung angeboten, um den Prozess und das Instrumentarium kennenzulernen. Mittlerweile wurden mit 100prosim bundesweit schon für über 40 Landkreise und Regionen Energieszenarien erstellt, vom Land Niedersachsen bis zur Neckar-Alb-Region, vom Cochem-Zell-Kreis bis zum Land Brandenburg. Zu den Anwendern zählen Kommunalpolitiker, Landkreisverwaltungen, Landtagsfraktionen, Hochschulinstitute, Regionale Energieagenturen, Umweltverbände, Ingenieurbüros, Erwachsenenbildungseinrichtungen, Schüler und Studierende. Eine Besonderheit liegt in der Möglichkeit der gemeinschaftlichen Szenarien-Entwicklung in Gruppen. Dabei dient 100prosim als Grundlage für sachlich fundierte Diskussionen und realistische Ziel-Ansätze. Auf diese Weise entsteht ein vertieftes Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen einer dauerhaft zukunftstauglichen Energieversorgung ([www.wattweg.net](http://www.wattweg.net)).

Der Landkreis Goslar wurde im Januar 2012 nach einer Bewerbung beim Institut dezentrale Energietechnologien (IdE) in das Netzwerk der „100 % Erneuerbare-Energien-Region“ (100ee-Regionen) aufgenommen. Bundesweit haben sich bisher 80 100ee-Regionen und

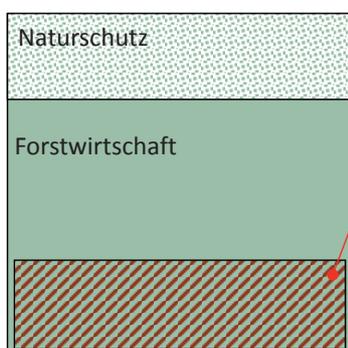
# Ziel-Szenario: Energie

Landkreis Goslar (100prosim Version 120109)

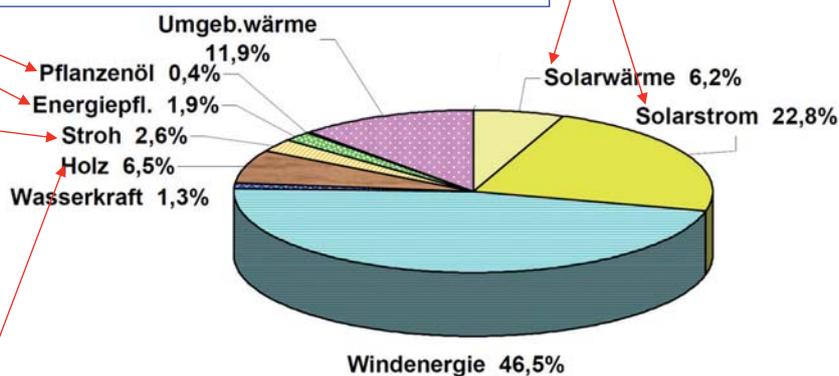
## Landwirtschaft



## Wald



**Energieproduktion: 2.370 GWh/a**



## Solar



Solarwärme 6,2%

Solarstrom 22,8%

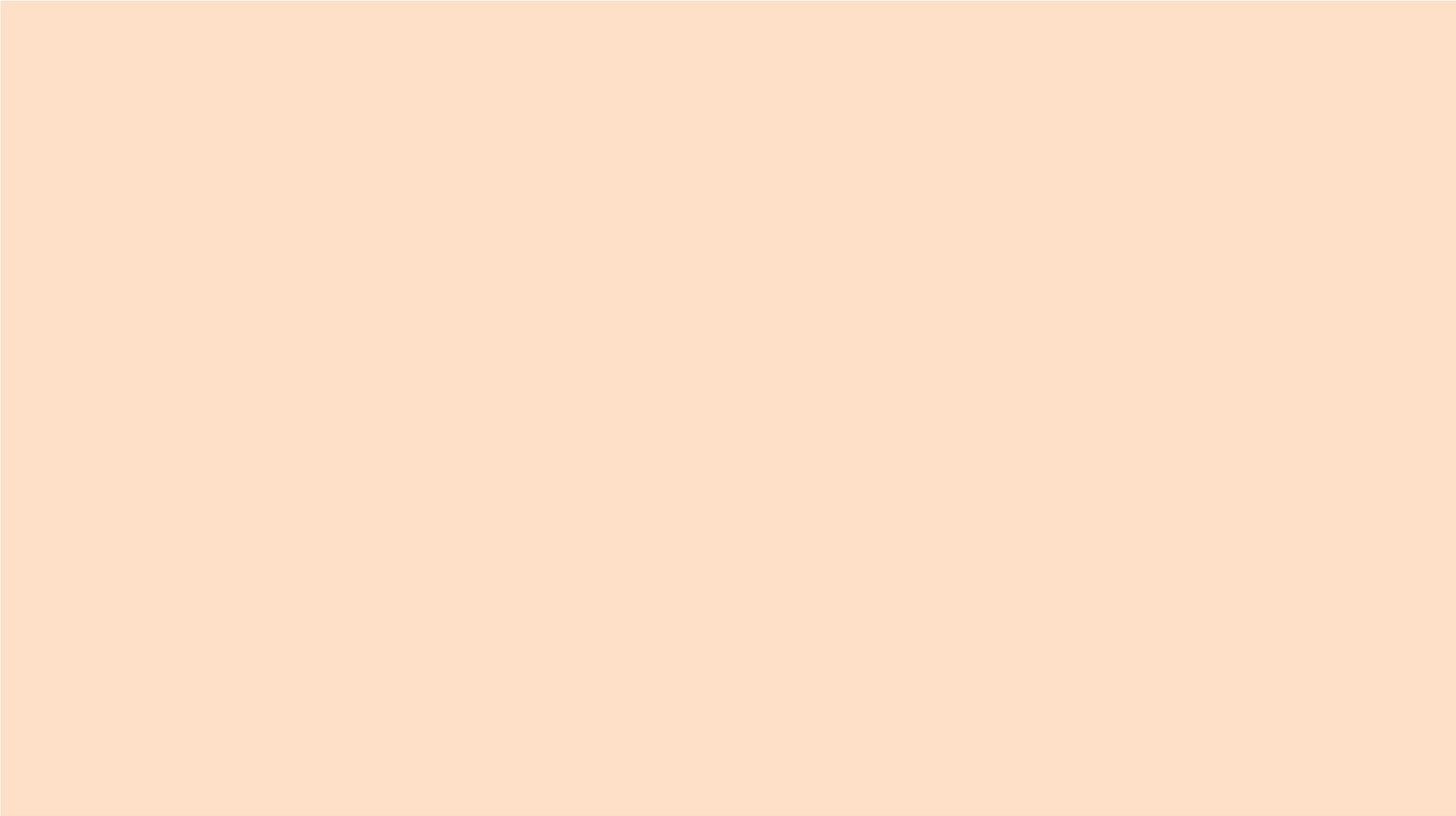
## Windparks



▲ Ziel-Szenario mit 100prosim für einen Gesamtenergieverbrauch von 2370 GWh/a (Quelle: H.-H. Schmidt-Kanefendt)

49 Starterregionen zum Ziel gesetzt, mittelfristig ihre Energie zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen zu beziehen. Dazu ergreifen sie substanzielle Maßnahmen zur Zielerreichung.

Ziel für die Region Goslar ist es, das Instrument „100prosim“ als Entscheidungshilfe zur stärkeren Nutzung der regenerativen Energieträger zu gebrauchen, dem Ziel der „100 % Erneuerbare-Energien-Region“ näher zu kommen und die bundesweite Energiewende verantwortlich mitzugestalten.



# Anhang



## Gremien des EFZN

### Vorstand 2008 bis 2011

Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath  
(Universität Oldenburg, seit 2008, stellvertretender Vorstandsvorsitzender 2008-2010)  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
(TU Clausthal, Vorstandsvorsitzender seit 2008)  
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat  
(TU Braunschweig, seit 2008, stellvertretender Vorstandsvorsitzender seit 2010)  
Prof. Dr. Wolfgang Lücke  
(Georg-August-Universität Göttingen, 2008-2011)  
Prof. Dr.-Ing Ernst Gockenbach  
(Leibniz Universität Hannover, 2008-2010)  
Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens  
(Leibniz Universität Hannover, seit 2010)  
Prof. Dr. Wolfgang Schade  
(TU Clausthal, seit 2008)  
Prof. Dr. Oliver Langefeld  
(TU Clausthal, 2008-2011)

### Kuratorium 2008 bis 2011

Prof. Dr. Carsten Agert  
(Universität Oldenburg, seit 2009)  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Dr. E.h.  
Friedrich-Wilhelm Bach  
(Leibniz Universität Hannover, 2009-2011)  
Prof. Dr. Michael Beckmann  
(TU Dresden, stellvertretender Vorsitzender seit 2009)  
Dr. Werner Brinker  
(EWE AG, seit 2009)  
Rüdiger Eichel  
(Nds. Ministerium für Wissenschaft und Kultur, seit 2009)  
Dr. Erwin Fischer  
(E.ON Kernkraft, 2009-2011)  
Dr. Gerhard Gille  
(HC Starck, seit 2009)  
Nils Kämpny  
(Nds. Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, 2009-2010)  
Prof. Dr.-Ing. Jobst Hapke  
(TU Hamburg-Harburg, seit 2009)  
Matthias Herzog  
(E.ON Avacon AG, seit 2011)  
Dr. Gerd Hoher  
(Nds. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft,

Verbraucherschutz und Landesentwicklung, seit 2009)  
Dr. Christian Jacobs  
(Nds. Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, seit 2010)  
Prof. (em.) Dr.-Ing. Michael Jischa  
(TU Clausthal, seit 2009)  
Prof. Dr. Dieter Kind  
(TU Braunschweig, 2009-2011)  
Prof. Bernd Marlander  
(Georg-August-Universität Göttingen, seit 2009)  
Hubert Ovenhausen  
(Siemens AG, Vorsitzender seit 2009)  
Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz  
(TU Dortmund, seit 2009)  
Prof. Dr. Thomas Spengler  
(TU Braunschweig, seit 2011)  
Helga Worlitzsch  
(Nds. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, 2009-2012)  
Prof. Dr. Ugur Yaramanci  
(Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, seit 2009)

### Mitgliederversammlung 2008 bis 2011

Prof. Dr. Arnold Adam  
Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath  
Prof. Dr. mult. Dr. h.c. Müfit Bahadir  
Prof. Dr. Friedrich H. Balck  
Prof. Dr. Gottfried Heinrich Bauer  
Prof. Dr. Hans-Peter Beck  
Prof. Dr. Dirk Bohne  
Prof. Dr. Günter Borchardt  
Prof. Dr. Carsten Brauckmann  
Prof. Dr. Rolf Brendel  
Prof. Dr. Gunther Brenner  
Prof. Dr. Wolfgang Busch  
Prof. Dr. Wolf-Rüdiger Canders  
Prof. Dr. Jürgen Caro  
Prof. Dr. Michael Demuth  
Prof. Dr. Joachim Deubener  
Prof. Dr. Norbert Dichtl  
Prof. Dr. Mathias Erlei  
Prof. Dr. Wolfgang Ertmer  
Prof. Dr. Manfred Norbert Fisch  
Prof. Dr. Klaus Fricke  
Prof. Dr. Holger Fritze  
Prof. Dr. Leonhard Ganzer  
Prof. Dr. Jutta Geldermann  
Prof. Dr. Gerhard Gerold  
Prof. Dr. Eberhardt Gock

Prof. Dr. Ernst Gockenbach  
Prof. Dr. Daniel Goldmann  
Prof. Dr. Agust Gudmundsson  
Prof. Dr. Hans-Jürgen Gursky  
Prof. Dr. Bent T. Hansen  
Prof. Dr. Jürgen G. Heinrich  
Prof. Dr. Lutz Hofmann  
Prof. Dr. Michael Z. Hou  
Prof. Dr. Diethelm Johannsmann  
Prof. Dr. Christian Jooss  
Prof. Dr. Martin Kappas  
Prof. Dr. Dieter Kaufmann  
Prof. Dr. Detlef Kip  
Prof. Dr. Jürgen Köhler  
Prof. Dr. Lutz M. Kolbe  
Prof. Dr. Torsten Körber  
Prof. Dr. Günter Kosyna  
Prof. Dr. Wolfgang Kowalski  
Prof. Dr. Per Krusche  
Prof. Dr. Gunther Kühne  
Prof. Dr. Werner F. Kuhs  
Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpe  
Prof. Dr. Ulrich Kunz  
Prof. Dr. Michael Kurrat  
Prof. Dr. Arno Kwade  
Prof. Dr. Norbert Lamersdorf  
Prof. Dr. Oliver Langefeld  
Prof. Dr. Reinhard Leithner  
Prof. Dr. Wolfgang Lücke  
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Heinz Lux  
Prof. Dr. Thomas Mann  
Prof. Dr. Rainer Marggraf  
Prof. Dr. Jürgen Meins  
Prof. Dr. Kurt Mengel  
Prof. Dr. Axel Mertens  
Prof. Dr. Norbert Meyer  
Prof. Dr. Uwe Morgner  
Prof. Dr. Jörg Müller  
Prof. Dr. Bernard Nacke  
Prof. Dr. Bernd R. Oswald  
Prof. Dr. Heinz Palkowski  
Prof. Dr. Jürgen Parisi  
Prof. Dr. Joachim Peinke  
Prof. Dr. Wolfgang Pfau  
Prof. Dr. Walter Pohl  
Prof. Dr. Gerhard Poll  
Prof. Dr. Bernd Ponick  
Prof. Dr. Karl-Heinz Pörtge  
Prof. Dr. Günter Pusch  
Prof. Dr. Rolf Radespiel

