



# Einblicke 2018

Journal zur Umweltforschung in Baden-Württemberg



20  
Jahre  
BWPLUS

## Geothermie und Wasserstoff im Fokus

■ 20 JAHRE BWPLUS ■ KLIMASCHUTZSTRATEGIE ■ ERNEUERBARE ENERGIEN ■ WASSERSTOFF  
■ GEOTHERMIE ■ SMART GRIDS ■ DIGITALISIERUNG ■ RESSOURCENSCHONUNG ■ ÖKOLOGIE



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

**IMPRESSUM**

- TITEL** Einblicke 2018 – Journal zur Umweltforschung in Baden-Württemberg
- HERAUSGEBER** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
 Postfach 103439, 70029 Stuttgart, [www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)  
 Tel. 0711 126-2780, Fax 0711 126-2880, [poststelle@um.bwl.de](mailto:poststelle@um.bwl.de)  
 LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
 Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)  
 Tel. 0721 5600-0, Fax 0721 5600-1456, [poststelle@lubw.bwl.de](mailto:poststelle@lubw.bwl.de)  
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe  
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, [www.ptka.kit.edu/bwp.html](http://www.ptka.kit.edu/bwp.html)  
 Tel. 0721 608-25191, Fax 0721 608-23929, [bwp@ptka.kit.edu](mailto:bwp@ptka.kit.edu)
- REDAKTION** Prof. Dr. Günther Turian und Julia Vorsatz, Umweltministerium, Referat 24 Umwelttechnik, Forschung, Ökologie  
 Ines Landwehr und Manfred Lehle, LUBW, Referat 21 Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung  
 Peter Fendrich, EcoText International PartG, Stuttgart
- TITELBILDER** Uwe Schlick/Pixelio, BSW Solar, Ingrid Stober, Rainer Wirth, Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm, S. Rudolph-Kramer/  
 Wemag, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Daimler-Benz, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Ritter XL Solar, Stadtwerke Walldorf
- TEXTE UND LAYOUT** EcoText International PartG – Partnerschaftsgesellschaft Freier Journalisten  
 Hermannstraße 5, 70178 Stuttgart, [www.ecotext.eu](http://www.ecotext.eu)  
 Tel. 0711 615562-0, Fax 0711 615562-20, [redaktion@ecotext.de](mailto:redaktion@ecotext.de)
- DRUCK** W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG  
 Augsburger Straße 722, 70329 Stuttgart, [www.kohlhammerdruck.de](http://www.kohlhammerdruck.de)  
 Tel. 0711 3272-0, Fax 0711 324080, [vertrieb@kohlhammerdruck.de](mailto:vertrieb@kohlhammerdruck.de)
- 

**Klimaneutral**  
 Druckprodukt  
ClimatePartner.com/12585-1903-1001
- Der Druck ist CO<sub>2</sub>-kompensiert, gedruckt auf 100 % Recyclingpapier, zertifiziert mit dem Blauen Engel.
- BEZUG** Die Broschüre ist gedruckt oder als Download im PDF-Format kostenlos erhältlich bei der  
 LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg,  
 Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, [www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6639/](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6639/)
- VERTEILERHINWEIS** Diese Informationsschrift wird von der Landesregierung Baden-Württemberg im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen  
 Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren  
 Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Das gilt  
 für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen  
 der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.  
 Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Be-  
 zug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass diese als  
 Parteinahme der Herausgeber zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Be-  
 schränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher  
 Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist es jedoch den Parteien, diese Infor-  
 mationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.
- STAND** Dezember 2018, 1. Auflage
- COPYRIGHT** Der Nachdruck ist – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energie-  
 wirtschaft Baden-Württemberg mit Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.



Umweltforschung will die Zusammenhänge im Umweltgeschehen aufdecken und schafft so die wissenschaftliche Grundlage für Umweltschutzmaßnahmen. Daher ist die Unterstützung der Umweltforschung ein wesentlicher Bestandteil der baden-württembergischen Umweltpolitik. Die neuen „Einblicke 2018“ informieren Sie über die aktuellen Entwicklungen und Projekte unserer Umweltforschung in Baden-Württemberg.

Wie in der letzten Ausgabe 2016 haben auch in der aktuellen die Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Energiebezug den größten Anteil. Die bearbeiteten Themen reichen von Dünnschichtsolartechnologie, Energiespeicher und Energiesystemanalyse über die nachhaltige Nutzung von Erdwärme bis hin zu Smart Grids, Transformation des Energiesystems (TRAFO BW) und Wasserstoffnutzung.

Von einigen Vorhaben mit Demonstrations-, Reallabor- oder Pilotcharakter erwarten wir neben technischen auch sozial- oder kommunikationswissenschaftliche Erkenntnisse, die für einen Erfolg der Energiewende wichtig sind.

Weitere Themen sind Vorhaben aus den Schwerpunkten Ressourcen, Bioökonomie und StickstoffBW. Außerdem berichten wir über eine weitere Herausforderung des Umweltschutzes, die wir mit Hilfe der Umweltforschung angehen müssen: per- und polyfluorierte Chemikalien – kurz PFC. Es handelt sich dabei um eine aus vielen verschiedenen, schwer bestimmbar und unterschiedlich schädlichen Einzelstoffen bestehende Stoffgruppe. Die zuständigen Behörden haben teilweise erhebliche PFC-Gehalte in Boden und Grundwasser gefunden. Betroffen sind eine Vielzahl landwirtschaftlicher Flächen vor allem in den Regionen Rastatt/Baden-Baden und Mannheim. Über bereits laufende Vorhaben hinaus konnten wir nun mit einer Ausschreibung weitere Forschungsprojekte anschieben, die Grundlagen für den sachgerechten Umgang mit PFC-belasteten Flächen erarbeiten werden.

Aktuell bereiten wir einen neuen ökologischen Schwerpunkt zum Themenbereich Insektensterben vor. Um wirksam handeln zu können, wollen wir nicht nur die Ursachen der teils dramatischen Rückgänge klären. Es soll auch darum gehen, Vorschläge für Instrumente und Maßnahmen zu entwickeln. Wir beabsichtigen, im Frühjahr 2019 mit einer Ausschreibung hierzu Projektvorschläge einzuwerben. Abgestimmt mit den von uns bereits gestarteten Monitorings und weiteren Aktivitäten zum Schutz der Artenvielfalt erwarten wir aus solchen Vorhaben wichtige Grundlagen für umweltpolitische Entscheidungen, um diese große Herausforderung wirksam angehen zu können.

Ich wünsche Ihnen gewinnbringende Einblicke in die Umweltforschung Baden-Württemberg.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Untersteller'. The signature is fluid and cursive.

Franz Untersteller MdL

Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
des Landes Baden-Württemberg

**PROLOG**

Impressum 2  
 Vorwort von Umweltminister Franz Untersteller 3

**RÜCKBLICK**

**Zwanzig Jahre BWPLUS**  
 Umfangreiche Förderung der Umweltforschung in Baden-Württemberg 6

**KLIMASCHUTZSTRATEGIE**

**Energiewende-Strategie fürs Land**  
 Analyse zur Transformation des Energiesystems 9

**Beim Klimaschutz auf Kurs?**  
 Fahrplan zur Umsetzung der Klimaschutzziele in Baden-Württemberg 11

**Wie sind Kohle und Öl zu ersetzen?**  
 Auswirkungen der Dekarbonisierung auf die Versorgungssicherheit 14

**ERNEUERBARE ENERGIEN**

**Solarthermie im großen Stil**  
 SolnetBW II: Wegbereiter für solare Wärmenetze in Baden-Württemberg 16

**Rezept von Smartreflex**  
 Flexible Lösungen für hundertprozentige EE-Wärmenetze in Kommunen 17

**Flexible Solarzellen**  
 ZSW will zwei Dünnschicht-Solartechnologien optimieren 18

**Kessel-Check im Wettbewerb**  
 Handwerker als Gestalter der Wärmewende 19

**Hebel für die Energieeffizienz**  
 Stromoptimierte Kraft-Wärme-Kopplung in der Galvanikindustrie 20

**WASSERSTOFF**

**Mit Wasserstoff heizen**  
 Unterstützung für mehr Brennstoffzellen-Heizungen in Eigenheimen 22

**Die Sonne im Tank**  
 Tankstelle mit solar erzeugtem Wasserstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge 24

**WASSERSTOFF**

**Wie viel genau fließt in den Tank?**  
 Messgeräte-Prototyp für die Betankung mit Wasserstoff ist praxisreif 25

**Grüner Wasserstoff ohne Umwege**  
 Hat die großtechnische solare Wasserstoff-erzeugung eine Chance? 26

**Praxistauglicher Abgastest**  
 Sensor zur Abgasüberwachung in Brennstoffzellen-Fahrzeugen 27

**Wasserstoff aus Windenergie**  
 Über den Energieträger Wasserstoff könnte Windkraft Raketen antreiben 28

**Wasserstoff-Region Ulm**  
 Dezentrale Nutzung erneuerbarer Energien statt Netzausbau? 30

**GEOthermie**

**Forschung mit Tiefgang**  
 Welche Energie-Potenziale schlummern unter der Erdoberfläche? 32

**Die Mischung macht's**  
 Das dichte Verfüllen soll Sondenbohrungen noch sicherer machen 34

**Die Suche nach Geospeichern**  
 Abwärme im Untergrund speichern und bei Bedarf abrufen: Geht das? 36

**Eine coole Idee!**  
 Kann Kühlung aus dem Erdboden die Hitze in Gebäuden lindern? 38

**Untergrund als Solarspeicher**  
 Eignen sich Gesteinsschichten im Oberrheingraben als Wärmespeicher? 40

**SMART GRIDS**

**Kosteneffizient behobene Engpässe**  
 Hybridbatteriekonzept für zellularen Ansatz im Niederspannungsnetz 41

**Flexibilität vermarkten**  
 Lokale Transformation des Strommarktes im Feldtest 42



**SMART GRIDS**

**Chance für die Wärmewende**  
Smart-Grid-Potenziale von virtuellen Kleinkraftwerken 44

**Lernlabor im Live-Betrieb**  
Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb 46

**Regional flexibles Stromnetz**  
Echtzeit-Datenplattform für Demand Side Management 48

**Flexible Regelung im Quartier**  
Lokales Smart Grid für Strom, Wärme und Kälte 50

**Großspeicher für den Ostalbkreis**  
Simulationsrechnungen zur Stromnetz-Entlastung 52

**Mit dem Wechselrichter reden**  
Neue CLS-Applikationen für Steuerboxen im Smart Grid 54

**DIGITALISIERUNG**

**Einsparpotenziale bei der EDV**  
Energie- und Ressourceneffizienz bei landeseigener Informationstechnik 56

**Nachhaltige Digitalisierung**  
Energie- und ressourceneffiziente Rechenzentren 58

**RESSOURCENSCHONUNG**

**Ressourceneffizienz im Fokus**  
100plus Betriebe als Leuchttürme für den Umweltschutz 61

**Effiziente Produktionsprozesse**  
Studie zur mobilen Umsetzung der Materialflusskostenrechnung 62

**Den Fortschritt nicht mitbedacht**  
Indikatoren zur Abschätzung der Ressourcenverfügbarkeit 64

**Ultraeffizienz und Digitalisierung**  
Verlustfreie Produktion in Industrieunternehmen im urbanen Umfeld 66

**Trennung von Verbundmaterial**  
Wie lassen sich Wärmedämmverbundsysteme hochwertig recyceln? 68

**RESSOURCENSCHONUNG**

**Plan B wie Bioökonomie**  
Kurzstudien für die Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ 70

**ÖKOLOGIE**

**Wildtier-Beobachtung in Echtzeit**  
Kostengünstige Technik zur Überwachung von Fledermaus & Co. 72

**Belastete Böden**  
Erweiterte Analysemethoden für per- und polyfluorierte Chemikalien 74

**Stickstoffüberschüsse senken!**  
Landesstrategie zum Schutz der Umwelt vor Ammoniak 76

**RUNDBLICK**

**Weitere Projekte der Umweltforschung**  
In dieser Ausgabe nicht vorgestellte Forschungsprojekte 79

**Aktiv in Sachen Umweltforschung**  
Ansprechpartner bei Fragen rund um die Umweltforschung in Baden-Württemberg 83



Bilder: G. Turian, T. Wengert/Pixelio, Arcor Sunmark, P. Fendrich

# Zwanzig Jahre BWPLUS

## Umfangreiche Förderung der Umweltforschung in Baden-Württemberg

### PARTNER

- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Referat 24 Umwelttechnik, Forschung, Ökologie
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe
- LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
Referat 21 Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung

Seit gut zwanzig Jahren bündelt das baden-württembergische Umweltministerium die Förderung der Umweltforschung im „Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“, kurz: BWPLUS. Das Programm unterstützt angewandte Forschung mit Relevanz für Baden-Württemberg. Es fördert Projekte, die naturwissenschaftliche, technische, aber auch gesellschafts- und kulturwissenschaftliche Beiträge als Grundlage für umweltpolitische Entscheidungen entwickeln. Mit Ausschreibungen steuert das Umweltministerium die Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten,

orientiert an aktuellen Herausforderungen. Der Projektträger Karlsruhe (PTKA) am Karlsruher Institut für Technologie betreut die geförderten Projekte, die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) unterstützt den Forschungstransfer. Die Qualität eingereicherter Vorhaben sichert das BWPLUS-Team durch klassisches wissenschaftliches Peer Review und zusätzlich durch Einbinden von Expertise aus der Praxis. Darüber hinaus stellen sich die Repräsentanten geförderter Projekte einmal pro Jahr im Stastukolloquium Umweltforschung einer kritischen Prüfung durch die Fachwelt. Fachleute begutachten

nochmals die Abschlussberichte, die die LUBW anschließend über das Internet im Volltext veröffentlicht. Das Journal Einblicke präsentiert zudem ausgewählte Projekte. Es steht auch online zur Verfügung.

### Rund 600 Projekte in zehn Jahren

In den letzten 20 Jahren hat sich die Umweltforschung Baden-Württembergs einer Vielzahl unterschiedlicher und drängender umwelrelevanter Problematiken gewidmet. Seit der letzten Jubiläumsausgabe 2008 zum zehnjährigen Bestehen von BWPLUS wurden rund 600 Einzel- und Verbundprojek-

Start von BWPLUS in Baden-Württemberg (BW). Bundesbodenschutzgesetz tritt in Kraft.

Erste Ausgabe des Umweltforschung-Journals der LfU. EEG tritt in Kraft. Europäische Wasserrahmenrichtlinie tritt in Kraft.

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen: Novellierung des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Gründung des Nachhaltigkeitsbeirats BW.

Sparsamer Umgang mit Fläche und Boden: Gründung des Aktionsbündnisses „Flächen gewinnen“ in BW.

Start des Umweltportals Deutschland „PortalU“. Umsetzung der EU-Umwelthinformationsrichtlinie in Landesrecht.

Umweltzonen: Fahrverbote zur Verbesserung der Luftqualität gelten zunächst in acht Städten in BW.

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
UMWELT & WIRTSCHAFT									BETRIEBL. UMWELTTECHNIK	
ÖKOSYSTEM-FORSCHUNG									GEOTHERMIE	
								KLIMAWANDEL		
								BRENNSTOFFZELLE		
										LÄRM
										TH. SPEICHER
NACHHALTIGKEIT										
KLIMASCHUTZ, ERNEUERBARE ENERGIEN										

Start des EnergieSpar-Checks für Haus- und Wohnungseigentümer. Orkan Lothar richtet Verwüstungen in BW an.

EU-Engagement für wirtschaftliche, soziale und umweltbezogene Erneuerung: Nachhaltigkeitsstrategie der EU.

Forest Focus: EU-Verordnung für das Monitoring von Wäldern und Umweltwechselwirkungen in der Gemeinschaft.

Bekämpfung von Umgebungslärm: Umsetzung der EU-Richtlinie in deutsches Recht.

Start der Nachhaltigkeitsstrategie BW. Landtag beschließt das Erneuerbare-Wärme-Gesetz BW.



Bilder: R. Wirth, BWP, Fraunhofer IPA, Fraunhofer ISE

te mit einem Gesamtvolumen von über 87 Mio. Euro gefördert. Dazu gehören Projekte zur Luftreinhaltung und zum Lärmschutz ebenso wie Grundlagenforschung zum Klimaschutz und zu Erneuerbaren Energien.

### Aktuelle Herausforderungen

Auch Baden-Württemberg sieht sich aktuell und zukünftig vor eine Vielzahl komplexer Herausforderungen gestellt, die den Bestand unserer Lebensgrundlage Umwelt bedrohen: den Schwund der Biodiversität, die Überlastung der Umwelt mit reaktivem Stickstoff, den Landnutzungswandel, den Klimawandel, um nur die Top 4 bei den überschrittenen planetaren Belastungsgrenzen zu nennen. Denn auch die Energiewende und neue Bedrohungen durch Mikroplastik

oder poly- und perfluorierte Chemikalien sind große Herausforderungen. Verändert haben sich durch diese komplexen Herausforderungen in den letzten 20 Jahren auch die Erwartungen an die Umweltforschung und an BWPLUS. Denn Lösungsvorschläge dafür zu erarbeiten, erforderte nicht nur, die Förderschwerpunkte innerhalb von BWPLUS zu wechseln, sondern auch die Forschungspraxis weiter zu entwickeln. Bearbeiteten anfangs vor allem einzelne Forschungsinstitute Projekte der anwendungsorientierten Umweltforschung in BWPLUS, so kooperieren heute Forscherinnen und Forscher verschiedener Disziplinen und Fachleute aus Wirtschaft und Gesellschaft in zahlreichen Vorhaben. Die Akteure bilden dazu Konsortien, um sich gemeinsam den

komplexen globalen und regionalen Herausforderungen zu stellen. Projekte mit mehreren Partnern aus Wissenschaft und Praxis sind deshalb in den letzten Jahren bei BWPLUS zur Regel geworden, im Unterschied zu den Anfangszeiten des Programms. Immer öfter fördert das Umweltministerium über BWPLUS deshalb auch Praxisprojekte, teils unter der Bezeichnung Reallabore, um Gestaltungs- oder Transformationswissen zu gewinnen.

Inter- und transdisziplinäre Forschung in BWPLUS, die auch einen Fokus auf den Transfer zwischen Wissenschaft und Praxis setzt, gilt es zukünftig verstärkt zu unterstützen, um gewonnenes Gestaltungs- und Transformationswissen auch über Projektlaufzeiten hinweg gesellschaftlich zu verankern.



BWPLUS-Schwerpunkte im umweltpolitischen Kontext

Start des Programms „Stickstoff BW“.

Start des Innovationsprogramms Wasserstoffinfrastruktur.

Das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württembergs wird verabschiedet.

Start des Förderprogramms „Smart Grids-Forschung – digital vernetzt“ in BW.

Think Tank „Industrielle Ressourcenstrategien“ eröffnet – als Denkfabrik für den effizienten Ressourceneinsatz.

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
UMWELTTECHNIK							BIOÖKONOMIE			
GEOTHERMIE										
ÖKOLOGIE: MOORE UND ZECKEN										
WASSERSTOFF/BRENNSTOFFZELLE										
LÄRM										
ENERGIE- & ENERGIESPEICHERTECHNOLOGIEN										
FLÄCHENMANAGEMENT										
SMART GRIDS										
THERMISCHE SPEICHER										
NACHHALTIGE DIGITALISIERUNG										
TRAFO BW: TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS										
RESSOURCENEFFIZIENZ										

Der „Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg“ wird erstmals vergeben.

Atomare Katastrophe in Fukushima. Die Bundesregierung beschließt den deutschen Atomausstieg.

Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg tritt in Kraft.

UN-Klimakonferenz in Paris: Pariser Übereinkommen wird verabschiedet.

Landesstrategie Ressourceneffizienz wird beschlossen.



# Energiewende-Strategie fürs Land

## Analyse zur Transformation des Energiesystems in Baden-Württemberg

Beim Projekt „Energiesystemanalyse Baden-Württemberg“ brachten vier im Forschungsverbund „STRise“ kooperierende Institutionen ihre Kompetenzen ein. Ihre vielschichtige Analyse hatte zum Ziel, die landesspezifischen Herausforderungen bei der Transformation des Energiesystems zu identifizieren und Empfehlungen für die strategische Ausrichtung der Energiewende in Baden-Württemberg herauszuarbeiten.

Bild: Rainer Sturm/Pixelio

### PROJEKT

Energiesystemanalyse Baden-Württemberg – EnSys-BaWü

Laufzeit: 5/2017 bis 2/2018

Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy (STRise):

Maike Schmidt  
maike.schmidt@zsv-bw.de  
www.strise.de

### PARTNER

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

Universität Stuttgart, Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS)

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Der für einen wirksamen Klimaschutz erforderliche Umbau des Energiesystems ist ein komplexes Vorhaben, „für das es insbesondere im Falle Baden-Württembergs keine einfachen Lösungen gibt“, schickt Maike Schmidt voraus: Allein auf sektorspezifische technologische Entwicklungen zu setzen, sei nicht zielführend. Neue Lösungsansätze mussten daher „einer umfassenden Analyse und Bewertung im Gesamtkontext unterzogen werden“, erläutert die Ansprechpartnerin beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Stuttgart den Untersuchungsgegenstand ihres Teams: „Nur unter unmittelbarer Einbeziehung ökonomischer und gesellschaftlicher Aspekte und Präferenzen können tragfähige Transformationspfade identifiziert und die erforderlichen Umsetzungsprozesse gezielt unterstützt werden.“

Dementsprechend sah das vom Forschungsverbund „STRise“ (Stuttgart Research Initiative on Integrated Systems Analysis for Energy) durchge-

führte Projekt „Energiesystemanalyse Baden-Württemberg (EnSys-BaWü)“ eine Zusammenführung mehrerer Forschungsfelder vor:

- Technische Entwicklungen und damit verbundene Flexibilitäten
- Finanzierung und Marktdesign der Energiewende
- Gesellschaftliche Aspekte wie Akzeptanz und Identifikation mit Beteiligungsoptionen
- Systemtransformationsanalysen.

Bezogen auf Baden-Württemberg seien diese Themenfelder laut Schmidt bislang nicht quantitativ untersucht worden. Bisherige Analysen seien beispielsweise auf die Ebene des europäischen Großhandelsmarkts fokussiert und bildeten dezentrale Optionen sowie die Verhältnisse im Endkundenmarkt nur begrenzt ab.

### Zielsetzung

Anhand modellgestützter Analysen habe der integrierte Themenansatz von „STRise“ hingegen eine Quantifizierung der vielfältigen Wirkungen unterschiedlicher Ausgestaltungsoptionen der Energiewende für Ba-

den-Württemberg ermöglicht. Neben Schmidt haben 18 Forschende maßgeblich an der 317 Seiten umfassenden Studie mitgeschrieben und dafür zahlreiche weitere Expertinnen und Experten konsultiert. Ihre in verschiedene Szenarien differenzierte Studie soll dem Umweltministerium und Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft als Grundlage für kurz- und längerfristige strategische Weichenstellungen bei der Gestaltung der Energiewende bis zum Jahr 2050 dienen.

In Anbetracht eines derzeit noch hohen Kernkraft- und Kohleanteils bei der Stromversorgung ist es für Baden-Württemberg besonders wichtig, den im Sinne des Pariser Klimaabkommens erforderlichen Transformationsprozess so effizient wie möglich zu gestalten. Dafür gelte es, bereits getroffene Weichenstellungen auf ihre Nachhaltigkeit zu überprüfen, Fehlentwicklungen frühestmöglich zu stoppen und nicht zuletzt, stets die Belastung der Bevölkerung, insbesondere die der ärmeren Schichten, im



Auge zu behalten. Wie elementar gerade der soziale Aspekt ist, zeigt sich aktuell am Aufruhr der sogenannten Gelbwesten, den in Frankreich erhöhte Energiesteuern mit ausgelöst haben.

Die Forschenden des Strise-Konsortiums waren sich dieser Problematik bewusst und verwiesen von vornherein darauf, dass die Transformation des Energiesystems nicht nur bezüglich ihrer technisch-ökonomischen Machbarkeit bewertet werden könne. Ein ebenso wichtiger Faktor sei eine breite gesellschaftliche Akzeptanz getragen von bürgerschaftlicher Partizipation, „ohne die in einer pluralistisch-demokratischen Gesellschaft ein solcher struktureller Wandel nicht umzusetzen sein wird“. Darüber hinaus stellten sie heraus, dass technische Innovationen und die Digitalisierung den einzelnen Endkunden künftig einen wesentlich größeren Entscheidungsspielraum bieten werden, weshalb deren Präferenzen systemrelevanten Einfluss haben könnten.

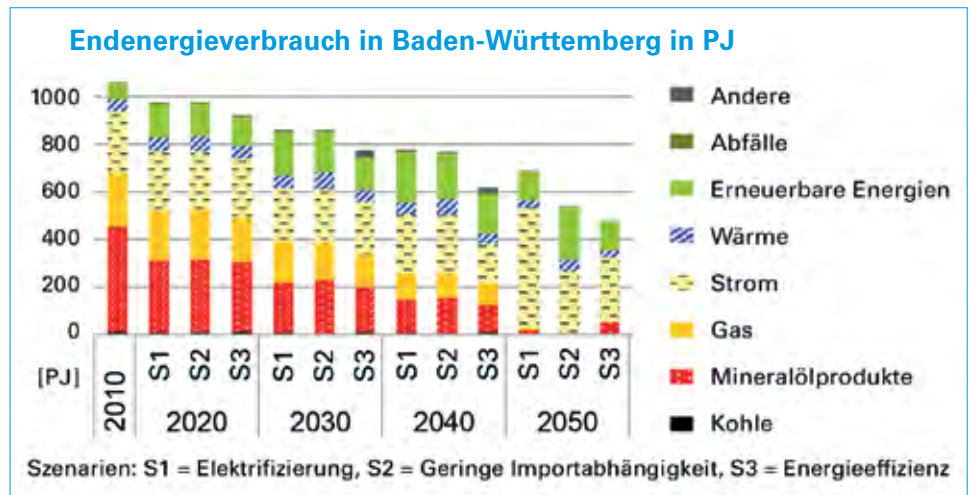
### Drei Szenarien

Der Schwerpunkt der Analysen lag laut Schmidt zwar auf dem Stromsystem, doch habe man die Interaktionen mit dem Wärmemarkt und dem Mobilitätsbereich ebenso mit einbezogen wie den Abgleich zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz. Dabei differenzierte das Strise-Team seine Analysen und Prognosen für drei Entwicklungspfade bzw. Szenarien:

- Starke Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Verkehr (S1)
- Geringe Importabhängigkeit (S2)
- Hohe Energieeffizienz (S3).

Wie sich deren unterschiedliche Schwerpunkte bis 2050 auswirken, lässt sich anhand der Abbildungen 1 bis 3 nachvollziehen.

Über alle Szenarien hinweg erwarten die Forschenden im Zeitraum



von 2010 bis 2050 eine Verringerung des Endenergieverbrauchs. Im Szenario Elektrifizierung beträgt dieser 2050 noch etwa 65 Prozent des Bezugswerts von 2010. Im Szenario Geringe Importabhängigkeit werde der Endenergieverbrauch 2050 um etwa 49 Prozent geringer als 2010 ausfallen, während im Szenario Energieeffizienz eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um etwa 55 Prozent erreichbar sei. Der Anteil fossiler Energieträger werde bei allen Szenarien bis 2040 noch etwa 34 Prozent betragen. Bis 2050 würden fossile Energieträger dann weitestgehend ersetzt, so Schmidt.

### Schlussfolgerungen

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die bis 2050 angestrebte weitgehende Dekarbonisierung des Energiesystems sich in Baden-Württemberg allein mit Erneuer-

baren Energien und Effizienzgewinnen nicht kosteneffizient und sozialverträglich zu bewältigen ist, und plant daher steigende Stromimporte auf neuen Trassen ein. Rund ein Drittel der Stromnachfrage müsse allein für die Substitution auslaufender Energieträger und die Speicherung einkalkuliert werden. Die sich als Trend abzeichnende Elektrifizierung aller Bereiche des Energiesystems sei außerdem nicht die kosteneffizienteste Lösung. Speziell bei Mobilität und Wärme erschienen mittelfristig in bestimmten Segmenten andere Lösungen sinnvoller.

So sahen das auch die Bürgerinnen und Bürger, die an der sozialwissenschaftlichen Analyse des Zentrums für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS) mitwirkten. Eine verstärkte Autonomie Baden-Württembergs in

Abb. 1: Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg in 10-Jahres-Schritten differenziert nach Energieträgern für die drei Szenarien Elektrifizierung, Geringe Importabhängigkeit und Energieeffizienz

Quelle: Strise

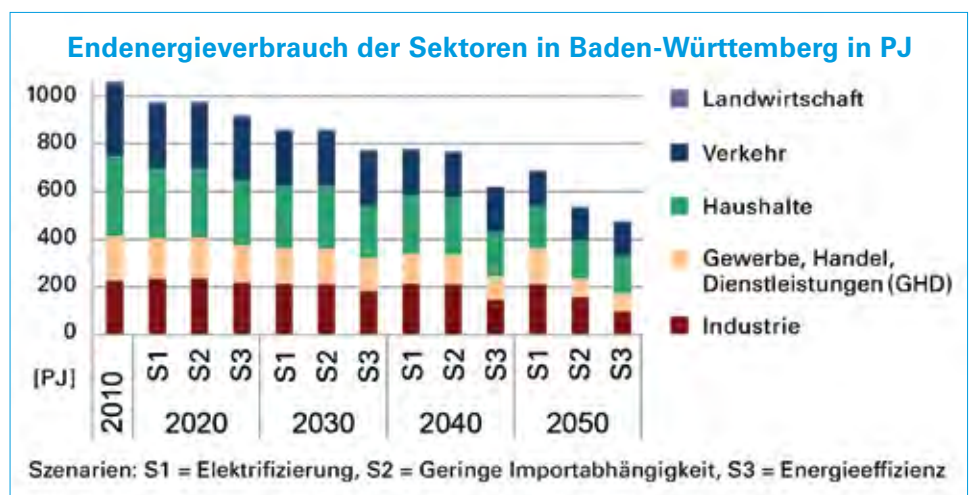


Abb. 2: Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg in 10-Jahres-Schritten differenziert nach Sektoren für die drei Szenarien Elektrifizierung, Geringe Importabhängigkeit und Energieeffizienz

Quelle: Strise



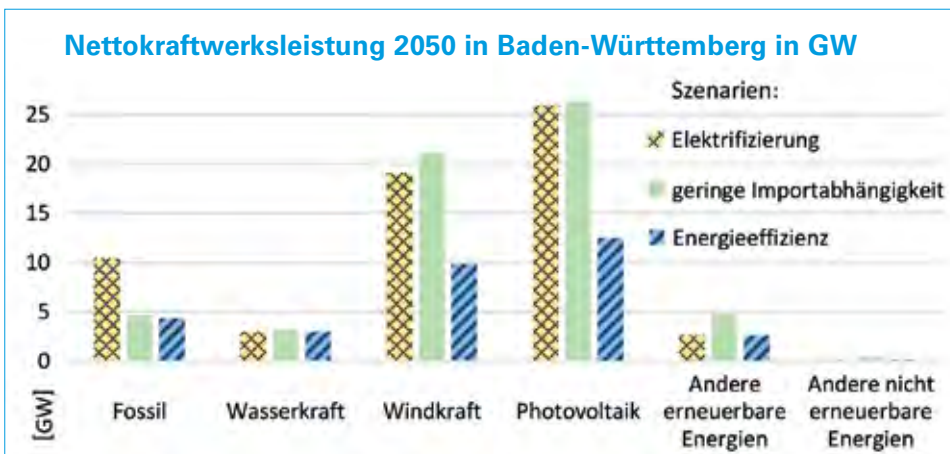
Die befragten Bürgerinnen und Bürger sprachen sich eher für Stromimporte aus dem Norden als für den massiven Ausbau der Windkraft vor Ort aus  
Bild: Uwe Schlick/Pixelio

der Energieproduktion wurde laut ZIRIUS vornehmlich kritisch betrachtet. So hätten die Teilnehmenden an den vier Fokusgruppen in Stuttgart und Karlsruhe größtenteils betont, dass aus ihrer Sicht die Stromerzeugung mittels Erneuerbarer Energien bevorzugt dort erfolgen sollte, wo sie höhere und stabilere Erträge verspricht. Besonders den Ausbau der Windkraft in Baden-Württemberg sahen viele skeptisch und fürchteten vielerorts Raumnutzungskonflikte. Auch eine verstärkte Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätssektors wurde in den Fokusgruppen kritisch hinterfragt. Im Zentrum standen dabei Sorgen um die Versorgungssicherheit in Baden-Württemberg. Diese hängt aus Sicht der Expertinnen und Experten entscheidend von der Qualität der Infrastrukturen ab und insbesondere von deren Transformations- und Funkti-

onfähigkeit bzw. von der Flexibilität der Sektorintegration. So würden sowohl die Kosten als auch das Gelingen der Energiewende maßgeblich vom geplanten Netzausbau abhängen, der einen ausreichenden räumlichen Lastausgleich garantieren müsse. Ohne diese „wesentliche Stütze des zukünftigen Stromversorgungssystems“ würde der Speicherbedarf zum Ausgleich der fluktuierenden Einspeisung aus Windkraft und Photovoltaik noch stärker zunehmen und die Energiewende verteuern. Darüber hinaus müssten die Speicherkapazitäten für Wärme und synthetische Brenn- oder Kraftstoffe ebenso wie Fern- und Nahwärmenetze ausgebaut werden. Speziell im Kontext der Kraft-Wärme-Kopplung sei zudem die Frage zu beantworten, ob man das Erdgasnetz nicht doch über 2040 hinaus nutzen sollte.

Die zunehmende Elektrifizierung im Rahmen der Sektorintegration sollte mit einer Flexibilisierung der neuen Stromverbraucher einhergehen. Da sich die Transformation des Energiesystems über große Zeiträume erstreckt, „sind hierbei auch die Gefahren möglicher Lock-in-Effekte, stranded Investments und Ineffizienzen zu berücksichtigen“, führt die Studie weiter aus. Beispiele hierfür stellten etwa langfristig wirksame Sanierungsmaßnahmen mit unzureichender Sanierungstiefe im Gebäudebereich dar, aber auch die nicht ausgeschöpfte Dachflächennutzung bei auf reine Selbstverbrauchsmaximierung ausgelegten PV-Anlagen. Problematisch seien auch Ineffizienzen in der bestehenden Abgaben- und Umlagensystematik, in der die Sektoren Strom und Wärme bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen allzu ungleich behandelt würden. Die Analyse der Technologiebasis und der betrachteten Entwicklungspfade ausgewählter Schlüsseltechnologien bescheinigt Baden-Württemberg, hierbei größtenteils gut aufgestellt zu sein. Dennoch empfiehlt das Forschungsteam, die Rahmenbedingungen für die Technologieentwicklung weiter zu forcieren, um Handlungsspielräume zu erweitern und die Kosteneffizienz der Energiewende im laufenden Prozess optimieren zu können. Die hinzugezogenen Fachleute sehen im Verhältnis zu den Sektoren Strom und Mobilität den größten Handlungsbedarf im Wärme-Sektor. Hier werden zusätzliche Investitionen in die Sanierung öffentlicher Gebäude und von Industriebauten als notwendig erachtet – und für Privatpersonen verbesserte Anreizsysteme zur Sanierung von Bestandsbauten. Zudem hätten die Expertinnen und Experten im „Delphi“ heraus-

Abb. 3: 2050 installierte Nettokraftwerksleistung in Baden-Württemberg nach Energieträgern im Vergleich der drei Szenarien Elektrifizierung, Geringe Importabhängigkeit und Energieeffizienz  
Quelle: STrise



gestellt, dass der derzeitige regulatorische Rahmen nur unzureichend auf das Auftreten dezentraler Akteure eingestellt sei.

Außerdem könne die derzeit „angereizte“ reine Eigenverbrauchsmaximierung bei PV-Anlagen und Stromspeichersystemen „zu nicht-system- und nicht-netzdienlichen Betriebsweisen und damit letztendlich zu Mehrkosten im Gesamtsystem“ führen. Als Beispiele führt Schmidt problematische Verteileneffekte bzw. steigende Abgaben und Umlagen „durch sich vermehrt vom Gesamtsystem abkoppelnde Prosumer“ an. Die zukünftige regulatorische Ausgestaltung sollte daher einen Rahmen schaffen, der auch stark dezentral verteilte Flexibilitäten einbinden kann und gleichzeitig möglichst verteilungsgerecht ist.