Prof. Dr. Andreas Rausch  
Prof. Dr. Kurt M. Reinicke  
Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig  
Prof. Dr. Ilona Rolfes  
Prof. Dr. Karl-Heinz Rosenwinkel  
Prof. Dr. Joachim Rösler  
Prof. Dr. Hans Ruppert  
Prof. Dr. Peter Salje  
Prof. Dr. Martin Sauter  
Prof. Dr. Wolfgang Schade  
Prof. Dr. Peter Schaumann  
Prof. Dr. Heike Y. Schenk-Mathes  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Gudrun Schmidt  
Prof. Dr. Peter Schmuck  
Prof. Dr. Hubert Schwarze  
Prof. Dr. Jörg Seume  
Prof. Dr. Joachim Stahlmann  
Prof. Dr. Peter-Tobias Stoll  
Prof. Dr. Ludwig Theuvsen  
Prof. Dr. Hossein Tudeshki  
Prof. Dr. Thomas Turek  
Prof. Dr. Cynthia A. Volkert  
Prof. Dr. Andreas Waag  
Prof. Dr. Roman Weber  
Prof. Dr. Heinz Wenzl  
Prof. Dr. Volker Wesling  
Prof. Dr. Hartmut Weyer  
Prof. Dr. Klaus-Peter Wiedmann  
Prof. Dr. Jutta Winsemann  
Prof. Dr. Albrecht Wolter  
Prof. Dr. Gerhard Ziegmann  
Jun.-Prof. Dr. Enno Bahrs  
Jun.-Prof. Dr. Scient. Sonja Philipp

## **Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen**

### **Verwaltung und Technik 2008 bis 2011**

Dr. Michael Assmann  
Katharina Bathcke  
Sabrina Bieling  
Andreas Bierwirth  
Ass. jur. Wolfgang Dietze  
Andrea Freistein-Schade, M.A.  
Christoph Gröger  
Pascal Heinichen  
Jessica Heinicke Dipl. EU-Sekretärin  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen G. Heinrich  
Andrea Hettkamp  
Barbara Holly

Kerstin Jur  
Dipl.-Bibl. (FH) Nadine Kleinander  
Sebastian Klose  
Janina Koch  
Rüdiger Krosch  
Timo Lepa  
Dipl.-Ing. (FH) Silvia Löffelholz  
Katrin Mai  
Dipl.-Ing. Frank Mattioli  
Thorsten Mietz  
Dipl.-Ing. Thomas Mühler  
Angelika Ohlendorf  
Lars Pätzmann  
Karin Peya  
Marion Pfennig  
Michael Plümer  
Christine Policha  
Wolfgang Schrader  
Sabine Schumacher  
Dr. Jens-Peter Springmann  
Mario Stieglitz  
Heike Stucki-Bammel  
Dipl.-Päd. Anna Tietze  
Marco Tödteberg  
Assoc.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ildiko-Camelia Tulbure  
Karolin Warnecke  
Dipl.-Ing. Dierk Wiechmann  
Mesut Yilmaz  
Jörg Zellmer

## Wissenschaft 2008 bis 2011

Ibrahim Ajala, M.Sc.  
Dipl.-Phys. Daniel Albrecht  
Dipl.-Wirtsch.Ing. Katharina Amann  
Dipl.-Chem. Nadia Aoun  
Dipl.-Inf. André Appel  
Dipl.-Ing. Roger Aragall  
Mingxing Bai, M.Sc.  
Dipl.-Inform. Christian Bartelt  
Dipl.-Phys. Christoph Bauer  
Matthias Baum, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Andreas Becker  
Dipl.-Ing. Maik Becker  
Dipl.-Ing. Ralf Bengler  
Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb  
Dipl.-Phys. Konrad Bethmann  
Dipl.-Ing. Katrin Beyer  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Saskia Bonitz  
Dr. rer. nat. Natalia Borisenko

Dr.-Ing. Hansjoerg Bornhoeft  
Dipl.-Phys. Stefan Böttger  
Dr. rer. nat. Elke Bozau  
Dipl.-Ing. Steffen Brauns  
Dr. rer. nat. Timo Carstens  
Dipl.-Ing. Yasin Cengiz Celik  
Dipl.-Ing. Shaofei Chen  
Dipl.-Ing. Yong Chen  
Dr. Luiz da Silva Gasparotto  
Dipl.-Phys. Sebastian Dahle  
Zhenhua Dai, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Holger Derlien  
Dipl.-Vw. Anne-Kathrin Dimmig  
Rong Dong, M.Sc.  
Dr. Antonio Rodolfo dos Santos  
Khatia Dzebisashvili, M.Sc.  
Khatia Dzebisashvili, M.Sc.  
Dr.-Ing. Claudia Eichhorn  
Dipl.-Ing. Nikola Sophia Ell  
Farzaneh Fattahi-Comjani, M.Sc.  
Dipl.-Vw. Alexander Federowski  
Bergrat Olaf Franz  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anne Friedrichs  
Dipl.-Ing. Iska Gedzius  
Dipl.-Math. Gunner Gewiß  
Dipl.-Phys. Thomas Gimpel  
Dipl.-Ing. Sven Gose  
Yang Gou, M.Sc.  
Dr.-Ing. Heiner Grimm  
Dipl.-Ing. Daniel Gröger  
Dipl.-Phys. Kay-Michael Günther  
Dipl.-Ing. Cornelia Haaß-Ropeter  
Dipl.-Ing. Torsten Hager  
Dipl.-Phys. Samir Hammadi  
Dipl.-Ing. Katrin Harting  
Dipl.-Ing. André Haubrock  
Dipl.-Ing. Arndt Heilmann  
Dipl.-Math. Wiebke Heins  
Dr.-Ing. Gundula Helsch  
Dipl.-Ing. Heiko Hertel  
Dr.-Ing. Ralf Hesse  
Dipl.-Ing. Thomas Hesse  
Dipl.-Phys. Raoul Heyne  
Dr. rer. nat. Oliver Höfft  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Steven Hotopp  
Dr. Dongzhi Hu  
Dipl.-Ing. Carolin Jahn  
Dipl.-Ing. Nan Jiang  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gunnar Kaestle  
Dipl.-Phys. Uwe Kahnert

Dipl.-Vw. Mirco Kappler  
Dipl.-Ing. Ellen Kivitz  
Dipl.-Chem. Jörg Kleiner  
Dipl.-Geow. Tobias Kracke  
Sreekantha Rao Kulakarni, M. Sc.  
Dipl.-Ing. Torben Küster  
Dipl.-Phys. Frank Küwen  
Dipl.-Chem. Rafael Kuwertz  
Dr. Lars-Peter Lauven  
Dipl.-Phys. Christian Lehmann  
Ass. jur. Ulrich Lindemann  
Hejuan Liu, M.Sc.  
Zhen Liu, M.Eng.  
Dr. Thorsten Ludwig  
Xuan Luo, M.Sc.  
Dr.-Ing. Aime M'Buy  
Dipl.-Ing. Christine Minke  
Dipl.-Phys. Mario Mordmüller  
Amjad Moussa, M.Sc.  
Dr.-Ing. Izabella Mroz  
Bärbel Mühlhan  
Dr.-Ing. Tambwe Musasa  
Dipl.-Ing. Nadine Nagler  
Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie  
Christoph Neumann, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Lasse Nielsen  
Dipl.-Ing. Carina Oelgardt  
Dr. Christian Oldiges  
Mark Olschewski, M.Sc.  
Dipl. jur. Caterina Oppelt  
Dipl.-Phys. Rozalia Orghici  
Dr.-Ing. Oleg Osika  
Dipl.-Ing. Birgit Palm  
Dipl.-Chem.-Ing. Pavlos Pandis  
Parimal Arjun Patil, M.Sc.  
Carlos Andres Paz Carvajal, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Ralf Peix  
Nelson Perozo Baptista, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Bernhard Pfeuffer  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Pithan  
Dipl.-Phys. Andreas Pohlkoetter  
Dr. Ing. Alexandru Popa  
Dr. Alexandra Prowald  
Dipl.-Kffr. Alena Prymak  
Giridhar Pulletikurthi  
Dipl.-Ing. Dawei Qi  
Dipl.-Ing. Christian Rathke  
Dr. Denny Richter  
Dipl.-Ing. Jens-Christian Riede  
Dipl.-Phys. Claus Romano  
Dr. Gottfried Römer

Dipl.-Inform. Serge Alexander Runge  
Dipl.-Ing. Sebastian Runge  
Dipl.-Ing. PetrosSakkas  
Dr.-Ing. Mariappan Sakthivel  
Dipl.-Ing. Christian Sauer  
Dipl.-Phys. Jan Sauerwald  
Dipl.-Kfm. David Sauss  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Richard Scharff  
Dipl.-Phys. Wolfgang Schippers  
Dipl.-Ing. Alicja Schlange  
Dipl.-Geoökol. Maike Schmehl  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt  
Dipl.-Phys. Silja Schmidtchen  
Ass. jur. Diana Schneider  
Dipl.-Ing. Raimund Schnieder  
Dipl.-Ing. Cathrin Schröder  
Dr.-Ing. Michal Schulz  
Dipl.-Ing. Benjamin Schwake  
Dipl.-Ing. (FH) Jana Seelig  
Dr. Ksenia Shandarova  
Dipl.-Math.-Techno. Roger Sonwa  
Dr.-Ing. Georgia Sourkouni-Argirusi  
Dipl.-Ing. Sebastian Stenger  
Dipl.-Ing. John-Glen Swanson  
Dipl.-Ing. Alain Tchokouaha  
Dipl.-Phys. Markus Thiel  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stephan Tietze  
Dipl.-Kffr. Genoveva Uskova  
Dr. rer. nat. Florian Voigts  
Dipl.-Phys. Julia Waltermann  
Qun Wang, M.Sc.  
Jonas Wegner, M.Sc.  
Dr. rer. nat. Martina Weichmann  
Dipl.-Phys. Anke Weidenfelder  
Dr. Falk Weinlich  
Dr. Patrick Were  
Dipl.-Ing. Benjamin Werther  
Dipl.-Ing. Jaroslav Wiechecki  
Dr. rer. nat. Ulrike Willer  
Dipl.-Phys. Hendrik Wulfmeier  
Dipl.-Ing. Lars Wundram  
Dipl.-Geograph André Wüste  
Furui Xi, M.Sc.  
Wei Xing, M.Sc.  
Dipl.-Ing. Tao Xu  
Dr.-Ing. Jeoungseok Yoon  
Dr. rer. nat. Sherif Zein el Abedin  
Dipl.-Ing. Xiaohong Zhang  
Dipl.-Ing. Qi Zhao  
Lei Zhou, M.Sc.  
Dr.-Ing. Jens zum Hingst

## Monografien

2011

Beck, Hans-Peter; Schmidt, Marko:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung  
stillgelegter Bergwerke : Abschlussbericht*  
Clausthal-Zellerfeld: Univ.-Bibliothek Clausthal, 2011  
ISBN 978-3-942216-54-8

2010

Hou, Michael Z.:  
*Underground storage of CO2 and energy*  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1

2009

Hou, Michael Z.; Wei, Z.; Zhou, Lei:  
*Numerische Untersuchungen zur Frac-Ausbreitung in  
Tight Gas Reservoirs mit dem FDM-Programm FLAC3D:  
Machbarkeitsstudie*  
Hamburg: DGMK, 2009  
ISBN 978-3-941721-01-2

## Dissertationen

2011

Fichter, Carsten David:  
*Systemanalyse und Optimierung  
tiefengeothermischer Kraftwerke*  
Göttingen: Cuvillier, 2011  
ISBN 978-3-86955-906-3  
(Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums  
Niedersachsen; Bd.3)

Lauven, Lars-Peter:  
*Optimization of biomass-to-liquid plant setups  
and capacity using nonlinear programming*  
Göttingen: Cuvillier, 2011  
ISBN 978-3-86955-899-8  
(Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums  
Niedersachsen; Bd.2)

Haubrock, André:

*Degradationsuntersuchungen von Lithium-Ionen Batterien bei deren Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen*

Göttingen: Cuvillier, 2011

ISBN 978-3-86955-831-8

(Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen; Bd.1)

Richter, Denny:

*Selektiver Gassensor auf der Basis hochtemperaturstabiler piezoelektronischer Langasitresonatoren*

2011

Sauerwald, Jan:

*Monolithische Strukturen in Langasit für mikroelektromechanische Systemkomponenten*

2011

ISBN 978-3-942216-67-8

## 2010

Bauer, Christoph:

*Laserverfahren zum Spurengasnachweis im mittleren Infrarotbereich und Anwendungen zur Explosivstoffdetektion*

Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2010

ISBN 978-3-86948-072-5

Pohlkötter, Andreas:

*Photonische Mikrostimmgabel-Sensoren*

Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2010

ISBN 978-3-86948-077-0

zum Hingst, Jens:

*Prozessbegleitende Simulation elektrischer Mittelspannungsnetze bei dezentraler Einspeisung und unvollständiger Messinfrastruktur*

Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2010

ISBN 978-3-86948-055-8

## Beiträge in referierten Fachzeitschriften

### 2011

da Silva Gasparotto, Luiz; Prowald, Alexandra; Borisenko, Natalia; Zein El Abedin, Sherif; Garsuch, A.; Endres, Frank:  
*Electrochemical synthesis of macroporous aluminium films and their behavior towards lithium deposition/stripping*  
Journal of Power Sources – Bd.196 (2011), H.5, S. 2879-2883

Derlien, Holger; Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Elektromobiles Erdgas - Stromspeicherung und Steigerung der Energieeffizienz durch elektrische Verdichterantriebe*  
gwf: Gas Erdgas – Bd.152 (2011), H.9, S. 558-563

Voigts, Florian; Argiris, Christos; Maus-Friedrichs, Wolfgang:  
*The interaction of H<sub>2</sub>O with Fe-doped SrTiO<sub>3</sub>(100) surfaces*  
Surface and Interface Analysis – Bd.43 (2011), H.6, S. 984-992

Schulz, Michal; Sauerwald, Jan; Seh, Huankiat; Fritze, Holger; Tuller, Harry L.:  
*Defect chemistry based design of monolithic langasite structures for high temperature sensors*  
Solid State Ionics – Bd.184 (2011), H.1, S. 78-82

Atkin, Rob; Borisenko, Natalia; Drüschler, Marcel; Zein El Abedin, Sherif; Endres, Frank; Hayes, Robert; Huber, Benedikt; Roling, Bernhard:  
*An in situ STM/AFM and impedance spectroscopy study of the extremely pure 1-butyl-1-methylpyrrolidinium tris(pentafluoroethyl) trifluorophosphate/Au(111) interface: potential dependent solvation layers and the herringbone reconstruction*  
Physical Chemistry Chemical Physics – Bd.13 (2011), H.15, S. 6849-6857

Hayes, Robert; Borisenko, Natalia; Tam, Matthew K.; Howlett, Patrick C.; Endres, Frank; Atkin, Rob:  
*Double layer structure of ionic liquids at the Au(111) electrode interface: an atomic force microscopy investigation*  
The Journal of Physical Chemistry C – Bd.115 (2011), H.14, S. 6855–6863

Abdel Aal, Alsayed; al-Salman, Rihab; al Zoubi, Mohammad Saeed; Borissenko, Natalia; Endres, Frank; Höfft, Oliver; Prowald, Alexandra; Zein El Abedin, Sherif:  
*Interfacial electrochemistry and electrodeposition from some ionic liquids: In situ scanning tunneling microscopy, plasma electrochemistry, selenium and macroporous materials*  
Electrochimica acta – Bd.56 (2011), H.28, S. 10295-10305

Schippers, Wolfgang; Gershnel, E.; Burgmeier, Jörg; Katz, Ori; Willer, Ulrike; Averbukh, Ilya Sh.; Silberberg Yaron; Schade, Wolfgang:  
*Stimulated Raman rotational photoacoustic spectroscopy using a quartz tuning fork and femtosecond excitation*  
Applied Physics B: Lasers and Optics – Bd.105 (2011), H.2, S. 203–211

Kontermann, Stefan; Ruf, Alexander; Preu, Ralf:  
*Quantitative comparison of simulated and experimental silver crystal formation at the interface of silver thick film contacts on n-type silicon*  
Energy Procedia - Bd.8 (2011), S. 455–460

Kontermann, Stefan; Preu, Ralf; Willeke, Gerhard:  
*Calculating the specific contact resistance from the nanostructure at the interface of silver thick film contacts on n-type silicon*  
Applied Physics Letters – Bd.99 (2011), H.11, S. 111905

Richter, Denny; Sakharov, S.; Forsén, E.; Mayer, Elena; Reindl, Leonhard Michael; Fritze, Holger:  
*Thin film electrodes for high temperature surface acoustic wave devices*  
Procedia Engineering – Bd.25 (2011), S. 168–171

Fritze, Holger:

*High-temperature piezoelectric crystals and devices*  
Journal of Electroceramics – Bd.26 (2011), H.1–4,  
S. 122–161

Fielitz, Peter; Schneider, Oliver; Borchardt, Günter;  
Weidenfelder, Anke; Fritze, Holger; Shi, Jianmin; Bek-  
ker, Klaus-Dieter; Ganschow, Steffen; Bertram, Rainer:  
*Oxygen-18 tracer diffusion in nearly stoichiometric single  
crystalline lithium niobate*  
Solid State Ionics – Bd.189 (2011), H.1, S. 1–6

Shi, Jianmin; Fritze, Holger; Borchardt, Günter;  
Becker, Klaus-Dieter:  
*Defect chemistry, redox kinetics, and chemical  
diffusion of lithium deficient lithium niobate*  
Physical Chemistry Chemical Physics – Bd.13 (2011),  
H.15, S. 6925-6930

Schmidtchen, Silja; Richter, Denny;  
Xia, Han; Fritze, Holger:  
*Film conductivity controlled variation of the amplitude  
distribution of high-temperature resonators*  
MRS Proceedings – Bd.1299 (2011), S. s05–04

Hou, Michael Z.; Wundram, Lars; Wendel, H.;  
Meyer, R.; Schmidt, M.; Kretzschmar, H.J.;  
Schmitz, S.; Franz, Olaf:  
*Developing, modeling and in-situ-testing a long-term  
wellbore seal in the framework of the CO<sub>2</sub>-EGR research  
project CLEAN in the natural gas field Altmark*  
Energy Procedia – Bd.4 (2011), S. 5291–5298

Kontermann, Stefan; Ruf, Alexander; Preu, Ralf:  
*Atomistic simulations of the silicon surface structure at  
the interface of silver thick film contacts on n-type silicon*  
MRS Proceedings – Bd.1323 (2011), S. c03–17

Waltermann, Julia; Günther, Kay-Michael;  
Kontermann, Stefan; Waldvogel, Siegfried R.;  
Schade, Wolfgang:  
*Electrical and photoelectrical measurements on  
ZnO-nanowires coated with PEDOT:PSS for  
dye-sensitized solar cells*  
MRS Proceedings – Bd.1303 (2011), S. y06–21

Schlange, Alicja; dos Santos, Antonio Rodolfo; Kunz,  
Ulrich; Turek, Thomas: *Continuous preparation of  
carbon-nanotube-supported platinum catalysts in a  
flow reactor directly heated by electric current*  
Beilstein Journal of Organic Chemistry – Bd.7 (2011),  
S. 1412–1420

## 2010

Hager, Torsten; Beck, Hans-Peter;  
Wehrmann, Ernst-August:  
*Simulation von regionalen Erdgasverteilnetzen mit  
unvollständiger Messinfrastruktur = simulation of incom-  
pletely instrumented regional gas distribution networks*  
tm - Technisches Messen –  
Bd. 77 (2010), H.10, S. 509–515

Franz, Olaf; Schmidt, Marko; Gorczyk, Julita;  
Busch, Wolfgang; Beck, Hans-Peter:  
*Where the wind blows to: hydro pump plant in  
abandoned mines as wind energy storage*  
Systems : journal of transdisciplinary systems sciences  
– Bd. (2010), H.14, S. 33–43

Zein El Abedin, Sherif; Giridhar, Pulletikurthi;  
Schwab, P.; Endres, Frank:  
*Electrodeposition of nanocrystalline aluminium  
from a chloroaluminate ionic liquid*  
Electrochemistry Communications –  
Bd. 12 (2010), H.8, S. 1084–1086

Helsch, Gundula; Mös, Andrea; Deubener,  
Joachim; Höland, Marlies:  
*Thermal resistance of nanoporous antireflective  
coatings on silica glass for solar tower receivers*  
Solar Energy Materials and Solar Cells – Bd. 94 (2010),  
H.12, S. 2191–2196

Ismail, Amr S.; Zein El Abedin, Sherif;  
Höfft, Oliver; Endres, Frank:  
*Unexpected decomposition of the bis  
(trifluoromethylsulfonyl) amide anion during  
electrochemical copper oxidation in an ionic liquid*  
Electrochemistry Communications – Bd. 12 (2010),  
H. 7, S. 909–911

Brettholle, Mareike; Höfft, Oliver; Klarhöfer, Lothar;  
Mathes, Sebastian; Maus-Friedrichs, Wolfgang;  
Zein El Abedin, Sherif; Krischok, Stefan; Janek, Jürgen;  
Endres, Frank:

*Plasma electrochemistry in ionic liquids:  
deposition of copper nanoparticles*  
Physical Chemistry Chemical Physics – Bd.12 (2010),  
H.8, S. 1750–1755

Endres, Frank; Höfft, Oliver; Borisenko, Natalia;  
da Silva Gasparotto, Luiz; Prowald, Alexandra; Al-Sal-  
man, Rihab; Carstens, Timo; Atkin, Rob;  
Bund, Andreas; Zein El Abedin, Sherif:  
*Do solvation layers of ionic liquids influence  
electrochemical reactions?*  
Physical Chemistry Chemical Physics –  
Bd.12 (2010), H.8, S. 1724–1732

Swanson, Claudia H.; Schulz, Michael;  
Fritze, Holger; Shi, Jianmin; Becker, Klaus-Dieter;  
Fielitz, Peter; Borchardt, Günter:  
*Examinations of high-temperature properties of  
stoichiometric lithium niobate*  
Diffusion Fundamentals – Bd.12 (2010), S. 48–49

Schulz, Michal; Richter, Denny;  
Sauerwald, Jan; Fritze, Holger:  
*Solid State Sensors for selective gas detection at high  
temperatures – principles and challenges*  
Integrated Ferroelectrics – Bd.115 (2010), H.1, S. 41–56

Patil, Parimal A.; Gorek, Matthias; Folberth, Martin;  
Hartmann, Andreas; Forgang, Stanislav; Fulda,  
Christian; Reinicke, Kurt M.:  
*Electrical resistivity and permittivity measurements  
of oil base muds in the frequency range from  
1 MHz to 100 MHz*  
SPE Drilling and Completion – Bd.25 (2010), H.3,  
S. 380–390

Sakthivel, Mariappan; Schlange, Alicja;  
Kunz, Ulrich; Turek, Thomas:  
*Microwave assisted synthesis of surfactant stabilized  
platinum/carbon nanotube electrocatalysts for direct  
methanol fuel cell applications*

Journal of Power Sources - Bd.195 (2010),  
H.20, S. 7083–7089

Wegmüller, Urs; Walter, Diana;  
Spreckels, Volker; Werner, Charles L.:  
*Nonuniform ground motion monitoring with  
TerraSAR-X persistent scatterer interferometry*  
IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing  
– Bd.48 (2010), H.2, S. 895–904

Haubrock, André; Beck, Hans-Peter:  
*Emissionsfreies Schnellladen von Elektrofahrzeugen:  
erheblicher Entwicklungsbedarf*  
EW: das Magazin für die Energie-Wirtschaft –  
Bd. 109 (2010), H.22, S. 34–37

Osika, Oleg; Beck, Hans-Peter:  
*Dämpfende Eigenschaften der virtuellen  
Synchronmaschine: Verbesserung der Netzstabilität*  
EW: das Magazin für die Energie-Wirtschaft –  
Bd. 109 (2010), H.12, S. 42–45

## 2009

da Silva Gasparotto, Luiz; Borisenko, Natalia;  
Bocchi, Nerilso; Zein El Abedin, Sherif; Endres, Frank:  
*In situ STM investigation of the lithium underpo-  
tential deposition on Au(111) in the air- and water-  
stable ionic liquid 1-butyl-1-methylpyrrolidinium  
bis(trifluoromethylsulfonyl)amide*  
Physical Chemistry Chemical Physics – Bd.11 (2009),  
H. 47, S. 11140–11145

da Silva Gasparotto, Luiz; Borisenko, Natalia; Höfft,  
Oliver; Al-Salman, Rihab; Maus-Friedrichs, Wolfgang;  
Bocchi, Nerilso; Zein El Abedin, Sherif; Endres, Frank:  
*In situ STM studies of Ga electrodeposition from GaCl<sub>3</sub>  
in the air- and water-stable ionic liquid 1-butyl-1-meth-  
ylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide*  
Electrochimica Acta – Bd.55 (2009), H.1, S. 218–226

Sauerwald, Jan; Schulz, Michal;  
Richter, Denny; Fritze, Holger:  
*Diffusion in high-temperature piezoelectric  
single crystals*  
ECS transactions – Bd. 25 (2009), H.25, S. 135–146

Bauer, Christoph; Willer, Ulrike; Lewicki, Rafal;  
Pohlkötter, Andreas; Kosterev, Anatoliy A.;  
Kosynkin, D.; Tittel, Frank K.; Schade, Wolfgang:  
*A mid-infrared QEPAS for TATP detection*  
Journal of Physics: Conference Series – Bd.157 (2009),  
H.1, S. 012002

Pohlkötter, Andreas; Willer, Ulrike;  
Bauer, Christoph; Schade, Wolfgang:  
*Resonant tuning fork detector for  
electromagnetic radiation*  
Applied Optics – Bd.48 (2009), H.4, S. B119–B125