### Gesellschaftlicher Kontext

Generell hält ZIRIUS die Einbindung der Bürgerinnen und Bürger und „die Berücksichtigung ihrer Bewertungs- und Akzeptanzkriterien für unverzichtbar zum Gelingen der Energiewende“. Denn die aktuell diskutierten „Energiezukünfte“ implizierten einschneidende Veränderungen in deren Lebenswelten, was einige Teilnehmende als Bedrohung empfunden hätten. So seien die Diskussionen über die Energieszenarien stark durch Misstrauen in politische und unternehmerische Akteure geprägt gewesen – gepaart mit Unmut gegenüber gesellschaftlichen Entwicklungen zulasten der „kleinen Leute“. Politischen Entscheidungsträgern empfiehlt das Autorenkollektiv daher, sich dem „öffentlichen

Diskurs zur Zukunft des Energiesystems im gesamtgesellschaftlichen Kontext“ zu stellen. Offenkundige Akzeptanzprobleme, mit denen sich insbesondere die Windkraftnutzung konfrontiert sehe, und daraus resultierende Landnutzungskonflikte sollten nicht nur als „Nimby-Probleme“ gemäß dem Sankt-Florians-Prinzip abgetan werden. Vielmehr sollte das politische Augenmerk auf der Entwicklung und Förderung von Beteiligungsoptionen für alle gesellschaftliche Gruppen liegen. Ein wichtiges Ergebnis sowohl aus den Fokusgruppen als auch aus dem Experten-Delphi sei laut Schmidt, „dass einkommensschwache und ältere Mitmenschen oder auch Mieter bislang keine oder nur unzureichende Möglichkeiten haben, sich ökonomisch an der Energiewende zu beteiligen“.

## Beim Klimaschutz auf Kurs?

### Fahrplan zur Umsetzung der Klimaschutzziele in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg kann die langfristigen Ziele der Weltklimakonferenz bis 2050 erreichen. Wie das geht, eruierte ein Team um das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in einer vom Umweltministerium beauftragten Studie speziell für die Etappe bis 2030.

Das Landesklimaschutzgesetz von 2013 sieht vor, die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) bis 2050 um 90 Prozent im Vergleich zu 1990 zu senken. Wie sich die Landesregierung die Umsetzung vorstellt, hat sie im Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) 2014 dargelegt. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) erarbeitete mit fünf Partnern ein Energiewende-Szenario, das für verschiedene Sektoren aufzeigen soll, welche THG-Minderungen in einem Zwischenschritt bis 2030 möglich sind. Dabei wurden auch nicht primär energiebedingte Bereiche wie die Landwirtschaft und

klimawirksame Prozessemissionen in der Industrie einbezogen. Eine Abschätzung der ökonomischen Konsequenzen des Erreichens des Klimaschutzziels bis 2050 im Vergleich zu einem Basis-Szenario, in dem weniger ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden, runden die Studie laut Maïke Schmidt vom ZSW ab.

### Reduktion des Endenergieverbrauchs

Das Emissionsminderungsziel sei laut Schmidt nur erreichbar, wenn der Endenergieverbrauch bis 2030 um 22 Prozent und bis 2050 um 41 Prozent gegenüber 2010 reduziert wird.

Alle Sektoren müssten zum Erreichen dieses Ziels bis 2030 je nach vorhandenem Einsparpotenzial beitragen: Im Verkehrssektor müsste der Energieverbrauch um 31 Prozent sinken, bei den Privathaushalten um 20 Prozent, in der Industrie um 16 Prozent und im Bereich Gewerbe/Handel/Dienstleistungen um 17 Prozent. Auch über 2030 hinaus müssten die Reduktionsaktivitäten unvermindert fortgesetzt, zum Teil auch noch verstärkt werden. Während Privathaushalte um energetische Gebäudesanierung nicht herunkämen, müsse die Industrie durch höhere Energie- und Ressourceneffizienz zur Reduzierung beitragen. Beim Verkehr seien die

#### PROJEKT

Energie- und Klimaschutzziele 2030  
 Laufzeit: 9/2016 bis 9/2017  
 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)  
 Maïke Schmidt  
 maïke.schmidt@zsw-bw.de  
 www.zsw-bw.de

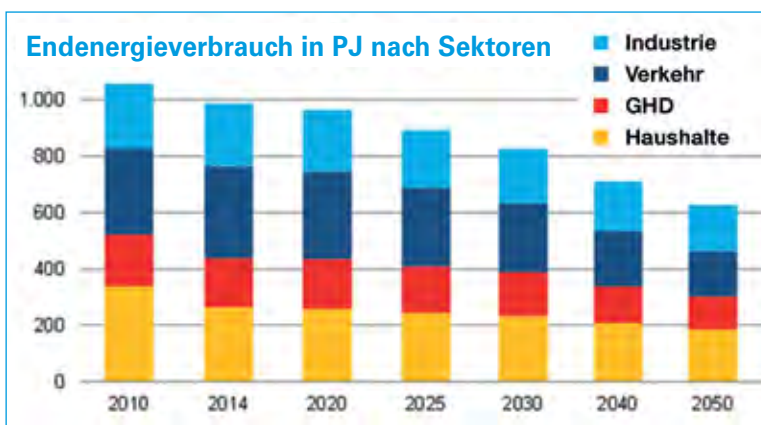
#### PARTNER

Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg  
 Dr. Joachim Nitsch, Stuttgart  
 Öko-Institut, Freiburg  
 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe  
 Hamburg Institut Research (HIR)





In Berghülen im Alb-Donau-Kreis versorgen drei Windenergieanlagen mit einer Leistung von 6 MW rechnerisch rund 3.400 Haushalte mit umweltfreundlichem Strom.  
Bild: Weltenangler/EnBW



THG-Emissionen hauptsächlich durch Elektrifizierung zu mindern.

### Steigender Stromverbrauch

Strom übernehme immer mehr die Hauptrolle im Energiemix. Ab 2030 komme es daher zu einem deutlich höheren Stromverbrauch, der nur anfänglich durch Effizienzsteigerungen in der Stromanwendung ausgeglichen werden könne (Tab. 1).

Der Wegfall des Kernkraftanteils ab 2022 sei durch höhere Kapazitäten in Steinkohle- und Gaskraftwerken sowie durch konsequenten Ausbau der Solarstromerzeugung zu kompensieren. Ab 2025 sieht das ZSW die fossilen Energieträger zurückgehen, während der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung über 56 Prozent im Jahr 2030 auf 92 Prozent im Jahr 2050 stetig zunehme. Der im Vergleich zu 2010 um 16 Prozent höhere Stromverbrauch in 2050 lasse sich zu 65 Prozent mit der Inlandsstromerzeugung abdecken, der Rest müsse importiert werden.

Abb. 1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Zielszenario nach Sektoren  
Quelle: ZSW

Tab. 1	Strombilanz im Zielszenario						
[TWh/a]	2010	2014	2020	2025	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch Strom	73	66	66	65	66	74	88
Stromverbrauch im Umwandlungssektor	9	8	8	7	7	7	7
Bruttostromverbrauch	81	74	74	72	73	81	94
Veränderung gegenüber 2010		-9 %	-9 %	-11 %	-10 %	0 %	16 %
Bruttostromerzeugung	66	61	55	51	56	61	60
Konventionelle Stromerzeugung	55	46	37	27	25	16	5
Erneuerbare Energien (ohne EE-Methan, Pumpstromerzeugung)	11	15	19	25	31	44	55
Import (Import-Export-Saldo)	15	13	19	21	17	21	35
<b>Anteil der Erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung</b>							
Direkt	17 %	24 %	34 %	48 %	56 %	73 %	92 %
Gesamt*	17 %	25 %	35 %	49 %	57 %	75 %	97 %

\* EE-Methan wird vollständig als erneuerbarer Brennstoff und die Pumpstromerzeugung anteilig aus dem direkten EE-Anteil der Stromerzeugung (inkl. Import) angerechnet.

Tabelle 1: Stromerzeugung im Wandel: Steigender Stromverbrauch erfordert mehr Stromimporte in 2050  
Quelle: ZSW

## Synthetische Energieträger

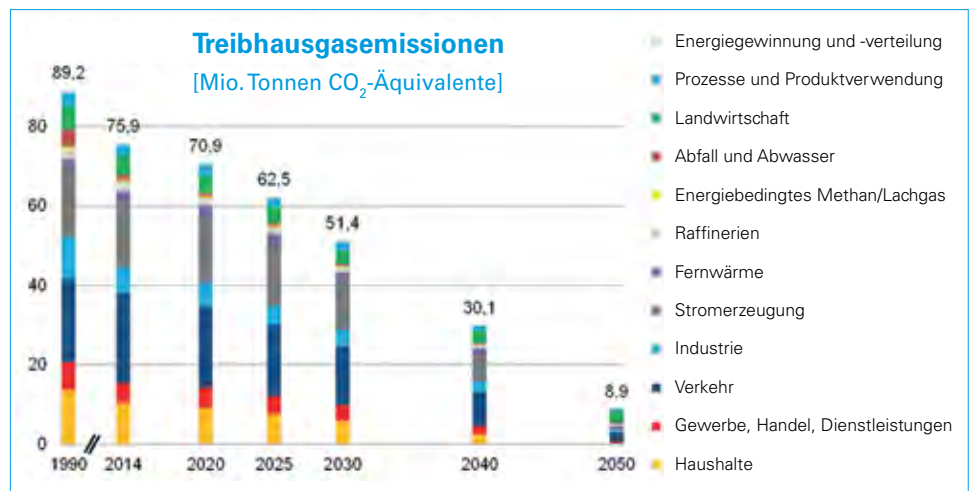
Die THG-Emissionsminderung um 90 Prozent bis 2050 (42 % bis 2030) wird laut ZSW nur dann erreicht, wenn es gelingt, die Anteile der synthetischen Energieträger im Power-to-Liquid-Bereich auf mindestens 60 Prozent der gesamten Flüssigkraftstoffe und im Power-to-Gas-Bereich auf 80 Prozent des Gesamtgasverbrauchs hochzuschrauben.

## Neue Ziele für das Land

Die Zielvorschläge für 2030 weichen bei übereinstimmendem Ambitionsniveau von den 2017 festgelegten Zielvorgaben des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung ab:

Bezogen auf die THG-Emissionen in 2014 beziffert die Studie für 2030 ein Zwischenziel von minus 32 Prozent. Damit bliebe man um rund 7 Prozent hinter dem 2030er Bundesziel aus dem Klimaschutzplan 2050 zurück. Dies begründet Maike Schmidt mit dem landesspezifisch hohen Kernenergieanteil, dessen Wegfall in den 2020er Jahren zunächst weitgehend durch Steinkohle kompensiert werden müsse. Außerdem müssten im Verkehrssektor anders als im Bund zusätzlich die Emissionssteigerungen der vergangenen Jahre gemindert werden. Aufgrund der Industriestrukturen sind die Minderungsziele für die Industrie in Baden-Württemberg jedoch höher als auf Bundesebene.

Bis 2030 seien insgesamt große Anstrengungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energien erforderlich. Viele Weichenstellungen müssten zwar in erster Linie von der EU und vom Bund eingeleitet werden. Genannt werden unter anderem die weitere Verschärfung von Energiestandards für Neubauten und Sanierungen, die Absenkung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für Fahrzeuge



Quelle: ZSW

und die Erhöhung der Kraftstoffsteuern, die Förderung des Schienenverkehrs und des Öko-Landbaus bzw. eine Landwirtschaftspolitik zur Reduktion der THG-Emissionen. Doch blieben auch dem Land in allen Sektoren wirkungsvolle Möglichkeiten, auf die THG-Emissionen einzuwirken. Als effektive Instrumente böten sich das Landesplanungs- und Bauordnungsrecht sowie das Beschaffungswesen an (siehe Tab. 2).

## Kosten und Nutzen

So weist das Zielszenario im Vergleich zum Referenzszenario höhere Klimaschutzinvestitionen aus, die sich allerdings ökonomisch bezahlt machen sollen: Verrechnen man die Investitionen mit den daraus resultierenden Einsparungen durch geringeren Energiebedarf und vermiedene Klimafolgeschäden, komme unterm Strich von 2017 bis 2030 ein positiver Saldo von 12 Milliarden Euro heraus. Von 2031 bis 2050 erwartet das ZSW sogar einen Nutzen-Kosten-Überschuss von 58 Milliarden Euro.

Dass davon nicht alle gleich profitieren und der Wandel auch Risiken für die Wirtschaft birgt, sei unbestritten. Vor großen Herausforderungen stünden insbesondere die Fahrzeughersteller, deren Zulieferer und die chemische Industrie. Das ZSW sieht die Zukunft

„der heute schon energieeffizienten baden-württembergischen Wirtschaft aber durchaus positiv“. Denn verstärkte Klimaschutzmaßnahmen führten zu Produktionssteigerungen in den Bereichen energieeffiziente Anlagen, moderne Dämmstoffe und Werkstoffe für Leichtbauanwendungen. Produkte für den Ausbau regenerativer Energien würden vermehrt nachgefragt. Weiteres ökonomisches Potenzial sieht das ZSW auch bei Dienstleistungen wie Energieberatung, Effizienz- und Energie-Contracting, bei der Projektentwicklung und im Know-how-Export.

Abb. 2: Entwicklung der sektoralen THG-Emissionen im Zielszenario: Während in allen Sektoren hohe Minderungsraten erbracht werden, sinken die Emissionen in der Landwirtschaft nur moderat. Somit steigt deren Anteil bis 2050 auf 34 % der Gesamtemissionen.

Tabelle 2: Handlungsspielräume des Landes und Handlungsempfehlungen

Tab. 2: Spielräume und Handlungsempfehlungen	
<b>Wärme</b>	Schlüsselstrategie: Kommunale Wärmeplanung
	Schlüsselstrategie Aus- und Umbauprogramm Wärmenetze: u.a. Ersatz von Kohle durch Erneuerbare Energien
	Landes-Ordnungsrecht für Gebäude: Energieeffizienz, Verbot neuer Ölkessel
	EWärmeG-BW: Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien in Wärmenetzen und in Bestandsgebäuden
<b>Verkehr</b>	Austauschprogramm Nachtspeicherheizungen
	Schlüsselstrategie Elektrifizierung:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>LBO: Ladeinfrastruktur private Parkplätze</li> <li>Beschaffung: Kfz- und ÖPNV-Ausschreibungen</li> <li>Oberleitungs-Lkw: Förderung und Pilotprojekte</li> <li>Elektrifizierung von Bahnstrecken</li> </ul>
	ÖPNV-Subventionierung
<b>Bau und Industrie</b>	Verkehrsvermeidung bei der Siedlungspolitik
	Förderung des Fahrradverkehrs
	Schlüsselstrategie Landesbauordnung (LBauO):
<b>Stromerzeugung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substitution von konventionellem Zement</li> <li>Mehr Holzbau (LBO)</li> <li>Anforderungen an öffentliche Gebäude</li> </ul>
	EE-Prozesswärme: Förderung
	Solare Landesplanung (wie bei der Windkraft)
	LBO: Solare Großdächer

Quelle: ZSW



# Wie sind Kohle und Öl zu ersetzen?

## Auswirkungen der Dekarbonisierung auf die Versorgungssicherheit



Das Rheinhafen-Dampfkraftwerk Karlsruhe erzeugt mit einer Leistung von insgesamt 2.260 Megawatt Strom und Fernwärme.

Bild: EnBW/D. Meier-Gerber

Um die Umwelt- und Klimaziele zu erreichen, müssen fossile Energieträger weitgehend ersetzt werden. Allein mit Wind- und Sonnenenergie ist das in Süddeutschland jedoch kaum zu machen. Eine Systemanalyse bis zum Jahr 2050 untersuchte die Versorgungssicherheit bei verstärktem Einsatz regenerativ erzeugten Stroms im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor.

Nach der UN-Klimakonferenz im Dezember 2015 beschloss die deutsche Bundesregierung den „Klimaschutzplan 2050“, um das Übereinkommen von Paris in nationale Maßnahmen umzusetzen. Ausgehend vom angestrebten Zwei-Grad-Ziel sieht der Plan den Umbau der Energieversorgung vor, und zwar von einem weitgehend auf fossilen Energieträgern basierenden zu einem von erneuerbaren Energien dominierten Energiesystem. Dabei soll nicht nur die Stromversorgung auf Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft umgestellt, sondern auch der Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor dekarbonisiert werden.

Dies wirft die Frage auf, „wie sich die zukünftig steigende Stromnachfrage auf die Versorgungssicherheit insbesondere in Süddeutschland auswirken wird“, erklärt Prof. Dr. Wolf Fichtner. Er ist am KIT-Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) tätig und leitete das Forschungsprojekt, an dem auch das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) beteiligt war.

Das Projektteam hatte die Aufgabe, eine Analyse der Versorgungssicherheit bis ins Jahr 2050 zu erstellen, wobei sich aufgrund der klimapolitisch bedingten Vorgaben sowohl die Nachfrage als auch die Produktion von Strom auf unter-

schiedliche Weise verändern werden: Die steigende Stromnachfrage habe vor allem mit der Nutzung neuer Techniken wie Elektromobilität und Wärmepumpen zu tun. Gleichzeitig werde der Anteil an mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken für die Stromproduktion reduziert. Zudem spielte für die Analyse eine Rolle, dass viele erneuerbare Stromerzeugungszentren besonders im Norden Deutschlands, viele große Nachfragezentren aber im Süden liegen.

### Unterschiedliche Modelle

Zur Bearbeitung der Forschungsfrage entwickelte das Projektteam ein Modellkonzept, in dem es drei unterschiedliche methodische Ansätze miteinander koppelte. Laut Fichtner erlaubten es die Simulationsmodelle „FORECAST“ und „eLOAD“, verschiedene Szenarien für die Entwicklung der Stromnachfrage und deren Struktur – die sogenannte Lastkurve – zu generieren und Fle-

### PROJEKT

Dekarbonisierung des Energiesystems durch verstärkten Einsatz erneuerbaren Stroms im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor bei gleichzeitiger Stilllegung von Kraftwerken – Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit in Süddeutschland (DESK)

Laufzeit: 6/2016 bis 12/2017

KIT, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Lehrstuhl Energiewirtschaft  
Prof. Dr. Wolf Fichtner  
wolf.fichtner@kit.edu  
www.iip.kit.edu

### PARTNER

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe



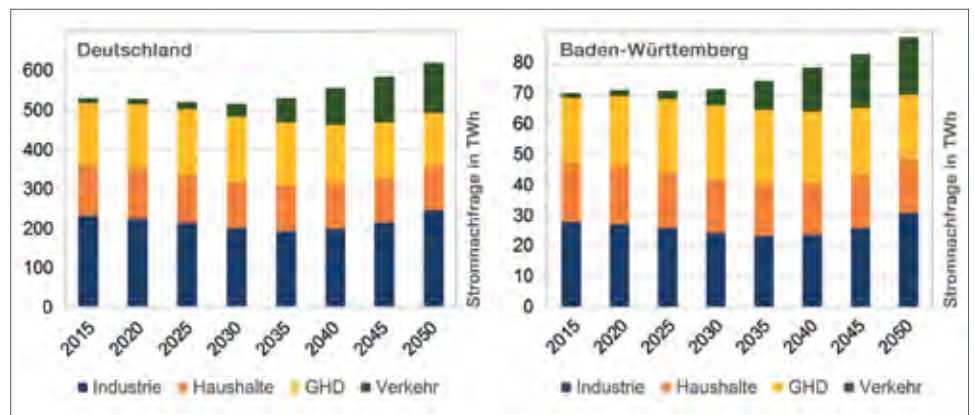
xibilität abzubilden. Auf der Angebotsseite setzte das IIP Optimierungsmodelle wie „PERSEUS-EU“ ein, um „sowohl den Zubau von Erneuerbaren als auch den Bedarf an flexibel einsetzbaren Technologien sowie die optimale Kraftwerkszusammensetzung“ zu bestimmen. Dabei wurden auch ungeplante Ausfälle berücksichtigt. Ebenso bezog das Forschungsteam ökonomisch und klimapolitisch bedingte Kraftwerksstilllegungen, verschiedene Speicher sowie mögliche Engpässe im deutschen Übertragungsnetz in seine Analyse mit ein, die für zwei Modellregionen vorgenommen wurde. Die drei eingesetzten Modelle ermöglichten es, den Süden und Norden Deutschlands gesondert zu betrachten (siehe Karte).

### Einfluss auf die Nachfrage

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass der Einsatz von Strom im Wärme- und Verkehrssektor einen signifikanten Einfluss auf die Stromnachfrage und deren Struktur haben werde, erklärt Dr. Marian Klobasa vom Fraunhofer ISI. Kurz- und mittelfristig, das heißt bis 2030, könne zwar die zusätzliche Nachfrage aufgrund des Einsatzes von Elektroautos und von Wärmepumpen durch die Ausschöpfung von Energieeffizienzpotenzialen bei den klassischen Stromanwendungen kompensiert werden. Langfristig sei aber bis zum Jahr 2050 eine Erhöhung der Stromnachfrage um bis zu 30 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 2015 zu erwarten (vgl. Abb. oben). Mit berücksichtigt wurde, dass zusätzliche Nachfragespitzen zukünftig durch flexible Steuerungen von Wärmepumpen und durch das Laden von Elektrofahrzeugen ausgeglichen werden könnten.

### Steigender Kapazitätsbedarf

Bei der Analyse des zu erwartenden Kapazitätsbedarfs unterschied



das Forschungsteam zwei Szenarien: Zum einen wurde der Bedarf rein regional und autark, das heißt ohne die Möglichkeit des Stromimports, betrachtet. Dafür zeigten die Ergebnisse, dass bereits im Jahr 2020 im Süden Deutschlands ein zusätzlicher Kapazitätsbedarf von rund 11 Gigawatt (GW) nötig wäre.

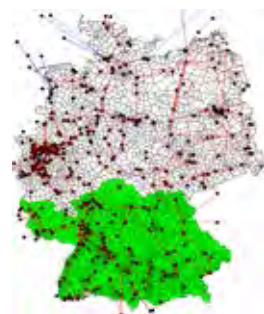
Zum anderen ermittelte das Forschungsteam den Bedarf in einem europäischen Kooperations-Szenario, das der heutigen politischen Regelung entspricht und die Möglichkeit des Stromimports beinhaltet. Die Ergebnisse dieses Szenarios zeigen laut Fichtner, „dass bis zum Jahr 2025 in Deutschland von einem relativ geringen Neubaubedarf an flexiblen Kraftwerken auszugehen ist“. Voraussetzung dafür sei jedoch, dass der Zehn-Jahre-Netzentwicklungsplan eingehalten werde, der neue Stromtrassen von Nord nach Süddeutschland vorsieht. Bis zum Jahr 2050 steige dann der über den gesamten Zeitraum kumulierte Neubaubedarf auf jeweils etwa 23 GW gesicherte Leistung in

den beiden Regionen Nord- und Süddeutschland. Die vom Modell ermittelten Kraftwerksneubauten, die den Leistungsbedarf decken sollen, bestehen zunächst aus Gas- und Dampfkraftwerken sowie Gasturbinen, in den späteren Jahren im Süden Deutschlands nur aus Gasturbinen (vgl. Abb. unten).

### Versorgungssicherheit

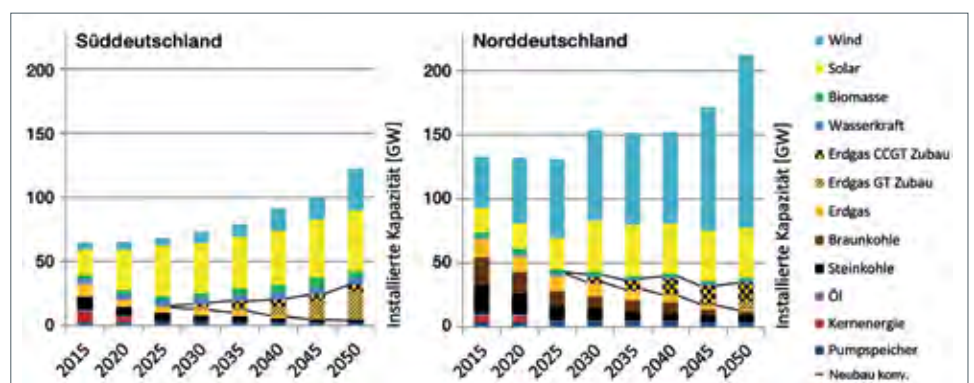
Insgesamt zeige die Analyse laut Projektleiter Fichtner, dass über den ganzen Planungszeitraum in Deutschland etwa 70 GW flexible Kraftwerkskapazität gesichert bereitgestellt werden müsse. Darin seien auch Pumpspeicherkraftwerke sowie im Markt verbleibende Bestandskraftwerke eingerechnet. Falls dieses Kapazitätsniveau gewährleistet werde und die Maßnahmen des sogenannten Netzentwicklungsplans 2030 realisiert seien, „kann die erwartete Stromnachfrage gedeckt und die Stromversorgung sichergestellt werden“, fasst Fichtner die Projektergebnisse zusammen.

Entwicklung der jährlichen Stromnachfrage bis 2050 nach Sektoren in Deutschland (links) und Baden-Württemberg (rechts). GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen  
Quelle: Fraunhofer ISI



Aufteilung in die Modellregionen Nord- und Süddeutschland (grün)  
Quelle: IIP

Entwicklung der Kapazität und des Kraftwerksparks in Süd- und Norddeutschland im kooperativen Szenario. Erdgas CCGT = Gas- und Dampfkraftwerk; Erdgas GT = Gasturbinen-Kraftwerk  
Quelle: IIP





# Solarthermie im großen Stil

## SolnetBW II: Wegbereiter für solare Wärmenetze in Baden-Württemberg

Hocheffiziente  
Röhrenkollektoren  
Bild: Ritter XL Solar

Mit großflächigen Sonnenkollektoren ließen sich langfristig bis zu 15 Prozent des Fern- und Nahwärmeangebots decken. Bislang werden in Deutschland aber noch nicht viele Wärmenetze solarthermisch unterstützt. In Baden-Württemberg soll das Vorhaben „SolnetBW II“ Interesse wecken und möglichen Betreibern den Einstieg erleichtern, um einen dynamischen Ausbau dieser emissionsfreien Wärmequelle anzustoßen.

**Z**um Auftakt der neuen Förderperiode veranstaltete das aus fünf Institutionen bestehende Konsortium ein von 115 Teilnehmenden besuchtes „Forum Solare Wärmenetze“. Eine gute Plattform, um Interessenten über das Angebot von SolnetBW II zu informieren. Angetreten als Wegbereiter solar unterstützter Wärmenetze, sammelt das interdisziplinär aufgestellte Konsortium Erfahrungen aus begleiteten Reallabor-Projekten und bündelt sie in Strategien und umfassenden „Hilfspaketen“ insbesondere für Kommunen und bürgerfinanzierte Modelle wie Energiegenossenschaften. Neueinsteiger erhalten Unterstützung bei der Projektentwicklung, der Analyse der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit, bei der Wärmeplanung und in Verfahrens-, Finanzierungs- und Rechtsfragen. Im Angebot enthalten sind außerdem Tipps

für organisatorische Aspekte, die Öffentlichkeitsarbeit und die Bürgerbeteiligung. Auf Wunsch erfahren Interessenten zudem, auf welche Planer und Projektierer man sich bei der Umsetzung verlassen kann.

### Know-how-Transfer

Um den Wissenstransfer voranzutreiben, begleiten die Projektpartner mehrere Modellkommunen und zwei Regionen auf verschiedenen Pfaden. Den sozialwissenschaftlichen Part übernahm das HIR (Hamburg Institut Research). Es begleitet die Region Neckar-Alb und die Kommunen Schömberg, Hirrlingen, Kilsheim-Uissigheim und Karlsruhe-Wettersbach. Ohne sozialwissenschaftliche Begleitung erfolgt die Bearbeitung der Modellregion Oberschwaben.

Außerdem organisierte das HIR zusammen mit dem Kompetenzzent-

rum für Naturschutz und Energiewende (KNE) einen Workshop zur bestmöglichen Platzierung großflächiger Solarthermieanlagen im Spannungsfeld zwischen Naturschutz, Landwirtschaft und Landschaftsbild.

In Kooperation mit der Ingenieurkammer Baden-Württemberg erarbeitet das Projektkonsortium ein Curriculum zur Schulung von Fachleuten für Planung und Projektierung. Neben technischem Know-how werden Kenntnisse zur Umsetzung von erneuerbaren und energieeffizienten Wärmenetzen fokussiert auf Energiedörfer vermittelt. Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die Kommunikation zur Einbindung, Mobilisierung und Organisation der Akteure vor Ort. Diesen bietet das SolnetBW-Konsortium wiederum Praxisseminare an, um sie fit für den Dialog mit den Experten zu machen und Reibungsverluste zu vermeiden. Das im Rahmen von SolnetBW II entwickelte Instrumentarium soll außerdem Kriterienkataloge zur Standortwahl, Musterverträge für verschiedene Geschäftsmodelle und ein Online-Expertentool umfassen. Alles im Sinne einer optimalen „Marktbereitung“.

### PROJEKT

SolnetBW II – Solare Wärmenetze für Baden-Württemberg  
Laufzeit: 3/2017 bis 3/2019  
Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites)  
Thomas Pauschinger  
pauschinger@solites.de  
www.solites.de

### PARTNER

AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH, Frankfurt  
HIR Hamburg Institut Research  
Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
KEA – Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg



# Rezept von Smartreflex

## Flexible Lösungen für hundertprozentige EE-Wärmenetze in Kommunen

In sechs europäischen Modellregionen sollten im Rahmen des Projekts „SmartReFlex“ Strategien zur Umsetzung von Wärmenetzen auf Basis erneuerbarer Energien ausprobiert und weiterentwickelt werden. Ziel war die bestmögliche Unterstützung für Start-Ups vor Ort. In der Modellregion Baden-Württemberg diente die Wärmenetz-Initiative in Schopfloch als Reallabor.

**W**as in Dänemark zu einer bislang einzigartigen Erfolgsgeschichte wurde, soll europaweit Schule machen: Im Rahmen des internationalen Vorhabens „SmartReFlex“ wurde in sechs Modellregionen die Entwicklung von Wärmenetzkonzepten unterstützt, die zu 100 Prozent mit erneuerbaren Energien (EE) betrieben werden sollen. Dafür kann man neben Solar- und Geothermie Abwärme von Industrieprozessen oder aus Abwasser nutzen und mit regenerativen Brennstoffen betriebene Heiz- oder Blockheizkraftwerke einsetzen.

Institutionen aus Deutschland, Irland, Italien und Spanien schlossen sich für Smartreflex zu einem Projektkonsortium zusammen, das in der Emilia Romagna, in Katalonien, in Schleswig-Holstein, in Baden-Württemberg und in den beiden irischen Regionen Tipperary und Kerry County aktiv wurde. Mit eingebunden wurden der Fernwär-

meverbund (DFJ) und Planenergi aus Dänemark, um von deren Erfahrungsschatz zu profitieren. Primäres Ziel der Projektpartner war es, für regionale Regierungen bzw. Institutionen spezifische rechtliche und organisatorische Leitfäden, Maßnahmenkataloge, Schulungskonzepte und Förderinstrumente zu entwickeln. Mit deren Hilfe können sie potenzielle Wärmenetzbetreiber wie Kommunen, Stadtwerke und andere Versorger, Gewerbebetriebe, Energiegenossenschaften und andere Projektfinanzierer motivieren und unterstützen.

Diese Zielsetzung hat das Projektteam gemäß dem SMART-Ansatz (Spezifisch, Messbar, Akzeptiert, Realistisch und Terminiert) verfolgt und laut Oliver Miedaner von Solites auch erreicht. Der deutsche Ansprechpartner fasst die wichtigsten Projektergebnisse zusammen: Auf der Basis einer Analyse der jeweiligen Rahmenbedingungen und von 20 Fallstudien habe man

für alle sechs Modellregionen eine spezifische Strategie mit Aktionsplan und Richtlinien entwickelt. Dazu empfehle das Projektkonsortium den regionalen Vermittlern die Einrichtung einer „Task Force“ zur effektiven Einbindung der relevanten lokalen Akteure. Zur erfolgreichen Prozessgestaltung wurden Musterprojekte vorgestellt und regionalspezifische Leitfäden zusammengestellt.

Darüber hinaus habe man in Workshops mehr als 500 Personen in den Themenfeldern Planung und Dimensionierung, Technik, Organisation und Finanzierung geschult. Selbst entwickelte Schulungsmaterialien können inzwischen von der Website [www.smartreflex.eu](http://www.smartreflex.eu) heruntergeladen werden.

In Baden-Württemberg diente die EE-Wärmenetz-Initiative in Schopfloch als „Case Study“, was deren Vorhaben zusätzlichen Schwung gab und zur Ausarbeitung des „Smartreflex-Rezepts“ beitrug.

### PROJEKT

SmartReFlex – Intelligente und flexible Lösungen für 100 % erneuerbare Wärmenetze in europäischen Kommunen

Laufzeit: 3/2014 bis 2/2017

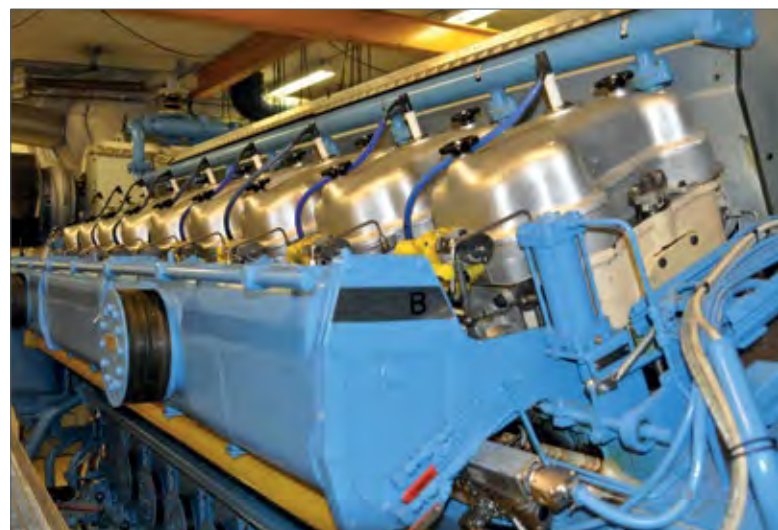
Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites)  
Oliver Miedaner  
[oliver.miedaner@solites.eu](mailto:oliver.miedaner@solites.eu)  
[www.solites.eu](http://www.solites.eu)

### PARTNER

Ambiente Italia (Koordination)  
Hamburg Institut Research (HIR)  
Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW)  
Ministerium für Energiewende Schleswig-Holstein (MELUR)  
ANCI Emilia-Romagna  
AIRU (ital. Fernwärmeverband)  
Kerry County Council (KCC)  
Tipperary Energy Agency (TEA)  
XD Sustainable Energy Consulting  
Catalan Land Institute (INCASÒL)  
Catalonia Institute for Energy Research (IREC)  
Dänischer Fernwärmeverband (DFJ)  
PlanEnergi  
[www.smartreflex.eu](http://www.smartreflex.eu)

Stroh kann als regenerativer Brennstoff dienen  
Rechts: Blockheizkraftwerk in Crailsheim

Bilder: FIF Marketing, Solites





# Flexible Solarzellen

## ZSW will zwei Dünnschicht-Solartechnologien optimieren

Photovoltaik funktioniert nicht nur auf starren planen Modulen. Mithilfe der Dünnschichttechnologie ließe sich das Anwendungsspektrum von Solarzellen sogar auf flexible Träger wie Kleidung ausdehnen. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung testet verschiedene Materialien und Verfahren, um Aufwand und Ertrag zu optimieren.

### PROJEKT

SOLAMO – Dünnschichtsolartechnologien der Zukunft

Laufzeit: 2/2016 bis 11/2019

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)  
Dr. Friedrich Kessler  
friedrich.kessler@zsw-bw.de  
www.zsw-bw.de

**B**ei der Dünnschichttechnologie kommen besonders leichte und vor allem flexible Trägermaterialien für die hauchdünnen Solarzellen zum Einsatz. Mit folierten Solarzellen lassen sich abrollbare Dachbahnen herstellen. Man könnte aber auch gekrümmte Flächen wie Autokarosserien damit belegen und sie sogar auf Textilien anbringen.

Am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung in Stuttgart verspricht man sich von der Dünnschicht-Solartechnologie aber nicht nur ein weites Anwendungsspektrum, sondern auch „ein großes Kostenreduktionspotenzial durch geringeren Energieaufwand“ als bei konventionellen Solarzellen. Gefördert durch das Umweltministerium arbeitet hier ein Team um Dr. Friedrich Kessler an der Weiterentwicklung der „beiden derzeit attraktivsten Dünnschichtsolarezelltypen“ auf Basis von Kupfer-Indium-Gallium-

Diselenid (CIGS) und auf Basis von organisch-anorganischen Metallhalogeniden in Perowskit-Struktur. Beide Technikpfade will Kesslers Team parallel ausreizen, um ihre jeweiligen Vorzüge schließlich in einer Tandemstruktur optimal zu kombinieren.

### Versuche mit CIGS

Die erste Herausforderung war, so Kessler, einen Vakuumanlagenbauer zu finden, der die hohen Anforderungen des ZSW erfüllen konnte. Die inzwischen in Betrieb genommene Laboranlage besitzt ein Probenmagazin zur Aufnahme mehrerer Substrate sowie eine Transferkammer, die gewährleistet, dass beim Beladen keine Luft in den Beschichtungsraum eindringen kann.

Besser als erwartet, lieferte die Anlage auf Anhieb gute Absorber: Bei einer Substrattemperatur von 380 Grad wurden auf Polymerfolie (Polyimid) Zellwirkungsgrade von bis zu 14,5 Prozent erzielt. Auf Glassubstrat erreichte man bei 420 Grad einen Wirkungsgrad von 17,2 Prozent, der sich bei 500 Grad sogar bis auf 17,7 Prozent erhöhen ließ.

Der Wirkungsgrad korrelierte allerdings nicht allein mit der Substrattemperatur, sondern entstehe laut Kessler vielmehr durch eine komplexe Zusammenwirkung von Natrium- bzw. Kaliumdotierung, Interdiffusion der einzelnen Elemente und dem Gallium-Zusammensetzungsgradienten.

### Versuche mit Perowskiten

Primäres Ziel der zweiten Versuchsreihe unter Leitung von Dr. Erik

Ahlswede war es, eine hochwertige kristalline Perowskitschicht aus der Lösung abzuscheiden. Als Ausgangsmaterial diente der klassische Perowskit Methylammonium-Bleiodid im Standardaufbau. Die ersten Zellen zeigten allerdings starke und für Standard-Perowskite typische Wirkungsgradabweichungen (Hysterese), je nachdem ob man die Strom-Spannungskennlinie von der negativen oder positiven Spannungsseite maß. Der stabilisierte Wirkungsgrad sank somit von über 14 auf unter 10 Prozent.

Durch Verfahrensänderungen und den Wechsel von Ausgangsstoff und Lösungsmittel gelang es, die Hysterese zu reduzieren. So erzielte Ahlswedes Team beim invertierten Aufbau mit vertauschten Elektronen- und Lochleiterschichten gute Resultate: „Der Wirkungsgrad lag über 15 Prozent, die Hysterese war nur minimal. Die Schichten waren außerdem sehr glatt und bildeten großkörnige Perowskit-Kristalle.“

Für semitransparente Perowskitzellen wählte Ahlswede als Frontkontakt Indium-Zink-Oxid (IZO), das im Standardaufbau und invertiert getestet wurde. Mit beiden „Architekturen“ erzielte das ZSW Wirkungsgrade über 13 Prozent. „Dabei blieben 70 Prozent Transmission im Wellenlängenbereich über 775 nm für die Nutzung im Tandemverbund mit einer möglichen Subzelle aus CIGS oder Silizium erhalten.“

Unterm Strich sieht Kessler auf beiden Technikpfaden „vielversprechende Entwicklungen“.

Flexibles und ultra-leichtes CIGS-Solarmodul auf Polyimidfolie, geeignet für zahlreiche Anwendungen bis hin zum Einsatz im Weltraum

Bild: ZSW



# Kessel-Check im Wettbewerb

## Handwerker als Gestalter der Energiewende im Wärmesektor

Wie bewirkt Beratung einen gesteigerten Anteil erneuerbarer Energien am Wärmemarkt? Das will ein Forschungsteam gemeinsam mit Praktikern aus Heizungs- und Handwerksverbänden herausfinden. Höhepunkt ist ein „Kessel-Check“-Challenge, ein öffentlichkeitswirksamer Wettbewerb zweier Quartiere.

**F**ast 20 Jahre beträgt das Durchschnittsalter der Heizungen in baden-württembergischen Wohngebäuden. Im hiesigen Wärmemarkt ist der Einsatz erneuerbarer Energien mit 15,5 Prozent deshalb immer noch der Ausnahmefall. Nur rund 20 Prozent aller in Deutschland im Jahr 2016 neu installierten Heizungen setzen erneuerbare Energien ein – 2008 waren es noch 45 Prozent.

Neben den niedrigen Erdgas- und Heizölpreisen sei dieser Einbruch auch auf die relativ hohen Anschaffungskosten innovativer Technik und die Zufriedenheit mit konventionellen Heizungen zurückzuführen, erläutert Dr. Martin Pehnt vom Heidelberger Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).

### Vertrauen ins Handwerk

Zusammen mit einem Forschungsteam aus verschiedenen Instituten will er diesem Trend entgegenwirken und eine Wärmewende im

Heizungskeller beflügeln. In einer Ifeu-Umfrage mit 10.000 Personen im Jahr 2014 gaben 80 Prozent der Käuferinnen und Käufer einer geförderten Heizung an, dass sie sich auf Grund einer Beratung durch ihren Handwerksbetrieb für einen bestimmten Heizungstyp entschieden hatten.

Daher setzt das Forschungsprojekt „c.HANGE“ bei der Rolle des Handwerks an: Gemeinsam mit Beteiligten aus Heizungs- und Handwerksverbänden sowie aus Berufsschulen, Vereinen und Stadtverwaltungen will „c.HANGE“ erforschen, welchen Werkzeugkasten das Handwerk für seine Beratung benötigt, um den Anteil erneuerbarer Energien bei Neuinstallationen von Heizungen in Wohngebäuden zu steigern.

### Quartiere im Wettbewerb

Das Forschungsteam entwickelte dafür einen transparenten Heizungs-Check, der zur Optimierung

der Kommunikation beitragen soll. Der Check basiert auf einer technologieoffenen Beratung, mit welcher die Einsetzbarkeit erneuerbarer Energien im Gebäude geprüft wird. Im Vergleich zu anderen Heizungschecks legt er den Fokus auf den Heizungstausch. 120 dieser neutralen und kostenlosen Beratungen will das Projektkonsortium in Schriesheim und Heidelberg-Ziegelhausen durchführen. Um die Bevölkerung zur Teilnahme zu motivieren, startete das Forschungsteam eine „Kessel-Check-Challenge“. Dabei wetteifern laut Pehnt „die beiden Quartiere darum, wer zum einen die meisten Gebäudebesitzer zum Kesselcheck aktiviert, sowie darum, wer den ältesten Heizkessel findet“. Bislang stammt er aus dem Jahr 1966. Außerdem will das Forschungsteam neue Dienstleistungen wie einige Schulungselemente für die handwerkliche Beratung sowie das Angebot einer Energieeinspargarantie entwickeln.

### PROJEKT

Das Handwerk als Gestalter der Wärmewende (c.HANGE)

Laufzeit: 05/2017 bis 04/2019

Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Heidelberg  
Dr. Martin Pehnt  
martin.pehnt@ifeu.de  
www.ifeu.de  
<http://change-handwerk.de>

Links: Animation zur Überprüfung möglichst vieler Heizungsanlagen  
Rechts: Beratungssituation zum möglichen Einsatz erneuerbarer Energien im Heizungskeller

Bilder: Ifeu





# Hebel für die Energieeffizienz

## Stromoptimierte Kraft-Wärme-Kopplung in der Galvanikindustrie

Zum Ausgleich der schwankenden Stromerzeugung durch Windkraft- und Photovoltaikanlagen kommen industrielle Prozesse ins Blickfeld. Ein Forschungsteam untersucht den Einsatz von stromoptimiert betriebenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in der elektrochemischen Beschichtungsindustrie. Deren hohe Energieverbräuche lassen eine wirtschaftliche Umsetzung erwarten.

Vor dem Hintergrund des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung stellt sich die Frage nach einer sicheren und effizienten Abdeckung der verbleibenden sogenannten Residuallast. Sie stellt die Restnachfrage an elektrischer Leistung dar, welche von bereitgehaltenen oder regelbaren Kraftwerken, wie beispielsweise Gas- oder Pumpspeicherkraftwerken, gedeckt werden muss.

Außerdem müssten die mittlerweile erreichten Erfolge im Zuge der Energiewende vom Stromsektor auf die Sektoren Wärme und Verkehr übertragen werden, sagt Prof. Dr. Bernd Thomas vom Reutlinger Energiezen-

trum (REZ). Für diese Übertragung stelle die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) – gepaart mit weiteren Energieeffizienzmaßnahmen – eine anerkannt geeignete Lösungsmöglichkeit dar. Laut Thomas sei es dazu allerdings erforderlich, die KWK nicht mehr klassisch wärmegeführt, sondern am Strombedarf orientiert zu betreiben. Denn eine stromgeführte Fahrweise sei wirtschaftlich häufig attraktiver, da pro Kilowattstunde (kWh) Strom deutlich höhere Erträge erzielt werden könnten als pro kWh Wärme.

Am Forschungsprojekt „GalvanoFlex\_BW“ sind neben dem REZ das Institut für Energieeffizienz in der Produktion an der Universität

Stuttgart (EEP) sowie verschiedene Industrieunternehmen beteiligt. Es fokussiere sich auf die Galvanikindustrie, da hier „ein großer Hebel im Hinblick auf die erreichbare Energieeinsparung und die damit verbundene Kosteneinsparung“ zu erwarten sei, erläutert Thomas.

### Prozesstypen

Aufgrund von Energiebedarfsanalysen in den beteiligten Unternehmen wählte das Forschungsteam unter anderem die Prozesse der Hartverchromung und des Harteloxierens für das erste Vorgehen aus. Beide sind sowohl durch einen hohen thermischen als auch einen hohen elektrischen Energieverbrauch gekennzeichnet (vgl. Graphik). Für diese beiden Verfahren erscheint der Einsatz von KWK besonders lohnenswert, schildert Thomas die Ausgangslage, da sich durch den Umstieg auf eine gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme besonders große Einsparungen im Vergleich zum netzseitigen Energiebezug ergeben könnten. Denn um einen konstanten Betrieb zu gewährleisten, müsse prozessbedingt die entstehende Wärme abgeführt werden und könne beispielsweise zur Versorgung von Adsorptionskältemaschinen dienen. Außerdem könnten Kältemaschinen mit Eigenstrom aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW) betrieben werden.

### Entwicklung von Strategien

Um erste rechnerische Erkenntnisse über das Potenzial einer strom-

#### PROJEKT

GalvanoFlex\_BW – Stromoptimierte, flexible, residuallastangepasste KWK in der elektrochemischen Beschichtungsindustrie

Laufzeit: 5/2017 bis 10/2019

Hochschule Reutlingen  
Reutlinger Energiezentrum (REZ)  
Prof. Dr. Bernd Thomas  
bernd.thomas@reutlingen-university.de  
www.reutlingen-university.de

#### PARTNER

Universität Stuttgart, Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart  
Eiffo eG, Ostfildern  
C&C Bark GmbH, Schömberg  
Hartchrom GmbH, Karlsruhe  
NovoPlan GmbH, Aalen  
Plating Electronic, Sexau



Durchführung der Messungen für Wärmelastprofile beim Projektpartner NovoPlan

Bild: Universität Stuttgart

optimierten Betriebsweise in den beteiligten Unternehmen zu erlangen, waren Daten zu deren Strom- und Wärmelastgängen erforderlich. Einige Datensätze waren bereits vorhanden, ergänzt wurden sie durch Standardlastprofile.

Für die Berechnungen seien laut Projektleiter Thomas sowohl unterschiedliche BHKW-Größen als auch verschiedene Pufferspeichergrößen betrachtet worden. Am Beispiel eines beteiligten Unternehmens, dessen Jahreswärmebedarf dreimal höher ist als der Jahresstrombedarf, habe sich gezeigt, dass sich der Einsatz eines BHKW wirtschaftlich lohnen würde. Die Simulation habe hier ergeben, dass sich mit einer wärmegeführten Betriebsweise eine Energieeinsparung von 11,9 Prozent erreichen lasse. Mit einer stromoptimierten Betriebsweise seien hingegen bis zu 15,7 Prozent möglich.

### Energieeffizienz-Potenziale

Um mit den tatsächlichen Wärmelastprofilen der Unternehmen rechnen zu können, führt das Forschungsteam verschiedene Messungen der konkreten Gasverbräuche durch. Mit diesen Daten und mit der in Arbeit befindlichen Erweiterung des Simulationsprogramms könne dann eine wesentlich genauere Untersuchung des stromoptimierten Betriebs von KWK-Anlagen erfolgen.

Ausgehend von außerdem geplanten Einzelmessungen an ausgewählten Energieverbrauchern in den Unternehmen führt der Stuttgarter Projektpartner EEP die Analyse weiterer Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz durch. Hierbei habe sich gezeigt, dass ein Abgleich dieser Messungen mit dem erweiterten Simulationstool die Grundlage bilden könnte, „einen Generator für synthetische Lastprofile im Industriebereich zu entwickeln“, erläutert Thomas hoffnungsvoll. Dies wäre ein erheblicher Mehrwert, der



branchenübergreifend und damit allgemein wirken könnte, da derartige Lastprofilgeneratoren bislang nur für Wohngebäude bekannt und nutzbar sind.

### Wissensplattform

Neben den Optimierungen der Simulationen liegt ein zweiter Schwerpunkt des Projekts „GalvanoFlex\_BW“ auf der Einbindung der betroffenen Industrie in Baden-Württemberg. Dazu werde laut Projektleiter Thomas eine Wissensplattform aufgebaut, die die gewonnenen Erkenntnisse in allgemeiner Form aufbereite und für die Branche zugänglich mache.

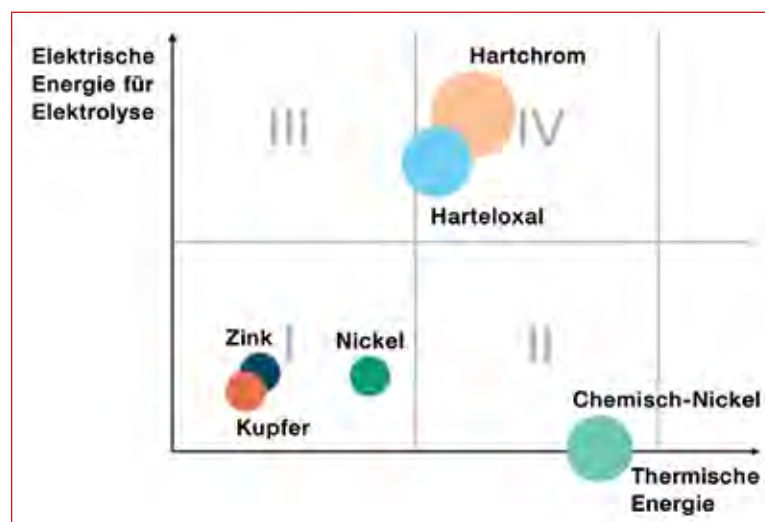
Zur organisatorischen Vorbereitung konnte der Projektpartner Eiffo eG den Zentralverband Oberflächen-technik (ZVO) sowie Vecco e.V.,

ein Zusammenschluss vorwiegend industrieller Beschichtungsbetriebe, gewinnen. Beide Verbände unterstützten die Gründung des Arbeitskreises „Flexible Energieversorgung und effiziente Energietechnik in der Galvanotechnischen Industrie“.

Dessen erste Sitzung mit 38 Teilnehmenden fand am 16. Januar 2018 am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart statt. Neben verschiedenen technologiebezogenen Vorträgen berichteten das REZ und das EEP von ihren ersten Projektergebnissen. Weitere Treffen sind vereinbart. Ziel ist es, das Potenzial einer stromgeführten KWK neben Galvanikbetrieben auch Unternehmen anderer Branchen über die Wissensplattform zugänglich zu machen.

Regel Erfahrungsaustausch beim Industrie-Workshop in Stuttgart

Bild: Hochschule Reutlingen



Energiebedarfsanalyse galvanotechnischer Prozesse

Bild: Fraunhofer IPA



# Mit Wasserstoff heizen

## Unterstützung für mehr Brennstoffzellen-Heizungen in Eigenheimen

Sie passen in die Energiekonzepte von Ein- und Zweifamilienhäusern. Hersteller bieten markt-reife Geräte an. Die staatliche Förderung ist attraktiv. Doch trotz hervorragender Rahmenbedingungen hapert es noch an der Verbreitung von Brennstoffzellen-Heizgeräten – auch im technikaffinen Musterlande. Eine Infokampagne soll der innovativen Umwelttechnik auf die Sprünge helfen – bei der potenziellen Kundschaft, beim Handwerk und bei Energieberatungen.

**A**uf die Beine gestellt hat die Kampagne das vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderte Informationsprogramm Zukunft Altbau sowie die bundesweit agierende gemeinnützige Co2online GmbH. Pressetexte, Flyer, Leitfäden und Merkblätter umfasst das Instrumentarium der Öffentlichkeitsarbeit, die Verbreitung erfolgt größtenteils online. Ein zentraler Baustein ist ein landesweiter Brennstoffzellen-Praxistest, zu dessen Teilnahme per Post, über die Vor-Ort-Ansprache sowie online und über die Sozialen Medien aufgerufen wurde. Knapp 50 Bewerbungen gingen bis Mitte Oktober 2017 ein. Daraus wurden fünf Haushalte ausgewählt. Sie befanden sich zum Teil noch in der Entscheidungsfindung, zum Teil liefen ihre Brennstoffzellen-Heizungen bereits.

Ziel des Praxistests: Reale Haushalte setzen sich mit der Technik auseinander, werden von regionalen Partnern beraten, installieren ein Brennstoffzellen-Heizgerät und nutzen es im alltäglichen Einsatz. Ihre Erfahrungen, Eindrücke, Geschichten und Bilder werden öffentlichkeitswirksam aufbereitet und auf der Projekt-Webseite [www.praxistest-brennstoffzelle.de](http://www.praxistest-brennstoffzelle.de) präsentiert. Zukunft Altbau und Co2online verlinken in ihren Online-Auftritten auf den Praxistest.

### Fünf Praxistest-Porträts

Die auf dieser Seite vorgestellte Familie Berner aus Esslingen ist einer der fünf ausgewählten Brennstoffzellen-Testhaushalte. Ihre Anlage läuft seit Sommer 2017. Werner und Edith Berner leben mit ihren zwei Töchtern und der Mutter von

Edith Berner in einem fast hundert Jahre alten Zweifamilienhaus. Ganz normale Menschen in einem ganz normalen Haus – genau das richtige Beispiel, um die Alltagstauglichkeit der Brennstoffzellen-Heiztechnik unter Realbedingungen zu testen. Auf der Projekt-Webseite werden alle Fakten offengelegt: die Kosten, die Komponenten des Heizsystems und vor allem die erzielten Wärme- und Stromerträge. Werner Berner erzählt von der Motivation der Familie, von der Unterstützung durch einen innovationsfreudigen Fachhandwerker und von den ersten Messergebnissen. Zwischenfazit: Heizwärme und Warmwasser werden zuverlässig erzeugt, der Komfort ist perfekt, die Stromerzeugung gleichmäßig, die Energiekosten sind niedrig und eine Wartung der Anlage war bisher nicht nötig. „Die Brennstoffzellen-Hei-

#### PROJEKT

Informations- und Akzeptanzkampagne: Baden-Württembergs Brennstoffzellen-Heizungen im Praxistest. Die Vorteile der Brennstoffzellen-Technologie greifbar machen

Laufzeit: 9/2017 bis 2/2018

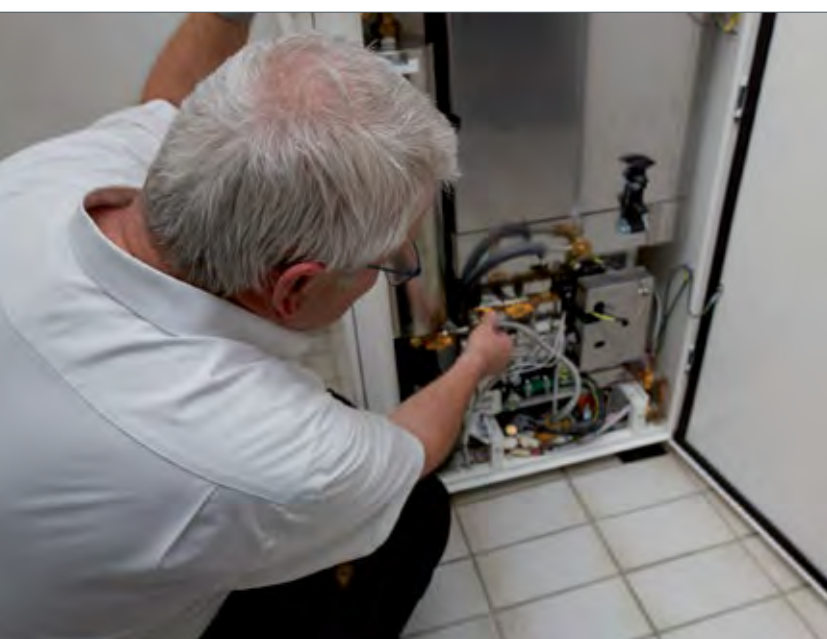
Zukunft Altbau, KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH  
Frank Hettler  
[frank.hettler@zukunftaltbau.de](mailto:frank.hettler@zukunftaltbau.de)  
[www.zukunftaltbau.de](http://www.zukunftaltbau.de)

#### PARTNER

Co2online gGmbH  
[www.co2online.de](http://www.co2online.de)

[www.praxistest-brennstoffzelle.de](http://www.praxistest-brennstoffzelle.de)

Werner Berner ist – wie die meisten Brennstoffzellen-Pioniere – technisch interessiert und im Umweltschutz engagiert. Das rechte Bild zeigt die Familie mit der Brennstoffzelle.



Bilder: [www.co2online.de](http://www.co2online.de)/Daniel Schmidt-Kangu

zung war eine super Investition“, so Berner. Positive Erfahrungen, die zur Nachahmung einladen ...

### Technik-Botschafter

Neben den Praxistest-Geschichten bietet die Projekt-Webseite auch tiefer gehende Informationen zum Heizen mit Brennstoffzellen. Außerdem kommen drei „Botschafter“ zu Wort: Frank Jäger und Tom Hennig, beides Handwerker, sowie der Energieberater Harry Kaucher. Sie erklären die Technik und – ganz wichtig – fungieren als Ansprechpartner für Menschen, die sich für Brennstoffzellen-Heizungen interessieren. Das betrifft nicht nur Privathaushalte. Auch innerhalb der Handwerkerschaft und anderen Sparten der Energiebranche ist das Know-how zum Thema Brennstoffzellen noch nicht so weit verbreitet wie gewünscht.

Für die Vor-Ort-Verankerung der Infokampagne sorgen Kooperationen von Zukunft Altbau mit sechs Energieagenturen in den Regionen Konstanz, Freiburg, Stuttgart, Heidelberg, Reutlingen und Pforzheim/Enzkreis. Die lokal tätigen Fachleute stehen den Praxistest-Haushalten zur Seite, unterstützen die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit und vermitteln Energieberatungen. Zudem organisierten sie zusammen mit Zukunft Altbau Infoveranstaltungen. „Diese Veranstaltungen waren mit durchschnittlich 60 Anwesenden sehr gut besucht“, zieht Frank Hettler, Leiter von Zukunft Altbau, ein positives Fazit.

### Realistische Einschätzung

Brennstoffzellen-Heizungen „nutzen das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK): Strom erzeugen und mit der dabei entstehenden Wärme heizen. (...) Die kleineren BHKW-Varianten, auch Nano-BHKW genannt, haben eine elektrische Leistung von rund einem Kilowatt und mit dem eingebau-

### Unsere Praxistest-Botschafter



„Wir wollen unseren Kunden innovative Lösungen anbieten. Die Brennstoffzelle ist da ein entscheidender Baustein.“  
**Frank Jäger, Handwerker**



„Die Brennstoffzellen-Heizung erzeugt immer Wärme und Strom – egal, ob die Sonne scheint oder der Wind weht.“  
**Tom Hennig, Handwerker**



„Die Brennstoffzelle ist ein Universalgenie im Heizungskeller.“  
**Dipl.-Ing. Harry Kaucher, Energieberater**


ten Zusatzbrenner eine Heizleistung von bis zu 20 Kilowatt.“ Dieses Zitat stammt aus einer der im Rahmen der Kampagne versendeten Presseinformationen. Es erklärt nicht nur die Brennstoffzellen-Heiztechnik, sondern unterstreicht auch die sachbezogene Ansprache.

Die Wirtschaftlichkeit der neuen Heiztechnik wird im Rahmen der Infokampagne positiv bewertet: „Die KfW fördert zum Beispiel bei einer elektrischen Leistung von 0,75 Kilowatt die Anlage mit 8.850 Euro. Hinzu kommt der KWK-Zuschlag vom örtlichen Netzbetreiber. Er liegt bei etwa 1.800 Euro. Die Brennstoffzellen-Heizung (...) kostet somit noch 6.000 bis 9.000 Euro mehr als vergleichbare Öl- und Erdgas-Bren-


nerheizungen. Allerdings besteht der Clou darin, dass diese Mehrinvestitionen teilweise wieder ausgeglichen werden. Damit können sich die Mehrkosten des Brennstoffzellen-BHKW stark verringern.“ Dennoch verwundert es bei diesen Zahlen nicht, dass „die Brennstoffzellen-Heizung noch nicht in der Allgemeinheit angekommen ist“, wie Frank Hettler feststellt. „Die meisten Brennstoffzellen-Besitzer bringen einen gewissen Idealismus mit“, so Hettler. Dennoch sind die Initiatoren sicher, dass „der Bekanntheitsgrad der Brennstoffzellen-Heizungen in Baden-Württemberg erheblich gesteigert“ werden konnte. Basisarbeit kann mühsam sein – aber sie scheint sich zu lohnen.

Screenshots aus der Startseite des Web-auftritts [www.praxistest-brennstoffzelle.de](http://www.praxistest-brennstoffzelle.de)


### Unsere Praxistest-Teilnehmer




(c) www.co2net.de / Daniel Schmitt/Kanga Design




(c) www.co2net.de / Alina Müller



(c) www.co2net.de / Daniel Schmitt/Kanga Design



(c) www.co2net.de / Daniel Schmitt/Kanga Design



**Vom Kohleofen zur Brennstoffzelle?**  
Heinrich Müllers Weg zur modernen Heiztechnik  
**Zum Portrait**

(c) www.co2net.de / Alina Müller



# Die Sonne im Tank

## Tankstelle mit solar erzeugtem Wasserstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge

Anfang September 2017 öffnete in Karlsruhe Deutschlands 33. und Baden-Württembergs zehnte Wasserstoff-Tankstelle ihre Zapfsäulen. Ganz neu: Ein Teil des Wasserstoffs wird per Hochtemperatur-Elektrolyse vor Ort mit dem Strom einer Solaranlage gewonnen. Den Pilotbetrieb begleitet das Europäische Institut für Energieforschung (EIFER).

### PROJEKT

Installation und Erprobung einer neuartigen Wasserstoff-Hochtemperatur-Elektrolyseanlage (SOEC) zur Herstellung und Speicherung von regenerativem Wasserstoff an einer Solar-Wasserstoff-Tankstelle in Karlsruhe  
 Laufzeit: 3/2016 bis 2/2018  
 European Institute for Energy Research (EIFER), Karlsruhe  
 Maxime Zeller  
 zeller@eifer.org  
 www.eifer.org

**R**echtzeitig zur Tankstellen-Eröffnung lieferte der Dresdner Hersteller Sunfire Ende August 2017 die Komponenten der Hochtemperatur-Elektrolyseanlage. Nach und nach gingen sie in Betrieb, Ende Februar 2018 erfolgte schließlich die Abnahme der gesamten Anlage durch EIFER. Seither werden alle Prozessschritte überprüft und optimiert. Die Testphase ist auf 5.000 Betriebsstunden angelegt. Sie beeinträchtigt den regulären Tankstellenbetrieb nicht, da der Großteil des Wasserstoffs konventionell erzeugt und von Tankzügen angeliefert wird.

### So funktioniert's

Die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erfordert elektrische oder thermische Energie. Die Hochtemperatur-Elektrolyse erzielt bei Temperaturen von bis zu 850 Grad hohe Wirkungsgrade. In Karlsruhe trägt Solarstrom zur Elektrolyse bei. Weitere Prozessschritte sind die Kühlung, Trocknung, Reinigung und Verdichtung des Was-

serstoffs, der schließlich bei zwölf bar Überdruck zwischengespeichert wird. Vor der Druckbetankung der Brennstoffzellen-Fahrzeuge bei bis zu 700 bar an der Zapfsäule wird der Wasserstoff mit Hilfe eines weiteren Kompressors vorverdichtet.

Das Forscherteam analysiert jeden Schritt. Insbesondere interessiert es EIFER, ob die Elektrolyse mit der schwankenden Solarstromerzeugung synchronisiert werden kann. Der Elektrolyseur ist parallel zur Solaranlage auch ans Stromnetz angeschlossen. Projektmitarbeiter Maxime Zeller erklärt: „So können wir über in die Steuerung einprogrammierte Fahrpläne verschiedene Stromproduktions-Szenarien simulieren.“ Neben dem Betrieb mit Solarstrom zeigen Simulationsrechnungen, wie die Elektrolyse mit Windstrom und den dabei auftretenden Schwankungen arbeiten würde. Projektleiterin Annabelle Brisse fasst zusammen: „Dieses Projekt ermöglicht EIFER, die Technologie der Dampf-Elektrolyse, die bereits seit mehre-

ren Jahren auf Zell- und Stackebene in unseren Laboren getestet und bewertet wurde, im Rahmen einer industriellen Anwendung zu untersuchen und weiterzuentwickeln.“

### Erste Ergebnisse

„Bisher haben wir schon über 2.500 Betriebsstunden im statischen Betrieb erreicht. Als nächstes stehen Flexibilitätstests für die Simulation von Solar- und Windprofilen an“, berichtet Zeller im Juni 2018. Die bisherigen Messungen führten zu zahlreichen Optimierungen. So beeinträchtigten anfangs Druckspitzen den stabilen Betrieb des Elektrolyseurs. Der Einbau eines zusätzlichen Pufferspeichers löste das Problem. Auch bei der Nachreinigung, die letzte Wasseranteile aus dem Produktgas entfernt, erzielte der Hersteller durch Modifizierungen der Anlage Verbesserungen. So naht das „solare Wasserstoffzeitalter“ in kleinen Schritten. Und irgendwann können Autofahrer vielleicht Sonne pur tanken.

Solarer Wasserstoff: Die Energieerzeugung der Zukunft ist in Karlsruhe Realität – zumindest im experimentellen Testbetrieb. Rechts: Eine zentrale Komponente im Verarbeitungsprozess: der Elektrolyseur



Bild: Daimler



Bild: EIFER

# Wie viel genau fließt in den Tank?

## Messgeräte-Prototyp für die Betankung mit Wasserstoff ist praxisreif

Viele Puzzleteilchen tragen zum Aufbau einer funktionierenden Wasserstoff-Infrastruktur bei. Ein nicht unwichtiges ist die zuverlässige, also eichfähige Messung der Wasserstoffmenge, die aus dem Tankstellen-Speicher in den Tank des Brennstoffzellen-Pkw fließt. An der Hochschule Offenburg wurde ein marktfähiger Prototyp entwickelt.

Ulrich Hochberg sieht das Ergebnis seines Projekts als wichtigen Schritt auf dem Weg zum mobilen Brennstoffzellen-Alltag: „Es wird in Zukunft möglich sein, Durchflussmessgeräte an Tankstellen auf ihre Genauigkeit zu überprüfen und zu eichen – eine Voraussetzung, um Wasserstofftankstellen kommerziell zu betreiben.“ Messgerät und Teststand könnten laut Hochberg nicht nur im Automobilsektor, sondern auch im Schiffs- und Bahnverkehr eingesetzt werden – überall, wo Wasserstoff mit einem Druck von bis zu 850 bar fließt.

Den Optimismus der Offenburger Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik unterstreichen die Aktivitäten des mit ihr kooperierenden Messgeräteherstellers Flow Instruments & Engineering aus Sölingen, der bereits die Vermarktung des Geräts angeht.

### Vom Muster zum Prototyp

In einem Vorprojekt hatte das Offenburger Forschungsteam bereits ein Funktionsmuster des Wasserstoff-Durchflussmessgeräts entwickelt. Das aktuelle Projekt brachte wesentliche Verbesserungen.

So erhöhten eine schnelle Elektronik sowie diverse Umbauten die Messgenauigkeit. Tests an der Wasserstofftankstelle am Fraunhofer ISE in Freiburg zeigten: Alle Messungen lagen deutlich innerhalb der von internationalen Normen geforderten 1-Prozent-Fehlergrenze. Zudem konnte die Anzahl

der Sensoren von fünf auf drei reduziert werden. Das bedeutet: weniger Bauraum, geringere Kosten, bessere Vermarktungschancen.

### Lizenz zum Messen

Ebenfalls aus dem Vorprojekt stammt der gravimetrische Teststand, der als Referenzmesssystem dient. „Wir mussten ihn bauen, um unser Durchflussmessgerät überhaupt hieb- und stichfest überprüfen zu können. Es gab bis dato kein gesetzlich zugelassenes System“, erzählt Ulrich Hochberg.

Auch dieser Teststand mit seinem gut 100 Liter fassenden Wasserstofftank nahm im Rahmen des Projekts wichtige Hürden: Der TÜV Süd zertifizierte alle Anforderungen in Sachen Betriebssicherheit. Und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), hierzulande die oberste Instanz, wenn es ums Messen geht, erteilte dem Teststand die Zulassung als „Eichnormal“ – die Lizenz zum Einsatz im gesetzlichen Messwesen.

Das 640 Kilogramm schwere Eichgerät erfasst die Masse des Wasserstofftanks vor und nach dem Tanken. Was so einfach klingt, braucht zahlreiche technische Detaillösungen, bis hin zum Erschütterungsschutz und der absolut waagerechten Ausrichtung. Auch hier untermauerten Feldtests an der Freiburger Wasserstoff-Tankstelle die Praxistauglichkeit.

### Auf dem Erfolgsweg?

Technisch und formal sind die Voraussetzungen geschaffen, um das

Puzzle „Wasserstoff-Infrastruktur“ um wichtige Teile zu ergänzen. Folgt auf den Erfolg der Forschung nun der gewerbliche Erfolg? Das wird vom weiteren Ausbau der Wasserstofftechnologie abhängen. Ein geeignetes Messgerät steht für den Markthochlauf jedenfalls zur Verfügung.

### PROJEKT

Weiterentwicklung eines Wasserstoff-Mengenmessgeräts vom Funktionsmuster zum eichfähigen Prototyp

Laufzeit: 12/2016 bis 12/2017  
Hochschule Offenburg,  
Fakultät für Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik  
Ulrich Hochberg  
ulrich.hochberg@hs-offenburg.de  
www.hs-offenburg.de



Der Teststand für die Referenzmessungen mit seinem 100-Liter-Wasserstofftank



Präzisionsarbeit: Düse zur Messung des Wasserstoff-Durchflusses, hier ohne die Sensorik

Bilder: Hochschule Offenburg





# Grüner Wasserstoff ohne Umwege

**Hat die großtechnische solare Wasserstoffherzeugung eine Chance?**

PV-Freiflächenanlagen liefern günstigen Strom für die Wasserstoffherzeugung.

Bild: Andreas Hermsdorf/Pixelio

Photovoltaik ist in Baden-Württemberg der wichtigste regenerative Energieträger – und der billigste. Das sind laut der Unigea Solar Projects GmbH die besten Voraussetzungen, Solarstrom für die direkte Wasserstoffproduktion zu nutzen. „Direkt“ heißt: ohne zwischengeschaltetes Stromnetz, ohne Wechselrichter und im großtechnischen Maßstab.