Shandarova, Ksenia; Rüter, Christian E.; Kip, Detlef;  
Makris, Konstantinos G.; Christodoulides, Demetrios  
N.; Peleg, Or; Segev, Mordechai:  
*Experimental observation of Rabi oscillations  
in photonic lattices*  
Physical Review Letters – Bd.102 (2009), H.12,  
S. 123905

Schulz, Michal; Sauerwald, Jan; Richter, Denny;  
Fritze, Holger:  
*Electromechanical properties and defect chemistry  
of high-temperature piezoelectric materials*  
Ionics – Bd.15 (2009), H.2, S. 157–161

Sauerwald, Jan; Schulz, Michal; Richter, Denny;  
Fritze, Holger:  
*Micromachined piezoelectric structures for  
high-temperature sensors*  
Journal of Electroceramics – Bd.22 (2009), H.1–3,  
S. 180–184

Sauerwald, Jan; Richter, Denny; Fritze, Holger;  
Ansorge, Erik; Schmidt, Bertram:  
*Micromachined active piezoelectric structures f  
or applications above 600 °C*  
Materials Research Society: MRS online proceedings  
library – Bd.1222 (2009), S. DD01–07

Deubener, Joachim; Hensch, Gundula; Moiseev, Anna;  
Bornhöft, Hansjörg:  
*Glasses for solar energy conversion systems*  
Journal of the European Ceramic Society – Bd. 29  
(2009), H.7, S. 1203-1210

Deubener, Joachim; Bornhöft, Hansjörg;  
Reinsch, Stefan; Müller, Ralf; Lumeau, Julien;  
Glebova, Larissa; Glebov, Leonid B.:  
*Viscosity, relaxation and elastic properties of  
photo-thermo-refractive glass*  
Journal of non-crystalline solids – Bd.355 (2009), H.2,  
S. 126–131

Pfeuffer, Bernhard; Kunz, Ulrich; Hoffmann, Ulrich;  
Turek, Thomas; Hoell, D.:  
*Heterogeneous reactive extraction for an intensified  
alcohol production process*  
Catalysis today – Bd.147 (2009), Suppl., S. 357–361

Kaestle, Gunnar; Wehrmann, Ernst-August;  
Beck, Hans-Peter:  
*Mini-BHKW in der Gebäudetechnik:  
Strom erzeugend heizen*  
zeno – Zeitschrift für nachhaltiges Bauen -  
Bd.2009 (2009), H.2

Kivitz, Ellen; Palm, Birgit; Heinrich, Jürgen G.;  
Blumm, J.; Kolb, G.:  
*Reduction of the porcelain firing temperature  
by preparation of the raw materials*  
Journal of the European Ceramic Society –  
Bd.29 (2009), H.13, S. 2691-2696

Nielsen, Lasse; Leithner, Reinhard:  
*Dynamic simulation of an innovative  
compressed air energy storage plant –  
detailed modelling of the storage cavern*  
WSEAS transactions on power systems –  
Bd.4 (2009), H.8, S. 253–263

## 2008

Dietze, Wolfgang:  
*Aktuelle Fragen des Atom- und Strahlenschutzrechts:  
13. Deutsches Atomrechts-Symposium am  
4./5. Dezember 2007 in Berlin*  
EurUP – (2008), H.1, S. 45–48

Orghici, Rozalia; Willer, Ulrike; Gierszewska, M.;  
Waldvogel, Siegfried R.; Schade, Wolfgang:

*Fiber optic evanescent field sensor for detection of explosives and CO2 dissolved in water*  
Applied Physics B: Lasers and Optics – Bd.90 (2008),  
H.2, S. 355–360

Bauer, Christoph; Sharma, Ashwini Kumar; Willer, Ulrike; Burgmeier, Jörg; Braunschweig, Björn; Schade, Wolfgang; Blaser, S.; Hvozdar, L.; Müller, A.; Holl, G.:  
*Potentials and limits of mid-infrared laser spectroscopy for the detection of explosives*  
Applied Physics B: Lasers and Optics – Bd.92 (2008),  
H.3, S. 327–333

Sauerwald, Jan; Richter, Denny; Ansorge, Erik; Schmidt, Bertram; Fritze, Holger:  
*Doped monolithic langasite structures for high temperature MEMS*  
Solid State Ionics - Bd.179 (2008), H.21-26, S. 928-931

Deubener, Joachim; Yue, Yuanzheng; Bornhöft, Hansjörg; Ya, Min:  
*Decoupling between birefringence decay, enthalpy relaxation and viscous flow in calcium borosilicate glasses*  
Chemical geology – Bd.256 (2008), H.3-4, S. 299-305

## Beiträge in Tagungsbänden

### 2011

Schulz, Michal; Stenzel, C.; Fritze, Holger:  
*Messung und Regelung des Sauerstoffpartialdrucks im Bereich von 10<sup>-3</sup> bis 10<sup>-20</sup> bar*  
10. Dresdner Sensor-Symposium, Dresden,  
5. – 7. Dezember 2011 / Gerlach, Gerald u.a.  
Dresden: TUDpress, 2011  
ISBN 978-3-942710-53-4 – S. 61–64

Schmidtchen, Silja; Xia, Han; Fritze, Holger:  
*Einfluss der Geometrie von Elektroden und Sensorschichten auf das Schwingungsverhalten von Langasit-Resonatoren*  
10. Dresdner Sensor-Symposium, Dresden,  
5. – 7. Dezember 2011 / Gerlach, Gerald u.a.

Dresden: TUDpress, 2011  
ISBN 978-3-942710-53-4 – S. 173-176

Richter, Denny; Fritze, Holger; Sakharov, S.; Forsén, E.; Mayer, Elena; Reindl, Leonhard Michael:  
*Elektrodenmaterialien für Hochtemperatur-OFW-Elemente*  
10. Dresdner Sensor-Symposium, Dresden,  
5. – 7. Dezember 2011 / Gerlach, Gerald u.a.  
Dresden: TUDpress, 2011  
ISBN 978-3-942710-53-4 – S. 193-196

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei; Kracke, Tobias:  
*Vorausberechnung der Frac-Ausbreitung, Bruchmechanismen, Energiefreisetzung sowie Magnitude für die GeneSys-Stimulation im Mai 2011*  
Der Geothermiekongress 2011, Bochum,  
15. – 17. November 2011  
Berlin: GtV, 2011  
ISBN 978-3-932570-66-7

Chen, Yong; Hesse, Ralf; Turschner, Dirk; Beck, Hans-Peter:  
*Netzstützende Wirkung der virtuellen Synchronmaschine in dezentralen Netzen*  
Internationaler ETG-Kongress 2011:  
Umsetzungskonzepte nachhaltiger Energiesysteme -  
Erzeugung, Netze, Verbrauch; Würzburg,  
8. – 9. November 2011  
Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2011  
ISBN 978-3-8007-3376-7

Fritze, Holger; Schmidtchen, Silja;  
Schulz, Michal; Richter, Denny:  
*Langasite based high-temperature bulk acoustic wave sensors*  
IEEE Sensors Conference, 2011, Limerick,  
Ireland, 28. – 31. Oct. 2011  
Piscataway, NJ: IEEE, 2011  
ISBN 978-1-4244-9290-9 – S. 600–605

Beck, Hans-Peter, Beyer, Katrin:  
*Die Energiewende braucht Unterspeicherung*  
40 Jahre Kavernenbau in Etzel, Etzel,  
16. September 2011 / IVG Caverns  
Friedeburg: IVG Caverns, 2011 – S. 30–33

Gorczyk, Julita; Xi, Furui; Busch, Wolfgang;  
Langefeld, Oliver; Beck, Hans-Peter; Schmidt, Marko:  
*Markscheiderisch-bergbauliche Aspekte bei der  
Planung eines untertägigen hydraulischen Pumpspei-  
cherwerkes in einem stillgelegten Erzbergwerk*  
Tagungsband Energie und Rohstoffe 2011: Beitrag  
des Markscheidewesens, Freiberg, 7. – 10. September  
2011 / Deutscher Markscheider-Verein  
Herne: Deutscher Markscheider-Verein, 2011  
ISBN 978-3-86948-160-9 – S. 168-175

Schlange, Alicja; dos Santos, Antonio Rodolfo;  
Kunz, Ulrich; Turek, Thomas:  
*Continuous preparation of highly active Pt/CNT catalysts*  
European Fuel Cell Forum 2011, Luzern,  
28 June – 1 July 2011

Hager, Torsten; Bentaleb, Abdelhamid;  
Wehrmann, Ernst-August; Beck, Hans-Peter:  
*Identification of the parameters “pressure, flow and  
calorific value” in under-instrumented gas distribution  
grids by using modern reconstruction methods*  
Joint IMEKO TC11 TC19 TC20 International Symposia  
Metrological Infrastructure Environmental and Energy  
Measurements & International Symposium of Energy  
Agencies of Mediterranean Countries, Cavtat,  
Dubrovnik Riviera, Croatia, 15. – 17. June, 2011, S. 5

Kaestle, Gunnar; Vrana, Til Kristian:  
*Improved requirements for the connection  
to the low voltage grid*  
21st International Conference on Electricity Distribu-  
tion – CIRED 2011, Frankfurt, 6. – 9. Juni 2011, S. 1275

Chen, Yong; Hesse, Ralf; Turschner, Dirk;  
Beck, Hans-Peter:  
*Improving the grid power quality using virtual  
synchronous machines*  
2011 International Conference on Power Engineering,  
Energy and Electrical Drives (POWERENG),  
Torremolinos (Málaga), Spain 11. – 13. May 2011 /  
Aguado, J. A. u.a.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2011  
ISBN 978-1-4244-9843-7

Schmidtchen, Silja; Sauerwald, Jan;  
Richter, Denny; Fritze, Holger:  
*Miniaturized piezoelectric structures for  
application temperatures up to 1000°C*  
SPIE Proceedings - Smart Sensors, Actuators, and  
MEMS V, Prague, Czech Republic, 18 April 2011 /  
Schmid, Ulrich; Sánchez-Rojas, José Luis; Leester-  
Schaedel, Monika  
2011 – S. 806605

Chen, Yong; Hesse, Ralf; Turschner, Dirk;  
Beck, Hans-Peter:  
*Dynamic properties of the virtual  
synchronous machine (VISMA)*  
ICREPO '11 : International Conference on  
Renewable Energies and Power Quality,  
Las Palmas de Gran Canaria, 13. – 15. April 2011  
ISBN 978-84-614-7527-8

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:  
*Modeling and optimization of multiple fracturing  
along horizontal wellbores in tight gas reservoirs*  
DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches  
Aufsuchung und Gewinnung, Celle,  
11. – 12. April 2011  
Hamburg: DGMK, 2011  
ISBN 978-3-941721-16-6 – S. 615–625

Yoon, Jeoungseok; Jeon, S.; Zang, Arno;  
Stephansson, Ove; Hou, Michael Z.:  
*Bonded particle model simulation of laboratory  
rock tests for granite using particle clumping  
and contact unbonding*  
2nd International FLAC/DEM Symposium,  
Melbourne, Australia, 14. – 16. Feb. 2011

## 2010

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei; Kracke, Tobias:  
*Thermo-hydro-mechanisch (THM) gekoppelte  
Untersuchungen zu Bruchmechanismen, Bruchausbrei-  
tung und Energiefreisetzung bei Stimulationen in Tight  
Gas und geothermischen Reservoiren*  
Der Geothermiekongress 2010, Karlsruhe,  
17. – 19. November 2010  
ISBN 978-3-932570-65-0

Heyne, Raoul; Wenzl, Heinz; Beck, Hans-Peter:  
*Fuel cell life prediction*  
The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric  
Vehicle Symposium & Exhibition – EVS-25, Shenzhen,  
China, 5. – 9. Nov. 2010 – S. 4

Gorczyk, Julita; Lampe, Wolfgang;  
Busch, Wolfgang; Schmidt, Marko:  
*Nachnutzung stillgelegter Bergwerke zur Windenergie-  
speicherung - eine marktscheiderische Herausforderung*  
10. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg,  
04. – 06. November 2010 / Meier, Günter;  
Busch, Wolfgang  
Essen: VGE-Verl., 2010  
ISBN 978-3-86797-106-5 – S. 368–377

Yoon, Jeoungseok; Jeon, Seokwon;  
Stephansson, Ove; Zang, Arno:  
*Testing of clumped particle models in simulation  
of laboratory rock fractures in compression*  
18th European Conference on Fracture, Fracture of  
Materials and Structures from Micro to Macro Scale,  
Dresden, 30. Aug. – 03. Sept. 2010 / DVM, 2010 –  
S. C.06.1-5

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:  
*Numerical simulations of hydraulic  
fracturing in tight gas reservoirs*  
18th European Conference on Fracture,  
Fracture of Materials and Structures from  
Micro to Macro Scale, Dresden, 30. Aug. –  
03. Sept. 2010 / DVM, 2010 – S. C.06.1–6

Hou, Michael Z.; Gou, Yang; Yoon, Jeoungseok:  
*First THM:C coupled simulations of CO2  
sequestration in a multi-layered saline reservoir*  
Underground storage of CO2 and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 53–57

Hou, Michael Z.; Wundram, Lars; Li, S.:  
*Numerical investigations of the geological  
integrity above a CO2-storage as well as the  
recovery of its initial state*

Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 59–65

Hou, Michael Z.; Wang, Qun; Xie, L.; Liu, J.; Zhang, R.:  
*The Hou's short- and long-term strength model, the  
Hou/Lux constitutive model for rock salt as well as their  
applications in storage cavern design*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 95–103

Liu, J.; Pei, J.; Ma, K.; Zhou, H.; Hou, Michael Z.:  
*Damage evolution and fractal property of  
salt rock on tensile failure*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 105–112

Yoon, Jeoungseok; Hou, Michael Z.; Jeon, S.:  
*Simulations of rock strength, dilatancy and  
damage under uniaxial compressive load  
using bonded particle models*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 155–160

Hou, Michael Z.; Chen, Y.; Li, X.:  
*New developments of the pre-calculation method  
for the determination of time-dependent surface  
subsidence above salt mines and cavities*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 205–210

Hou, Michael Z.; Gou, Yang; Xie, L.; Zhang, R.:  
*Natural gas storage cavern design under special  
consideration of the thin bedded salt layer in  
Jintan and the intermediate layers of mudstone*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /

Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 211–216

Beck, Hans-Peter; Franz, Olaf:  
*Energy storage in abandoned mines -  
a method to stabilize the German power grid*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 261–269

Heilmann, Arndt; Müller-Kirchenbauer, Joachim;  
Hotopp, Steven:  
*Procedures to generate „Model Networks“  
for gas grid distribution systems*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 301–304

Li, Bo; Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Overall simulation of German and European  
natural gas transmission systems*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 305–310

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei; Luo, Xuan:  
*THM:C coupled models for borehole stability  
in tight gas sandstone and shale formations*  
Underground storage of CO<sub>2</sub> and energy /  
Hou, Michael Z.  
Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press, 2010  
ISBN 978-0-415-60049-1 – S. 345–352

Beck, Hans-Peter; Schmidt, Marko:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung  
stillgelegter Bergwerke*  
„Dieses ist die letzte Tonne Erz, Gott schütze uns  
ferner vor Leid und Schmerz“, Kolloquium „100 Jahre  
Ende Silberbergbau“, Sankt Andreasberg, 2. Juli 2010  
/ Lampe, Wolfgang; Langefeld, Oliver  
Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2010  
ISBN 978-3-86948-088-6 – S. 200-229

Walter, Diana; Busch, Wolfgang:  
*Topographic phase errors: difficulties and  
solutions in high-precision measurement  
of deformations in mining areas*  
Proceedings ESA Living Planet Symposium,  
Bergen, Norway, 28.06. - 02.07.2010  
Bergen, Norway, 2010 – S. 047-D4

Schmidtchen, Silja; Sauerwald, Jan; Xia, Han;  
Fritze, Holger:  
*Displacement characteristics of piezoelectric  
langasite transducers at high temperatures*  
9th International Conference on vibration measure-  
ments by laser and non-contact techniques and short  
course, Ancona, Italy, 22. – 25. June 2010 - S. 164-170

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei; Yoon, Jeoungseok;  
Zang, Arno; Stephansson, Ove; Hou, Michael Z.:  
*Sensitivity analyses on parameters of lab-scale  
bonded particle models for rock simulations using  
Plackett-Burman design method*  
Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineer-  
ing: Proceedings of the European Rock Mechanics  
Symposium (EUROCK) 2010, Lausanne, Switzerland,  
15. – 18. June 2010 / Zhao, Jian u.a.  
Leiden: CRC Press/Balkema, 2010  
ISBN 978-0-415-58654-2 – S. 185-188

Hou, Michael Z.; Luo, Xuan:  
*Wellbore stability in shale: experiment,  
theory and case study*  
Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineer-  
ing : Proceedings of the European Rock Mechanics  
Symposium (EUROCK) 2010, Lausanne, Switzerland,  
15. – 18. June 2010 / Zhao, Jian u.a.  
Leiden: CRC Press/Balkema, 2010  
ISBN 978-0-415-58654-2 – S. 729-732

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:  
*Mechanism and modeling of seismic events induced by  
reservoir stimulation in an Enhanced Geothermal System*  
Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineer-  
ing : Proceedings of the European Rock Mechanics  
Symposium (EUROCK) 2010, Lausanne, Switzerland,  
15. – 18. June 2010 / Zhao, Jian u.a.

Leiden: CRC Press/Balkema, 2010  
ISBN 978-0-415-58654-2 – S. 853-856

Hou, Michael Z.; Gou, Yang; Rutqvist, Jonny:  
*Integration of the codes FLAC3D and TOUGHREACT for THMC coupled geo-process simulations in reservoirs*  
72nd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC, Barcelona, Spain, 14. – 17. June 2010  
ISBN 978-90-73781-86-3

Hou, Michael Z.; Yoon, Jeoungseok; Luo, Xuan;  
Braun, Roland:  
*In-situ primary stresses and hydro-mechanical properties of saline aquifer formations in the Altmark area in North Germany*  
72nd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC, Barcelona, Spain, 14. – 17. June 2010  
ISBN 978-90-73781-86-3

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:  
*THM gekoppelte dynamische Simulationsmethode zur Vorausberechnung der freizusetzenden Deformationsenergie und ihre erste Anwendung zur Nachsimulierung der im DHM Basel induzierten seismischen Ereignisse*  
DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung 2010 des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung, Celle,  
12. – 13. April 2010 / DGMK; ÖGEW  
Hamburg: DGMK, 2010  
ISBN 978-3-941721-05-0 – S. 541–549

Beck, Hans-Peter; Wehrmann, Ernst-August;  
Hager, Torsten:  
*Simulation von regionalen Erdgasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur*  
Tagungsband des Expertenforums „Verteilte Messsysteme“, Braunschweig, 24. – 25. März 2010 /  
Puente León, F.; Sommer, K.-D.; Heizmann, M.  
Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010  
ISBN 978-3-86644-476-8 - S. 57–68

Patil, Parimal; Teodoriu, Catalin; Reinicke, Kurt M.:  
*A comprehensive review on drillstring vibrations, modeling and experimentation*  
East meets West SPE Conf., Poland, 2010

## 2009

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:

*Vorausberechnung der gespeicherten und freizusetzenden Deformationsenergie bei Frac-Behandlungen in der Tiefengeothermie*

Der Geothermiekongress 2009, Bochum, Germany, 17. – 19. November 2009  
ISBN 978-3-932570-64-3

Beck, Hans-Peter; Maubach, Klaus-Dieter;  
Schmidt, Marko:

*Management dezentraler Erzeuger in Virtuellen Kraftwerken durch Synthetische Produktionsprofile*  
Internationaler ETG-Kongress 2009; Fachtagung 1: Intelligente Netze, Düsseldorf, 27 – 28.10.2009  
Berlin: VDE Verlag, 2009  
ISBN 978-3-8007-3194-7 – S. 85-87

Ansorge, Erik; Schmidt, Bertram;  
Sauerwald, Jan; Fritze, Holger:

*Modeling of energy confinement of plano-convex shaped resonators for applications at high temperatures*  
IEEE Sensors, Christchurch, New Zealand, 25. – 28. Oct. 2009  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009  
ISBN 978-1-4244-4548-6 – S. 209–212

Bartelt, Christian:

*Inconsistency analysis at integration of evolving domain specific models based on OWL*  
Proceedings of the Workshop Models and Evolution at the 12th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, Denver, USA, 4. – 9. Okt. 2009  
S. 27–37

Bartelt, Christian; Fischer, Edward; Ternité, Thomas:  
*Paradigmen zur Variabilitätsbeschreibung von Vorgehensmodellen*

INFORMATIK 2009 – Im Focus das Leben;  
39. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Lübeck, 28.09. – 02.10.2009 / Fischer, Stefan u.a.  
Bonn: Ges. für Informatik, 2009  
ISBN 978-3-88579-241-3 – S. 3507–3521

Nielsen, Lasse; Leithner, Reinhard:

*Modelling and dynamic simulation of an underground cavern for operation in an innovative compressed air energy storage plant*  
Energy, environment, ecosystems, development and landscape architecture : Proceedings of the 5th International Conference on energy, environment, ecosystems and sustainable development (EEESD '09) ; Proceedings of the 2nd International Conference on landscape architecture (LA '09), Vouliagmeni, Athen, Griechenland, 28. – 30. September 2009 / Mastorakis, Nikos u.a.  
WSEAS Press, 2009  
ISBN 978-960-474-125-0 – S. 285–293

Chen, Yong; Hesse, Ralf; Turschner, Dirk;  
Beck, Hans-Peter:

*Virtuelle Synchronmaschine (TP 11)*  
3. Symposium Dezentrale Energiesysteme, Oldenburg, 24. – 25. September 2009 / Forschungsverbund Energie Niedersachsen / Kurrat, Michael  
Braunschweig: Döring, 2009  
ISBN 978-3-925268-32-8 – S. 130–141

Schulz, Michal; Richter, Denny; Fritze, Holger:

*Material and resonator design dependant loss in langasite bulk acoustic wave resonators at high temperatures*  
IEEE International Ultrasonics Symposium, Rome, 20. – 23. Sept. 2009  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009  
ISBN 978-1-4244-4389-5 - S. 1676–1679

Yoon, Jeoungseok; Jeon, S.:

*Use of a modified particle-based method in simulating blast-induced rock fracture*  
Rock fragmentation by blasting : 9th International Symposium on rock fragmentation by blasting - Fragblast 9, Granada, Spain, 13. – 17. Sept. 2009 / Sanchidrián, José A.  
Boca Raton [u.a.]: CRC Press / Balkema, 2009  
ISBN 978-0-415-48296-7 – S. 371–380

Hou, Michael Z.; Wundram, Lars:

*Langzeitverschluss der CO<sub>2</sub>-Entsorgung in einer*

*Erdgaslagerstätte zur Erhöhung der Ausbeutungsrate:  
Vergleich mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle in  
einem alten Bergwerk*

Energie und Rohstoffe - Sicherung der Energie- und  
Rohstoffversorgung, Goslar, 09. – 12.09.2009 /  
DMV, IGMC

Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2009  
ISBN 978-3-86948-015-2 – S. 317-334

Dowrueng, A.; zum Hingst, Jens; Mbuy, Aime;  
Wehrmann, Ernst-August; Beck, Hans-Peter:  
*Decentralised energy management system with  
comprehension of fluctuated renewable energy resources*

International Conference on Clean Electrical Power,  
Capri, 9.–11. June 2009

Piscataway, NJ: IEEE, 2009

ISBN 978-1-4244-2543-3 – S. 316-319

Richter, Denny; Sauerwald, Jan; Fritze, Holger:  
*Selectivity improvement of high-temperature resonant  
gas sensors using micromachined membrane arrays*

SENSOR 2009: 14th International Conference on  
Sensors, Technologies, Electronics and Applications,  
Nürnberg, Germany, 26. – 28. May 2009

Wunstorf: AMA Service, 2009

ISBN 978-3-9810993-4-8 – S. 239-244

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:

*Hydraulic fracturing simulations with  
consideration of hydromechanical interactions*

SINOROCK 2009 : ISRM International Symposium  
on Rock Mechanics, Hong Kong, China,  
19. – 22. Mai 2009

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei; Wei, Z.:

*Entwicklung eines auf der Diskontinuumsmechanik  
basierten Rechenalgorithmus im FDM-Programm  
FLAC3D zur Frac-Ausbreitung in Tight Gas Reservoirs*

DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung 2009, Fachbereich  
Aufsuchung und Gewinnung, Celle,  
27. – 28. April 2009

Hamburg: DGMK, 2009

ISBN 978-3-936418-90-3 – S. 123–132

Hou, Michael Z.; Awounfack Tadongmo, F.; Pusch, Günter:  
*Secondary in-situ stresses resulting from change of pore pressure and their influence on the maximal storage pressure of CO<sub>2</sub> or natural gas in depleted reservoirs*  
DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung 2009,  
Fachbereich Aufsuchung und Gewinnung,  
Celle, 27. – 28. April 2009  
Hamburg: DGMK, 2009  
ISBN 978-3-936418-90-3 – S. 325-335

Bartelt, Christian; Molter, Georg; Schumann, Tim:  
*A model repository for collaborative modeling with the jazz development platform*  
42nd Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa, Big Island, HI, 5. – 8. Jan. 2009 / Sprague Jr., Ralph H.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009  
ISBN 978-0-7695-3450-3 – S. 1-10

## 2008

Leithner, Reinhard; Schlitzberger, Christian; Nielsen, Lasse:  
*Isobaric compressed air energy storage combined cycle with heat storage*  
German – Turkish TU9 - Workshop on Sustainable Energy, Gebze, Turkey, 12. – 14.11.2008

Richter, Denny; Sauerwald, Jan; Fritze, Holger; Ansorge, Erik; Schmidt, Bertram:  
*Miniaturized resonant gas sensors for high-temperature applications*  
IEEE Sensors, Lecce, Italy, 26. – 29. Oct. 2008  
Piscataway, NJ: IEEE, 2008  
ISBN 978-1-4244-2580-8 – S. 1536-1539

Schlitzberger, Christian; Leithner, Reinhard; Nielsen, Lasse:  
*Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher*  
40. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 14. – 15. Oktober 2008