## PROJEKT

Planung und Machbarkeit für eine direkte solare Wasserstoffherzeugung für die Mobilität

Laufzeit: 12/2016 bis 12/2017

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)  
Christopher Voglstätter  
christopher.voglstaeetter@ise.fhg.de  
www.ise.fhg.de

## PARTNER

Unigea Solar Projects GmbH  
www.unigea-sp.com

**D**as Berliner Unternehmen Unigea projiziert große Freiflächen-Photovoltaikanlagen und forscht gleichzeitig an einer Technologie, um aus Solarstrom Wasserstoff herzustellen. Geschäftsführer Stefan Brabant ist überzeugt, dass solarer Wasserstoff auch in Baden-Württemberg ein sinnvoller Bestandteil der umweltfreundlichen Mobilität sein kann: „Hier sind für die großtechnische Wasserstoffherzeugung sowohl die Elektrolýsetechnik als auch günstiger regenerativ erzeugter Strom verfügbar“, so Brabant.

Gerade mal 4,33 Cent kostet eine Kilowattstunde Solarstrom aus Großanlagen (Stand 2/2018). „Wir möchten dieses Potenzial im Megawatt-Maßstab nutzen und nicht in kleinen, unwirtschaftlichen Demo-Anlagen“, formuliert der Unigea-Geschäftsführer sein ehrgeiziges Ziel. Technische und wirtschaftliche Lö-

sungen erarbeitet Unigea zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Der Clou der Unigea-Technologie ist die direkte Kopplung von Solarstromerzeugung und Wasserstoff-Elektrolýse, ohne Wechselrichter und Netzanschluss. Christopher Voglstätter vom Fraunhofer ISE nennt die Vorteile: „Der Umweg über einen Wechselrichter geht auf Kosten der Effizienz.“

## **Vorhandene Techniken – neu kombiniert**

Die technischen Komponenten einer solchen Anlage sind verfügbar. Daraus nun ein Konzept für die großtechnische Umsetzung zu konfigurieren, ist die Kernaufgabe der Projektbeteiligten. Da zum Beispiel nicht alle Teile mit Gleichstrom betrieben werden, könnte eine kleine Batterie mit Wechselrichter integriert werden. Getestet

wird auch, ob die Direktkopplung die Lebensdauer des Elektrolýseurs beeinträchtigt.

Zum wirtschaftlichen Betrieb gehört die Synchronisierung von Solarstrom- und Wasserstoffherzeugung: Welche Stromspeicher-Kapazitäten sind nötig, um die Nacht zu überbrücken? „Wir blicken nicht auf den maximalen PV-Stromertrag, sondern auf den maximalen Wasserstoffhertrag“, betont Christopher Voglstätter. Man müsse Wasserstoff-Verbrauchsprofile berücksichtigen. Außerdem werde geprüft, ob im Sommer zwei Elektrolýseure arbeiten sollten, im Winter dagegen nur einer.

Am Ende steht die Grobplanung der Anlage inklusive eines validierten Betriebskonzepts. Dann wird man sehen, ob in Baden-Württemberg vielleicht schon bald eine solare Wasserstoff-Fabrik gebaut werden kann.

# Praxistauglicher Abgastest

## Sensor zur Abgasüberwachung in Brennstoffzellen-Fahrzeugen

Aus dem Auspuff kommt nichts als Wasserdampf! Damit dies kein leeres Versprechen der Hersteller bleibt, sollen Sensoren messen, dass sich kein Wasserstoff im Abgas von Brennstoffzellen-Fahrzeugen befindet. Abgasmessung – ein Thema mit einer gewissen Schärfe. Dem wird das Projektkürzel gerecht: „WASABI“, genau wie der feurige japanische Meerrettich.

**D**er sichere Umgang mit Wasserstoff ist Voraussetzung für den Erfolg von Wasserstofftechnologien. Im Abgas von Brennstoffzellen-Fahrzeugen hat der in der Luft ab vier Volumenprozent zündfähige und ab 18 explosive Wasserstoff nichts zu suchen. Deshalb fordert eine ISO-Norm den Nachweis einer 0,4-prozentigen Wasserstoffkonzentration innerhalb von drei Sekunden nach Messbeginn. Eine klare Vorgabe für die beiden Projektpartner bei der Entwicklung eines neuartigen Wasserstoffsensors. Denn die bisher erhältlichen Sensoren erwiesen sich als nicht zuverlässig genug und zu teuer für den Alltagseinsatz.

### Zuverlässig auch bei Minusgraden

„Auch bei unter null Grad und bei Kondenswasserbildung im Sensorgehäuse muss das Messgerät zuverlässig arbeiten“, nennt Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) weitere Herausforderungen. Bei der Entwicklung eines Messgeräts setzten die beiden Forschergruppen bei der Wärmeleitfähigkeit an. Hier unterscheidet sich Wasserstoff deutlich von allen anderen Gasen. „Ändert sich die Gaszusammensetzung, ändert sich auch die Wärmeleitfähigkeit des Mediums und damit die Temperatur“, erläutert IPM-Forscher Wöllenstein das Prinzip des siliziumbasierten Wärmeleitfähigkeitssensors. Arbeitsschwerpunkt des Instituts für Mikrosystemtechnik (IMTEK) an der

Universität Freiburg war die Entwicklung eines Wasserabscheiders, der den Sensor vor Tauwasser schützt. Diese „Kühlfalle“ besteht aus einem Kupferblock, einer strombasierten Kühlung sowie einem Lüfter. Sie entzieht dem Abgas den Wasserdampf, so dass an den Sensor nur trockenes Gas gelangt. „Wir haben den Sensor oben im Gehäuse des Wasserabscheiders montiert. An der darunter liegenden gekühlten Kupferoberfläche kondensiert der Wasserdampf und läuft nach unten durch eine Bohrung ab“, beschreibt Prof. Dr. Jürgen Wilde vom IMTEK das Funktionsprinzip. Eine Wendel vergrößert die Oberfläche. Wichtig für die sichere Anwendung: Der Sensor mit dem Peltierelement lässt sich nicht nur um 25 Grad gegenüber der Umgebung abkühlen, sondern bei Bedarf auch aufheizen.

### Vom Labor in den Straßenverkehr

Mit diesem Versuchsaufbau konnten die Forscherteams im Labor verschiedene Situationen aus dem späteren Betriebsalltag des Sensors nachstellen: verschiedene Temperaturniveaus, verschiedene Druckverhältnisse, Fließgeschwindigkeiten und Zusammensetzungen des Abgasstroms. Schließlich entwickelte das Fraunhofer IPM eine Auswertelektronik nebst Software, mit deren Hilfe die gemessene Wasserstoffkonzentration digital angezeigt wird. Die Projektleiter der beteiligten Institute freuen sich über die erzielten Erfolge: „Wir konnten den Einfluss

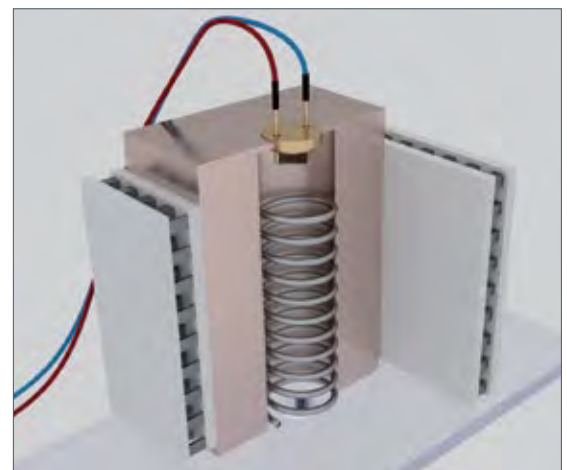
der Luftfeuchte auf den Sensor minimieren und die Vereisung der Sensorik verhindern. Die Verwendung von Silizium-Mikrosystemtechnik erlaubt eine kostengünstige Produktion in großen Stückzahlen. Wir haben damit die Ziele des Projekts erreicht.“ Auch die ersten Erprobungen in Fahrzeugen zeigten positive Ergebnisse. Weitere Tests und Anpassungen werden folgen – bis schließlich das marktfähige Produkt vorliegt.

### PROJEKT

Miniaturisierter Wasserstoffsensoren zur Abgasüberwachung in Brennstoffzellen – WASABI  
 Laufzeit: 12/2016 bis 12/2017  
 Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM)  
 Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein  
 juergen.woellenstein@ipm.fraunhofer.de  
 www.ipm.fraunhofer.de  
 Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK)  
 Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilde  
 juergen.wilde@imtek.uni-freiburg.de  
 www.imtek.de



Vier mal vier Millimeter misst der am Fraunhofer IPM konstruierte Sensor.



Oben im Wasserabscheider sitzt der Sensor, das in der „Kühlfalle“ kondensierende Wasser läuft nach unten ab.

Bilder: Fraunhofer IPM



# Wasserstoff aus Windenergie

## Über den Energieträger Wasserstoff könnte Windkraft Raketen antreiben

Im Wald von Lampoldshausen entsteht ein Stück Energiezukunft. Am Standort des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) 60 Kilometer nördlich von Stuttgart bauen das DLR und die ZEAG Energie AG ein vernetztes Energiesystem auf Basis von Wasserstoff auf. Ein Teilprojekt: die Wasserstoffherzeugung aus Windkraft.

### PROJEKT

Regenerative Wasserstoffherzeugung beim DLR Lampoldshausen

Laufzeit: 9/2014 bis 12/2017

DLR-Institut für Raumfahrtantriebe

Thorben Andersen  
thorben.andersen@dlr.de  
www.dlr.de

ZEAG Energie AG

Claus Flore  
claus.flore@zeag-energie.de  
www.zeag-energie.de

**S**ektorenkopplung ist das Gebot der Stunde: Wie lassen sich Strom- und Wärmesektor verknüpfen, wie Energiewirtschaft und Mobilität? Was im Einfamilienhaus mit Photovoltaikanlage, Wärmepumpenheizung und Elektroauto funktioniert, wird am DLR im Megawattmaßstab gebaut. Hier heißen die Eckpfeiler Windkraft, Elektrolyse und Wasserstoffnutzung. Bindeglied ist Wasserstoff als Energieträger.

### Nachbarschaft von Wind und Wasserstoff

Am DLR werden seit über 50 Jahren Raumfahrtantriebe getestet. Und da Wasserstoff zu den wichtigsten Antriebsmitteln gehört, haben sich hier maximales Know-how und bestens ausgebaute Wasserstoff-Anlagentechnik etabliert. Synergien zwischen der DLR-Wasserstoffinfrastruktur und dem benachbarten,

vom regionalen Energieversorger ZEAG betriebenen Windpark werden bereits seit 2013 mit der Forschungsplattform „H<sub>2</sub>ORIZON“ genutzt. Die aktuellen Teilprojekte befassen sich mit der Wasserstoffherzeugung aus Windstrom sowie dessen Bereitstellung für die Brennstoffzellen- bzw. Wasserstoff-Mobilität – wozu neben Brennstoffzellen-Fahrzeugen auch Busse und Züge gehören.



Am DLR-Standort bei Lampoldshausen befinden sich Energie- und Forschungs-Infrastruktur direkt vor Ort.

Bild: DLR

Zum Redaktionsschluss dieses Beitrags im Sommer 2018 waren die Bauarbeiten zur Errichtung der Wasserstoffanlagen in vollem Gang, die Rohbauten fertiggestellt. Die Wasserstoffherzeugung soll im ersten Quartal 2019 den Betrieb aufnehmen.

**„Power-to-Hydrogen“**

Mit 18 Windrädern und einer Nennleistung von 54 Megawatt ist der Windpark „Harthäuser Wald“ derzeit der größte in Baden-Württemberg. An eines der Windräder ist der Elektrolyseur zur Wasserstoffherzeugung angeschlossen. Im Elektrolyseur wird unter Zufuhr von regenerativ erzeugtem Überschussstrom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Für den auf höchste Reinheit aufbereiteten Wasserstoff sind unterschied-

liche Einsatzzwecke vorgesehen:

- Auf 350 bar verdichtet und in spezielle Transportfahrzeuge abgefüllt, kann der Wasserstoff an regionale Industriebetriebe oder Wasserstoff-Tankstellen geliefert werden.
- Darüber hinaus kann er Erdgas beigemischt werden, das in direkt angebundenen Blockheizkraftwerken (BHKW) verfeuert wird. Durch Kraft-Wärme-Kopplung entstehen Strom und nutzbare Wärme.
- Ebenso möglich ist schließlich auch die Nutzung von Wasserstoff als Raketentreibstoff auf den DLR-Prüfständen.

**Virtuelles Kraftwerk**

Die Akteure von DLR und ZEAG erhoffen sich von jeder Prozessstu-

fe wichtige Erfahrungen: Wie kann etwa die schwankende Windstromproduktion in eine geregelte Wasserstoff-Elektrolyse kanalisiert werden? Oder: Wie wirken sich unterschiedliche Erdgas-Wasserstoff-Mischungen auf die BHKW-Effizienz aus? Um diese und viele weitere Fragen zu beantworten, wird die gesamte Technik als virtuelles Kraftwerk betrachtet und dauerhaft über ein Leitsystem mit Online-Fernwartungsmöglichkeit überwacht. Geht es nach den Projektverantwortlichen, wird Lampoldshausen in naher Zukunft zum wahren Wasserstoff-Mekka – mit allen technischen und konzeptionellen Möglichkeiten zur Erforschung, Entwicklung, Demonstration und Validierung der zukünftigen Anwendungen dieses leistungsfähigen Energieträgers.

Schema des vernetzten Energiesystems. Basis ist die Erzeugung von Wasserstoff aus Windstrom

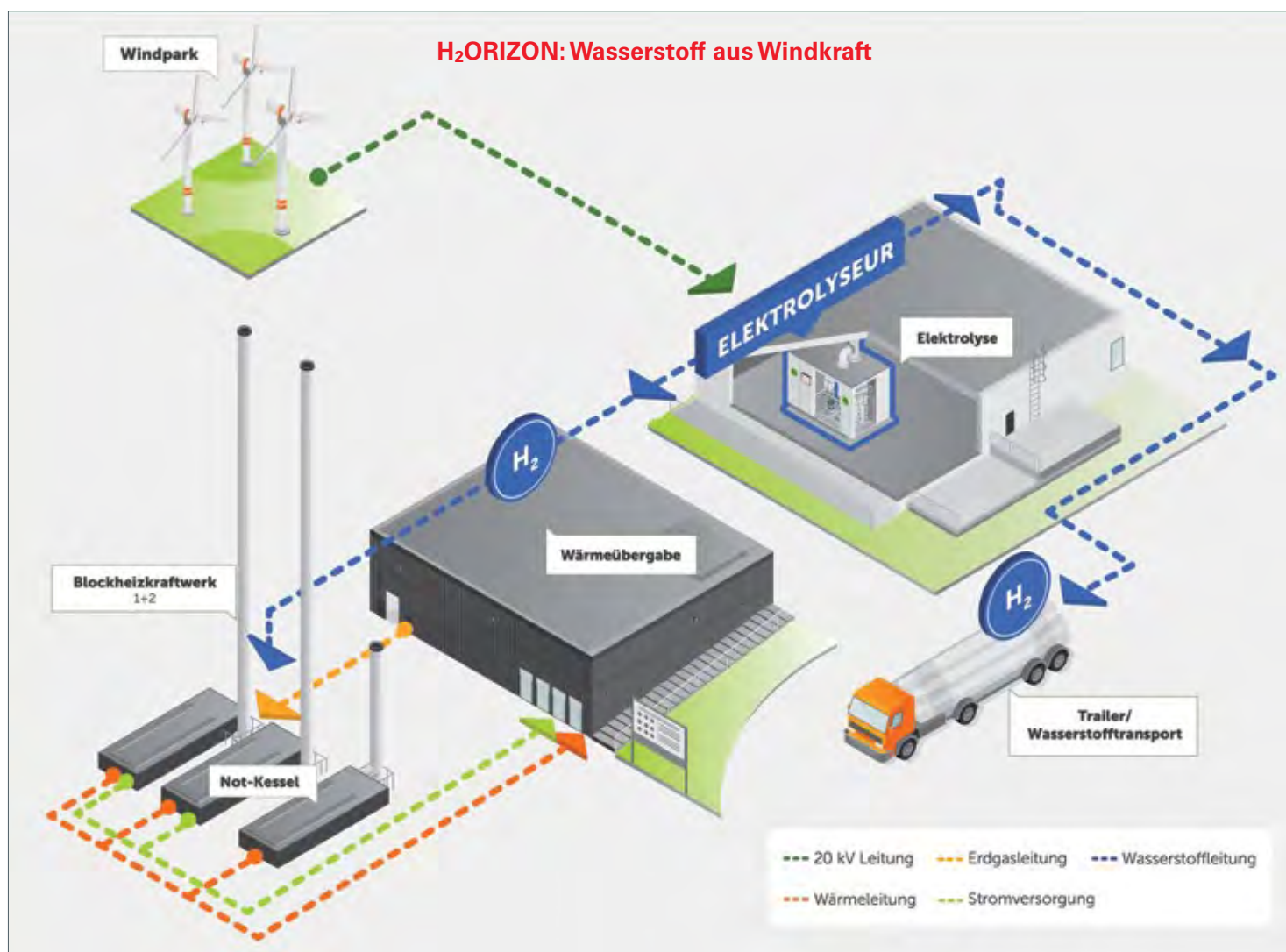


Bild: DLR





# Wasserstoff-Region Ulm

## Dezentrale Nutzung erneuerbarer Energien statt Netzausbau?

Erneuerbare Energien von der Nordsee für den Süden der Republik? Der Netzausbau, der für den Stromtransport notwendig wäre, ist teuer, umstritten und langwierig. Da liegt es nahe, zunächst die regionalen Potenziale der Erneuerbaren zu prüfen. Eine Studie hat untersucht, ob und wie dies in der Region Ulm machbar wäre.

Das Laufwasserkraftwerk Böfingener Halde mit einer Spitzenleistung von 8.800 Megawatt wäre der passende Standort für die regenerative Wasserstoff-erzeugung bei Ulm.

Bild: SWU Stadtwerke Ulm/ Neu-Ulm GmbH

### PROJEKT

Regionale, netzunabhängige Nutzung Erneuerbarer Energien  
 Laufzeit: 12/2016 bis 6/2017  
 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW)  
 Ludwig Jörissen  
 ludwig.joerissen@zsw-bw.de  
 www.zsw-bw.de

**F**ür Ludwig Jörissen, den Projektleiter am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) in Ulm, liegt der Schlüssel des Erfolgs beim Energieträger Wasserstoff. Seine Argumente: Die kurzzeitige Stromspeicherung in Batterien und der Verkauf in Spitzenlastzeiten seien für Energieversorgungsunternehmen nicht lukrativ. „Die Erlössituation für regenerativen Strom ist derzeit durch den Wegfall von Fördergeldern nicht vorteilhaft“, so Jörissen. Zudem sei in Zukunft die Langzeit-Speicherung wichtig, um sommerliche Überschüsse auch im Winter nutzbar zu machen. Denn immer mehr Heizwärme in privaten Haushalten sowie industrielle Prozesswärme werde über den Energieträger Strom erzeugt.

### Wasserstoff als Erfolgsgarant

Die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse eröffnet laut Jö-

rissen „neue Perspektiven“ in drei Bereichen:

- Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellen-Antriebe in Pkw und Nutzfahrzeugen, Bussen und Schienenfahrzeugen auf Strecken ohne Oberleitung,
- Wasserstoff als Rohstoff – direkter regionaler Einsatz in Forschung und Industrie,
- Wasserstoff als Energiespeicher – direkte Rückverstromung in Brennstoffzellen-Anlagen: Per Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) lassen sich auf diese Weise gleichzeitig Strom und Nutzwärme erzeugen.

Um dieses Konzept nun auf die Region Ulm zu übertragen, müssen Antworten auf die folgenden Fragen gefunden werden: Wie steht es um die Gewinnung von regenerativ erzeugtem Strom? Wie viel Wasserstoff könnte daraus gewonnen werden? Und wie könnten Energieversorger den Wasserstoff in der Region gewinnbringend verkaufen?

### Wasserkraft statt Sonnenenergie

Das ZSW hat analysiert, dass Photovoltaikanlagen die für die Wasserstoff-erzeugung nötigen Stromüberschüsse in der Region nicht bereitstellen könnten. Selbst bei einem maximalen Ausbau von Hausdach- und Freiflächenanlagen sei nur kurzzeitig mit Überschüssen zu rechnen. Auch die Windkraft biete in Ulm und Umgebung nicht das nötige Potenzial.

Einen Ausweg aus dem Erzeugung-Engpass weist das Laufwasserkraftwerk Böfingener Halde. Es zieht aus den sieben Metern Fallhöhe des Donauwassers eine Spitzenleistung von 8.800 Megawatt Strom. Knapp 50 Millionen Kilowattstunden erzeugt das Kraftwerk im Schnitt jedes Jahr – das entspricht dem Jahresverbrauch von rund 10.000 Haushalten. Wichtig für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen des ZSW: Der regenerativ erzeugte Strom wird nur zu einem

sehr geringen Anteil nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet.

### Wasserstoff aus regionaler Erzeugung

Im Rahmen der ZSW-Studie wurde geprüft, ob die Umwandlung von Wasserkraft in Wasserstoff wirtschaftlich lukrativ sein könnte. Dabei ging das Forschungsteam vom Betrieb eines 1-Megawatt-Elektrolyseurs direkt am Standort des Wasserkraftwerks aus. Mit Hilfe von Strom aus der Donau könnten täglich 430 Kilogramm Wasserstoff erzeugt werden.

„Das ist mehr Wasserstoff, als derzeit in der Region Ulm gebraucht wird“, gibt Projektleiter Jörissen zu. Ausbaupotenziale sieht er insbesondere im Bereich der Mobilität. Denn Forschung und Industrie in der Region werden auch in naher Zukunft keine derartigen Wasserstoff-Mengen nachfragen. Und die Einspeisung ins Erdgasnetz verspricht bei der derzeitigen Verfügbarkeit von billigem Erdgas und den dadurch erzielbaren Preisen auf dem Energiemarkt keine lohnenden Erlöse.

### Wirtschaftlichkeit

Unter Einbeziehung aller Investitions- und Betriebskosten kostet die Erzeugung von einem Kilogramm Wasserstoff nach den ZSW-Berechnungen weniger als fünf Euro. Dies gilt aber nur, wenn der Elektrolyseur direkt am Wasserkraftwerk steht und keine Netznutzungsentgelte und andere Umlagen anfallen. Stünde die Anlage an einer Wasserstoff-Tankstelle oder beim Busdepot des regionalen ÖPNV-Unternehmens, fielen Umlagen an – der Preis könnte nicht gehalten werden. Der Wasserstofftransport per Lkw zu den Abnehmern fällt dagegen weniger ins Gewicht.

Den Erzeugungskosten steht ein Verkaufspreis von 9,50 Euro/kg Wasserstoff gegenüber, der zur-

zeit bundesweit an allen Wasserstoff-Tankstellen verlangt wird. Damit wäre die regionale Wasserstoff-erzeugung wirtschaftlich möglich. Sinken jedoch die Verkaufspreise, hätte es regenerativ erzeugter Wasserstoff schwer, sich gegen „grauen“, in Großanlagen aus Erdgas hergestellten Wasserstoff zu behaupten. Würden dagegen zukünftig emissionsfreie Kraftstoffe gefördert, käme dies der Wirtschaftlichkeit des „Wasserstoffs aus der Donau“ entgegen.

### Überzeugungsarbeit

Wie steht die Bevölkerung zum Ausbau der Wasserstoffwirtschaft? Grundsätzlich wird der Ausbau regenerativer Energietechniken auch in der Region Ulm begrüßt. Wichtig für die Akzeptanz der innovativen Technik: Solche Anlagen arbeiten seit Jahren ohne nennenswerte Zwischenfälle.

Bei den zukünftigen Wasserstoff-Kunden ist Überzeugungsarbeit nötig. Das ZSW-Konzept basiert auf einer wachsenden Wasserstoff-Nachfrage im Mobilitätssektor. So

könnten beispielsweise die Busflotten in der Region vom Diesel- auf den Wasserstoffantrieb umgestellt werden. Ein gutes Vorbild hierfür liefern die Stadtwerke Wuppertal. Der ÖPNV-Anbieter steht einem Konsortium vor, das bereits 60 Brennstoffzellen-Busse in Betrieb hat.

Ludwig Jörissen sieht in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen eine gute Grundlage, um der Diskussion neuen Schub zu verleihen. Grundsätzlich – so das Fazit der Studie – besitze die Region Ulm das Potenzial zum Ausbau in eine Wasserstoffregion. Nun sieht Jörissen auch die Politik gefordert: „Zielvorgaben für öffentliche Ausschreibungen und die Förderung des emissionsfreien Verkehrs müssten den Einstieg in die Elektromobilität mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen im ÖPNV beschleunigen“, so der Projektleiter.

Zurzeit führt das ZSW Gespräche mit Akteuren vor Ort, um ein Demonstrationsprojekt zum Einsatz der Wasserstofftechnologie zu initiieren – und um die dafür nötigen Fördermittel zu akquirieren.

Solarpark bei Singen am Hohentwiel. In und um Ulm lassen sich laut der Studie allein aus PV-Anlagen nicht die für die Wasserstoffproduktion notwendigen Stromüberschüsse erzielen.

Bild: Designconnection





# Forschung mit Tiefgang

## Welche Energie-Potenziale schlummern unter der Erdoberfläche?

Dass in der Tiefe große Energie-Reservoirs schlummern, ist bekannt. Zu wenig weiß man dagegen von den geologischen, physikalischen und chemischen Vorgängen zwei, drei oder fünf Kilometer unter der Erdoberfläche. Doch dieses Wissen entscheidet über die Wirtschaftlichkeit und Kontrolle geothermischer Nutzungen. Und damit auch über deren öffentliche Akzeptanz.

### PROJEKT

LFZG Verbundvorhaben  
Tiefengeothermie: Reservoir-  
Charakterisierung und Monitoring  
TG-Charming  
Laufzeit: 1/2017 bis 12/2018  
KIT, Institut für Angewandte  
Geowissenschaften, Abteilung  
Geothermie  
Prof. Dr. Thomas Kohl  
thomas.kohl@kit.edu  
www.agw.kit.edu

### PARTNER

Hochschule Offenburg,  
Fakultät für Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik  
Universität Stuttgart,  
Institut für Geophysik  
Universität Freiburg, Institut  
für Geowissenschaften –  
Mineralogie – Geochemie  
European Institute for Energy  
Research (EIFER), Karlsruhe  
KIT, Institut für Nukleare  
Entsorgung

**D**ass der Blick der Forschungs-teams nicht nur in die Tiefe gerichtet ist, zeigt das erste der sieben Arbeitspakete des Verbundprojekts „TG-Charming“: Die Hochschule Offenburg erstellt ein Konzept zur besseren Nutzung von Wissensplattformen und sozialen Medien durch alle, die sich für Tiefengeothermie interessieren. Flankierend zur Webseite des Landesforschungszentrums Geothermie (LFZG, [www.lfzg.de](http://www.lfzg.de)) sollen bis zum Projektende diverse Online-Kanäle gruppiert werden. Bei entsprechender finanzieller und damit personeller Ausstattung könnte in einer zweiten Stufe eine Präsenz in den sozialen Medien entwickelt werden. Ziel ist, die Öffentlichkeitsarbeit in der Geothermieforschung auszubauen und Interessenten einen Zugang zu aktuellen Aktivitäten, Forschungsergebnissen, Informationen und Veranstaltungen des LFZG zu bieten. Nicht nur die öffentliche Akzeptanz ist bei der Realisierung von

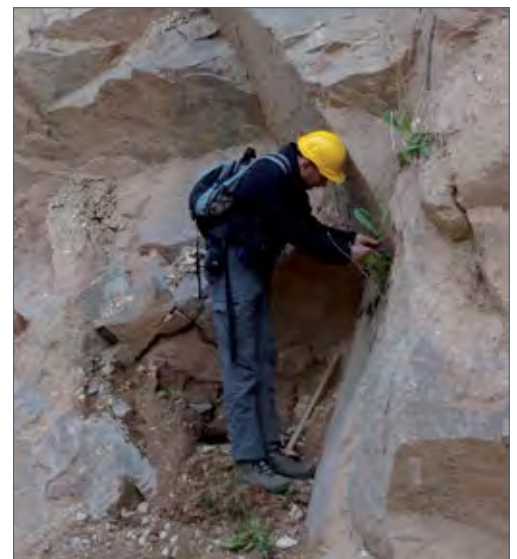
Geothermieprojekten relevant, sondern auch ihr wirtschaftlicher Betrieb. Dabei gilt: Je mehr und je heißeres Wasser gefördert werden kann, desto besser. Temperatur und Menge wiederum hängen von den geologischen Verhältnissen ab: In günstig orientierten Störungszonen kann sich Thermalwasser sammeln und ein geothermisches Reservoir bilden. Welche chemischen Prozesse löst das Thermalwasser aus? Welche mechanischen Vorgänge resultieren aus den Druckverhältnissen? Die Untersuchung solcher Zusammenhänge bildet, kurz gesagt, die Agenda von TG-Charming.

### Erdbeben-Überwachung

Die Akzeptanz der Tiefengeothermie steht und fällt mit der Kontrolle über die induzierte, also durch Förderaktivitäten verursachte Seismizität (Erdbeben-tätigkeit). Dabei dient die obligatorische Überwachung der natürlichen und induzierten Seismizität von

Geothermiestandorten nicht nur dem Nachweis des sicheren Betriebs einer Bohrung, sondern auch der Abbildung der relevanten Strukturen des geothermischen Reservoirs. Im mittleren Schwarzwald betreiben die Universität Stuttgart und das KIT in einem ehemaligen Bergwerk das „Black Forest Observatory“ (BFO). Das BFO gilt hinsichtlich der Stör-signale durch menschliche Aktivitäten als die ruhigste Station Deutschlands. Hier zeichnet das Institut für Geophysik der Universität Stuttgart seit April 2015 mit hochempfindlichen Messgeräten alle, auch kleinste seismische Aktivitäten auf. Seit der Erschließung des Geothermiestandorts Rittershoffen im Elsaß hat das aus 15 Seismik-Stationen bestehende Netzwerk nur wenige, nicht spürbare Mikro-Erdbeben registriert. Zur besseren Lokalisierung natürlicher und induzierter Mikro-Seismizität entwickelte das Forschungsteam mit Hilfe synthe-

In einem Steinbruch im Südschwarzwald untersuchen Geologen Störungsflächen, um die Ergebnisse aus dem Digitalen Geländemodell zu überprüfen.



Bilder: Jörg Meixner

tischer Datensätze neue Methoden. Sie erzielten damit nach eigener Aussage im Vergleich zu den bisherigen Standardmethoden wesentlich genauere Resultate.

**Geologie im Gelände und am Computer**

Geologische Forschung findet zunehmend am Computer statt. Das zeigt die Auswertung eines digitalen Geländemodells vom Kaiserstuhl. Solche Modelle bilden die Landoberfläche ohne die Einflüsse von Gebäuden und der Vegetation sehr präzise ab.

Aus den Strukturen an der Erdoberfläche schließen die Fachleute auf unterirdische Störungen oder Klüfte. Geländeuntersuchungen wie auf den Bildern links helfen dabei.

Auch bei diesen Analysen geht es letztlich um die Entwicklung von Methoden, um geothermisch interessante Störungs- und Kluftzonen zu identifizieren – also solche, in denen heißes Wasser nach oben dringt. Ergibt sich aus der Geologie die Vermutung auf ein Energie-Reservoir, kann im nächsten Schritt dessen weitergehende Exploration erfolgen.

**Reaktionstests**

Zwischen dem heißen Wasser in den Reservoiren und dem umgebenden Gestein gibt es Wechselwirkungen: Chemische Reaktionen lösen Minerale ganz oder teilweise auf und fällen andere aus. Mit der Zeit verändern sich die Durchlässigkeit und das Speichervermögen eines geothermischen Reservoirs.

Die chemischen Reaktionen werden experimentell untersucht, wobei das Forschungsteam den Bedingungen im Reservoir mit Hilfe spezieller Laborausrüstungen möglichst nahe kommen will: Zwei Hochdruckreaktoren arbeiten bei Temperaturen von 200 Grad Celsius, wie sie zum Beispiel auch in fünf Kilometern Tiefe am Geothermiestandort Soultz-sous-

Forêts herrschen. Manches Experiment zieht sich aufgrund der Trägheit der Reaktionen über 100 Tage hin. Die Ergebnisse lassen Schlüsse auf die chemischen Langzeitprozesse im Energie-Reservoir zu – und damit auch auf die langfristige wirtschaftliche Nutzung.

**Learning by modelling**

Die komplexen Wechselwirkungen der Prozesse in den geothermischen Reservoiren können in der Regel nur durch mathematische Modelle bewertet werden. Im Rahmen des Projekts wird ein neuartiges Rechentool zur Simulation der Vorgänge in einem Bohrloch weiterentwickelt, das thermische, hydraulische, mechanische und chemische Prozesse koppelt. Dieser Bohrlochsimulator bildet Drücke bis 1.000 bar und Temperaturen bis 375 Grad Celsius ab – und somit die in den meisten Geothermieprojekten herrschenden Bedingungen.

Ebenfalls noch modellhaft sind die Untersuchungen zum geothermischen Potenzial unter dem KIT Campus Nord (siehe Graphik). Die Wärme-Grundlast der Campus-Gebäude soll künftig mittels geothermischer Tiefenwärme und anderer regenerativer Quellen gedeckt werden.

Hintergrund dieses Vorhabens ist die größte in Deutschland bekannte Temperaturanomalie unter dem Campus: In nur zwei Kilometern Tiefe herrschen bereits weit über 100 Grad Celsius, normal wären rund 70 Grad. Zudem besteht zwischen den Campus-Gebäuden bereits ein Nahwärmenetz. Im Sommer könnte Überschusswärme in ein mehrere hundert Meter tief liegendes Reservoir injiziert, dort gespeichert und im Winter wieder gefördert werden.

Das geologische Untergrundmodell für den KIT Campus Nord ist deshalb ein wichtiger methodischer Baustein für die nachhaltige Energieversorgung dieses Standorts. Und für das Verbundprojekt TG-Charming ist es ein zentrales Puzzlestück bei der Entwicklung von Methoden zur Abschätzung des energetischen Potenzials unterirdischer Energie-Reservoirs.

Wärme und Strom aus der Tiefe, Wärmespeicherung in der Tiefe: Unter dem KIT Campus Nord sind die Potenziale dafür besonders hoch.

Graphik: Jörg Meixner





# Die Mischung macht's

## Das dichte Verfüllen soll Sondenbohrungen noch sicherer machen

Seit im Oktober 2011 in Baden-Württemberg die „Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden“ eingeführt wurden, traten in der Folge von Bohrungen keine gravierenden Schäden mehr auf. Beispielsweise sind Bohrungen im Anhydrit seither nicht mehr zulässig. Dennoch ist die ausreichende Qualitätssicherung weiterhin ein Gebot der Stunde, wenn die oberflächennahe Geothermie ihre ökologischen Potenziale nutzen will. Es besteht also nach wie vor Forschungsbedarf.

**V**ier Institute sind an dem Verbundvorhaben „EWS-tech II“ beteiligt. Sie haben ihr umfangreiches Forschungspensum in zahlreiche Arbeitspakete aufgeteilt. Gemeinsames Ziel: Sie wollen verstehen, wie es – insbesondere beim Durchbohren von Grundwasserstockwerken – zu Undichtigkeiten im Bohrloch kommen kann. Und sie wollen Maßnahmen entwickeln, wie diese Risiken weiter minimiert und noch besser kontrolliert werden können. Denn dringt Wasser ins Bohrloch ein, kann es zur Verbindung verschiedener Grundwasserschichten mit unterschiedlichen Druck-

verhältnissen kommen. Oder das Wasser kommt mit quellfähigen Gesteinsschichten wie dem Gipskeuper in Berührung. Die Folgen können Lösungsprozesse, Hohlraumbildungen und Hebungs- oder Sackungerscheinungen sein, die sich bis an die Erdoberfläche fortsetzen.

### Diverse Versuchsaufbauten

Die Forschungsteams bilden im Rahmen ihrer Arbeiten Vorgänge oberirdisch ab, die sich normalerweise tief unter der Erdoberfläche abspielen. So können sie bei Tageslicht und in natura auf das schauen, was sich normalerweise den Bli-

cken verbirgt: auf die Verfüllung der Bohrungen mit unterschiedlichen Materialien, auf den Aushärtungsvorgang dieser Verfüllungen und insbesondere auf den Einfluss von Wasser auf die Verfüllungen. Und so ging es am KIT in Karlsruhe bei der versuchstechnischen Nachbildung von Grundwasserleitern nicht in die Tiefe, sondern mit Hilfe einer Scherenbühne bis zu 13 Meter in die Höhe. Auf diese Weise konnte fließendes Grundwasser mit verschiedenen Drücken und Volumenströmen simuliert werden (siehe Bilder rechts). Im Bohrlochsimulator ließ sich dann

#### PROJEKT

EWS-tech II: Entwicklung überprüfbarer Qualitätskriterien für Erdwärmesonden-Verfüllungen unter realitätsnahen Randbedingungen

Laufzeit: 4/2016 bis 12/2019

Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme  
Mathieu Riegger  
riegger@solites.de  
www.solites.de

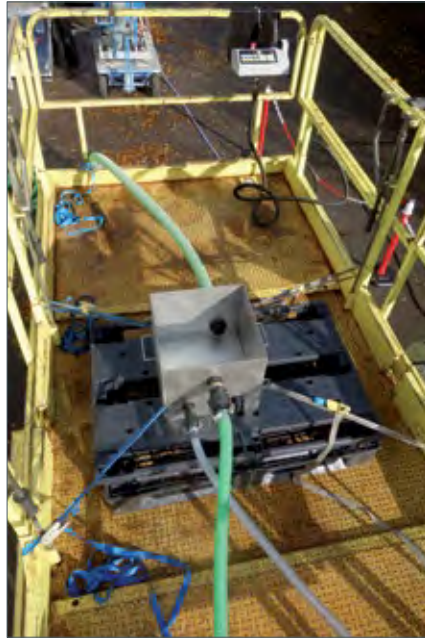
#### PARTNER

KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften  
KIT, Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (MPA), Karlsruhe  
European Institute for Energy Research (EIFER), Karlsruhe

Die Verfüllmaterialien werden exakt nach den im Verbund entwickelten Rezepturen angemischt.

Bild: Solites





der Einfluss der Grundwasserströme auf verschiedene eigens entwickelte Verfüllmaterialien abbilden.

### Vier Rezepturen im Test

Zement, Quarzmehl, Quarzsand, Magnetit, Wasser, Fließmittel und Stabilisatoren: Das sind die Zutaten, aus denen die Forscherinnen und Forscher vier Verfüllmaterialmischungen kreierten. Gesucht ist ein Optimum, das sich zum einen gut verarbeiten lässt, sich aber gleichzeitig beim Einbringen durch eine möglichst geringe Entmischung der gröberen und feineren Grundbestandteile auszeichnet.

Die Versuche mit den mal dünn-, mal dickflüssigeren Material-Mituren waren zum Redaktionsschluss Ende 2018 noch nicht abgeschlossen. So viel ist aber schon klar: Die Versuchsaufbauten funktionieren, ebenso die eingesetzte Messtechnik.

### Messen mit Magneten

Einen wichtigen Zusatznutzen erhalten die Verfüllmaterialien durch ihre magnetische Dotierung. Darunter versteht man den Einbau magnetisierbarer Partikel in den Materialverbund. Ziel dieser Magnetisierung ist, mit geeigneten Sonden den Vorgang der Abdichtung

messen und damit überwachen zu können. Auch eine nachträgliche Messung der Qualität bestehender Verfüllungen wäre damit möglich. Im Forschungs-Fokus stand unter anderem die Langzeitstabilität des magnetischen Signals in den dotierten Verfüll-Baustoffen. Das (vorläufige) Ergebnis: In beiden untersuchten Materialmischungen bleibt das magnetische Signal über den bisherigen, knapp 300 Tage dauernden Messzeitraum stabil.

Das heißt: Werden Verfüllmaterialien magnetisch dotiert, können ihre physikalischen Eigenschaften auch noch nach ihrer Aushärtung überwacht und gemessen werden.

### Problemgestein Gipskeuper

Ein eigenes Arbeitspaket widmet sich speziell dem Problemfall Gipskeuper. Grund sind die Schadensfälle, die auf Prozesse in dieser überall im südwestdeutschen Schichtstufenland vorkommenden geologischen Schicht zurückgeführt werden können. Wenn Wasser – zum Beispiel durch Anbohren einer Grundwasserschicht im Zuge einer Sondenbohrung – in den Gipskeuper gelangt, dann reagiert der im Gestein enthaltene Anhydrit zu Gips und quillt auf. Die darüber

lagernden Schichten werden angehoben. Das setzt sich bis zur Erdoberfläche fort – mit den bekannten Folgeschäden an Bauwerken. Wie verhalten sich nun die entwickelten Verfüllmaterialien speziell im Anhydrit? Auf diese Frage können die Forscherinnen und Forscher noch keine abschließende Antwort geben, denn die bisherigen Messungen lassen noch keinen eindeutigen Trend erkennen.

### Ziel: Empfehlungskatalog

Auch wenn handfeste Ergebnisse zum Teil noch auf sich warten lassen: Bis Ende 2019 sollen die vielfältigen Untersuchungen im Rahmen von „EWS-tech II“ in einem Empfehlungskatalog zusammengeführt werden. Dieser Katalog wird alle Anforderungen zusammenfassen, die an die Qualität der Verfüllbaustoffe von Erdwärmesonden zu stellen sind.

Werden zukünftige Sondenbohrungen den Empfehlungen dieser „Qualitätsrichtlinie“ folgen, dann wird sich die Schadensanfälligkeit der Bohr- und Verfülltechnik weiter verringern. Auch die Akzeptanz in der Bevölkerung für die dahinter stehende erneuerbare Energieerzeugung aus Erdwärme sollte dann wieder steigen.

Im Technikum des KIT in Karlsruhe wird der Grundwassereinfluss auf die Bohrlochverfüllung nachgebaut. Die Plattform erlaubt eine bis zu 13 Meter hohe Wassersäule des nachgebildeten Grundwasserleiters. Die Wassersäule wird an die simulierten Bohrlöcher angeschlossen, die aus sechs Meter hohen Versuchssäulen bestehen. Druckverhältnisse und Volumenströme können unabhängig voneinander eingestellt werden. Messeinrichtungen ergänzen die Versuchsaufbauten.

*Bilder: Solites*



# Die Suche nach „Geospeichern“

## Abwärme im Untergrund speichern und bei Bedarf abrufen: Geht das?

Sieben Forschungsinstitute, im ganzen Land verteilte Demo-Standorte, drei Jahre Laufzeit, der Aufbau einer Projekt-Website: Das Verbundprojekt „Geospeicher.bw“ soll klären, wie sich der Untergrund als Energie-Zwischenspeicher nutzen lässt. Gefragt ist dabei nicht nur handfeste Vor-Ort-Arbeit, sondern auch viel Theorie: rechnen, simulieren und modellieren.

### PROJEKT

Geospeicher.bw

Laufzeit: 9/2016 bis 9/2019

KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)  
philipp.blum@kit.edu  
www.agw.kit.edu

### PARTNER

Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme  
European Institute for Energy Research (EIFER), Karlsruhe  
Hochschule Offenburg  
Universität Stuttgart, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS)  
Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS)  
Universität Heidelberg, Institut für Geowissenschaften

Was haben der Campus Nord am KIT in Karlsruhe, das Erlebnisbad Aquadrom in Hockenheim und ein Neubaugebiet in Biberach gemeinsam? Sie gehören zu den Standorten, an denen die unterirdische Zwischenspeicherung von Wärme getestet wird. Sogenannte Aquiferspeicher sollen die Überschusswärme des Sommers bis in den Winter hinein auf Vorrat halten.

Aquifere sind wasserführende Gesteinsschichten – und Wasser ist ein hervorragendes Speichermedium: Dank seiner sehr hohen Wärmekapazität kann es große Energiemengen speichern. Und durch seine geringe Wärmeleitfähigkeit bleibt die eingespeicherte Energie nahezu stationär an Ort und Stelle.

### Erprobte Speichertechnik

„Weltweit befinden sich derzeit über 2.800 Aquiferspeicher in Betrieb, davon 95 Prozent in den Niederlan-

den, Schweden, Belgien und Dänemark“, erläutert Professor Philipp Blum vom Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) am KIT in Karlsruhe. Das Institut koordiniert das Verbundprojekt „Geospeicher.bw“, an dem sechs weitere Forschungseinrichtungen beteiligt sind. Baden-Württemberg ist bisher ein weißer Fleck auf der Geospeicher-Landkarte – „obwohl der Untergrund in zahlreichen Gebieten gut bis sehr gut zur Energiespeicherung geeignet ist“, wie Blum feststellt. In ganz Deutschland sind bisher nur vier Aquiferspeicher in Betrieb. Der bekannteste liegt unter dem Berliner Reichstag und versorgt das Gebäude im Winter mit Wärme und im Sommer mit Kälte.

Ursachen für diese Zurückhaltung sieht Blum „in hohen Investitionskosten, Misstrauen in der Bevölkerung sowie einem fehlenden Bewusstsein für die Technologie“. Demonstrationsprojekte seien der

vielversprechendste Weg, um die Hemmnisse zu beseitigen – oder zumindest, um das Potenzial für diese Art der saisonalen Wärmespeicherung wissenschaftlich zu bewerten. Und das Potenzial scheint groß zu sein: Hierzulande und international bereits umgesetzte Projekte zeigen hohe CO<sub>2</sub>-Einsparungen von jeweils über 1.000 Tonnen pro Jahr, die Amortisationszeiten liegen lediglich bei zwei bis sieben Jahren.

### Injektion und Förderung

Am Beispiel des Erlebnisbads Aquadrom in Hockenheim kann die Funktionsweise eines Aquiferspeichers gezeigt werden: Eine Injektionsbohrung erschließt den unterirdischen Wasserspeicher, der hier langsam in Richtung Rhein fließt. Die Abwärme des Bades – in den Kellerräumen herrschen ganzjährig über 30 Grad – sowie eines Blockheizkraftwerks wird im Sommer in den Speicher „injiziert“. Das

Links: Bad Waldsee nutzt heute schon Thermalwasser zur Beheizung des Schwimmbads. „Geospeicher.bw“ prüft weitere Standorte.

Rechts: Mal was anderes im Hockheimer Spaßbad: Bohren statt Lümmeln auf der Liegewiese



Bilder: Waldsee-Therme und KIT/AGW

umgebende Gestein wirkt als Isolator. Die Wärme wird dann über Wärmetauscher und eine zweite Bohrung während der Heizperiode wieder entnommen.

Mehrere Arbeitspakete des Projekts befassen sich mit diesem Demo-Vorhaben. Sie entwickeln ein maßgeschneidertes Monitoring- und Speicherkonzept, suchen nach den optimalen Stellen für die Bohrungen und beobachten die Entwicklung der unterirdischen Temperaturfahne anhand eines 16 Meter tiefen Testbrunnens. Verlaufen die Messungen erfolgreich, könnte aus dem Testbrunnen später der dauerhaft betriebene Injektionsbrunnen werden.

### Kälte für den Campus

Von Hockenheim nach Karlsruhe. Hier sollte ursprünglich das Städtische Klinikum zum Demo-Standort werden, doch die Betreiber entschieden sich für eine konventionelle Lösung mit Fernwärme und Luftkühlung. Pech gehabt, könnte man im Nachhinein sagen – denn eine Vergleichsrechnung des AGW ergab, dass ein Aquiferspeicher über 25 Jahre gerechnet mehr als drei Millionen Euro eingespart hätte.

Für das Klinikum sprang der KIT-Campus Nord ein. Er hat einen jährlichen Kältebedarf von 15 GWh, der bislang über Kältemaschinen gedeckt wird. Das Projekt will nun anhand eines Referenzgebäudes aufzeigen, dass die Kälte auch regenerativ gedeckt werden könnte, nämlich durch die Verlagerung sommerlicher Überschusswärme in den Untergrund – mit dem Effekt einer Kühlwirkung in den Räumen und einer Wärmeinlagerung im Untergrund.

Bevor es 2019 zu ersten Baumaßnahmen kommt, sind geologische, hydrogeologische und thermische 3D-Standortmodelle und Simulationsrechnungen wichtige Schritte.



### Kalte Nahwärme

Nächstes Etappenziel auf der Geospeicher-Tour durchs Land ist Biberach. Hier können die Forschenden des Instituts für Gebäude- und Energiesysteme der örtlichen Hochschule mit ihren Messungen und Auswertungen an das Geothermieprojekt „Kalte Nahwärme Hochvogelstraße“ andocken. Es versorgt seit 2017 über mittlerweile 27 Wärmepumpen die Haushalte eines Neubaugebiets mit Wärme. „Kalt“ hat in diesem Fall nichts mit der oben erwähnten Kältegewinnung zu tun. Vielmehr nennt sich die Nahwärme deshalb so, weil sie nicht zentral vorgeheizt in die Haushalte kommt, sondern mit den zehn oder zwölf Grad, die im Erdboden ganzjährig herrschen. Daraus erzeugen dezentral in jedem Haushalt installierte Wärmepumpen die für Heizung und Warmwasser nötigen Temperaturen. Im Sommer verläuft der Energietransport umgekehrt: Raumwärme wird in den Untergrund gepumpt.

Nicht nur die technische Machbarkeit steht bei „Geospeicher.bw“ auf dem Prüfstand. Auch die Informati-

on und Beteiligung der Öffentlichkeit soll in vorbildlicher Weise umgesetzt werden.

Denn die vielversprechende, aber weitgehend unbekannt Technologie der saisonalen Wärmespeicherung im Untergrund wird allzu oft mit anderen geothermischen Nutzungen und damit verbundenen Störfällen in einen Topf geworfen.

### Akzeptanz durch Information

Ein separates Arbeitspaket widmet sich deshalb der kommunikativen Begleitung der Demonstrationsprojekte – neben den genannten sind das noch Friedrichshafen, Bad Waldsee und Stuttgart.

Wie wichtig solche Vorzeigeprojekte für die Information der Öffentlichkeit sind, zeigte eine Analyse von Medienberichten und Leserkommentaren deutscher Tageszeitungen und Onlineportale: Berichtet wurde fast ausschließlich über konkrete Projekte wie etwa der Anlage unter dem Berliner Reichstag. Über die Demo-Projekte im Land soll unter anderem die eigens dafür konzipierte Webseite informieren: [www.geospeicher-bw.de](http://www.geospeicher-bw.de)

Über diesen Injektionsbrunnen unter dem Hockheimer Aquadrom soll die Abwärme eines BHKW und die des Bades im Untergrund eingespeichert werden.

*Bild: KIT/AGW*



# Eine coole Idee!

## Kann Kühlung aus dem Erdboden die Hitze in Gebäuden lindern?

Es klingt fast zu schön, um wahr zu sein: Mit natürlicher Kühlung von unten ließe sich die Raumwärme regulieren, egal wie sehr die Sonne einheizt. Ob, inwieweit und für welche Anwendungen die regenerative Kühle aus oberflächennahen Erdschichten tatsächlich nutzbar ist, untersucht das interdisziplinäre Verbundprojekt GEO.Cool.

### PROJEKT

GEO.Cool – Kühlung mit oberflächennaher Geothermie. Möglichkeiten, Grenzen, Innovation  
 Laufzeit: 1/2017 bis 1/2019  
 Hochschule Biberach  
 Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)  
 Prof. Dr. Roland Koenigsdorff  
 ige@hochschule-bc.de  
 www.hochschule-bc.de/web/ige

### PARTNER

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites), Stuttgart  
 Universität Stuttgart, Institut für Geotechnik (IGS)  
 Universität Stuttgart, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS)  
 KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruhe, Abteilungen AGW-AG und AGW-IG  
 Hochschule Offenburg

**E**twa zehn bis zwölf Grad Celsius herrschen in einigen Metern Tiefe das ganze Jahr über. Zum Heizen lässt sich diese Erd-„Wärme“ mit Hilfe von Wärmepumpen nutzen. Dabei liegt doch der Gedanke eigentlich näher, die relativ kühlen Temperaturen zu Kühlzwecken im Sommer einzusetzen.

Das kann auf verschiedene Weise erfolgen, zum Beispiel durch den Umkehrbetrieb einer Erd-Wärmepumpe: Sie entzieht in diesem Fall den Räumen im Sommer Wärme und leitet diese in den Untergrund, wo das Wärmeleitmedium durch die niedrigeren Umgebungstemperaturen heruntergekühlt wird.

Im größeren Maßstab angewandt, erfordert die geothermische Kühlung das Zusammenwirken von Käl-

tetechnik und Geologie. In GEO.Cool werden beide Teilgebiete systemisch zusammengeführt. Untersucht werden zum einen die Prozesse im oberflächennahen Untergrund und beim Übergang zwischen Boden und Bauteilen. Zum anderen stehen die möglichen Einsatzbereiche für die Erd-Kühlung und deren Effizienz im Fokus.

### Kälte und Wärme im System

Insbesondere bei der sogenannten Prozesskälte im Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungssektor gibt es zahlreiche Anwendungen mit unterschiedlichen Temperaturanforderungen. Ein Beispiel ist die Kühlung von Server-Räumen.

Ein wichtiger Schritt zu einem effizienten Gesamtsystem besteht darin,

die Vielfalt der Kälte- (und Wärme-) Anforderungen so zu systematisieren, dass sie aufeinander abgestimmt werden können. Dazu dient unter anderem die sogenannte Pinch-Analyse: Die Energieflüsse werden aufgeteilt in „warme Ströme“, bei denen durch Entzug von Wärme gekühlt wird, und „kalte Ströme“, denen Wärme zugeführt wird. In das entstehende Netzwerk von kalten und warmen Strömen kann die geothermische Kühlung mit maximaler ökonomischer und ökologischer Effizienz integriert werden. Die Energie-Nachfrage sollte mit einem möglichst bedarfsgerechten Angebot an Kälteenergie gedeckt werden.

### Best-Practice-Beispiele

GEO.Cool ermittelt dieses Energiepotenzial mit Hilfe von Simulationsrechnungen sowie Messdaten von Geothermieanlagen. So werden in einem Arbeitspaket die Daten von Anlagen im Alltags- und Forschungsbetrieb ausgewertet.

Neben drei Anlagen mit herkömmlichen Sondenbohrungen in Biberach und Stuttgart-Rohr sind dies auch zwei Tunnelgeothermieanlagen: eine in einem 380 Meter langen Stadtbahntunnel in Stuttgart-Fasanenhof und eine im 3.470 Meter langen Jenbach-Eisenbahntunnel im Inntal. Ihr Vorteil: Der Tunnel ersetzt die Bohrung einer Erdsonde, die geothermischen Anlagen können mit wenig Aufwand in den Tunnelschalen installiert werden.

Zur Ermittlung der Deckungsraten werden dem Kältepotenzial der Mus-



Sondenbohrung durch die BauGrund Süd, auf deren Firmengelände eine Referenzanlage für GEO.Cool liegt

Bild: BauGrund Süd

teranlagen im weiteren Projektverlauf Daten zum Kältebedarf nahe gelegener Abnehmer gegenübergestellt.

**Simulationen**

Eine weitere Herangehensweise, um die Effizienz von Erdwärmesondenanlagen im wechselnden Heiz- und Kühlbetrieb zu untersuchen, sind dynamische Simulationsrechnungen. Sie bilden den Einfluss verschiedener Untergrund- und Anlagenparameter im zeitlichen Verlauf ab, etwa Volumenströme oder Eintrittstemperaturen. Die Simulationen werden bei GEO.Cool in konkrete Empfehlungen zur Dimensionierung der Anlagen münden. Dasselbe gilt für Berechnungen zum Wärmetransport im Untergrund: Ein Forschungsteam überprüft, wie sich der Grundwasserfluss mit verschiedenen Berechnungsverfahren abbilden lässt.

**Laborversuche**

Arbeiten im Labor komplettieren das methodische Arsenal der Geo.Cool-Forschungsteams. Versuche zeigen unter anderem, welchen Einfluss die Gesteinszusammensetzung auf die Wasserchemie und damit – etwa durch die Kristallisation von gelösten Mineralien (Sinterbildung) – auf die geothermische Anlage oder das Hinterfüllmaterial ausübt.

Eine sensible Zone ist der Übergang vom strömenden Grundwasser zum Geothermie-Wärmeübertrager. Ein eigens entwickelter Versuchstand macht dafür die unter der Erde ablaufenden Vorgänge für die Forschenden sichtbar. Hier zeigten die Versuche bislang einen sogenannten „Clogging-Effekt“, eine vermutlich von Bakterien verursachte Abdichtung. Die Ursachen werden derzeit mit Mikrobiologie-Fachleuten erforscht.

**Anwendungen**

Die Firma „BauGrund Süd“ gehört zu den führenden Anbietern von Erdsondenbohrungen. Kein Wun-



der, dass die Firmengebäude in Bad Wurzach mit Erdwärme beheizt und gekühlt werden. Dabei kommen zwei Sondentechniken zum Einsatz, die jeweils mit Temperatursensoren und Durchflussmessern ausgestattet sind. Es stehen Datensätze aus sieben Jahren zur Verfügung – ein optimales Betätigungsfeld für die Forschung. Im Rahmen von GEO.Cool geht es darum, alle Energieströme des Systems detailliert zu erfassen. So lassen sich die Auswirkungen des abwechselnden Heiz- und Kühlbetriebs auf den Untergrund genau ermitteln.

Unter den konkreten Anwendungen wird auch die ökonomische und technische Machbarkeit der geothermischen Kühlung des Rechenzentrums der Hochschule Biberach untersucht. „Grundsätzlich funktioniert das Konzept“, resümiert Prof.



Dr. Roland Koenigsdorff vom Institut für Gebäude- und Energiesysteme der Hochschule. „Das volle Potenzial wird aber erst durch ein abgestimmtes Gesamtkonzept ausgeschöpft, das zum Beispiel auch die direkte Außenluftkühlung mit einbeziehen muss“, so Koenigsdorff.

**Planungskatalog und PR**

Am Ende der breit gefächerten Arbeiten von GEO.Cool soll ein Planungskatalog stehen, der die Anforderungen an die Anlagen- und Systemtechnik für die Fachwelt zusammenfasst. Schließlich befasst sich ein Team der Hochschule Offenburg mit der Öffentlichkeitsarbeit und der medialen Begleitung der Forschungsprojekte. Denn es gilt nicht zuletzt, über die Chancen und Potenziale der geothermischen Kühlung fachkundig und verständlich zu informieren.

Brunnenkopf und Wärmepumpenanlage der Gebhard-Müller-Schule in Biberach a. d. Riß, einem der Best-Practice-Beispiele bei GEO.Cool.

*Bilder: Stephan Heinrich, Hochschule Biberach*

Links: Versuchstand am Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart zur Untersuchung des Wärmeübergangs vom Grundwasser zur geothermischen Anlage. Rechts: Autoklave zur Untersuchung von Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen bei Temperaturen bis 300 Grad Celsius.

*Bilder: IGS u. Ingrid Stober*





# Untergrund als Solarspeicher

## Eignen sich Gesteinsschichten im Oberrheingraben als Wärmespeicher?

Das A und O bei der solaren Nahwärmeversorgung ist die Wärmespeicherung. Denn was im Sommer im Überfluss produziert wird, sollte während der Heizperiode zur Verfügung stehen. Eine Machbarkeitsstudie hat geprüft, ob poröse Gesteinsschichten in der Freiburger Bucht als Solarwärmespeicher dienen könnten.

### PROJEKT

Machbarkeitsstudie für die Koppelung solarthermischer Nahwärme mit einem tiefen Aquiferspeicher unter besonderer Berücksichtigung der geologischen Situation im südlichen Oberrheingraben

Laufzeit: 12/2015 bis 12/2017

KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abteilung Geothermie  
thomas.kohl@kit.edu  
www.agw.kit.edu/251.php

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM)  
martin.jaegle@ipm.fraunhofer.de  
www.ipm.fraunhofer.de

Über Baden lacht die Sonne, sagt der Volksmund. Tatsächlich bietet der Südwesten Sonne satt, auch für die Wärmeversorgung. Der Engpass solarer Nahwärmesysteme liegt denn auch weniger in der Energieerzeugung als in deren Speicherung. Dazu könnten unter anderem auch unterirdische, poröse Gesteinsschichten dienen. Ein geowissenschaftliches Verbundprojekt hat geprüft, ob sich der Untergrund im südlichen Oberrheingraben als Langzeit-Wärmespeicher eignet. „Wir haben aber nicht gebohrt, sondern gerechnet“, stellt Jörg Meixner vom Institut der Angewandten Geowissenschaften am KIT klar.

### Hervorragende Datenbasis

Zum genauen Rechnen braucht man gute Daten.

- **Geologie und Geothermie:** Welche Temperaturen herrschen in welcher Tiefe? Welche Gesteinsschichten bieten genügend Speichervolumen?

- **Solarertrag:** Mit welchen Wärmemengen und welchen Temperaturen ist zu rechnen?
- **Wärmebedarf:** Welche Wärmemengen werden aus dem Speicher abgerufen?

Während der erste Punkt das ureigene Betätigungsfeld der Karlsruher Geowissenschaftler darstellt, nutzen sie bei den beiden anderen eine Gelegenheit, wie Jörg Meixner erzählt: „Wir konnten auf online abrufbare Daten eines solaren Nahwärmenetzes mit einem 200.000-Kubikmeter-Erdbeckenspeicher in Dänemark zurückgreifen: stundengenaue Werte zum solaren Eintrag und zur Entnahme – optimal für unsere Simulation.“

### Speicher in Freiburger Bucht

Dass der Oberrheingraben ideal für die Erdwärmennutzung ist, ist nichts Neues. Geothermische Kraftwerke wie das im elsässischen Soultz-sous-Forêts fördern Wärme aus bis zu fünf Kilometern Tiefe. Doch so tief sollen die Wärmespeicher gar nicht liegen – die Bohrkosten wären zu hoch.

Das Forschungsteam konzentrierte sich auf Tiefen von rund 700 bis 1.000 Metern, also mesozoische Einheiten unterhalb der tertiären und quartären Grabenfüllung. Das sind nicht unbedingt die hei-

ßesten Zonen, sie bieten aber ein großes Speichervolumen. Dazu kommt, dass die dichte Besiedlung der Region eine Wärmeabnahme ohne nennenswerte Transportverluste erlaubt.

### Bezahlbar und effizient

Als am besten geeignet für einen unterirdischen Solarspeicher entpuppte sich ein Thermalwasserhorizont im Oberen Buntsandstein zwischen Kaiserstuhl und Schwarzwald. Ein 3-D-Modell zeigt die geothermischen Reservoirs auf. „Sie bieten genügend Raum für eine großvolumige Speicherung. Die Thermalwasserströmungen sind vernachlässigbar gering und die Umgebungstemperatur ist mit 42 Grad höher als an der Oberfläche. Das begünstigt eine effiziente Energiespeicherung“, begründet Martin Jäggle vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM.

Die Gesamtbewertung des Solarwärme-Aquiferspeichers fällt energetisch und ökonomisch positiv aus, auch im Vergleich mit oberflächennahen Speichertechnologien, die zum Teil nur mit zusätzlichen Wärmepumpen ähnlich hohe Temperaturen zur Verfügung stellen könnten.

Aus der Machbarkeitsstudie folgen in der Region Freiburg allerdings zunächst keine weiteren Aktivitäten. Weiter nördlich, am KIT-Campus in Karlsruhe, ist hingegen die Realisierung eines geothermischen Speichers geplant – dazu mehr ab Seite 36.

Übergabestation eines Nahwärmenetzes. Von hier aus werden die angeschlossenen Haushalte mit Wärme versorgt.

Bild: Arcon



# Kosteneffizient behobene Engpässe

## Hybridbatteriekonzept für zellularen Ansatz im Niederspannungsnetz

Die steigende installierte Leistung aus Photovoltaikanlagen führt zu Engpässen in Nieder- und Mittelspannungsnetzen. Um sie zu beheben, erprobt ein Forschungsteam den zellularen Ansatz in einem Abschnitt der Stadtwerke Bühl. Smart-Meter und ein Hybridspeicher sollen kosteneffizienter als ein klassischer Netzausbau sein.

**D**er von der Bundesregierung beschlossene Netzausbau wird vorwiegend mit der volatilen Einspeisung von Windenergie und Photovoltaik (PV) begründet. Für die konkrete Umsetzung sind unter anderem vier Höchstspannungsleitungen von Nord nach Süd im Gespräch.

Doch auch die Nieder- und Mittelspannungsnetze in Baden-Württemberg stünden vor großen Herausforderungen, erklärt Dipl.-Ing. Rüdiger Höche von den Stadtwerken Bühl. Da zum Erreichen der Klimaziele ein weiterer Zubau von PV-Anlagen zu erwarten sei, würden in Zukunft zusätzliche Engpässe drohen.

### Entwicklung zum Smart Grid

Die klassischen Netzausbaumaßnahmen seien aber volkswirtschaftlich nicht immer sinnvoll, ergänzt Höche, „da sie oft nur an den sonnenstärksten Stunden an wenigen Tagen im Jahr benötigt werden“.

Daher erproben die Stadtwerke Bühl zusammen mit Projektbeteiligten aus Wissenschaft und Industrie die Idee des sogenannten zellularen Ansatzes. Dieser umschreibt ein digital vernetztes und sektorübergreifendes Versorgungskonzept auf Basis dezentraler Systeme, bestehend aus Energieerzeugung und Energieverbrauch.

Im Niederspannungsnetz der Stadtwerke Bühl hat sich das Forschungsteam für eine erste praktische Umsetzung das Wohngebiet „In der Witstung“ ausgesucht. „Im Verlauf des Projekts werden wir den dortigen Netzabschnitt mit Hilfe von Smart-Metern, einem Hybridspeicher, einer dreiphasigen Zustandsüberwachung, sowie einer Optimierung der Batteriesteuerung zum Smart Grid entwickeln“, stellt Höche die Projektpläne vor.

Dafür fließen die reale Netzsituation, die Einspeise-Prognose der Strom erzeugenden PV-Anlagen und die Lastprofile der verbrauchenden Haushalte in die Optimie-

rung der Fahrpläne und der Steuerung der Stromspeicher mit ein.

### Beteiligung der Bevölkerung

Bestandteil des Projekts war die direkte und persönliche Ansprache der Bewohnerinnen und Bewohner durch das Projektteam und die Einbeziehung ihrer Anliegen mittels einer Umfrage. Sie führte dazu, dass der geplante Standort des Stromspeichers nun nicht mitten in der Siedlung, sondern neben der Autobahn errichtet wurde.

Höche ist überzeugt, dass „Lösungsstrategien wie der zellulare Ansatz ein großes Potenzial für die Vermarktung der Batterien am Regelenergiemarkt versprechen und dadurch Netzengpässe in Zukunft kosteneffizienter behoben werden können“. Dies funktioniere jedoch langfristig nur, wenn die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen an den Einsatz von Speichern als Ergänzung zum klassischen Netzausbau angepasst würden.

### PROJEKT

Demonstration des zellularen Ansatzes mit einem Hybridbatteriekonzept – Hybrid optimal  
 Laufzeit: 9/2016 bis 12/2018  
 Stadtwerke Bühl GmbH  
 Dipl.-Ing. Rüdiger Höche  
 ruediger.hoeche@stadtwerke-buehl.de  
 www.stadtwerke-buehl.de

Neu errichtetes Gebäude für den Stromspeicher. Dessen Inbetriebnahme erfolgte im Frühjahr 2018.  
 Bilder: Stadtwerke Bühl





# Flexibilität vermarkten

## Lokale Transformation des Strommarktes im Feldtest

Im badischen Walldorf sind etwa 40 Haushalte und Gewerbebetriebe mit intelligenter Technologie vernetzt worden. Ein Forschungsteam testet drei Jahre lang, wie sich eine dezentrale Stromversorgung aus erneuerbaren Energien mit einem Quartierspeicher und flexibler Regulierung im Strommarkt optimieren lässt.

### PROJEKT

Living Lab Walldorf

Laufzeit: 12/2015 bis 7/2019

Beegy GmbH, Mannheim  
Stefan Matthäs  
stefan.matthaes@beegy.com  
www.beegy.com  
www.living-lab-walldorf.de

### PARTNER

Stadtwerke Walldorf GmbH  
KIT, Forschungszentrum Informatik (FZI), Karlsruhe  
MVV Energie AG, Mannheim



LiLa-Logo für die Öffentlichkeitsarbeit  
Bild: Stadtwerke Walldorf

Zwei Seiten einer Medaille: Vorder- und Rückseite des Quartierspeichers, der als Zentrale des virtuellen Kraftwerks im Living Lab Walldorf dient

Bilder: Stadtwerke Walldorf

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt soll Walldorf zum „Schaufenster der Energiewende“ machen. Darin soll sich widerspiegeln, wie „die Zukunft einer dezentralen Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien im Versuch“ umgesetzt werden kann. Transparenz wird bei diesem Projekt, an dem etwa 40 Haushalte und Gewerbebetriebe beteiligt sind, groß geschrieben. Für die Mitwirkenden hat es den Charakter eines offenen Versuchslabors, das die Projektpartner „Living Lab Walldorf“ (LiLa) taufen.

### Technologische Vernetzung

Als Pilotquartier wählten die Projektpartner den Stadtteil Walldorf-Süd aus, da es hier einen sehr modernen Gebäudebestand gibt und viele der für das Projekt notwendigen Anlagen bereits vorhanden sind. „Wir wollen hier die Haushalte und Gewerbebetriebe mit intelligenter Technologie vernetzen, um dezentrale Energieanlagen wie Wärmepumpen, Photovoltaik-Anlagen, Blockheizkraftwerke und Stromspeicher

optimal aufeinander abgestimmt zu betreiben“, sagt Projektleiter Stefan Matthäs von Beegy.

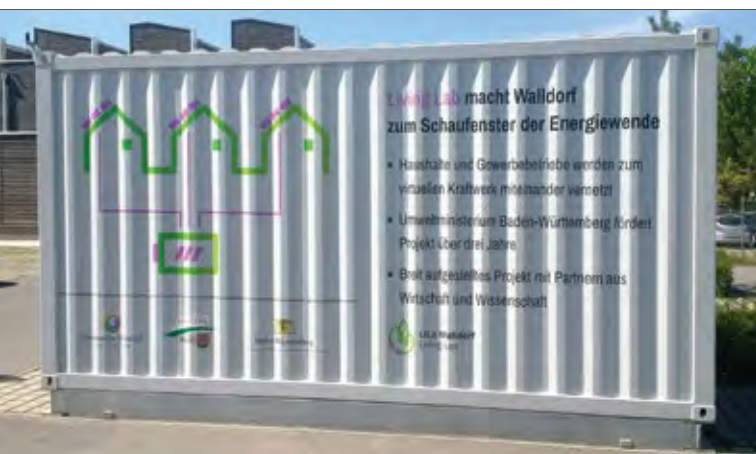
Dabei bilden die Bewohner der Pilotgebäude „eine Energie-Community – eine Gemeinschaft von Strom produzierenden und Strom konsumierenden Beteiligten, deren Rolle dynamisch wechselt“, ergänzt Matthäs. Insbesondere könne ein solcher Verbund aus flexiblen Energieanlagen auch Schwankungen bei der Erzeugung regenerativer Energien ausgleichen. „Eines der Ziele des Living Lab ist es daher, Software zur Steuerung und Optimierung von virtuellen Kraftwerken und ihren Einzelkomponenten weiterzuentwickeln und das schon vorhandene smarte Potenzial nochmals zu steigern“, meint Matthäs. Die intelligente Vernetzung ermögliche es, die Potenziale aller relevanten Geräte in den Häusern einzusammeln und für das dezentrale Netzwerk zur Verfügung zu stellen. Dann können in Zeiten von Stromüberschüssen, beispielsweise an einem windigen Sommertag mit hohen Erträgen aus

Photovoltaik und Windkraft, die Stromspeicher und mittels Wärmepumpen auch die Wärmespeicher in den Gebäuden gefüllt werden.