Ansorge, Erik; Hirsch, S.; Schmidt, Bertram; Sauerwald, Jan; Fritze, Holger:  
*Design and fabrication of high-Q langasite resonator arrays for high temperature applications*  
IEEE International Frequency Control Symposium, Honolulu, HI, 19. – 21. May 2008  
Piscataway, NJ: IEEE, 2008  
ISBN 978-1-4244-1794-0 – S. 619-624

Bardong, Jochen; Schulz, Michal; Schmitt, M.; Shrena, I.; Eisele, D.; Mayer, E.; Reindl, Leonhard Michael; Fritze, Holger:  
*Precise measurements of BAW and SAW properties of Langasite in the temperature range from 25°C to 1000°C*  
IEEE International Frequency Control Symposium, Honolulu, HI, 19. – 21. May 2008  
Piscataway, NJ: IEEE, 2008  
ISBN 978-1-4244-1794-0 – S. 326-331

Ansorge, Erik; Schimpf, S.; Hirsch, S.; Schmidt, Bertram; Sauerwald, Jan; Fritze, Holger:  
*Piezoelectrically driven spherically contoured resonators in LGS for high temperature applications*  
IEEE 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems - MEMS 2008, Tucson, AZ, 13. – 17. Jan. 2008  
Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 2008  
ISBN 978-1-424-41792-6 – S. 669-672

## Beiträge in Sammelbänden

### 2011

Weyer, Hartmut; Lindemann, Ulrich:  
*Juristische Aspekte*  
Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke: Abschlussbericht / Beck, Hans-Peter; Schmidt, Marko  
Clausthal: Universitätsbibliothek, 2011  
ISBN 978-3-942216-54-8 – S. 444-634

### 2009

Kurrat, Michael; Deppe, Benjamin; Beck, Hans-Peter;

Mbuy, Aimé; Wehrmann, Ernst-August;  
Sonnenschein, Michael; Appelrath, Hans-Jürgen;  
Bremer, Jörg; Rapp, Barbara:  
*Interdisziplinäre Wissensvermittlung am Beispiel  
dezentraler Energiesysteme: ein Erfahrungsbericht*  
Auf dem Weg zu exzellentem E-Learning: Vernetzung  
und Kooperation der Hochschullehre in Niedersachsen  
/ Appelrath, Hans-Jürgen; Schulze, Leonore  
Münster: Waxmann, 2009  
ISBN 978-3-8309-2122-6. – S. 163-173

## 2008

Beck, Hans-Peter; Springmann, Jens-Peter:  
*Transdisziplinarität in der Energieforschung:  
das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
als Brücke zur Transdisziplinarität?*  
Jahrbuch // Berliner Wissenschaftliche  
Gesellschaft 2007  
Berlin: Berliner Wissenschafts-Verl., 2008 – S. 69-80

Schade, Wolfgang; Bauer, Christoph; Orghici, Rozalia;  
Waldvogel, Siegfried; Börner, Sandra:  
*Miniaturized photonic sensor devices for real  
time explosive detection*  
Detection of Liquid Explosives and Flammable Agents  
in Connection with Terrorism / Schubert, Hiltmar;  
Kuznetsov, Andrey  
Dordrecht: Springer, 2008  
ISBN 978-1-402-08466-9 – S. 215-225

## Arbeitspapiere

### 2011

Hou, Michael Z.; Zhou, Lei:  
*Numerische Untersuchungen zur Frac-Ausbreitung in  
Tight Gas Reservoirs mit dem FDM-Programm FLAC3D :*  
*Untersuchung und Optimierung von Multi-Fracs;*  
Abschlussbericht zum DGMK-Projekt 680-II

Hou, Michael Z.; Wonik, T.; Luo, Xuan; Vogt, E.:  
*Geo-Parameter aus Bohrlochmessungen und  
ihre Nutzung*  
Zwischenbericht zum gebo-Projekt

## 2010

Geldermann, Jutta; Schenk-Mathes, Heike Y.; Amann, Katharina; Federowski, Alexander; Köster, Christian; Lauven, Lars-Peter; Lindemann, Ulrich; Pithan, Daniel; Schmidt, Marko; Springmann, Jens-Peter:  
*Niedersächsische CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und Vermeidungskosten*  
(erstellt im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz)

## 2009

Hou, Michael Z.; Yoon, Jeoungseok; Khan, I.U.:  
*Determination of the 3D primary stresses and hydro-mechanical properties of several strata in the Salzwedel reservoir area & Multi-layer caprock-reservoir 2D-model for the Altensalzwedel test field for THMC coupled numerical modelling*  
Interim Report to the BMBF-Projekt (03G0704Q)

Hou, Michael Z.; Wundram, Lars:  
*Abschätzung der geomechanischen Eigenschaften insbesondere der Kriechparameter von Salzgesteinen*  
Zwischenbericht zum BMBF-Projekt (03G0704Q)

Hou, Michael Z.; Yoon, Jeoungseok:  
*3D-model of the Altensalzwedel field, all calculation parameters inclusive hydromechanical properties and two case studies of THM coupled simulations of CO<sub>2</sub> sequestration using the integrated code TOUGH-FLAC*  
Interim Report to the BMBF-Projekt (03G0704Q)

Hou, Michael Z.; Wundram, Lars:  
*Langzeit-Bohrungsverschluss*  
Zwischenbericht zum BMBF-Projekt (03G0704Q)

## Patente

### 2010

Leithner, Reinhard:  
*Schichtwärmespeicher mit Naturumlauf*  
DE 10 2008 033 635 A1

Leithner, Reinhard:  
*Latentwärmespeicherkaskade*  
DE 10 2008 033 527 A1

### 2009

Leithner, Reinhard:  
*Teilisobares Druckluftspeicherkombikraftwerk mit Wärmespeicher*  
DE 10 2007 042 837 A1

### 2008

Leithner, Reinhard:  
*Wärmespeicher mit intrinsischer Schichtung*  
DE 10 2007 015 080 A1

Leithner, Reinhard:  
*Druckluftspeicherkraftwerk*  
DE 10 2006 031 424 A1

## Studien- und Abschlussarbeiten

### 2011

Asamba, Peter Bekake:  
*Konzept eines elektronischen Kavernenverzeichnisses im Hinblick auf bergbehördliche Anforderungen*

Baumann, Anna Lena:  
*Herstellung und Charakterisierung von Schwarzem Silizium mit Doppel-Laserpulsen und auf Dünnschicht-Silizium*

Becker, Maik:  
*Elektrochemische Funktionalisierung von Carbon-Nanotubes*

Damm, Malte:  
*Design of a through tubing gravel pack*

Eggers, Hanna; Greis, Alina; Heimrich, Lars; Krause, Gerrit; Poppe, Miriam; Ricke, Martin:  
*Druckluftspeicherkraftwerke - Verbesserte Integration*

*regenerativer Energien in die Stromversorgung;  
Projektarbeit*

Khan, Nizam Uddin:  
*Kill Operations*

Krönke, Max:  
*Berechnung des Rückhaltevermögens für einen Tank  
gemäß TRwS*

Krost, Jonathan:  
*Konzeptstudie: Eignung von Gasturbinen und  
Kompressoren für den Einsatz in einem isobaren,  
adiabaten GuD-Druckluftspeicherkraftwerk*

Kwokori, Anna Elizabeth:  
*OSPAR vs. MMS rules for plug and abandonment  
of offshore wells*

Masannek, Andre:  
*Wirtschaftlichkeit und Kostenanalyse eines innovativen  
GuD-Druckluftspeicherkraftwerks mit Wärmespeicher*

Neumann, Christoph:  
*Ökonomische Analyse von Energiespeichern unter  
besonderer Berücksichtigung eines untertägigen  
Pumpspeicherwerks*

Nwanwe, Onyebuchi Ivan:  
*Re-injection of drill cuttings an option for Germany?*

Ramayah, Subhadra:  
*Reservoir engineering for coal methane operations*

Seeger, Lena:  
*Technische Potentiale zur Errichtung eines  
Pumpspeicherkraftwerks am Prinzenteich*

Sukgasem, Nirarach:  
*Candidate selection for downhole oil/water  
separation in Scheerhorn oil field*

Sydow, André; Allers, Christoph:  
*Wirtschaftliche Betrachtung von Wärmespeichern;  
Projektarbeit*

Turillas, David:  
*Exergetic evaluation of compressed air energy storages*

## 2010

Derzinevesi, Yasar Riza:  
*Kyoto Protocol and its impacts in the E&P Industry*

Gehling, Dominik:  
*Weiterentwicklung eines Wirtschaftlichkeitsanalysetools von Druckluftspeicherkraftwerken und Vergleich unterschiedlicher Anlagen- und Betriebskonzepte; Projektarbeit*

Groves, Christian:  
*Untersuchung und Simulation des Betriebsverhaltens einer Gasturbinenanlage mit der Einspritzung von Wasserdampf vor der Brennkammer; Projektarbeit*

Hoegen, Christiane:  
*Isobaric adiabatic compressed air energy storage with subsea energy bags*

Meinders, Nils; Grodtmann, Christian:  
*Europäisches Supergrid und großtechnische Energiespeicher – Konkurrenzsituation oder geeignete Ergänzung; Projektarbeit*

Schröder, Andreas:  
*Dezentrale Druckluftspeicherkonzepte*

Spelters, Oliver:  
*Betragung zur Dynamik von Redox-Flow-Zellen*

## 2009

Kammel, Jannis:  
*Konstruktion und Verbesserungen eines Feststoffwärmespeichers*

Lopez, Javier:  
*Modellierung und Simulation des Abhitzedampferzeugers eines GuD-Druckluftspeicherkraftwerks*

Pettau, Malte:  
*Untersuchung und Modellierung des Druckluftspeicherkraftwerks Huntorf im Betrieb mit einem Rekuperator und einer Erdgasentspannungsturbine*

Stelter, Iris:  
*Auswirkungen der ökonomischen Anreize des EEG auf Wasserkraftwerke am Beispiel der Harzwasserwerke GmbH*

Wendt, Steffen:  
*Untersuchung von Modifikationen an Standard-GuD-Anlagen sowie deren Teillastverhalten für den Einsatz in Druckluftspeicherkraftwerken*

Willnauer, Lisa; Somdalen, Ragnar:  
*Ökonomische Bewertung von Druckluftspeichern unter Berücksichtigung ihrer Rolle für die Ausfallsicherheit; Projektarbeit*

## 2008

Eger, Svenja F.:  
*Zwischenspeicherung von Windenergie – eine ökonomische Betrachtung*

Hübner, Ina:  
*Kooperationen zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit – Handlungsempfehlungen für die Stadt Goslar*

Nielsen, Lasse:  
*Analyse, technische und wirtschaftliche Optimierung von Speicherkraftwerken durch dynamische Simulation*

Schumann, Florian:  
*Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Druckluftspeicherkraftwerken*

## Sonstige Publikationen

### 2011

*Energieversorgung im Übergang - Norddeutsche Perspektiven 2030 : Vierte Niedersächsische Energietage ; Ergebnisbroschüre / Vorstand des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, 2011*

Appelrath, Hans-Jürgen; Beck, Hans-Peter; Franz, Olaf; zum Hingst, Jens; Springmann, Jens-Peter:  
*Stellungnahme des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen zur Ad-Hoc-Stellungnahme der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina „Energiepolitische und forschungspolitische Empfehlungen nach den Ereignissen in Fukushima“*  
im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur, August 2011

Beck, Hans-Peter:  
*Etappen für den Übergang: Ergebnisse der Niedersächsischen Energietage*  
2. Regionaler EnergieTag 2011, Braunschweig, 07. September 2011, S.53-57

Heyne, Raoul; Haubrock, Andre; Benger, Ralf; Wenzl, Heinz; Beck, Hans-Peter:  
*Verleich von Elektrotankstellen*  
Ingenieurwissenschaften Deutschland – Bd. (SS 2011), S. 116–120

Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Die Chance für Kommunen liegt in Kooperationen: Interview*  
bne kompass – (2011), H.1, S. 12-13

### 2010

*Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen am Energie-Campus Goslar : Festschrift anlässlich der Einweihung des EFZN-Hauptgebäudes am 17. Juni 2010 / Vorstand des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, 2010*

*Dritte Niedersächsische Energietage: 05.-06. November 2009 in Goslar ; Zusammenfassung / Vorstand des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, 2010*

Mattioli, Frank:  
*Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) als fachübergreifende Forschungseinrichtung für Energiegewinnung und Energieverwertung in Niedersachsen*  
1. Regionaler Energietag 2010, Wolfsburg,  
22. September 2010, S.9–15

## 2008

*Zweite Niedersächsische Energietage 09.-10. Oktober 2008 in Goslar; Zusammenfassung / Vorstand des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, 2008*

## Poster

### 2011

Nielsen, Lasse; Qi, Dawei; Brinkmeier, Niels;  
Leithner, Reinhard; Grote, W.; Kastsian, Darya;  
Mönnigmann, Martin:  
*Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher*  
Poster präsentiert am 28.11.2011  
anlässlich: 6. Internationale Konferenz und Ausstellung zur Speicherung Erneuerbarer Energien (IRES 2011), 28. – 30.11.2011 in Berlin

Derlien, Holger:  
*Using electrically driven natural gas pipelines for power storage and demand side management*  
Poster präsentiert am 28.11.2011  
anlässlich: 6th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2011), 28. – 30. November 2011 in Berlin