### Neue Regeln für den Strommarkt

Mit den Mess- und Optimierungsergebnissen im Walldorfer Feldtest arbeitet das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) am KIT an einer ergänzenden energiewirtschaftlichen Modellierung, wie Prof. Wolf Fichtner vom KIT erläutert: „Im Rahmen unserer Simulation werden im Pilotgebiet einige Regeln des Strommarkts – wie Netzgebühren – außer Kraft gesetzt und neue Ansätze zur Abrechnung und Marktregulation ausprobiert.“

Dadurch wären innovative und für die beteiligten Haushalte und Gewerbebetriebe spürbare Verbesserungen ihrer Marktrolle möglich: „Denn die Höhe von Strompreisen könnte sich künftig unter anderem an der maximal bezogenen Nettoleistung eines Haushalts orientie-



ren – entgegen der bestehenden Praxis, dass verbrauchte Strommengen abgerechnet werden“, meint Fichtner. Die Preisgestaltung wäre dann ganz ähnlich wie es bei Internet-Datentarifen schon längst üblich sei. Und die lokal erzeugte, regenerative Energie, die vorzugsweise vor Ort genutzt wird, würde mit in die Kalkulation einbezogen.

### Auswahl der Probanden

Zu Projektbeginn bezifferte das Forschungsteam die Zahl der „Zielhaushalte“ in Walldorf-Süd auf etwa 200. Mit lokaler Pressearbeit und Einbindung von Multiplikatoren gelang es, weite Kreise der Bürgerschaft für das Projekt zu interessieren. Nach zwei gut besuchten Veranstaltungen im Stadtteil bekundeten 46 Haushalte Interesse an einer Mitwirkung.

Das Forschungsteam prüfte danach sämtliche Bewerbungen im Rahmen von Vor-Ort-Besuchen auf deren technische Eignung. Bei 36 Haushalten und zwei Gewerbebetrieben konnte es schließlich seine Hardware installieren: Zur Erfassung der Energiedaten der Haushalte montierten Servicekräfte der Stadtwerke Walldorf etwa 125 „TQ-Meter“, die sowohl die Energieerzeugung und den Anteil der Netzeinspeisung als auch den Netzbezug und den gerätespezifischen Verbrauch messen. Die erfassten Daten werden über eine Gateway genannte Kommunikationsschnittstelle an den Beegy-Server übermittelt.

Mit dem Edeka-Markt samt Bäckerei konnte einer der beiden im Untersuchungsgebiet ansässigen Supermärkte für die Projektbeteiligung gewonnen werden. Der Quartierspeicher mit einer Kapazität von 100 Kilowattstunden (kWh) ist in einem Container untergebracht und in das Energiesystem von Walldorf-Süd eingebunden. Der Container und der modi-



fizierte Stromspeicher wurden aus dem Vorprojekt „Strombank“ (vgl. Einblicke 2016) übernommen, das aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen bei der EEG-Umlage nicht mehr weiterbetrieben werden konnte.

### Hohe Transparenz

Projektbegleitend findet eine mehrstufige Sozialforschung statt. Deren erste Erkenntnisse zeigen, dass die Teilnehmenden als Motivation vor allem idealistische Gründe und Neugierde angaben: Eine Energie-Community mit der Möglichkeit des persönlichen Austauschs sei interessant. Gespannt waren viele daher auf die App als zentralen Bestandteil des Projekts, die in einer ersten Version als Webportal-Zu-

griff die Verläufe der individuellen Verbräuche anzeigte. Die Ergebnisse der Sozialforschung ergaben, dass sich die meisten Teilnehmenden neben den reinen Verbrauchsinformationen zudem Darstellungen in Form von Kurven und Exportfunktionen wünschten, von denen sie sich einen Mehrwert versprechen.

Um die Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit zu gewährleisten, ist in der Schlussphase des Projekts ein Demonstrator geplant, der „einen Einblick in die Wirksamkeit der Energie-Community auf Kosten und Energiebilanzen geben soll“, erklärt Matthäus. Der Demonstrator basiere auf einer Webanwendung und soll über die Projekt-Homepage erreichbar sein sowie im „House of Living Labs“ des FZI präsentiert werden.

Installierte Box zur Datenerfassung am Sicherungskasten eines Privathaushalts

*Bild: Stadtwerke Walldorf*

Kai Schmidt-Eisenlohr (MdL) und Umweltminister Franz Untersteller in Walldorf mit Ralf Klöpfer (MVV Energie) und Matthias Gruber (Stadtwerke Walldorf)

*Bild: Stadtwerke Walldorf*





# Chance für die Wärmewende

## Smart-Grid-Potenziale von virtuellen Kleinkraftwerken

Die Einbindung von Blockheizkraftwerken (BHKW) in ein virtuelles Kleinkraftwerk für Wärme und Strom macht den Anlagenbetrieb flexibler und wirtschaftlicher. Bisher gab es dies meist nur in höheren Leistungsklassen. Das Forschungsprojekt „mikroVKK“ zeigte, dass auch kleinere Anlagen das Potenzial zur Unterstützung der Wärmewende haben.

### PROJEKT

Demonstration der Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und der Smart-Grid-Potenziale von virtuellen Kraftwerken mit Mikro- und Mini-BHKW – mikroVKK

Laufzeit: 10/2015 bis 10/2017

Schäffler Sinnogy Freiburg  
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Rasilier  
tr@sinnogy.de  
www.schaeffler-sinnogy.de

Unter einem Blockheizkraftwerk (BHKW) stellt man sich meist ein großes Kraftwerk zur Erzeugung von Strom und (Fern-)Wärme vor. Seit gut zwanzig Jahren finden sogenannte Mini- und Mikro-BHKW zunehmend Einzug in die Heizungskeller von Schulen und Mehrfamilienhäusern. Doch die technische Weiterentwicklung dieser Kraftwerke in Leistungs-

klassen bis 50 Kilowatt elektrisch ( $kW_{el}$ ) hat nicht nur kleinere Anlagen rentabel gemacht, sondern sich auch auf erweiterte Steuerungsmöglichkeiten ausgewirkt. Inzwischen lassen sich Mini- und Mikro-BHKW in virtuelle Kraftwerke einbinden, die aus zusammenschalteten dezentralen Stromerzeugungseinheiten bestehen. Dadurch könnten ihnen sowohl interessante wirtschaftliche Perspektiven als auch Klimaschutzpotenziale zur Unterstützung der Wärmewende zugeschrieben werden, wie Dipl.-Ing. Thomas Rasilier erläutert. Er ist Projektleiter beim Freiburger Beratungsbüro „Schäffler Sinnogy“ und koordinierte das Projekt „mikroVKK“.

Bisher sei die Anbindung in virtuelle Kraftwerke zumeist mit hohen Kosten verbunden, ergänzt Rasilier, weshalb entsprechende Systeme üblicherweise nur in höheren Leistungsklassen über 500 ( $kW_{el}$ ) zum Einsatz kommen.

### Technische Voraussetzung

„Im Rahmen unseres Projekts wollten wir nachweisen, dass auch BHKW-Anlagen unter 100  $kW_{el}$  in ein virtuelles Kleinkraftwerk (VKK) wirtschaftlich einzubinden sind“, umschreibt Rasilier die Zielsetzung. Außerdem sollten die Projektergebnisse dabei helfen, den aktuell stockenden Zubau von Mini- und Mikro-BHKW wieder zu forcieren und somit die Ausbauziele der Landesregierung im KWK-Bereich zu unterstützen.

Für die technische Umsetzung der notwendigen Anlagensteuerung hatte das Unternehmen „GridSystemic Energy“ (GSE) als Technologiepartner hierfür ein spezielles VKK-System entwickelt. Es ist zweiteilig konfiguriert und besteht aus einer einfachen Steuerbox bei jeder Anlage sowie einem zentralen Server. Die Steuerbox diene dabei „als Gateway für die Kommunikation vor Ort und für die Zähleranbindung“, während alle Berechnungen, Simulationen und Optimierungen auf dem Server erfolgten.

### Stadtwerke als Partner

Als wichtige Kooperationspartner im Projekt erwiesen sich zehn Stadtwerke, die unterschiedliche BHKW-Standorte zur Verfügung stellten. Dort konnte das Forschungsteam die Anbindung und Funktionsweise des VKK-Systems auf Basis einer intelligenten Steuerung erproben. Die Standorte waren beispielsweise in Schulen, Mehrfamilienhäusern oder in der Heizzentrale eines größeren Wärmenetzes.

Als eine denkbare Basis eines neuen Geschäftsmodells entwickelte das Forschungsteam das Regelwerk „Lastprofil folgen“, wie Rasilier erläutert. Hierdurch könne die intelligente Steuerung die Heizungsanlage flexibler nutzen und Betriebszeiten der BHKW verschieben, um die Stromerzeugung möglichst gut an die Stromlast im Objekt anzugleichen und höhere Direktlieferquoten zu erreichen.



Datenaufnahme im Heizungsraum der Schule in Sigmaringen

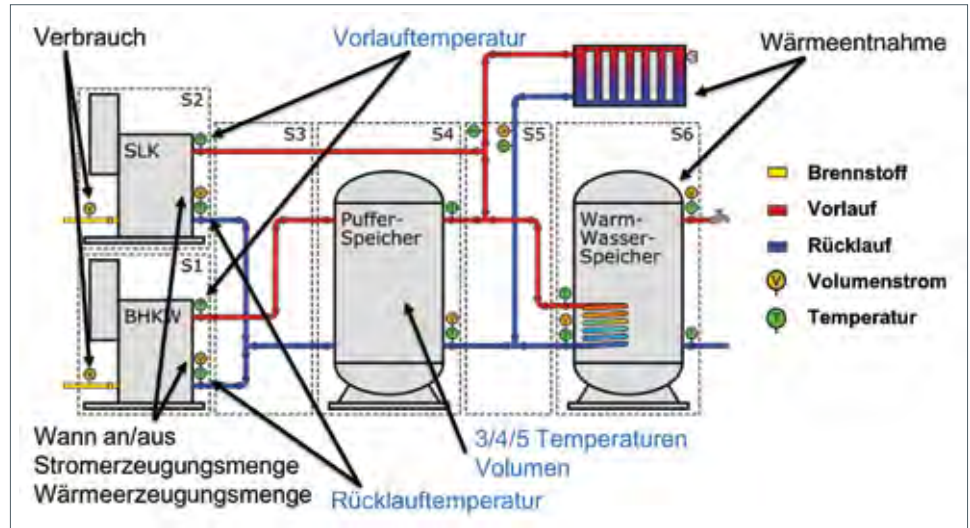


Besichtigung des Heizungsverteilers der „Neuen Mitte Asperg“

### Monitoring als Steuerungsbasis

Jede der im Projekt „mikroVKK“ betrachteten Anlagen hat eine lokale Steuerung, erklärt Rasilier die Ausgangslage: „Sie erfasst Betriebsdaten und entscheidet aufgrund einer internen Logik, wie die Steuerungsparameter der Anlage verändert werden müssen, um das zentrale Regelziel – die Wärmebereitstellung – zu erreichen. Der erzeugte Strom war dabei bisher nur ein Beiprodukt, das entweder direkt im Objekt genutzt oder ungesteuert in das öffentliche Stromnetz eingespeist wurde.“ Eine intelligenterer, das heißt wirtschaftlichere und netzdienlichere Nutzung des Stroms bedürfe jedoch einer prognosebasierten Optimierung des Heizsystems, die durch das VKK-System ermöglicht werde. „Um eine Heizungsanlage optimieren zu können, müssen die wesentlichen Anlagendaten wie auch die Führungsgröße – beispielsweise die Stromlast im Objekt – kontinuierlich erfasst und beobachtet werden“, so Rasilier. Durch dieses Monitoring (vgl. Graphik 1) werden die Algorithmen des VKK-Systems dazu befähigt, Prognosen zu entwickeln, um dem BHKW bzw. der kompletten Heizungsanlage angepasste und optimierte Betriebsstrategien zu übermitteln. Außerdem fließen Prognosedaten der Europäischen Strombörse sowie Wetterdaten in verschiedene Regelwerke zur Steuerung der Anlage ein (vgl. Graphik 2).

Im Rahmen des Projekts sei deutlich geworden, dass viele Partner nur unvollständige und teilweise sogar nur rudimentäre Kenntnisse über das tatsächliche Verhalten ihrer Anlage haben. „Das Anlagenmonitoring kann deshalb dabei helfen, die Anlage besser zu verstehen und beispielsweise unrentable, verlust- oder fehlerbehaftete Betriebs-



zustände zu erkennen“, ergänzt der Projektleiter. Auch vermeidbare Verluste könnten durch das Monitoring identifiziert werden.

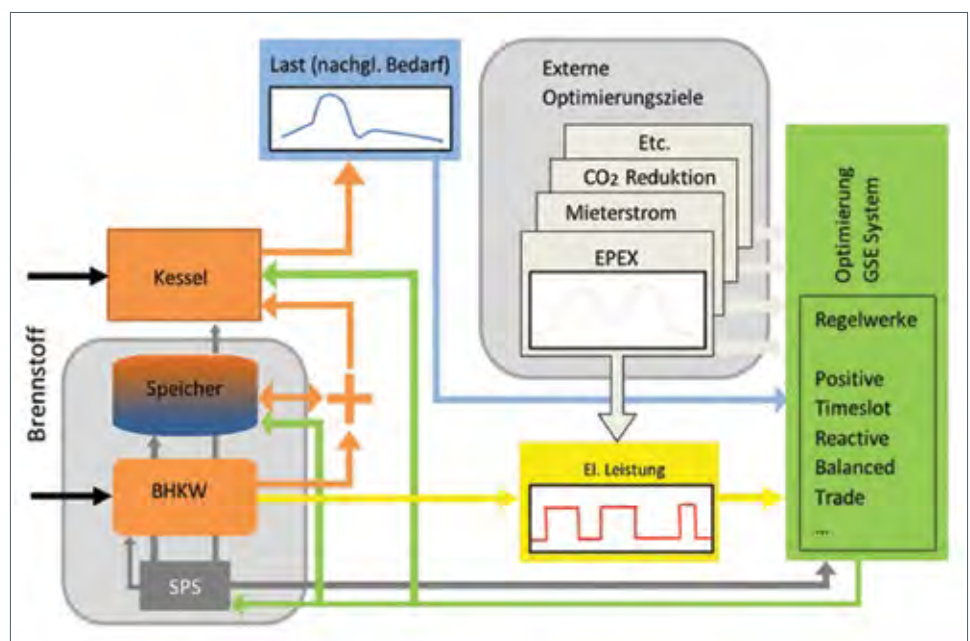
### Zeitintensive Anbindung

Das Forschungsteam hatte eines seiner Projektziele erreicht und „konnte die technische Anbindbarkeit von BHKW-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 100 kW<sub>e</sub> demonstrieren“, wie Rasilier erklärt. Allerdings schränkt er ein, dass die Vorarbeiten für die Erarbeitung einer standardisierten und kostengünstigen Anbindungslösung sehr viel zeitintensiver als ursprünglich geplant waren. Dennoch hätten die Effekte der intelligenten Steuerung – bei-

spielsweise Flexibilität und netzdienliche Einspeisung – die wirtschaftlichen sowie die Smart-Grid-Potenziale einer VKK-Steuerung auf theoretischer Basis nachweisen können. „Durch die gewonnenen Erfahrungen und Lernprozesse konnten wir jedoch im Laufe des Projektes bereits eine erhebliche Lernkurve und Kostenreduktion der Anbindung erzielen“, fasst Rasilier zusammen. Aufgrund der ersten Erfahrungen hätten die Praxispartner signalisiert, dass das System des virtuellen Kleinkraftwerks immer mehr an Bedeutung gewinnen werde, da die Anwendung von BHKW-Anlagen für die Objektversorgung oder in Wärmenetzen massiv ausgebaut werden soll.

Graphik 1: Anlagenkomponenten mit Blockheizkraftwerk und Lüftung, kontinuierliches Monitoring von Volumenstrom (orange) und Temperatur (grün) an mehreren Stellen

Graphik 2: Schematische Darstellung der Interaktion der Anlagen je Regelwerk (EPEX: Europäische Strombörse)



Bilder: Schäffler-Simnogy



# Lernlabor im Live-Betrieb

## Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb

Die zukünftige Energieversorgung erhält mit dem Virtuellen Kraftwerk Neckar-Alb ein reales Lern-, Forschungs- und Entwicklungslabor. Das Demonstrationsprojekt an der Hochschule Reutlingen umfasst verschiedene Anlagen zur Stromproduktion und zur Bereitung von Wärme und Kälte, die in verschiedenen Szenarien „live“ aufeinander abgestimmt werden können.



Photovoltaikanlage auf dem Hochschuldach zur Erzeugung regenerativen Stroms im Virtuellen Kraftwerk Neckar-Alb

Bild: Hochschule Reutlingen

### PROJEKT

Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb

Laufzeit: 10/2015 bis 10/2019

Hochschule Reutlingen,  
Reutlinger Energiezentrum (REZ)  
Prof. Dr.-Ing. Frank Truckenmüller  
frank.truckenmueller@reutlingen-  
university.de  
www.reutlingen-university.de  
www.virtuelles-kraftwerk-  
neckar-alb.de

### PARTNER

Universität Tübingen, Lehrstuhl  
Kommunikationsnetze  
AVAT Automation GmbH, Tübingen  
Enisyst GmbH, Pliezhausen  
Mack Electronic Systems  
GmbH, Reutlingen  
PATAVO GmbH, Pliezhausen  
Energiefrey GmbH, Stuttgart

**A**m 5. Februar 2018 nahm Landesumweltminister Franz Untersteller in Reutlingen den „Demonstrator Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb“ offiziell in Betrieb. Das Projekt zeige laut Untersteller, wie intelligent unser zukünftiges Energiesystem in der Praxis funktionieren müsse. Denn eine umweltfreundliche Energieversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien und hoher Effizienz erfordere einen deutlich höheren Steuerungsaufwand als bisher (vgl. auch Seite 42).

Auf dem Campus der Hochschule Reutlingen wurden mehrere bestehende und neu installierte Anlagen zu einem sogenannten Virtuellen Kraftwerk (VK) verbunden. Dieses diene „zur Bewirtschaftung eines real betriebenen Anlagenparks aus steuerbaren und nicht-steuerbaren Einheiten“, wie Prof. Dr.-Ing. Frank Truckenmüller erklärt. Er ist Leiter des Reutlinger Energiezentrums (REZ), das den Studiengang

„Dezentrale Energiesysteme und Energieeffizienz“ anbietet, und koordiniert das Demonstrationsprojekt um das virtuelle Kraftwerk.

### Optimierter Verbund

Mit dem Ausbau dezentraler, regenerativer Stromquellen, die überwiegend schwankende Leistung anbieten, wächst die Notwendigkeit, die heute noch von Großkraftwerken erbrachten Netzdienstleistungen ebenfalls zu dezentralisieren. Dazu zählen unter anderem Frequenz- und Spannungshaltung sowie das Engpassmanagement. Ein virtuelles Kraftwerk könne laut Truckenmüller vorwiegend dann arbeiten, wenn Sonne und Wind nicht die von den Verbraucherinnen und Verbrauchern nachgefragte Leistung liefern.

Ein solches Kraftwerk werde in Abhängigkeit des Anlagenparks von einer zentralen Leitwarte via Fernsteuerung so koordiniert, dass es in der Summe die Leistung eines

konventionellen Kraftwerks erbringe und darüber hinaus ein besseres zeitliches Regelverhalten aufweise, fährt Truckenmüller fort.

Auf dem Reutlinger Hochschul-Campus hat das Projektkonsortium eine komplexe Testumgebung für verschiedene Komponenten aufgebaut, die im realen Betrieb laufen. Ziel sei es hier, „Optionen der Querverbundoptimierung zwischen Strom-, Gas- und Wärmemarkt unter Berücksichtigung realer Marktdaten zu testen“, sagt Truckenmüller. Ihr Virtuelles Kraftwerk umfasst eine Leitwarte für die zentrale Steuerung sowie zwei kleine lokale Stromnetze, die sogenannten Microgrids, in denen jeweils mehrere Anlagen miteinander vernetzt sind. Das Forschungsteam will hiermit untersuchen, wie sich ein energetisch optimierter und gleichzeitig netzdienlicher Betrieb realisieren lässt. Das erste Microgrid demonstriert die Sektorkopplung von Stromver-

sorgung und Heizung und besteht aus einer Solarwärmepumpe mit Latentspeicher, einem Tieftemperaturheizsystem und sogenannten PVT-Kollektoren. Diese Kollektoren kombinieren Photovoltaik (PV) mit thermischer (T) Nutzung und produzieren gleichzeitig Strom und Wärme.

Im zweiten Microgrid wird eine erweiterte Sektorkopplung von Stromversorgung mit Heizung, Kühlung und Mobilität am Campus realisiert. Es umfasst ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Pufferspeicher für Warmwasser, eine Adsorptionskältemaschine, mehrere Gebläsekonvektoren, vier Ladestellen für Elektroautos und eine Photovoltaikanlage mit Stromspeicher.

### Bedarfssteuerung

Die Steuerung des Anlagenparks erfolgt durch die Leitwarte, die Zugriff auf alle lokalen Betriebsabläufe hat und die Daten der hauseigenen Wetterstation auswertet. In Abhängigkeit von Wetter- und Energiebedarfsprognosen sowie der wirtschaftlichen Situation – beispielsweise am Strommarkt – werden möglichst optimale Fahrpläne fürs Zu- oder Abschalten der Anlagen für die kommenden Tage generiert. Dabei können Lastverschiebungen oder geänderte Betriebsmodi beim Betrieb von Heizungs- und Lüftungsanlagen, Produktionsanlagen und Prozessen als virtuel-

le Stromspeicher fungieren, welche bei Stromüberschuss Leistung aus dem Netz aufnehmen und bei Strommangel Leistung ins Netz einspeisen.

### Aktive Studierende und externe Beteiligte

Bei der Leitwarte dienen insgesamt 16 Computerarbeitsplätze zur Visualisierung der Betriebsdaten. Außerdem können sie für Studienarbeiten genutzt werden, denn am Projekt sind auch Master-Studierende beteiligt. Sie verfolgen Änderungen und führen Programmierungen und Simulationen durch.

„In einzelnen Forschungs- und Entwicklungsprojekten können die Studierenden ihre Abschlussarbeiten durchführen und haben die Gelegenheit, schon die echte ‚Arbeit‘ kennenzulernen, damit sie exzellent für ihren Berufsstart vorbereitet sind“, erklärt Truckenmüller. Beispielsweise wurde die Standortsuche für die Photovoltaikanlage durch Simulationen aus Studienarbeiten begleitet. Darin ermittelten die Studierenden die Verschattung, sowie die optimale Aufstellung und Verschaltung der Module.

Bisher sind vier unterschiedliche externe Beteiligte aus der Region an das Virtuelle Kraftwerk jeweils über eine digitale Steuerbox angebunden: Ein Maschinenbauunternehmen, ein Bürogebäude mit Werkstatt, ein Wohnheim, sowie



ein Einfamilienhaus. Deren Energieversorgung wird in der Leitwarte überwacht und beispielhaft optimiert. Die jeweiligen betrieblichen Produktionsprozesse und Heizkreisläufe haben selbst im Realbetrieb stets Vorrang gegenüber zentralen und dezentralen Optimierungsvorschlägen des Leitsystems. Durch die Teilnahme am Virtuellen Kraftwerk können sich für diese „externen“ Beteiligten konkrete Energie- und Ressourceneinsparungen sowie eine Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz im eigenen Betrieb ergeben.

Für das Demonstrationsprojekt bedeutet das Anschließen der externen Beteiligten an die interne Handelsplattform, dass mit dem Einbezug unterschiedlicher Anlagen die Palette an zukünftigen Marktmodellen erweitert und getestet werden kann. Die Projektteilnahme weiterer Industrieunternehmen ist vorgesehen.

Die Prognosedaten der Wetterstation dienen zur Steuerung des Virtuellen Kraftwerks

Bild: Hochschule Reutlingen

Links: Maschinenhalle des Virtuellen Kraftwerks mit Wärmepumpe, Blockheizkraftwerk, Heizung und Kühlungsanlagen der Microgrids

Rechts: Steuergeräte zur Kommunikation und dezentralen Optimierung der Microgrids



Bilder: Hochschule Reutlingen





# Regional flexibles Stromnetz

## Echtzeit-Datenplattform für Demand Side Management

Die Transformation des Energiesystems Deutschland erzeugt einen zunehmenden Bedarf an Flexibilität mit einer regionalen Komponente. Eine neue Datenplattform bringt das Angebot von überschüssig produziertem Strom aus Gewerbe- und Industrieunternehmen mit dem unterschiedlich hohen Bedarf bei Übertragungsnetzbetreibern zusammen.

Der Stuttgarter Flughafen nutzt Notstromaggregate zur Vermarktung von Strom.

Bild: Flughafen Stuttgart

### PROJEKT

Online-Plattform zur Darstellung von flexibel zu- und abschaltbaren Lasten auf unterschiedlichen regionalen Skalen in Baden-Württemberg

Laufzeit: 5/2016 bis 11/2017

KIT, Forschungszentrum Informatik (FZI), Karlsruhe  
Julian Huber  
Julian.Huber@fzi.de  
www.fzi.de

### PARTNER

Flughafen Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

Altran GmbH, München  
IDS GmbH, Ettlingen  
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), Stuttgart

Der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland soll gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung weitestgehend durch Erzeugung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen erreicht werden. Da Wind nicht regelmäßig bläst und die Sonne nur tagsüber scheint, resultiert ein hoher Flexibilitätsbedarf im Stromnetz, um einen Ausgleich von Erzeugung und Nachfrage herzustellen. Außerdem stehen Windräder vorwiegend in Norddeutschland, was einen hohen Transportbedarf des Stroms in die südlicheren Industrieregionen zur Folge hat.

Um diesen veränderten Anforderungen an Transportkapazitäten zu genügen, werden derzeit die Stromnetze ausgebaut. Jedoch kann es bis zum Abschluss des Netzausbaus sowie durch einzelne Leistungsspitzen in Erzeugung und Nachfrage zu Netzengpässen kommen. Als kurzfristige Maßnahme zur Behebung oder Vermeidung von Engpassituationen stehen verschiedene Flexibilitätsoptionen zur Verfügung. Diese müssen jedoch „in regionalem Zusam-

menhang mit der Netzengpassituation stehen, um eine Wirksamkeit sicherzustellen“, wie Julian Huber feststellt. Er ist Mitarbeiter im Forschungszentrum Informatik (FZI) in Karlsruhe und leitete ein Forschungsprojekt, das eine neue Echtzeit-Datenplattform zur Laststeuerung, ein sogenanntes Demand Side Management (DSM), erprobte.

### Hoher Flexibilitätsbedarf

Ein DSM stellt gemäß Huber eine „kosteneffiziente Lösungsoption zur Deckung des Flexibilitätsbedarfs dar“. Dies bedeute, „dass Stromverbraucher ihre Bezugsleistung kurzfristig an Signale von außen anpassen können und dafür finanziell entlohnt werden“. Netzbetreiber hingegen können ihre Netzinfrastruktur effizienter nutzen, indem sie überschüssigen Strom aus Gewerbe- und Industrieunternehmen für den Ausgleich im regionalen Stromnetz einsetzen. Für Huber bedeuten die genannten Entwicklungen „einen grundlegenden Transformationsprozess für das deutsche Stromsystem, der aufgrund der de-

zentralen und angebotsabhängigen Erzeugung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen einen Flexibilitätsbedarf hervorruft“. Dieser Bedarf sei sowohl auf Systemebene als auch auf regionaler Ebene vorhanden und könne durch eine Vielzahl von Flexibilitätsoptionen im Stromsystem gedeckt werden, wie Dr. Martin Steurer von der Universität Stuttgart anschaulich verdeutlicht (vgl. Abb. 1).

Er war am Forschungsprojekt beteiligt und ordnete die verschiedenen Optionen den Bereichen Erzeugung, Netze, Verbraucher, Speicher sowie Sektorkopplung zu. Aufgrund der typischen elektrischen Erzeugungs- beziehungsweise Bezugsleistung je Netzanschlusspunkt unterscheidet er zwischen zentralen, dem Übertragungsnetz zugeordneten, sowie regional verteilten, dem Verteilnetz zugeordneten Strukturen.

### Prototyp einer Datenplattform

Das Forschungsprojekt DSM-Plattform in Baden-Württemberg hatte

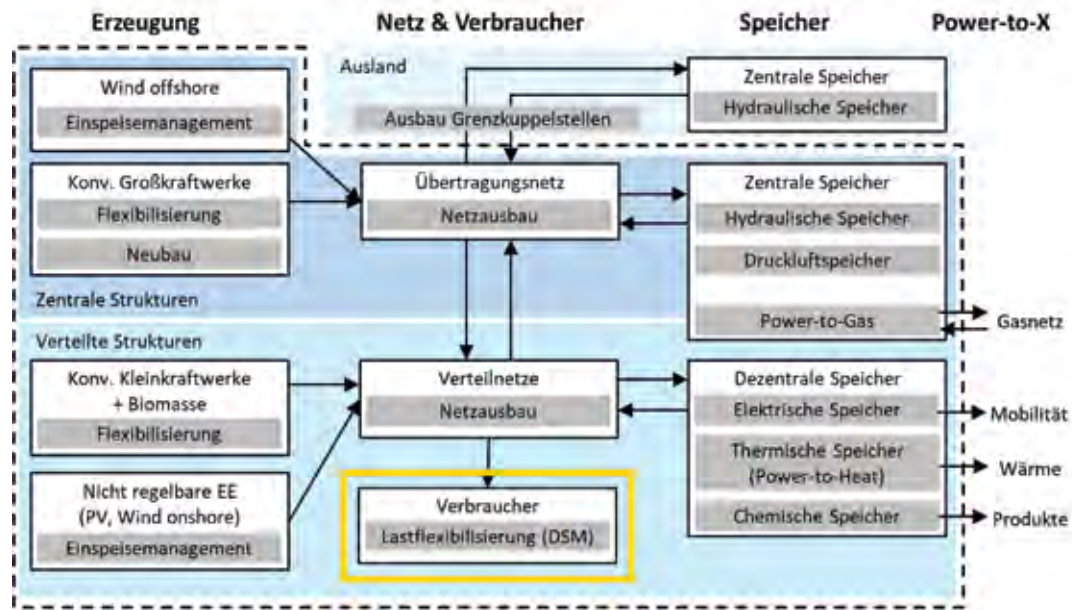
das Ziel, sowohl Hindernisse auf Seiten der Flexibilitätsanbieter als auch bei Flexibilitätsnachfragern zu überwinden. Erstere sind Unternehmen aus Gewerbe, Handel und Dienstleistung sowie Industrie, die laut Huber „Hemmnisse bei der Beschreibung von Flexibilitätspotenzialen von komplexen Prozessen und Anlagen“ haben. Außerdem würden geeignete Informationen über Vermarktungsoptionen fehlen. Die letztere Gruppe der Nachfrager sind die Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber, denen oftmals eine Übersicht über die regional verfügbaren DSM-Potenziale fehle.

Das Forschungsteam hatte sich daher zum Ziel gesetzt, den Prototypen einer Flexibilitätsplattform zu entwickeln, die die genannten Akteure bei der Bewertung ihrer Potenziale unterstützt und deren Vermarktung in der Region erleichtert.

**Erste Erfahrungen**

Das IT-Konzept der DSM-Plattform sah eine dreigeteilte Struktur vor, die sich an die drei Hauptziele des Projekts anlehnt: „Potenziale bewerten, DSM-Vermarktung erleichtern und regionale Aspekte stärken.“

Aus den Anlagendaten kann dabei das Strom anbietende Unternehmen mit einem standardisierten Datenmodell sein Flexibilitätspotenzial ermitteln und an den Web-Service der Plattform übermitteln. Ein im Forschungsprojekt entwickeltes „Self-Assessment-Tool“ erleichtere inzwischen auch kleineren Unternehmen die Bewertung ihrer DSM-Vermarktungschancen, erläutert Huber. Die Plattform biete mit ihren geographischen Daten „für die Netzbetreiber erstmals einen systematischen Überblick regional verfügbarer Potenziale“ und unterstütze diese damit bei der Erhaltung der Versorgungssicherheit. Im Verlauf des Forschungsprojekts



habe sich gezeigt, dass sich nicht alle Produktionsprozesse oder Betriebsgrößen im gleichen Maße für eine DSM-Einführung eignen. Während beispielsweise die schaltbare Leistung an einem Standort eines stromintensiven Industrieunternehmens als sehr günstig beurteilt wird, sei der spezielle Erschließungsaufwand bei mittleren und kleineren Unternehmen derzeit noch relativ hoch und damit ungünstig, um ein DSM einzuführen (vgl. Abb. 2). Vorreiter für die Einführung eines Demand Side Managements ist der Projektpartner Flughafen Stuttgart, der seit 2016 etwa 3,2 Megawatt (MW) abschaltbare Lasten über das virtuelle Kraftwerk der EnBW vermarktet habe, wie Holm Wag-

ner, Geschäftsführer der Flughafen Stuttgart Energie, berichtet. Dazu wurden große Verbraucher wie Lüftungsanlagen oder Kältemaschinen mit Hilfe von Speichern flexibel betrieben. Der Flughafen Stuttgart kann so Lastspitzen reduzieren und zusätzlich Erzeugungskapazität als sogenannte Regelernergie zur Sicherung der Stromnetzstabilität vermarkten. Das Potenzial sei vorhanden, bricht Wagner eine Lanze für DSM. Doch der Aufwand für die Einführung sei teilweise erheblich, beispielsweise für Anfangsinvestitionen in die Steuerungstechnik. Die Projektergebnisse flossen in das „DSM-Pilotprojekt“ ein, das von der Deutschen Energieagentur (dena) geleitet wird (www.dsm-bw.de).

Abb. 1: Übersicht über Flexibilitätsoptionen im Stromsystem  
Graphik: M. Steurer, S.Bothor/ Uni Stuttgart

	Anwendungsbereich	Schaltb. Leistung je Standort	Verfügbarkeit	Spez. Erschließungsaufwand	Nutzungsaufwand
Produktionsprozesse	Stromintensive Industrie	Sehr hoch	Sehr hoch (nur)	Gering / bereits erschlossen	Prozessbeeinträchtigung
	Sonstige Industrie	Hoch	Je nach Betriebsweise	Relativ gering	
Querschnittstechnologien	Große Betriebe (Industrie, GHD)	Hoch	Je nach Betriebsweise/ Witterung	Relativ gering	Idealerweise keine Beeinträchtigung
	Mittelgroße Betriebe	Relativ gering		Relativ hoch (Stand heute)	
	Kleine Betriebe	Gering		Hoch (Stand heute)	

Grün – günstig; Orange – bedingt günstig; Rot – ungünstig für DSM-Nutzung

Abb. 2: Schematische Einordnung von Stromanwendungen hinsichtlich ihrer DSM-Eignung  
Graphik: M. Steurer/ Uni Stuttgart



# Flexible Regelung im Quartier

## Lokales Smart Grid für Strom, Wärme und Kälte

In der ehemaligen Oberschwaberkaserne Hohentengen hat ein Forschungsteam eine Kombination von vier Energieanlagen in ein lokales Energienetz eingebunden: Kraft-Wärme-Kopplungs-Maschine, elektrische Wärmepumpe, Photovoltaik-Anlage und Stromspeicher sollten bestmöglich aufeinander abgestimmt werden, um die Eigenversorgung mit Strom, Wärme und Kälte jederzeit zu gewährleisten und dabei die Kohlenstoffdioxid-Emissionen weitestgehend zu reduzieren.

### PROJEKT

Ehoch4-Quartier 4.0: Quartierlösung aus innovativen gekoppelten Energieversorgungseinheiten mittels Kombination von Photovoltaik, Akku, KWK- und Wärmepumpentechnik zur Bereitstellung von Wärme, Kälte, Strom und Regelenergie zu jedem Zeitpunkt und Integration in das Smart Grid auf dem Areal Ehoch4

Laufzeit: 5/2016 bis 12/2018

ISC Konstanz

Dr. Kristian Peter

kristian.peter@isc-konstanz.de  
www.isc-konstanz.de

Nachdem im Jahr 2012 die letzten Bundeswehr-Angehörigen die Oberschwaberkaserne im Kreis Sigmaringen verließen, übernahm die Forschung das Kommando in den ehemaligen Kompaniegebäuden. Wehrdienst mit Drill und Uniform sind vorbei, nun forschen auf dem sogenannten Ehoch4-Areal Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an zukunftsweisender Technik zur Nutzung erneuerbarer Energien.

In der früheren Rekrutenstube im Erdgeschoss hat sich inzwischen

Dr. Kristian Peter vom „International Solar Energy Research Center Konstanz“ (ISC Konstanz) mit seinem Forschungsteam eingerichtet. Hier bauen sie die thermischen und elektrischen Energieanlagen zu einer sogenannten TH-E-Box zusammen, die aus drei Elementen besteht, wie Peter erklärt: „Das sind eine große aufladbare Batterie, eine elektrische Wärmepumpe und ein Blockheizkraftwerk (BHKW), das zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels eines Erdgasmotors oder einer Wasserstoff-Brennstoffzelle dient, wenn nicht genügend Solarenergie zur Verfügung steht.“

### Simulation der Anlagen

Im Verlauf des Forschungsprojekts „Ehoch4-Quartier 4.0“ will das Team insgesamt vier solcher Energieanlagen aufbauen und sie in ein lokales Energienetz einbinden. Ziel ist, dass die Anlagen miteinander kommunizieren und den Energiebedarf sowie den Energieüberschuss mit anderen Anlagen austauschen. Durch diese Vorgehensweise wollen Peter und sein Team ein Maximum an Flexibilität und Energieeffizienz erreichen. Das Gesamtkonzept soll unter Einbeziehung der Photovoltaik zu jedem Zeitpunkt Wärme und Strom für die Gebäudeenergieversorgung liefern und Strom für ein Elektroauto zur Verfügung stellen.

In einem ersten Schritt entwarf das Forschungsteam eine Simulation mit vier verschiedenen Anlagen, je-

weils zwei für einen Alt- und einen Neubau. Zudem verwendeten sie jeweils ein BHKW unterschiedlicher Größe, die Leistung variierte zwischen zwei und fünf Kilowatt elektrisch (kW<sub>e</sub>). Somit könne laut Peter ein großer Bereich vom Ein- bis zum Mehrfamilienhaus abgedeckt werden.

Die zentrale und neu konzipierte Aufgabe der TH-E-Box sei, dass sie jederzeit umschalten könne, je nachdem welche Energiequelle für Strom und Wärme zum Einsatz kommen soll, um einen möglichst effizienten Betrieb zu gewährleisten. Als Energiequelle für Strom stehen dabei die Photovoltaik-Anlage, das BHKW, die aufladbare Batterie und das Netz zur Auswahl. Die Wärme liefert entweder das BHKW oder die elektrische Wärmepumpe.

„Zu erwähnen ist noch“, so Peter, „dass wir den Fokus auf eine maximale Eigenverbrauchsquote des PV-Stroms gelegt haben“. Bei der Wärmeversorgung wirke die Wärmepumpe als Bindeglied zwischen regenerativer und fossiler Energie. Sie könne sowohl mit PV-Strom als auch mit BHKW-Strom betrieben werden.

### Abhängigkeiten berücksichtigen

Die größte Herausforderung bei solchen Anlagen sei das Problem der sogenannten Auslegungspunkte, um eine maximale Flexibilität zu erreichen, erklärt der Konstanzer Wissenschaftler. Denn eine Ener-



Bild: ISC Konstanz

Aufgebaute TH-E-Box in der ehemaligen Oberschwaberkaserne Hohentengen

gieanlage, die das ganze Jahr zuverlässig Strom und Wärme produzieren muss, habe mit sehr volatiler Energie umzugehen. So schwanke der PV-Ertrag zwischen Nacht und Tag zwischen null und 100 Prozent. Auch die jahreszeitliche Abhängigkeit müsse berücksichtigt werden, denn die Peakleistung der PV-Anlage schwanke zwischen 100 Prozent in den Sommermonaten und zehn Prozent im Winter. Außerdem hätten auch die Batterie, das BHKW und die Wärmepumpe jeweils ihren ganz besonderen Betriebspunkt, und sie würden nur in bestimmten Zeiträumen gut funktionieren, erläutert Peter die Schwierigkeiten der Anlage: So arbeiteten die Batterie und die Wärmepumpe in den Sommermonaten hervorragend, in den Wintermonaten allerdings schlecht oder gar nicht. Umgekehrt verhalte es sich beim BHKW. Dieses arbeite in den Wintermonaten hervorragend, während es im Sommer nicht effizient betrieben werden könne.

**Großes Einsparpotenzial**

Die durchgeführten Simulationen für den möglichst optimalen und flexiblen Betrieb einer Energieanlage haben laut Peter ergeben, „dass wir mit einem enormen CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial rechnen können“. Denn im Vergleich zu einer Gebäudeenergieversorgung ohne PV und mit einer herkömmlichen Gas-Brennwerttechnik sei eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um über 70 Prozent möglich.

Werde in einer zusätzlichen Simulationsrechnung noch ein Elektroauto statt eines Pkw mit Verbrennungsmotor einbezogen, steige die Effizienz der Anlage erheblich (vgl. Graphik). So reduziere sich der Verbrauch an fossiler Energie um etwa 73 Prozent und derjenige der Gesamtenergiemenge etwa um 45 Prozent. Mit diesen Zahlen wären

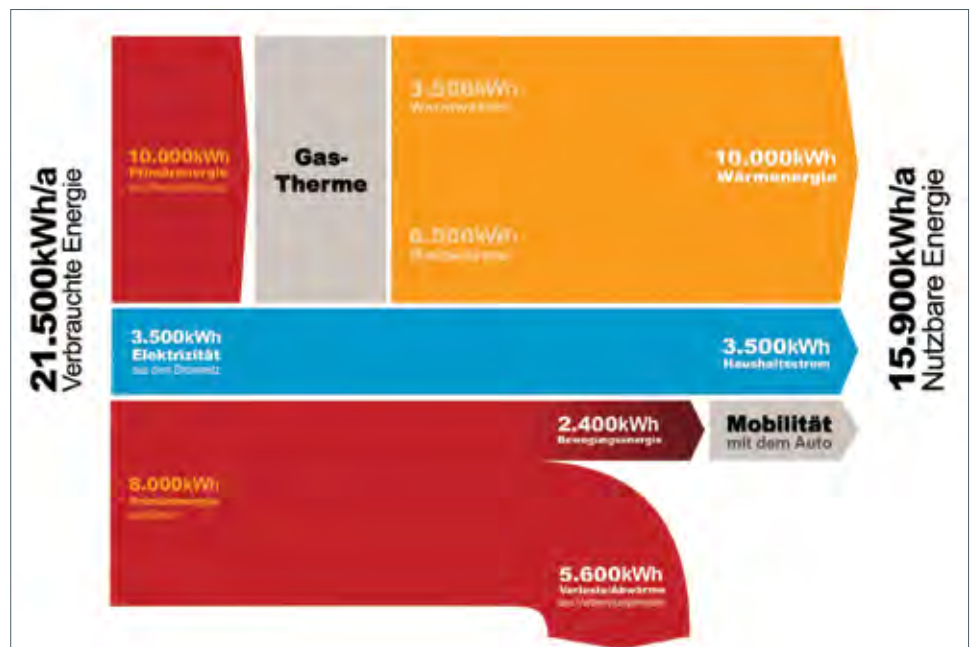
sogar die Zielvorgaben des Landes Baden-Württemberg für das Jahr 2050 schon beinahe erreicht.

**Netzdienlicher Betrieb**

In einem zweiten Schritt baute das Forschungsteam vier Energieversorgungsanlagen auf dem Areal der ehemaligen Oberschwabekaserne in Hohentengen auf und nahm sie in Betrieb. Die ersten Erfahrungen zeigten, „dass die Versorgung der Wohn- und Büroeinheiten mit Wärme und Strom weit über die Energieautarkie hinausgeht“, berichtet Dr. Peter, denn „wir kön-

nen die Gebäude netzdienlich mit Energie versorgen“. Das bedeute, dass sich der Strombezug oder die Stromeinspeisung im Testgebiet des Forschungsprojekts an die Verfügbarkeit von Strom im Netz anpassen lasse.

Aufgrund der positiven Projektergebnisse sei laut Peter eine Produktionsfirma für diese Energieversorgungsanlagen als Ausgründung aus dem ISC Konstanz geplant. Kurz- und mittelfristig könnten hier einige Dutzend Arbeitsplätze in den Bereichen Entwicklung, Fertigung und Vertrieb geschaffen werden.



Schema des Energieverbrauchs beim Einsatz herkömmlicher Technik mit Gastherme und Mobilität mit Verbrennungsmotor (oben) im Vergleich zum Energieverbrauch beim Einsatz einer TH-E-Box in Verbindung mit Elektromobilität (unten): 4.910 statt 21.500 kWh pro Jahr.



Bilder: ISC Konstanz



# Großspeicher für den Ostalbkreis

## Simulationsrechnungen zur Stromnetz-Entlastung

Als Alternative zum konventionellen Ausbau des Stromnetzes sind Großspeicheranlagen im Gespräch. Ein Forschungsteam simuliert in Berechnungen eine geplante Netzverstärkung im Ostalbkreis. Die Umsetzbarkeit der Ergebnisse wird projektbegleitend mit interdisziplinär zusammengesetzten Kommunikationsgruppen diskutiert.

### PROJEKT

Netzausbaureduzierung durch Speichereinsatz im Verteilnetz am Beispiel Netzverstärkung Ostalbkreis (NEOS)

Laufzeit: 9/2016 bis 12/2018

Universität Stuttgart, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH), Prof. Dr. Krzysztof Rudion krzysztof.rudion@ieh.uni-stuttgart.de  
www.ieh.uni-stuttgart.de

### PARTNER

Hochschule Aalen

**B**ei weiter zunehmender Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz drohen an vielen Stellen Leitungsüberlastungen. Davon ist insbesondere das Verteilnetz betroffen, dessen Leitungen in verschiedene Regionen, in Ballungszentren mit deren Umspannwerken und zu großen Industriebetrieben führen.

Um die Überlastung der Leitungen zu vermeiden, hat die Bundesregierung beschlossen, das Netz auszubauen. Dazu zählen insbesondere neue Nord-Süd-Trassen, aber auch zusätzliche Übertragungsleitungen und leistungsstärkere Transformatoren.

Um Großspeicher zur technischen Optimierung des Netzausbaus einzusetzen, müssen drei Voraussetzungen erfüllt werden, erläutert Prof. Dr. Krzysztof Rudion vom Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH) an der Universi-

tät Stuttgart: „Die Technologien hierzu müssen verfügbar, die Kosten im Vergleich zum Netzausbau vertretbar und die regulatorischen bzw. rechtlichen Rahmenbedingungen müssen umsetzbar sein.“ Zudem sei die Akzeptanz in der Bevölkerung zu berücksichtigen, die die Flächeninanspruchnahme durch Großspeicher möglicherweise kritischer bewerte als den Überlandausbau von Netzen.

### Starker Zubau prognostiziert

Rudion leitet das Forschungsprojekt „NEOS“, mit dem er anhand einer konkreten Maßnahme im Hochspannungsnetz den Einsatz von Speichertechnologien zur Netzentlastung untersucht. Als Referenznetz für ihre Simulationsrechnungen suchte das Forschungsteam den Ostalbkreis um Crailsheim und Aalen aus. Hier waren im Jahr 2015 bereits 275,9 Megawatt peak (MWp) Leistung aus Photovoltaik-

und Windkraftanlagen ins Netz integriert. Insgesamt 18 Prozent des dort verbrauchten Stroms stammen aus erneuerbaren Energien. Inzwischen liegt deren Anteil bei rund 50 Prozent. Eine Ausbauprognose, die sich auf das integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württembergs von 2014 stützt, geht laut Rudion von einer deutlichen Steigerung der installierten Leistung bis zum Jahr 2020 auf 77 Prozent aus.

Auch wenn dieser starke Zubau in der verbleibenden Zeit als unrealistisch einzuschätzen sei, werde das Forschungsteam dennoch mit den Zahlen arbeiten. Denn „wir gehen davon aus, dass die angesetzte Ausbauprognose zu einem späteren Zeitpunkt erreicht wird“, ergänzt Rudion.

### Simulationsrechnung

Um eine Großspeicheranlage in der untersuchten Region zu simulie-

Einer der ersten Lithium-Ionen-Speicher in Deutschland ging 2014 in Schwerin in Betrieb

Bild: S. Rudolph-Kramer/Wemag



ren, bereitete das Forschungsteam zuerst die Zeitreihen für die Einspeisung und Last des betrachteten Jahres mit einer 15-minütigen Taktung auf. Sie basieren laut Projektleiter Rudion „auf Klimamodelldaten und den prognostizierten installierten Leistungen für PV und Wind“.

In einem weiteren Schritt werteten sie den Einfluss aller möglichen Ausfälle im Modellnetz auf die Leitungsüberlastungen aus. Dabei müsse das sogenannte N-1-Sicherheitskriterium beachtet werden, laut dem die Funktionstüchtigkeit des Leitungsnetzes auch bei Ausfall eines Speichers weiterhin sicher gewährleistet sein müsse.

Auf der Basis all dieser Daten „entwickelten wir einen Optimierungsalgorithmus zur Dimensionierung und Platzierung der Speicher“, erläutert Rudion weiter. Laut den ersten Ergebnissen wären vier Großspeicheranlagen im 110kV-Netz an den Standorten Crailsheim, Bühlerzell, Ellwangen und Bopfingen notwendig, um einen sicheren Betrieb des Netzes bei dem angenommenen Zubau von erneuerbaren Energien zu gewährleisten.

### Optimale Dimensionierung

In einem nächsten Schritt untersucht das Forschungsteam den Einsatz von Speichertechnologien im untergelagerten Mittelspannungsnetz und leitet daraus mögliche Synergieeffekte zwischen Hochspannungs- und Mittelspannungsnetz ab. Für Prof. Dr. Rudion und sein Team gilt es, „die gesamte umgesetzte Speicherenergie unter Erfüllung der Randbedingungen zur Leitungsentlastung“ zu minimieren, damit man eine minimale Anzahl und Dimensionierung der Speicheranlagen erreichen kann. Beispielsweise habe es sich im untersuchten Jahr gezeigt, dass es 151 Tage gibt, an denen die Auslastung

des Netzes kritisch würde, sofern ein konventioneller Netzausbau unterbleibt. Wenn vorausgesetzt werden könne, dass für diese Tage neben dem Speichereinsatz zusätzlich eine andere Systemlösung wie ein Einspeisemanagement für die Netzentlastung zur Verfügung steht, kann laut Rudion „dadurch eine deutlich kleinere Dimensionierung der erforderlichen Speicher erreicht werden“.

Beim Einspeisemanagement wird die Leistung von Erzeugungsanlagen durch den Netzbetreiber beschränkt. Das Angebot von Energie aus Sonne und Wind wird in diesem Fall nur zum Teil genutzt.

### Öffentlichkeitsbeteiligung

Wichtiger Bestandteil des Forschungsprojekts ist die kommunikationswissenschaftliche Begleitung, die durch Prof. Martina Hofmann von der Hochschule Aalen in Kooperation mit Frank Ulmer vom Ulmer Kommunikationsbüro koordiniert wird. Maßgebliches Instrument seien dafür laut Hofmann zwei heterogene Kommunikationsgruppen, die zum einen die Forschungsergebnisse unter technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Gesichtspunkten diskutieren und zum zweiten ein



Feedback aus der Sicht von Bürgerinnen und Bürgern sowie von kommunalen Mandatsträgerinnen und Mandatsträgern geben sollen. Die erste Kommunikationsgruppe setzt sich aus Vertretern und Vertreterinnen der Gemeinderäte und Kommunalverwaltungen, des Landratsamtes, des Umweltministeriums Baden-Württemberg und einem Bundestagsabgeordneten zusammen.

Der Aufruf zur Teilnahme der Bevölkerung für die zweite Kommunikationsgruppe erfolgte in den regionalen Tageszeitungen. Ziel der Diskussionsveranstaltungen sei es laut Hofmann, gemeinsam zu erarbeiten, „wie man die Öffentlichkeit über das komplexe Thema Speicher informiert, damit eine Bewertung durch diese möglich wird“.

Grün unterlegt sind geplante Netzverstärkungsmaßnahmen rund um Crailsheim und Aalen  
 Graphik: Netze BW

Innenleben eines Lithium-Ionen-Speichers im Großformat



Bild: S. Rudolph-Kramer/Wernag



# Mit dem Wechselrichter reden

## Neue CLS-Applikationen für Steuerboxen im Smart Grid

Ein intelligentes Stromnetz erfordert eine funktionierende Steuerung von Komponenten wie Photovoltaikanlagen, Kühlanlagen sowie Speichersystemen. Ein Forschungsprojekt soll neue Applikationen auf Basis des „Smart Meter Gateways“ erproben, um ein verbessertes Einspeisemanagement und die Kontrolle von Systemdienstleistungen zu erreichen.

### PROJEKT

CLS-Applikation – Digitalisierung  
Energiewende made in BW  
(CLS-App)

Laufzeit: 9/2016 bis 12/2017  
Zenner Hessware GmbH  
Sebastian Heß  
kontakt@hessware.de  
www.hessware.de

### PARTNER

Hochschule Ulm  
Meteocontrol GmbH, Augsburg

**I**ntelligente Stromnetze, die unmittelbar auf Angebot und Nachfrage reagieren, seien die Basis „für eine sichere, umweltverträgliche und kostengünstige Energieversorgung“, heißt es in der Digitalisierungsstrategie des Landes Baden-Württemberg. Diese sogenannten „Smart Grids“ sollen in Echtzeit ermitteln, wo Energie gebraucht und erzeugt wird und wie sie am besten gespeichert und transportiert werden kann.

Denn wo bisher wenige große, zentrale Kraftwerke die Energieversorgung abgesichert hatten, entstehen heute Millionen von kleinen dezentralen Kraftwerken, welche Biomasse, Windkraft oder Solarenergie nutzen.

### Intelligente Messsysteme

Damit das Zusammenspiel dieser vernetzten Energiesysteme reibungslos funktioniert und die Funktion

und Qualität der Energieversorgung erhalten bleibt, steigen die Anforderungen an die Kommunikation im Energienetz.

Voraussetzung für solche Smart Grids seien intelligente Messsysteme und Steuerboxen, die die Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern und elektrischen Verbrauchern übernehmen, wie Sebastian Heß erläutert. Er ist Geschäftsführer der Zenner Hessware GmbH und leitet das Forschungsprojekt „CLS-App Baden-Württemberg“, welches neue Applikationen für die verschiedenen Erzeuger und Verbraucher im Stromnetz erproben soll.

Hierzu gehören beispielsweise Photovoltaikanlagen, Heizstäbe und Kühlanlagen sowie Ladesäulen für E-Mobile und Speichersysteme. „Insgesamt soll unser Projekt am Ende belegen, dass sich intelligente Messsysteme in Kombina-

tion mit CLS-Steuerboxen für den Betrieb des Smart Grids eignen“, sagt Heß. Er fügt hinzu, dass die Abkürzung „CLS“ für den englischen Begriff „Controllable Local System“ stehe, welchen das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) im Rahmen der Smart Meter Gateway Spezifikation geprägt hat.

### Stromnetz simuliert

Im Rahmen des Projekts integrierte das Forschungsteam zwei bereits verfügbare sowie neun neu entwickelte CLS-Applikationen in ein CLS-fähiges „IoT Gateway“ und testete sie im neu aufgebauten Smart-Grid-Labor der Hochschule Ulm auf ihre Kommunikations- und Funktionseigenschaften. Ein „IoT Gateway“ umschreibt eine existierende Schnittstellensoftware.

Dafür richtete das Team an mehreren Testplätzen zwei verschiede-

Erläuterung der Anwendungen des CLS-App-Projekts im Smart Grid Labor der Hochschule Ulm

Bild: Hochschule Ulm



ne Solarwechselrichter, elektrische Energiespeicher und Power-to-Heat-Anwendungen ein. Gemeinsam mit der Hochschule Ulm als Kooperationspartner integrierte es dessen Elektro-Ladesäulen in ein intelligentes Verteilnetz. In der Testphase ließen sich mit einem Stromnetzsimulator unterschiedliche Netzzustände im Labornetz einstellen, mit denen die neuen Komponenten korrekt umgehen mussten.

Dabei empfangen die experimentelle Verteilnetzleitwarte die Informationen der Teilnehmer des intelligenten Stromnetzes, errechnen daraus die lokalen Netzzustände und senden Steuerbefehle an die dezentralen Energiesysteme und flexiblen Lasten, wie Heß erklärt. Mit „flexibler Last“ ist beispielsweise ein Energiespeicher oder ein Kühlgerät gemeint, die nicht zu bestimmten Zeiten unbedingt Strom aus dem Netz benötigen, sondern etwas zeitverzögert geladen beziehungsweise gekühlt werden können – abhängig vom aktuellen Netzzustand.

### Einspeisemanagement

Diese netzdienliche Funktion, bei der unterschiedliche Komponenten ihren Beitrag zur Netzstabilität beitragen, können auch von außen angesteuert werden. Dafür sei laut Projektleiter Heß die bereits vor Projektbeginn existierende Applikationen des flexiblen, sogenannten Einspeisemanagements angepasst worden. Die Steuerung könne durch den Verteilnetzbetreiber genauso erfolgen wie durch einen Direktvermarkter beziehungsweise durch eine Stromhandels-gesellschaft. Das Zusammenspiel beider Parteien verbinde den Energiehandel mit der Sicherstellung der notwendigen Netzstabilität.

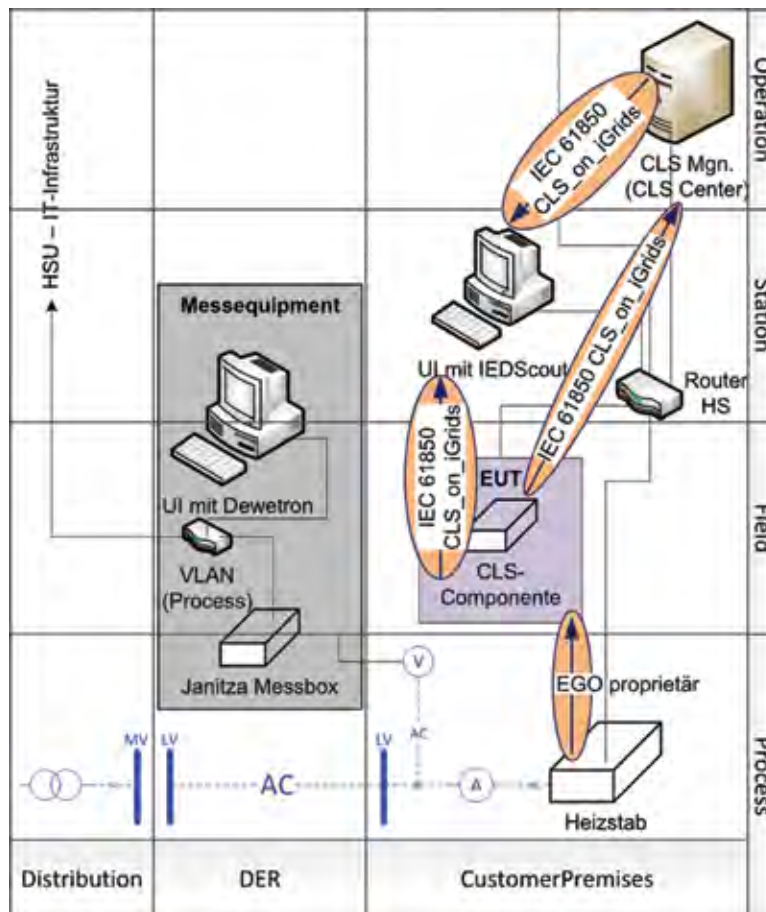
### Neue Applikationen

Eine der neu entwickelten Applikationen regle das bereits erwähn-

te Power-to-Heat-Management, wie Heß erläutert. Damit könne ein intelligenter Heizstab zur Warmwasseraufbereitung gesteuert werden. Mit seiner integrierten Temperaturmessung und einem Speichermodul lasse sich die voraussichtliche Betriebszeit des Heizstabs bestimmen und abfragen (vgl. Graphik). Zwei weitere neu entwickelte Ap-

### Realitätsnahe Forschung

Im Rahmen des Projekts hatte das Forschungsteam das System mit mehreren Industriepartnern erfolgreich getestet. Außerdem sei es möglich gewesen, durch die Teilnahme an Ausschreibungen und Arbeitsgruppen die Anforderungen der großen Betreiber zu erfahren,



Schema-Ausschnitt zur Anbindung eines Heizstabs an die CLS-Steuerbox (lila), mit der sich von der Leittechnik eines Netzbetreibers Betriebsdaten abfragen und der Heizstab gezielt zu- und abschalten lässt.

Graphik: Hessware

plikationen sind in der Lage, die Kommunikation mit jeweils einem Wechselrichter unterschiedlicher Bauweise zu ermöglichen. Man könne auch sagen: „Wir reden mit dem Wechselrichter“, wie es Prof. Gerd Heilscher von der Hochschule Ulm etwas verkürzt formuliert. Mit einer dieser neuen Applikationen sei es beispielsweise inzwischen möglich, „herstellerübergreifend auf die Messwerte eines Wechselrichters zuzugreifen und seine Leistung dem Bedarf anzupassen“, beschreibt Projektleiter Heß die Funktionsweise.

wie Heß berichtet: „Damit konnten wir die Nähe zum Markt weiter verbessern.“

Das Forschungsteam stellte die Ergebnisse ihres Projekts bei der Eröffnung des Smart Grid Labors der Öffentlichkeit vor. Prof. Heilscher ist überzeugt, dass das Labor „mit seiner realitätsnahen Forschung einen großen Beitrag zur Energiewende“ liefern werde. Denn hier sei es nun möglich, das dezentrale Energie-Informationen-Netz der Zukunft und die Stabilität der Energieversorgung unter realen Bedingungen testen zu können.



# Einsparpotenziale bei der EDV

## Energie- und Ressourcen-Effizienz bei landeseigener Informationstechnik

Die Landesstrategie „Green IT 2020“ zielt auf eine verbesserte Energie- und Ressourceneffizienz von Computern, Druckern, Servern und Rechenzentren in der Landesverwaltung ab. Ein Forschungsteam untersuchte den aktuellen Bestand und entwickelte mehr als 20 Steckbriefe mit technisch umsetzbaren und wirtschaftlichen Energiesparmaßnahmen.

### PROJEKTE

Green-IT-Einsparpotenziale  
 Laufzeit: 3/2016 bis 10/2017  
 Green-IT-Inventar  
 Laufzeit: 3/2016 bis 9/2017  
 Öko-Institut, Freiburg  
 Dr. Andreas R. Köhler  
 a.koehler@oeko.de  
 www.oeko.de  
 www.green-it.baden-wuerttemberg.de

Zur Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Baden-Württemberg gehört unter anderem die Bewirtschaftung der eigenen Liegenschaften sowie die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks in der Verwaltung. Dabei gerieten auch die landeseigenen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ins Blickfeld, die mit einer nicht unerheblichen Inanspruchnahme von Energie und Ressourcen verbunden sind.

Vor diesem Hintergrund hatte die Landesregierung im Jahr 2014 die Landesstrategie „Green IT 2020“ verabschiedet. Deren Ziel ist eine Senkung des gesamten IKT-bezogenen Energieverbrauchs in der Landesverwaltung um jährlich mindestens zwei Prozent. Im Strategiepapier sind dafür rund hundert verschiedene Maßnahmen skizziert, die den Energie- und Ressourcenverbrauch sowohl von Computern und Druckern als auch von Ser-

vern und Rechenzentren reduzieren sollen.

### Sparpotenziale formulieren

Dr. Andreas Köhler vom Öko-Institut Freiburg bewertete mit seinem Team diese Maßnahmen „auf ihr Potenzial zur Energie- und Ressourceneinsparung sowie die damit verbundenen Kosten bzw. Kosteneinsparungen“. Darauf aufbauend wurden in seinem Forschungsprojekt einige „Handlungsoptionen zur Realisierung der Einsparpotenziale in der öffentlichen Verwaltung Baden-Württembergs“ formuliert. Für ihre Arbeit konnten die Forscherinnen und Forscher auf aktuelle Energie-Verbrauchsdaten der gesamten IKT-Infrastruktur in der Landesverwaltung zurückgreifen. Diese wurden im parallel durchgeführten Projekt „Green-IT-Inventar“ ermittelt. Bezogen auf das Jahr 2015 ergab sich aus dessen Messergebnissen und Bestandsauswertungen ein Verbrauch

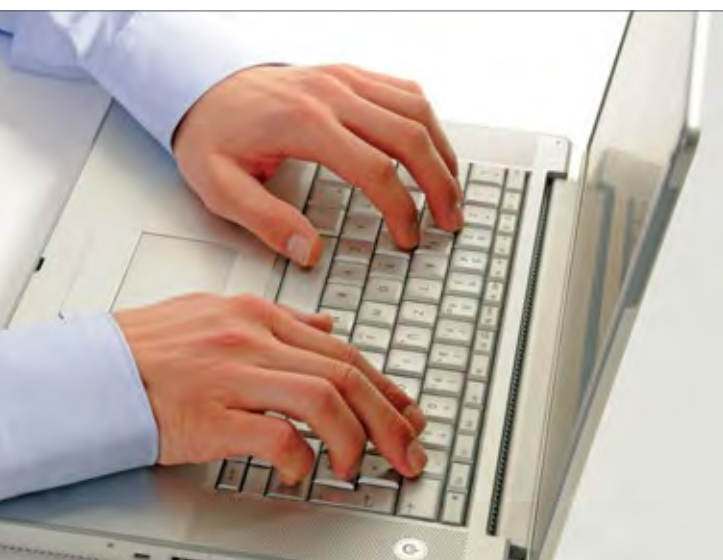
an elektrischer Energie von etwa 154 Gigawattstunden (GWh) zuzüglich 25 GWh beim Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS). Dieser Energieverbrauch verursacht klimarelevante Emissionen von rund 80 Kilotonnen (kt) CO<sub>2</sub>. Um das Zwei-Prozent-Einsparziel zu erreichen, müsste der jährliche Stromverbrauch der IKT-Einrichtungen um rund 3 GWh reduziert werden.

### Lebensdauer verlängern

Die in der Landesstrategie formulierten Maßnahmen beziehen sich sowohl auf die Ausrüstung unterschiedlicher Büro-Arbeitsplätze mit PC, Monitoren und Druckern als auch auf die zentralen IKT-Einrichtungen in Rechenzentren und Serverräumen. Dr. Köhler ermittelte mit seinem Team in beiden Bereichen nennenswerte Einsparpotenziale.

Der Stromverbrauch in der Nutzungsphase sei allerdings nicht das

Ein Laptop verbraucht etwa drei Mal weniger Strom als ein herkömmlicher Desktop-PC. Sehr effizient sind auch die auf der Green-IT-Website vorgestellten Mini-PCs.



**GREEN IT**  
 für den Klimaschutz

Am Arbeitsplatz | Im Rechenzentrum | Energieeffiziente Green IT | 9

Stromverbrauch: 1 Ampere/1000h, 10000h, 10000h/PC als Ersatz für Desktop-Rechner

< Zur Übersicht

### Mini-PCs als Ersatz für Desktop-Rechner

**Energierenormen einhalten**  
 Das ist ein PC, der...  
 10000h/PC

**Machen Sie sich!**  
 Machen Sie sich...  
 10000h/PC

**Energiesparpotenzial**  
 Durch den Ersatz von Desktop-PCs durch Mini-PCs...  
 10000h/PC

Bilder: Jorma Bork/Pixelio, Screenschat

einziges Kriterium für „grüne“ IKT. Wichtig sei auch, dass die Herstellung der Hardware sehr viel Energie und knappe Rohstoffe verbraucht. Jede Neubeschaffung von Computern und Co. induziere zusätzlichen Ressourcenverbrauch. Es komme deshalb laut Köhler darauf an, die vorhandene Computertechnik möglichst lange zu benutzen. Daher sollte bereits bei der Beschaffung Wert auf langfristige Updates, Nachrüstung und Reparaturfähigkeit gelegt werden. Mit entsprechend formulierten Ausschreibungen könnten öffentliche Beschaffungsstellen in diesem Sinne einiges bewegen.

Daher lohne es sich, so Köhler, „im Zuge turnusmäßiger Neubeschaffungen auf funktional gleichwertige Gerätemodelle mit dem Energy Star oder dem Blauen Engel“ zu setzen. Allein mit dieser Maßnahme ließen sich rund 13 GWh Strom pro Jahr einsparen und das Einsparziel der Green-IT-Strategie erreichen.

Darüber hinaus gebe es noch wirkungsvollere Energiesparoptionen, die sich bei bestimmten Arbeitsplätzen und ohne wesentliche Mehrinvestitionen bei anstehenden Beschaffungen realisieren ließen. Beispielsweise könnten Desktop-PCs durch Mini-PCs ersetzt und Mehrpersonen- statt Einzelplatzdrucker genutzt werden. Die Summe der möglichen Beschaffungsmaßnahmen würden etwa 31 GWh elektrische Energie pro Jahr einsparen, hat Köhler errechnet.

### Optimierung in Rechenzentren

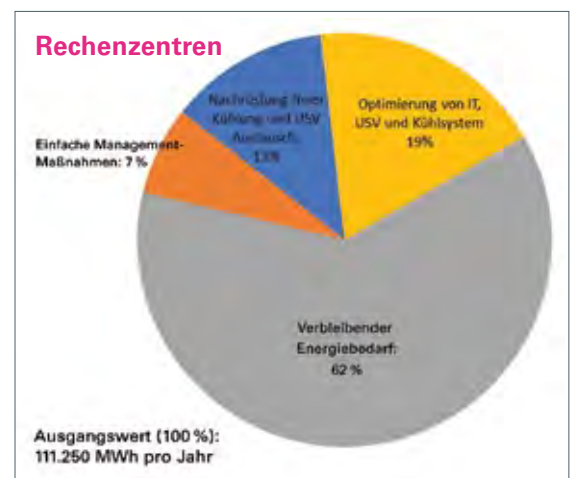
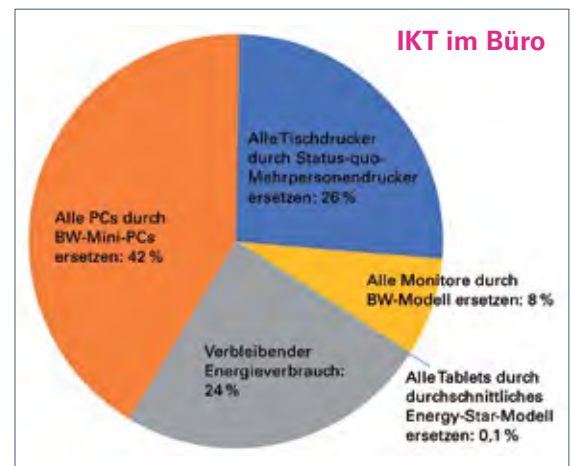
Die Forscherinnen und Forscher ermittelten auch bei Rechenzentren ein erhebliches Optimierungspotenzial, vor allem bei der Kühlung. Diese Potenziale seien aber nur durch die Implementierung planerischer Maßnahmen und mittels Investitionen in die Rechenzentrumsinfra-

struktur umsetzbar. Eine kurzfristig mögliche Kombination von Optimierungsmaßnahmen der IT-Komponenten, des Kühlsystems sowie einer unterbrechungsfreien Stromversorgung ergebe jedoch für alle Rechenzentren der Landesverwaltung zusammen ein mögliches Einsparpotenzial von etwa 21 GWh pro Jahr. In der Gesamtschau des IKT-Bereichs der Landesverwaltung könnten mittelfristige Einsparmöglichkeiten in der Größenordnung von rund 52 GWh pro Jahr erreicht werden, fasst Dr. Köhler die Projektergebnisse zusammen. Bezogen auf die Arbeitsplatz-IKT sei eine Einsparung von 71 Prozent realisierbar, im Bereich der Rechenzentren könnten insgesamt 15 Prozent eingespart werden. Dies entspreche zusammen einer möglichen Einsparung von rund 34 Prozent gegenüber dem bisherigen Energieverbrauch der landeseigenen IKT. Damit habe sich gezeigt, dass durch die Maßnahmen deutlich mehr als eine zweiprozentige Verbrauchsreduktion möglich sei.

### Steckbriefe für Spareffekte

Um die vorgeschlagenen Effizienzmaßnahmen für die Praxis nutzbar zu machen, arbeitete das Forschungsteam insgesamt 27 Steckbriefe mit detaillierten Informationen aus. Die Auswahl dieser Maßnahmen orientierte sich an deren praktischer Umsetzbarkeit sowie am Potenzial der Einspar-effekte.