Nielsen, Lasse; Qi, Dawei; Leithner, Reinhard:  
*Isobaric adiabatic compressed air energy storage - combined cycle*  
Poster präsentiert am 05.07.2011  
anlässlich: E.ON Research Initiative Conference, 05.07.–06.07.2011 in Birmingham

Gimpel, Thomas; Günther, Kay-Michael;  
Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:  
*Study on contact materials for sulfur hyperdoped black silicon*  
Poster präsentiert am 22.06.2011  
anlässlich: 37th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 19. – 24.06.2011 in Seattle, Washington, USA

Gedzius, Iska:  
*Innovative Erschließungskonzepte für Hot Dry Rock-Projekte im Norddeutschen Becken*  
Poster präsentiert am 12.04.2011  
anlässlich: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung 2011, Fachbereich Aufsuchung und Gewinnung in Celle

Gedzius, Iska:  
*Betrachtung von Korrosionsschäden an Casings im Primärkreislauf geothermischer Anlagen*  
Poster präsentiert am 12.04.2011  
anlässlich: DGMK/ÖGEW Frühjahrstagung, Fachbereich Aufsuchung und Gewinnung in Celle

Hou, Michael Z.:  
*Modeling and optimization of multiple fracturing along horizontal wellbores in tight gas reservoirs*  
Poster präsentiert am 11.04.2011  
anlässlich: DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung in Celle

Leithner, Reinhard; Nielsen, Lasse; Qi, Dawei:  
*Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher*  
Poster präsentiert am 04.04.2011  
anlässlich: Hannover Messe, 04.-08.04.11 in Hannover

Schlange, Alicja; Kunz, Ulrich; Turek, Thomas:  
*Continuous preparation of highly active Pt/CNT catalysts using a tubular flow reactor*  
Poster präsentiert am 17.03.2011  
anlässlich: 44. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker mit Jahrestreffen Reaktionstechnik, 16.– 18. März 2011 in Weimar

Baumann, Anna Lena; Gimpel, Thomas; Günther, Kay-Michael; Lehmann, Christian; Ruibys, Augustinas;

Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:  
*Black silicon with femtosecond double laser pulses*  
Poster präsentiert am 15.03.2011  
anlässlich: 75th Annual Meeting of the DPG and DPG  
Spring Meeting, 13. – 18. March 2011 in Dresden

Vasterling, Margarete; Bönnemann, Christian;  
Bischoff, Monika; Ritter, J.; Groos, J.; Wassermann, J.;  
Megies, T.; Spies, T.; Schlittenhardt, J.; Kopera, J.;  
Shapiro, S.; Dinske, C.; Langenbruch, C.; Hou,  
Michael Z.; Kracke, Tobias; Konietzky, H.; Mittag, R.:  
*MAGS – Mikroseismische Aktivität  
geothermischer Systeme*  
Poster präsentiert am 21.02.2011  
anlässlich: 71. Jahrestagung der Deutschen Geophysi-  
kalischen Gesellschaft, 21. – 24.02.2011 in Köln

## 2010

Qi, Dawei; Leithner, Reinhard:  
*High temperature thermal energy storage for  
isobaric adiabatic compressed air energy storage -  
combined cycle (ISACOAST-CC)*  
Poster präsentiert am 22.11.2010  
anlässlich: 5th International Renewable Energy  
Conference (IRES 2010), 22.–24.11.2010 in Berlin

Nielsen, Lasse; Qi, Dawei; Schlitzberger, Christian;  
Leithner, Reinhard:  
*Isobaric adiabatic compressed air energy storage –  
combined cycle*  
Poster präsentiert am 25.09.2010  
anlässlich: E.ON IRI Award in Berlin

Schlange, Alicja; dos Santos, Antonio Rodolfo;  
Kunz, Ulrich; Turek, Thomas:  
*Continuous preparation of platinum based  
electrocatalysts*  
Poster präsentiert am 13.09.2010  
anlässlich: Electrochemistry 2010: From microscopic  
understanding to global impact,  
13. – 15. September 2010 in Bochum

Kaestle, Gunnar:  
*Standardisation of distributed grid support –*

*an analogue approach for the smart grid*

Poster präsentiert am 29.04.2010

anlässlich: 5th European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference in Tarragona, Spain

Leithner, Reinhard; Nielsen, Lasse;  
Schlitzberger, Christian:

*Isobares GuD-Druckluftspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher*

Poster präsentiert am 19.04.2010

anlässlich: Hannover Messe, 19. – 23.04.10 in Hannover

Lezniak, A.; Sakthivel, Mariappan; Kunz, Ulrich;  
Turek, Thomas:

*The effect of the heating gradient on the Pt dispersion and the activity of CNT supported catalyst for DMFC*

Poster präsentiert am 10.03.2010

anlässlich: 43. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, 10. – 12. März 2010 in Weimar

Etzold, Bastian; Lezniak, A.; Glenk, F.; Gütlein, Stefan;  
Sakthivel, Mariappan; Kunz, Ulrich; Turek, Thomas:  
*Silicon carbide-derived carbon as a novel support for fuel cell catalysts*

Poster präsentiert am 10.03.2010

anlässlich: 43. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, 10. - 12. März 2010 in Weimar

## 2009

Lezniak, A.; Sakthivel, Mariappan; Kunz, Ulrich;  
Turek, Thomas:

*Comparison of different reducing agents on the properties of pre-treated carbon nanotubes (CNT) based electrocatalysts*

Poster präsentiert am 11.03.2009

anlässlich: 42. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, 11. – 13. März 2009 in Weimar

Kaestle, Gunnar:

*Support for cogeneration in Germany: the new CHP law and the MiniCHP investment incentive*

Poster präsentiert am 11.02.2009

anlässlich: 6. Internationale Energiewirtschaftstagung in Wien

## 2008

Leithner, Reinhard; Schlitzberger, Christian;  
Nielsen, Lasse:

*Isobaric adiabatic compressed air energy storage combined cycle with high levels of storage efficiency*

Poster präsentiert am 25.11.2008

anlässlich: Third International Renewable Energy Conference (IRES 2008), 24. – 25.11.2008 in Bonn

## Vorträge

### 2011

Beck, Hans-Peter:

*Wie viel Energieversorgung vom Land können wir uns leisten und wie viel brauchen wir?*

gehalten am 16.12.2011

anlässlich: Netzwerk Ackerbau - Auftaktveranstaltung in Braunschweig

Beck, Hans-Peter:

*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke: ein Energiekonzept für den Westharz*

gehalten am 14.12.2011 in Goslar

Beck, Hans-Peter:

*Energy Awareness*

gehalten am 10.12.2011

anlässlich: GEP in Dresden

Lauven, Lars:

*Development of a european biomethane strategy - prospects and challenges for Germany and the Netherlands*

gehalten am 23.11.2011

anlässlich: Energy Delta Conference in Groningen

Beyer, Katrin; Nakhaie, Soroush:

*Status Quo der Stromspeicher*

gehalten am 22.11.2011

anlässlich: Fachkonferenz Energiewendepolitik für Beiräte der JadeBay GmbH in Wilhelmshaven

Beck, Hans-Peter:

*Mittel- und langfristiger Flexibilisierungsbedarf des*

*Stromversorgungssysteme - mögliche Optionen*  
gehalten am 13.10.2011  
anlässlich: Expertendialog „Erzeugen –  
Vernetzen-Speichern“ in Hannover

Derlien, Holger; Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*The power storage potential of the natural gas  
infrastructure : using electric compressor drives for  
levelling renewable energy's fluctuations*  
gehalten am 08.10.2011  
anlässlich: 10th International Conference on Applied  
Infrastructure Research – INFRADAY, 07. - 08. October  
2011 in Berlin

Beck, Hans-Peter; Bengler, Ralf; Beyer, Katrin;  
Derlien, Holger; Franz, Olaf; zum Hingst, Jens;  
Nakhaie, Soroush; Nielsen, Lasse; Schmidt, Marko:  
*Stellungnahme des EFZN zur Bitte, die gegenwärtigen  
Speichertechnologien und deren Entwicklungspotentiale  
sowie gegebenenfalls Neuerungen darzulegen*  
gehalten am 30.09.2011  
anlässlich: Niedersächsische Landesregierung in  
Hannover

Beck, Hans-Peter:  
*Building an European North Sea Energy Alliance  
(ENSEA): a joint initiative of Germany/Niedersachsen,  
Norway, Scotland and the Netherlands*  
gehalten am 29.09.2011  
anlässlich: 2. Deutsch-Norwegische Energiekonferenz  
in Oslo

Beck, Hans-Peter; Bengler, Ralf; Beyer, Katrin;  
Nakhaie, Soroush; Schmidt, Marko:  
*Die Energiewende braucht Energiespeicher*  
gehalten am 22.09.2011  
anlässlich: Energiedialog ErzeugenVernetzenS-  
peichern, IVG Caverns GmbH in Hannover

Beck, Hans-Peter:  
*Energiewende braucht Unterspeicher*  
gehalten am 16.09.2011  
anlässlich: IVG Jubiläumsfeier Kavernenbau  
Etzel in Etzel

Beck, Hans-Peter:  
*Etappen für den Übergang – Ergebnisse der Niedersächsischen Energietage*  
gehalten am 07.09.2011  
anlässlich: 2. Regionaler EnergieTag 2011 in Braunschweig

Beck, Hans-Peter; Beyer, Katrin; Heyne, Raoul:  
*Wasserstoffnutzung zwischen Forschung und Praxis - Welche Impulse sind noch nötig?*  
gehalten am 05.09.2011  
anlässlich: Emissionsfreie Mobilfunkstation in Berlin

Beck, Hans-Peter:  
*Batterieforschung für Elektroautos : Stand der Technik, Herausforderungen und Perspektiven*  
gehalten am 07.07.2011  
anlässlich: Akademischer Verein Agricola in Clausthal-Zellerfeld

Beck, Hans-Peter:  
*Internationalization of Knowledge related to the German Energy Transition*  
gehalten am 21.06.2011  
anlässlich: Side Event Hansa Energy Corridor in Brüssel

Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Anforderungen und Durchführung von Netzberechnungen unter Berücksichtigung regenerativer Gase*  
gehalten am 17.05.2011  
anlässlich: Windmethan Workshop, Bundesnetzagentur in Bonn

Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Versorgungssicherheit Gas : energiewirtschaftliche und technische Dimensionen*  
gehalten am 12.05.2011  
anlässlich: 3. Göttinger Tagung zu aktuellen Fragen zur Entwicklung der Energieversorgungsnetze, 12. – 13. Mai 2011 in Göttingen

Beck, Hans-Peter:  
*Micro Grid Stabilization using the Virtual Synchronous Machine (VISMA)*  
gehalten am 10.05.2011

anlässlich: US-EU Smart Grid R&D Workshop NREL in Colorado

Springmann, Jens-Peter:  
*Energiebildung im EFZN*  
gehalten am 05.05.2011  
anlässlich: Statusseminar “Niedersachsen bildet Elektromobilität” der Landesinitiative Brennstoffzellen und Elektromobilität in Hannover

Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Strom oder Gas? oder Strom und Gas?*  
gehalten am 13.04.2011  
anlässlich: 6. Münchener Netzbetriebstage, 12. – 13.04. 2011 in München

Müller-Kirchenbauer, Joachim:  
*Die Gasversorgung der Zukunft Anforderungen an leistungsfähige Gas(verteil)netze*  
gehalten am 11.04.2011  
anlässlich: GEODE Gastagung in Berlin

Weyer, Hartmut:  
*Ausbau der Höchstspannungsnetze*  
gehalten am 04.04.2011  
anlässlich: Workshop Energie und Gesellschaft in Goslar

Mann, Thomas:  
*Wirkungsmechanismen einer Akzeptanzverweigerung durch Instrumente direkter Demokratie*  
gehalten am 04.04.2011  
anlässlich: Workshop Energie und Gesellschaft in Goslar

Weyer, Hartmut; Schneider, Diana:  
*Stellungnahme des EFZN zu Fragen der Erdverkabelung*  
gehalten am 01.04.2011  
anlässlich: Anhörung im Ausschuss für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung des Niedersächsischen Landtages in Hannover

Hofmann, Lutz:  
*Anhörung und Positionspapier „Drehstrom-*

*oder Gleichstromübertragung mit Freileitungen und Kabeln“*

gehalten am 01.04.2011

anlässlich: Anhörung im Ausschuss für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung im Nds. Landtag in Hannover

Reinicke, Kurt M.:

*Energie aus dem norddeutschen Untergrund – Geothermie und andere neuartige Ansätze:*

*Herausforderungen aus Sicht einer Universität*

gehalten am 28.03.2011

anlässlich: Vierte Niedersächsische Energietage: NET2011, 28. – 29.03.2011 in der Kaiserpfalz, Goslar

Beck, Hans-Peter:

*Energieversorgung im Übergang – Norddeutsche Perspektiven 2030*

gehalten am 28.03.2011

anlässlich: Vierte Niedersächsische Energietage: NET2011, 28. – 29.03.2011 in der Kaiserpfalz, Goslar

Beck, Hans-Peter:

*Elektrische Energieversorgung der Zukunft und die Rolle der Netze : Netzstabilität in Anwendung mit VISMA (virtuelle Synchronmaschine)*

gehalten am 22.03.2011

anlässlich: Workshop Power Innovation in Darmstadt

Beck, Hans-Peter; Weyer, Hartmut:

*Stellungnahme des EFZN zu technischen und rechtlichen Fragestellungen der Energieversorgung in Niedersachsen*

gehalten am 21.03.2011

anlässlich: Anhörung im Ausschuss für Umwelt und Klimaschutz des Niedersächsischen Landtages in Hannover

Günther, Kay-Michael; Waltermann, Julia; Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:

*Electrical investigations of different polymer and substrate materials for dye-sensitized ZnO-NW/polymer hybrid solar*

gehalten am 15.03.2011

anlässlich: 75th Annual Meeting of the DPG and DPG

Spring Meeting, 13. – 18. March 2011 in Dresden

Waltermann, Julia; Günther, Kay-Michael; Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:  
*Investigation of ZnO interlayer and different substrates for dye-sensitized ZnO/polymer hybrid solar cells*  
gehalten am 15.03.2011  
anlässlich: 75th Annual Meeting of the DPG and DPG Spring Meeting, 13. – 18. March 2011 in Dresden

Gimpel, Thomas; Günther, Kay-Michael; Baumann, Anna Lena; Ruibys, Augustinas; Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:  
*Contact materials for sulphur hyperdoped black silicon*  
gehalten am 14.03.2011  
anlässlich: 75th Annual Meeting of the DPG and DPG Spring Meeting, 13. – 18. March 2011 in Dresden

Ruibys, Augustinas; Lehmann, Christian; Gimpel, Thomas; Baumann, Anna Lena; Kontermann, Stefan; Schade, Wolfgang:  
*Determination of the complex refractive index in the infrared region for femtosecond-laser-formed silicon surfaces using ray-tracing*  
gehalten am 14.03.2011  
anlässlich: 75th Annual Meeting of the DPG and DPG Spring Meeting, 13. – 18. March 2011 in Dresden

Beck, Hans-Peter:  
*Das Energiekonzept der Metropolregion Hannover... 100 % Energie erneuerbar + effizient ja, aber wann?*  
gehalten am 04.03.2011  
anlässlich: Fachgespräch 100% Energie-Region in Hannover

Gedzius, Iska:  
*Optimum geothermal well constructions to maximize the heat output and minimize cost*  
gehalten am 02.03.2011  
anlässlich: European Geothermal PhD-Day 2011 in Reykjavik, Island

Weyer, Hartmut:  
*CCS – Carbon Capture and Storage*  
gehalten am 24.02.2011 in Nanjing

Weyer, Hartmut:  
*Legal framework for the successful network integration of renewables – the example of the German EEG and EnWG*  
gehalten am 21.02.2011 in Beijing

Beck, Hans-Peter:  
*Elektrische Energieversorgung der Zukunft und die Rolle der Netze*  
gehalten am 04.02.2011  
anlässlich: Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Berlin

Beck, Hans-Peter:  
*Energie-Forschungszentrum Niedersachsen: Entwicklungsplanung / Kurzprofil*  
gehalten am 26.01.2011  
anlässlich: Siemens Workshop

Beck, Hans-Peter:  
*EFZN*  
gehalten am 10.01.2011  
anlässlich: Energy Valley in Nieuweschans

## 2010

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 14.12.2010  
anlässlich: Besuch der Gemeinderäte in Goslar

Beck, Hans-Peter:  
*Energie für die Zukunft- AMSC Windtec goes Lakeside*  
gehalten am 18.11.2010 in Klagenfurt

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 07.10.2010  
anlässlich: Vorstellung der Studie vor Vertretern der Politik in Goslar

Mattioli, Frank:  
*Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)*

*als fachübergreifende Forschungseinrichtung für Energiegewinnung und Energieverwertung in Niedersachsen*  
gehalten am 22.09.2010  
anlässlich: 1. Regionaler EnergieTag 2010 in Wolfsburg

Beck, Hans-Peter:  
*Wofür benötigen wir noch Energie oder wo bleibt das Perpetuum mobile?*  
gehalten am 05.08.2010  
anlässlich: Jugendkongress zum BMBF-Wissenschaftsjahr der Energie 2010 in Berlin

Weyer, Hartmut:  
*Legal framework for CCS in the EU und Germany*  
gehalten am 06.07.2010 in Beijing

Uskova, Genoveva:  
*Niedersächsische CO2-Vermeidungskosten und -potenziale*  
gehalten am 17.06.2010  
anlässlich: Einweihung des EFZN in Goslar

Qi, Dawei; Leithner, Reinhard:  
*Wärmespeicher im Mittel- und Hochtemperaturbereich*  
gehalten am 04.06.2010  
anlässlich: VDI-Expertenforum, Thermodynamik-Kolloquium und Ingenieurdaten, Universität Bayreuth, 04. – 06.10.10 in Bayreuth

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 27.04.2010  
anlässlich: Harz Energie in Osterode

Beck, Hans-Peter:  
*Virtuelles Kraftwerk Harz*  
gehalten am 26.04.2010 in Berlin

Weyer, Hartmut:  
*Fortentwicklung des Rechtsrahmens für den Netzausbau*  
gehalten am 15.04.2010  
anlässlich: 2. Göttinger Energietagung  
"Aktuelle Fragen zur Entwicklung der

Elektrizitätsnetze" in Göttingen

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung  
stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 22.03.2010 in Goslar

Gedzius, Iska:  
*Optimum geothermal well constructions to  
maximize the heat output and minimize costs*  
gehalten am 19.01.2010  
anlässlich: European Geothermal PhD-Day 2010 in  
Potsdam

## 2009

Geldermann, Jutta; Amann, Katharina; Lauven, Lars:  
*Niedersächsische CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten  
und -potenziale*  
gehalten am 21.09.2009  
anlässlich: Pressekonferenz mit  
Umweltminister Sander in Hannover

Beck, Hans-Peter:  
*EFZN*  
gehalten am 03.09.2009  
anlässlich: 29. Sitzung des Ausschusses  
für Wissenschaft und Kultur

Beck, Hans-Peter:  
*Energy Research center of lower saxony*  
gehalten am 01.09.2009 in Goslar

Beck, Hans-Peter:  
*EFZN zur Energieforschung*  
gehalten am 28.08.2009  
anlässlich: Besuch CDU in Clausthal-Zellerfeld

Weyer, Hartmut:  
*Rechtsrahmen für den Ausbau der  
Übertragungsnetze in Deutschland*  
gehalten am 22.06.2009  
anlässlich: 1. Göttinger Energietagung  
"Aktuelle Fragen des Planungsrechts:  
Ausbau der Übertragungsnetze" in Göttingen

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung  
stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 27.03.2009 in Goslar

Beck, Hans-Peter:  
*Energy Research center of lower saxony*  
gehalten am 10.02.2009 in Goslar

## 2008

Beck, Hans-Peter:  
*Einführung in die Thematik der zweiten Arbeitssitzung:  
Energieerzeugung und Energieeffizienz*  
gehalten am 09.10.2008  
anlässlich: Zweite Niedersächsische Energietage,  
09. – 10. Oktober 2008 in Goslar

Weyer, Hartmut:  
*Biogaseinspeisung in Erdgasnetze*  
gehalten am 09.10.2008  
anlässlich: Zweite Niedersächsische Energietage,  
09. – 10. Oktober 2008 in Goslar

Assmann, Michael:  
*Energiebildung im EFZN - Kooperation des  
Ratsgymnasiums Goslar mit dem Energie-  
Forschungszentrum Niedersachsen*  
gehalten am 02.10.2008  
anlässlich: Projekttag Kooperationen mit  
Energie in Oldenburg

Weyer, Hartmut:  
*Anschluss von EEG-Anlagen sowie Abnahme-,  
Übertragungs- und Vergütungspflichten*  
gehalten am 24.09.2008  
anlässlich: Summer School in Goslar

Groß, Frank:  
*Der Wälzungsmechanismus des EEG*  
gehalten am 24.09.2008  
anlässlich: Summer School in Goslar

Weyer, Hartmut:  
*Erlösobergrenzen, Netzentgelte und Rechtsschutz*

gehalten am 23.09.2008  
anlässlich: Summer School in Goslar

Weyer, Hartmut:  
*Allgemeiner rechtlicher Rahmen der Anreizregulierung –  
Übergang zum System der Anreizregulierung,  
Regulierungsperioden, jährliche Erlösobergrenzen,  
Regulierungskonto*  
gehalten am 22.09.2008  
anlässlich: Summer School in Goslar

Beck, Hans-Peter:  
*Perspektiven der Energieforschung in Niedersachsen*  
gehalten am 21.06.2008 in Osterode

Beck, Hans-Peter:  
*Möglichkeit der Nutzung alternativer Energien zur  
Erzeugung von elektrischer Energie*  
gehalten am 14.06.2008 in Clausthal-Zellerfeld

Beck, Hans-Peter:  
*Aspekte der Zukunft der Stromversorgung*  
gehalten am 02.06.2008 in Clausthal-Zellerfeld

Beck, Hans-Peter:  
*Energiepark Clausthal – als Vorläufer eines  
dezentralen Arealnetzes*  
gehalten am 18.03.2008 in Berlin

Beck, Hans-Peter:  
*CO<sub>2</sub>-freie Stromversorgung bis 2050?!*  
gehalten am 07.03.2008 in Osterode

Beck, Hans-Peter:  
*Dezentrale Energieerzeugung am Beispiel des EFZN*  
gehalten am 27.02.2008 im Kloster Wöltigerode

Beck, Hans-Peter:  
*Windenergiespeicherung durch Nachnutzung  
stillgelegter Bergwerke*  
gehalten am 17.01.2008 in Clausthal

## Veranstaltungen (Ausrichtung/Teilnahme) 2008 bis 2011 – Auszug

- Göttinger Energietagung 2008, 2009, 2010, 2011
- Hannover Messe 2008, 2009, 2010, 2011
- Niedersächsische Energietage 2008, 2009, 2011
- Tage der offenen Türen 2008, 2010
- Regionaler Energietag in Braunschweig 2010, 2011
- Bunsenkolloquium 2011
- KunstLicht Mai und September 2011
- EFZN-Infotag 2011
- Ideen Expo 2011
- 4. Niedersächsische Brennstoffzellen Summer School 2011
- Workshop Energie und Gesellschaft 2011
- Sino-German Conference and Excursions 2010
- Einweihung des EFZN 2010
- Goslarer Energiemesse 2010
- Internationale Zuliefererbörse in Wolfsburg 2010
- Braunschweiger Technologieform 2010
- EFZN-Summer-School Energiewirtschaft und Energierecht 2008

## Besuche im EFZN 2008 bis 2011 – Auszug

- Landtagsfraktion Die Grünen 2011
- Landtagsfraktion SPD 2011
- CDU- Landesverband Braunschweig 2011
- Pressesprecher der Hochschulen aus Niedersachsen und Bremen 2011
- Umweltausschuss CDU Niedersachsen 2011
- Bauindustrieverband Niedersachsen Bremen 2011
- Bundestagsfraktion SPD 2011
- ExxonMobil Central Europe Holding GmbH 2011
- Karlsruher Institut für Technologie 2011
- Deutsche Bank 2011
- Allgemeiner Studentenaustausch ASTA 2011
- Deutsche Rentenversicherung Braunschweig Hannover 2011
- Kommunale Energiebeauftragte 2011
- Sichuan University 2010
- „Green Talents“ 2010

# Impressum

**Herausgeber:** Vorstand des Energie-Forschungszentrums  
Niedersachsen  
Am Stollen 19 A  
38640 Goslar

**Redaktion:** Geschäftsstelle Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen, Anna Tietze, Wolfgang Dietze,  
Jens-Peter Springmann

**Bilder:** Titel: Anna Tietze, Klemens Ortmeier  
S. 10 Klemens Ortmeier  
S. 12 Siedentopf, Olaf Möldner  
S. 13 IEE, Christian Ernst  
S. 14 Photogeno  
S. 24, S. 47, S. 48 LaserAnwendungsZentrum  
S. 27 Sebastian Mahr, Leonhard Ganzer  
S. 35 Ulrich Lindemann  
S. 38 © Fotografiesbg - Fotolia.com  
S. 43 EWE AG  
S. 24 Marco Tötdeberg  
S. 72 Schmidt 2011  
S. 86 Lars Kühl  
S. 102 E.ON Avacon  
Anna Tietze: S. 15, S. 18, S. 23, S. 24, S. 25, S. 29,  
S. 30, S. 33, S. 46, S. 77, S. 103

Hier nicht erwähnte Fotos entstammen dem Privatarchiv der jeweils abgebildeten und neben dem Bild namentlich genannten Personen oder dem Archiv des EFZN

**Layout:** Melanie Bruchmann, TU Clausthal

© EFZN 2012

Das EFZN ist eine wissenschaftliche Einrichtung der Technischen Universität Clausthal in Kooperation mit den Universitäten Braunschweig, Göttingen, Hannover und Oldenburg.

## **Kontakt**

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Technische Universität Clausthal  
Am Stollen 19 A  
38640 Goslar  
Telefon: (0 53 21) 38 16-80 00  
Telefax: (0 53 21) 38 16-80 09  
E-Mail: [geschaeftsstelle@efzn.de](mailto:geschaeftsstelle@efzn.de)  
Internet: [www.efzn.de](http://www.efzn.de)