Neben Hintergrundangaben zum Zweck der jeweiligen Maßnahme und zum Zusammenhang zwischen Aktivitäten und Energieverbrauch enthalten die Steckbriefe Aussagen zur möglichen Energieeinsparung sowie zur Wirtschaftlichkeit. Sie stehen der Öffentlichkeit in benutzerfreundlicher Gestaltung auf [www.green-it.baden-wuerttemberg.de](http://www.green-it.baden-wuerttemberg.de) zur Verfügung.



Energiesparpotenziale bei bestmöglicher Kombination von Maßnahmen im Bereich Büro-IKT (oben) und in Rechenzentren (unten)



Zentrale Kombigeräte (Drucker, Kopierer und Scanner) statt vieler Einzelgeräte erschließen ein hohes Einsparpotenzial.

Quelle: Öko-Institut

Bild: Öko-Institut



# Nachhaltige Digitalisierung

## Energie- und ressourceneffiziente Rechenzentren

Rechenzentren in Industrie, Verwaltung, Hochschulen und Kommunen gewinnen durch die voranschreitende Digitalisierung aller Prozesse eine immer größere Bedeutung – und verbrauchen immer mehr Energie und Ressourcen. Ein Forschungsteam untersucht deshalb, wie der Bau und der Betrieb von Rechenzentren nachhaltiger gestaltet werden können.

### PROJEKT

Nachhaltige Rechenzentren (EcoRZ)  
 Laufzeit: 4/2017 bis 03/2020  
 Institut für Energiewirtschaft und  
 Rationelle Energienutzung (IER),  
 Universität Stuttgart  
 Prof. Dr.-Ing. Peter Radgen  
 peter.radgen@ier.uni-stuttgart.de  
 www.ier.uni-stuttgart.de  
 www.nachhaltige-rechenzentren.de

### PARTNER

Hochschule Ulm  
 Hochschule für Technik, Stuttgart  
 Zentrum für Sonnenenergie-  
 und Wasserstoff-Forschung  
 (ZSW), Stuttgart  
 ICT Facilities GmbH, Stuttgart  
 Kommunaler Interessensverband  
 Baden-Franken (KIVBF), Karlsruhe  
 Ökonomia GmbH, Stuttgart

**A**nfang des Jahres 2017 veröffentlichte das Land Baden-Württemberg die landesweite und ressortübergreifende Digitalisierungsstrategie „digital@bw“. Denn die Digitalisierung hat Einfluss auf nahezu alle Wirtschafts- und Lebensbereiche und ordnet sie neu. Mit seiner Strategie will das Land eine Leitregion für intelligente, klimaschonende und ressourcensparende Technologien werden und das Wirtschaftswachstum weitestgehend vom Ressourcenverbrauch entkoppeln.

Mit der Digitalisierung rücken auch Rechenzentren immer mehr ins Blickfeld. Sie sind „die Herzkammer der Datenverwaltung und durch Entwicklungen wie Cloud-Dienstleistungen im stetigen Wachstum“, so Prof. Dr. Peter Radgen von der Universität Stuttgart. Er ist beim Institut für

Energiewirtschaft und Rationelle Energienutzung (IER) tätig und leitet das Forschungsprojekt „Nachhaltige Rechenzentren“, das sich als Teil der Digitalisierungsstrategie des Landes mit der „energie- und ressourceneffizienten Integration von Rechenzentren in Baden-Württemberg“ befasst.

### Sieben Projektpartner

Im Sinne der Nachhaltigkeit verfolgt das Forschungsteam laut Radgen das Ziel, „den Energie- und Ressourcenaufwand für den Betrieb der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und der Gebäudeinfrastruktur zu reduzieren und zu flexibilisieren sowie Abwärmeströme zu nutzen. Die erneuerbare Energien sollen integriert werden, um damit die Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit

des Standortes Baden-Württemberg zu stärken.“

Für das Forschungsprojekt haben sich sieben Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft zusammengeschlossen, die an sechs unterschiedlichen Arbeitspaketen beteiligt sind. Es beginnt mit der Datenerfassung, geht weiter mit Indikatoren für die Standortwahl von Rechenzentren sowie mit Entwicklungen im Bereich Technologie und Infrastruktur. Auf Basis dieser Potenzialanalysen will das Forschungsteam Szenarien für den zukünftigen Rechenzentrumsbedarf entwickeln und an realen Rechenzentren beispielhaft erproben.

### Rechenzentren im Vergleich

Im ersten Arbeitspaket sammelt, analysiert und vergleicht das Institut für Organisation und Management von Informationssystemen der Universität Ulm Daten von verschiedenen Rechenzentren. Bereits bei der Erfassung werde zwischen Hochschulrechenzentren, kommunalen und industriellen Rechenzentren sowie solchen in der Planung unterschieden, wie Radgen erklärt.

Die dabei erhobenen Daten ermöglichen es, „einerseits eine Analyse der kritischen Standortfaktoren der Rechenzentren nach Branche durchzuführen und andererseits die Energieflüsse in Rechenzentren anhand leistungsbezogener Indikatoren zu kategorisieren“. Diese Kennzahlen könnten beispielsweise der Grad der Abwärmennutzung sein oder die Möglichkeit, Rechenlasten von einem

Flexible Rechenzentren optimieren die Nutzung von Strom aus unbeständigen Energiequellen wie Solar- und Windkraftanlagen.

Bild: E. Westendarp/Pixelio



Rechenzentrum in ein anderes zu übertragen oder zeitlich zu verlagern.

## Standort- und Leistungsindikatoren

Der zweite Themenbereich im Forschungsprojekt dreht sich um ein Instrumentarium, mit dem der Standort eines Rechenzentrums bewertet werden kann und das Auskunft über die Nachhaltigkeit geben soll. Das IER in Stuttgart will mit den entwickelten Indikatoren die Frage „was sind gute Standorte für Rechenzentren?“ fundiert beantworten können. Durch die anschließende Gewichtung der verschiedenen Indikatoren soll eine Bewertungsgröße für Rechenzentren entwickelt werden, die auch Kommunen für ihre Bauleitplanung nutzen könnten, wie Radgen weiter erläutert.

Die ersten Zwischenergebnisse von Befragungen hätten ergeben, dass beispielsweise die Zuverlässigkeit und der Preis der Stromversorgung, die Geschwindigkeit und Bandbreite der Internetverbindung sowie die Nähe zu Kundinnen und Kunden wichtige Standortindikatoren seien. Dabei sei der Strompreis für Rechenzentrumsbetreiber wohl der „greifbarste“ Kostenpunkt, fasst Radgen zusammen, denn die Stromkosten verursachen einen großen Teil der Betriebskosten. Die Strompreise liegen in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern bis zu dreimal höher. In einem zweiten Teil dieses Arbeitspakets entwickelte das Forschungsteam eine Sammlung von 75 Leistungsindikatoren, um die Kriterien für Nachhaltigkeit greifbar zu machen. Sie sollen konkrete Empfehlungen geben, wie ein nachhaltiger Rechenzentrumsbetrieb aussehen kann. Laut den ersten Zwischenergebnissen hätten sich bisher fünf Hauptindikatoren zur Bewertung herausgestellt:



Sie beschreiben die Abwärmenutzung, die IT-Auslastung, den Energieverbrauch der Infrastruktur, das Einbinden erneuerbarer Energie und das Recycling ausgemusterter IT-Komponenten.

## Energieeffiziente Technik

In einem weiteren Arbeitspaket vergleicht das Zentrum für nachhaltige Energietechnik der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) derzeit verfügbare und zukünftige Infrastrukturen von Rechenzent-

ren. Berücksichtigt würden dabei Wärme, Kälte, Netzersatzanlagen, IT, Hardware, Software und Kommunikationstechnik. Wobei die erste Auswertung der Befragungen gezeigt habe, dass die effiziente Senkung des Kühlungsbedarfs bei vielen Betreibern noch nicht genügend Beachtung findet.

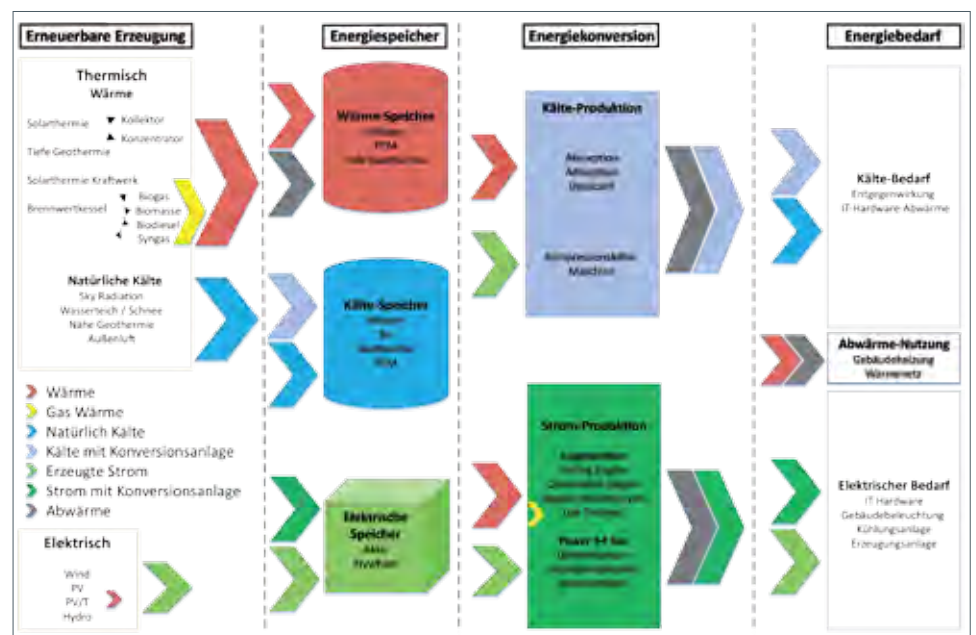
Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auch auf der Integration von erneuerbaren Energien als Kombination von elektrischen und thermischen Systemen, führt Projektleiter Rad-

Durch die Digitalisierung wächst der Bedarf an energieeffizienten Rechenzentren.

Bild: Kadmy/Fotolia

Verschiedene Möglichkeiten zur Systemintegration als Kombination von elektrischen und thermischen Systemen in Rechenzentren

Graphik: IER/Uni Stuttgart





gen aus. Es gehe dabei beispielsweise um die Integration von Freier Kühlung und von Energiespeicherung, um die Abwärmenutzung, die Konversion von Wärme in Kälte sowie die Konversion von Wärme in Strom – letztere auch in umgekehrter Richtung (vgl. Graphik).

### Teilnahme am Strommarkt

Bei Fragen der Energieeffizienz in Rechenzentren gehe es in erster Linie um den größten Teil des Verbrauchs in Form von elektrischer Energie. Das Forschungsteam wolle „unterschiedliche Möglichkeiten analysieren, wie der Eigenbedarf möglichst lokal gedeckt werden kann und welches Potenzial zur Teilnahme an Energiemärkten besteht“, wie Projektleiter Radgen erklärt. Dazu werden sie recherchieren, wie Verträge zwischen Rechenzentren als Großabnehmer und Stromlieferanten aussehen könnten. Außerdem gehe es darum, die Flexibilisierungspotenziale zu ermitteln, damit Rechenzentren Regelleistung am Markt anbieten könnten. Zudem könnte der Stromeinkauf am Spotmarkt optimiert werden, um kurzzeitig lieferbare Strommengen zu nutzen.

Als Beispiel für solche Verträge nennt Radgen das Rechenzentrum der Telemaxx in Karlsruhe. Es habe „einen Dieselgenerator zur Notstromversorgung, welcher außerdem im Rahmen eines mit dem Stromanbieter geschlossenen Vertrags bei Spitzenstrombedarf Strom ins Netz einspeisen kann“. Damit könnten der Strommarkt mit seinen variablen Preisen genutzt und die Betriebskosten gesenkt werden.

### Entwicklung von Szenarien

Aus den Ergebnissen der ersten drei Arbeitspakete wird das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) konkrete Konzepte zur Anwendung ableiten. Zunächst werden die Potenziale zur Optimierung für die Infrastrukturmaßnahmen und den Rechenzentrumsbetrieb separat untersucht. Anschließend wird die Kopplung der Technologien und Sektoren vorgenommen. Ziel sei es, „mit den bisherigen Projektergebnissen einen realen oder virtuellen Rechenzentrumsbetrieb mit Wärme, Kühlung und Strom möglichst optimal zu simulieren“, erläutert Radgen. Die Optimierungsziele sollen sich dabei auf „Kosten“, auf den „Beitrag zur Flexibilisierung

des Energiebezugs“ sowie auf die „Effizienz und CO<sub>2</sub>-Wirkung“ beziehen.

### Erprobung der Ergebnisse

Ziel des fünften Arbeitspakets ist es, einen Praxistransfer der auf theoretischer Ebene gewonnenen Forschungsergebnisse zu realisieren. Als Projektpartner stelle dafür die Universität Ulm ihr Rechenzentrum zur Verfügung, sagt Projektleiter Radgen. Zuerst werde das Forschungsteam mit einer definierten Menge an Kennzahlen das Rechenzentrum im Ist-Zustand analysieren. In einem zweiten Schritt „werden die Optimierungsstrategien, soweit dies im realen Betrieb möglich ist, angewendet“, erläutert Radgen. Mit diesem Vorgehen wollen die Forscherinnen und Forscher einerseits die Modellergebnisse plausibilisieren und andererseits konkrete Handlungsempfehlungen für die Betriebsführung sowie für den Neu- und Umbau von Rechenzentren ableiten.

### Kommunikation

Während der gesamten Laufzeit des Projekts lege das Forschungsteam großen Wert auf einen konstanten Informationsaustausch mit Akteurinnen und Akteuren aus Wirtschaft und Politik, wie Radgen betont. Um das Projekt während der Bearbeitungszeit wirksam zu unterstützen, wurde dafür ein interdisziplinärer Beirat mit 15 Vertreterinnen und Vertretern aus Politik, Forschung, Wissenschaft, Verwaltung und Industrie eingerichtet. Neben dem Transfer der Projektergebnisse ist die Online-Kommunikation über die Projektseite [www.nachhaltige-rechenzentren.de](http://www.nachhaltige-rechenzentren.de) eingerichtet. Das IER sowie die Kommunikationsagentur Ökomedia planen, aus den im Projekt ermittelten Erfolgsfaktoren und Hemmnissen je einen Leitfaden für Wirtschaft und Politik zu formulieren.

Screenshot von  
[www.nachhaltige-rechenzentren.de](http://www.nachhaltige-rechenzentren.de)





# Ressourceneffizienz im Fokus

## 100plus Betriebe als Leuchttürme für den Umweltschutz

Das abgeschlossene Projekt „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“ zeigt auf, wie in produzierenden Unternehmen hohe Mengen an Material und Energie eingespart werden können. In einer wissenschaftlichen Auswertung im Rahmen eines Folgeprojekts werden die Fallbeispiele nun auch nach qualitativen Kriterien wie Innovationsgehalt und Transferpotenzial untersucht.

Im November 2013 schlossen sich führende Wirtschaftsverbände Baden-Württembergs mit der Landesregierung zusammen, um bei den Unternehmen des produzierenden Gewerbes einen effizienteren Umgang mit natürlichen Ressourcen zu erreichen. In den drei folgenden Jahren führten sie das wissenschaftlich begleitete Projekt „100 Betriebe für Ressourceneffizienz“ durch, in dem Einsparbereiche in Fallbeispielen identifiziert und diese öffentlichkeitswirksam publiziert wurden.

Die Auswahl der Fallbeispiele aus den eingegangenen Bewerbungen erfolgte durch eine Fachjury. Dabei waren die Höhe der Einsparungen, der Innovationsgehalt der Maßnahme sowie deren Transferpotenzial entscheidende Auswahlkriterien, wie der Projektleiter Prof. Dr. Mario Schmidt von der Hochschule Pforzheim erläutert.

In absoluten Zahlen betragen beispielsweise die durch die Effizienz-

maßnahmen in allen Fallbeispielen erzielten jährlichen Einsparungen über 3.700 Tonnen an Stahl- und Eisenmetallen, über 8.000 Tonnen Aluminium und fast 7.600 Tonnen Kunststoff. Allein in acht Fallbeispielen lassen sich jährlich etwa 425.000 Kubikmeter Wasser einsparen.

### Breite Verteilung

Im Rahmen einer sich nun anschließenden Begleitforschung will Schmidt die ausgewählten Beispiele gemeinsam mit der Landesagentur Umwelttechnik BW nach mehreren qualitativen Kriterien auswerten. Dabei spielen neben den unterschiedlichen Einsparvolumina vor allem der Innovationsgehalt und das Transferpotenzial der Maßnahmen eine Rolle.

Die ersten Untersuchungen hätten den ökonomischen und ökologischen Leuchtturmcharakter der Fallbeispiele bestätigt, wie Schmidt betont: „Wir konnten zeigen, dass Ressourceneffizienz über alle Wirt-

schaftszweige hinweg und in allen Landesteilen ein bedeutendes Thema ist, das an vielen Stellen im Betrieb angegangen wird.“ Zudem habe das Forschungsteam ermittelt, dass Einsparungen oft mit Prozess- oder Produktinnovationen verbunden seien.

### Hohes Transferpotenzial

Als wichtigen Erfolgsfaktor für Ressourceneffizienz nennt Schmidt „eine gute abteilungsübergreifende Zusammenarbeit im Unternehmen“. Viele Beispiele zeigten, dass erfolgreiche Ressourceneffizienzmaßnahmen auf ein hohes Engagement der Beschäftigten zurückzuführen seien. Weiterhin gelte für die Betriebe die Beherrschung der eigenen Produktionsprozesse als Schlüssel für mehr Ressourceneffizienz. Insofern ist es für Projektleiter Schmidt von großer Bedeutung, „dass die vorgestellten Ideen eine Quelle der Inspiration für möglichst viele weitere Betriebe sind“.

Beispiele für Ressourceneffizienz aus 60 Betrieben  
Bild: Hochschule Pforzheim

### PROJEKT

100plus Betriebe für Ressourceneffizienz

Laufzeit: 1/2017 bis 12/2018

Institut für Industrial Ecology  
Hochschule Pforzheim  
Prof. Dr. Mario Schmidt  
mario.schmidt@hs-pforzheim.de  
www.hs-pforzheim.de

### LITERATUR

Mario Schmidt (Hg.) u.a.: 100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 1, Unternehmen aus der produzierenden Wirtschaft. Heidelberg, Springer, 2017

Einzelne Beispiele können auch unter [www.pure-bw.de/de/100betriebe/winners](http://www.pure-bw.de/de/100betriebe/winners) eingesehen werden.



# Effiziente Produktionsprozesse

## Studie zur mobilen Umsetzung der Materialflusskostenrechnung

Die Materialflusskostenrechnung ist inzwischen eine etablierte Methode, um die Effizienz von Produktionsprozessen im Hinblick auf Materialverluste zu bewerten. Eine Studie soll Methoden aufzeigen, die mobile Erfassung und Visualisierung von Stoffströmen in Unternehmen besser umzusetzen und damit die Ressourceneffizienz zu erhöhen.

### PROJEKT

Konzeptstudie zur besseren Umsetzung von Materialflusskostenrechnung in Baden-Württemberg (bw!MFCA Booster)  
 Laufzeit: 5/2016 bis 11/2017  
 Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, Fachbereich Ingenieurwissenschaften II, Betriebliche Umweltinformatik  
 Prof. Dr. Volker Wohlgemuth  
 Volker.Wohlgemuth@HTW-Berlin.de  
 www.HTW-Berlin.de

**P**roduzierende Unternehmen, die ihre Material- und Energieverbräuche senken wollen, haben seit mehreren Jahren die Methode der Materialflusskostenrechnung zur Verfügung. Seit dem Jahr 2011 ist sie gemäß dem internationalen ISO-Standard normiert, wird aber in Unternehmen kaum eingesetzt, weswegen nun eine mobile Erweiterung untersucht wird. Bekannt ist die Methode auch unter der englischen Abkürzung MFCA, die für „Material Flow Cost Accounting“ steht.

von Materialflusskostenrechnung (MFCA) in Baden-Württemberg“.

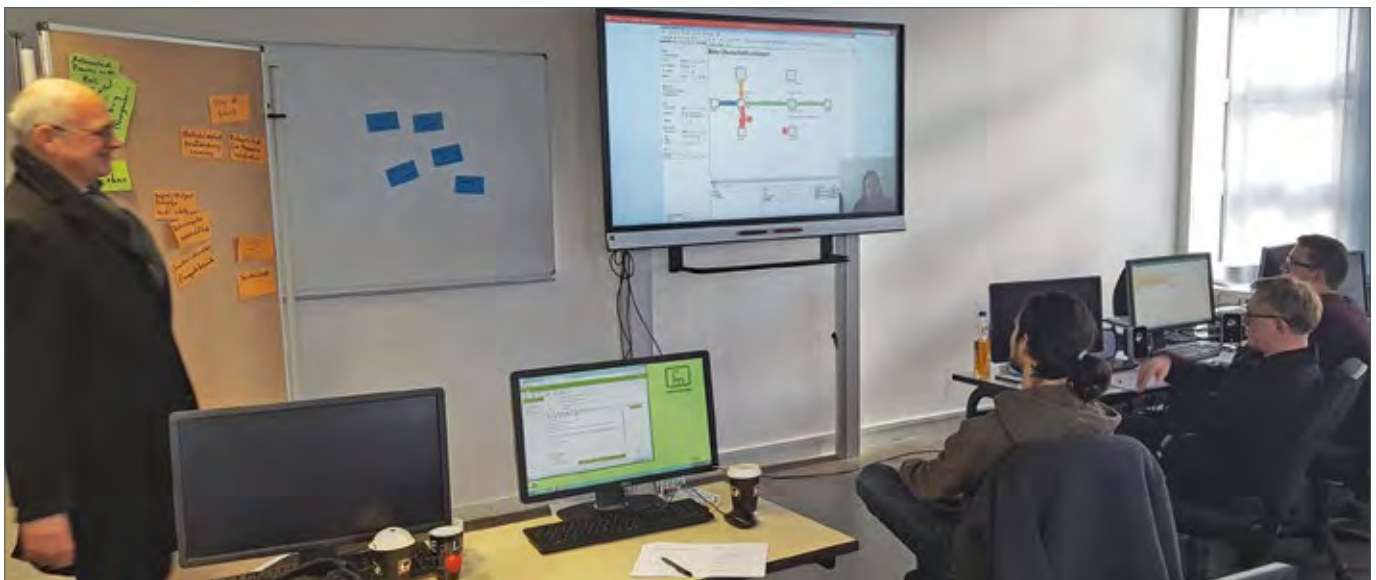
### Verluste vermeiden

Bei der Materialflussrechnung, so Wohlgemuth weiter, werde „jeglicher Output, der nicht im gewünschten Produkt landet, als Verlust betrachtet. Und in jedem Produktionsschritt werden die Energie, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe auf die gewünschten und unerwünschten Produkte aufgeteilt.“ Dadurch könne der wahre Wert von Abfällen ermittelt werden.

vor der Materialinput zu einem Materialverlust wurde. Auch wenn der Materialverlust später als Wertstoff veräußert werden könne, so sei der Wertverlust letztendlich wahrscheinlich deutlich höher als vermutet. „Die MFCA zielt also darauf ab, Verluste zu vermeiden statt zu verwerten“, fasst Wohlgemuth zusammen.

### Mobile Unterstützung

Die Konzeptstudie, die er als Forschungsprojekt leitet, beinhaltet die Weiterentwicklung eines bereits als



Probanden bei der Schulung zur Materialflusskostenrechnung

Bild: HTW Berlin

Mit dieser Methode könne ein Unternehmen seine Material- und Energieflüsse erfassen und zugleich monetär bewerten, um seine Produktionsprozesse effizienter zu gestalten, erklärt Prof. Dr. Volker Wohlgemuth von der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) in Berlin. Er leitet die „Konzeptstudie zur besseren Umsetzung

In der klassischen Kostenrechnung werden laut Wohlgemuth „die Kosten für entstehende Abfälle oft pauschal als Entsorgungskosten behandelt und die Aufwände zur Abfallentsorgung werden hierbei dem Produkt zugerechnet“. Die Materialflusskostenrechnung hingegen betrachte alle Kosten, die in der Prozesskette entstanden sind, be-

Prototyp bestehenden Werkzeugs zur mobilen Erfassung und Visualisierung von Stoffströmen in Unternehmen. Es soll zu „einem attraktiven Softwaresystem für die Unterstützung von Ressourceneffizienz in Unternehmen“ werden. Das System mit der Bezeichnung „bw!MFCA“ soll laut Wohlgemuth „einen Beitrag leisten, Ressourcen-

effizienzfragestellungen ortsunabhängig bearbeiten zu können und damit das betriebliche Umweltmanagement in seinen Aufgaben zu unterstützen“. Neu an der Software sei, dass hiermit die Materialflusskostenrechnung mit dem mobilen Ansatz des Stoffstrommanagements verknüpft werde.

Ein Unternehmen gewinne mit der Software und ihrer Kombination von monetärer Bewertung der Material- und Energieflüsse und einer Klimabewertung der Materialverluste wertvolle Informationen, um Entscheidungsgrundlagen für die Veränderung von Produktionsprozessen zu bekommen, erläutert Wohlgemuth.

**Relevante Datenbank**

Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt war die Feststellung, dass „die Software bw!MFCA für eine bessere Anwendung in den Unternehmen in zwei Bereichen wei-

Dateneingabe in vielen Unternehmen zum großen Teil noch manuell erfolge.

Um diesen zeitlichen Aufwand zukünftig reduzieren zu können, beschaffte das HTW-Forschungsteam die neueste Version der EcoInvent-Datenbank. Sie beinhaltet derzeit 14.889 Produkte und gilt als weltweit führende Quelle für Ökobilanzdaten, die beispielsweise auch für Umweltproduktdeklarationen und CO<sub>2</sub>-Bilanzen benutzt werden.

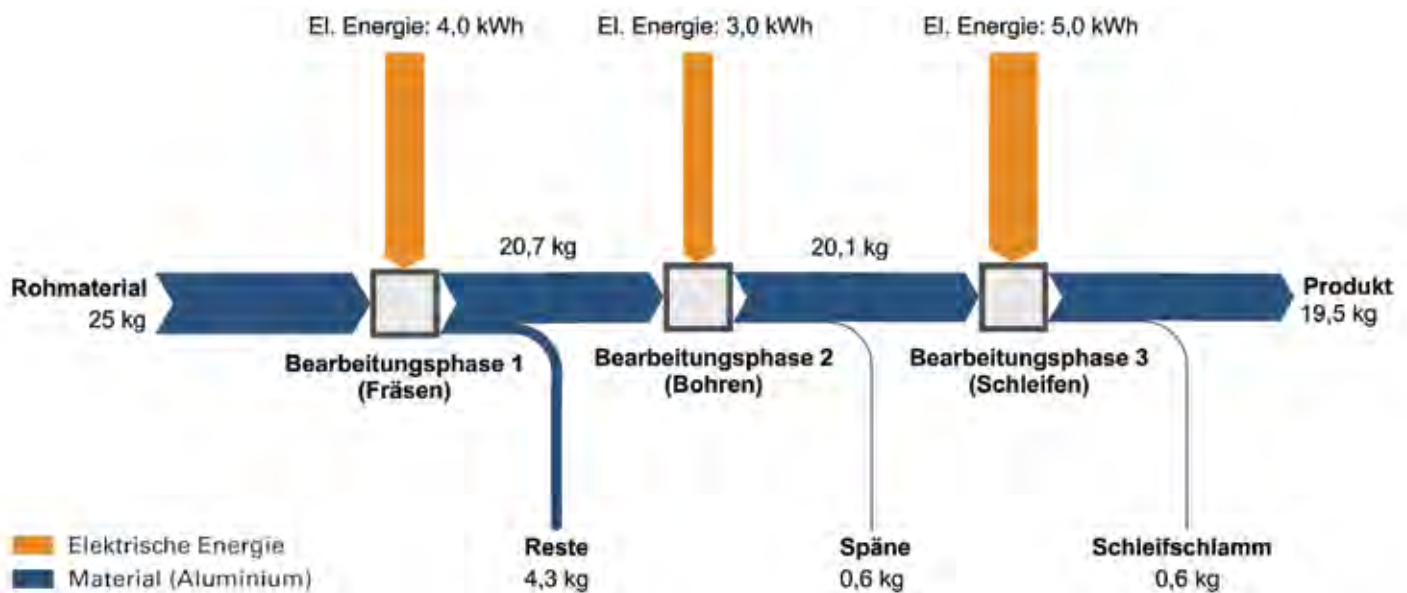
Die Forscherinnen und Forscher bestimmten mit festgelegten Sortier- und Filterkriterien in einer ersten Auswahl 3.630 Datensätze. Zudem konnten sie, so Wohlgemuth, „eine Lizenzvereinbarung treffen, die es im Rahmen des Projekts ermöglicht, die Datenbank tausend kleinen und mittleren Unternehmen in Baden-Württemberg zur Verfügung zu stellen“.

den durch, die eine vorbereitete Aufgabensammlung mit der Software zu bearbeiten hatten.

„Zum Einsatz kam dabei ein Eye-tracking-System der HTW Berlin, welches zur Video- und Tonaufzeichnung der Probanden bei ihrer Arbeit genutzt wurde“, erklärt Wohlgemuth das Vorgehen. Dadurch ließen sich unterschiedliche Herangehensweisen der Probanden verstehen und mit diesen Erkenntnissen könne die Software praxistauglicher ausgerichtet werden.

**Gebrauchstauglich**

Erste Ergebnisse der Videoaufzeichnungen zeigten, dass eine Kette von Vorarbeiten erforderlich ist, um den Probanden die Funktionalität der MFCA-Software in vollem Umfang zu erschließen. Ebenso war es laut Wohlgemuth unabdingbar, „vor der eigentlichen Nutzung ein längeres Tutorial vorzuschalten, bei



terentwickelt werden muss“, wie das Institut für Umweltforschung Hamburg (ifu) in einer vorausgegangen Studie feststellte. Eine vereinfachte Dateneingabe und Softwarebedienung sei erforderlich und zudem sollten neue Beispielmuster als Vorlagen in der Datenbank hinterlegt werden. Das Hamburger Institut ermittelte, dass die

**Bedienungsfreundlich**

Der mangelnden Bedienbarkeit der Software wollte das Forschungsteam mit einem Praxistest auf den Grund gehen: Um die Gebrauchstauglichkeit zu erfassen und Verbesserungspotenziale zu finden, führte das Team eine 90 Minuten dauernde Studie mit sechs Proban-

dem die Kernfunktionen der Materialflusskostenrechnung vermittelt werden“.

Insgesamt sei er mit seinem Team optimistisch, dass ihre Studie die Software verbessern und deren Anwendung fördern werde. Denn damit werde der Nutzen der MFCA-Methode für das jeweilige Unternehmen frühzeitig erkennbar.

Beispielhafter Materialfluss bei drei Produktionsschritten jeweils getrennt in Material-, Energie-, und Entsorgungsmenge  
Graphik: ifu Hamburg



# Den Fortschritt nicht mitbedacht

## Indikatoren zur Abschätzung der Ressourcenverfügbarkeit

Der geringer werdende Metallgehalt in Rohstoffvorkommen gilt üblicherweise als Anzeichen einer anstehenden geologischen Knappheit. Doch ein Forscherteam der Hochschule Pforzheim hat erarbeitet, dass auch technische Innovationen für den Rohstoffabbau und der Energieaufwand für das Recycling aus Abfall beachtet werden sollten, um die Knappheit abzuschätzen.



Tagebau in der Kennecott-Kupfermine in Utah

Bild: G. Whitton/Fotolia

### PROJEKT

NEXUS – Vergleichende Analyse der Ressourceneffizienz von Primär- und Sekundärrohstoffgewinnung

Laufzeit: 12/2015 bis 12/2019

Hochschule Pforzheim  
Prof. Dr. Mario Schmidt  
mario.schmidt@hs-pforzheim.de  
www.hs-pforzheim.de

Die vom Club of Rome bereits 1972 publizierte Prognose über „Die Grenzen des Wachstums“ durch knappe Ressourcen scheint sich inzwischen zu bestätigen. Nicht nur Erdöl oder Kohle, auch Metalle, Phosphor und sogar Bausand werden knapper. Auf die wachsenden Abbaumengen wirkt sich das jedoch noch nicht aus.

Auf fossile Brennstoffe könne man wohl eines Tages verzichten, denn dafür gebe es inzwischen Techniken zur Nutzung regenerativer Energien, sagt Prof. Dr. Mario Schmidt von der Hochschule Pforzheim. „Unsere moderne Gesellschaft kann aber nicht auf mineralische Rohstoffe verzichten“, ergänzt er, denn sie seien die Grundlage unserer Infrastruktur und Bestandteil vieler Produkte. Auch zur Nutzung der Erneuerbaren Energien seien Metalle unverzichtbar: Ohne Kupfer oder Neodym gäbe es beispielsweise keine Windkraftanlagen oder Elektroautos. „Deshalb sollte die Sorge um die Knappheit nicht-energeti-

scher Rohstoffe größer sein!“, betont Schmidt, der das Forschungsprojekt „Nexus“ zur Ressourceneffizienz bei der Gewinnung von Primär- und Sekundärrohstoffen leitet.

### Grenzen des Recyclings

Im Gegensatz zum Rohstoffabbau von fossilen Brennstoffen gibt es bei der Gewinnung von Metallen jedoch einen Vorteil: Sie verschwinden nicht, denn sie werden durch die Nutzung nicht „verbraucht“, erklärt Schmidt. Außerdem würden viele Metalle heute schon als Sekundärrohstoffe recycelt.

Aber für einige wichtige Metalle rentiert sich das derzeit nicht, weder finanziell noch energetisch: Das Einsammeln, Aufkonzentrieren und Rückgewinnen der Metalle aus den Abfällen ist schlicht zu aufwendig. Als Beispiel nennt Schmidt ein typisches Smartphone, in dem zwar wichtige und exotische Metalle verarbeitet sind, die aber derzeit nur den Wert von etwa einem Euro pro Handy haben. „Erst wenn man

eine Tonne Smartphones gesammelt hat, hat man etwas, das ökonomisch und energetisch sinnvoll zu verarbeiten ist“, schätzt Schmidt.

### Knappe Rohstoffe

Um den begrenzten Charakter unserer Rohstoffvorkommen zu erfassen und zu bewerten, stützt sich die Forschung unter anderem auf die Höhe des Metallgehalts der abgebauten Erze. Zahlreiche Arbeiten zeigten, dass dieser seit geraumer Zeit abnehme und auch künftig sinken werde. Auf dieser Basis werde laut Schmidt oft argumentiert, dass die Menschheit alle qualitativ hochwertigen Lagerstätten zuerst ausgebeutet habe und nun immer mehr auf die verbleibenden schlechteren zurückgreifen müsse. Damit würden wir an die Grenzen der Rohstoffverfügbarkeit stoßen, da die Konzentration einzelner Rohstoffe in unserer Erde so gering sein werde, dass ein Abbau nicht mehr wirtschaftlich sei. Doch diese Argumentation alleine reiche laut Schmidt nicht mehr aus. Denn



einerseits sei „der Rohstoffbedarf so stark angestiegen, dass seltene reichhaltige Vorkommen den Bedarf alleine nicht mehr decken können“. Andererseits habe es technische Innovationen gegeben, die auch den Abbau ärmerer Lagerstätten ermöglichen.

**Beispiel Kupfer**

Als Ausgangsbasis für das Nexus-Projekt fragten sich Schmidt und sein Team daher, welche geeigneten Indikatoren es gibt, um umfangreichere Aussagen zur Verfügbarkeit von Ressourcen machen zu können. Dieser Frage ging das Projektteam am Beispiel von Kupfer nach, da dieses Metall seit langem intensiv genutzt und auch zukünftig in großen Mengen gebraucht werde. Zudem sei seine Abbaugeschichte gut dokumentiert.

Bis ins 19. Jahrhundert erfolgte der Kupfer-Bergbau weitgehend in Handarbeit. Man arbeitete sich entlang reichhaltiger Erzflöze voran. Heute herrscht der Tagebau vor, bei dem Berge einfach abgetragen oder große Löcher mit schwerem Gerät gegraben werden. Aufgrund des technischen Fortschritts rentiert es sich inzwischen, auch Rohstoffvorkommen mit geringem Erzgehalt abzubauen.

Früher wurden hauptsächlich sulfidische Kupfervorkommen abgebaut, in denen Kupfer an Schwefel gebunden ist. Sie haben einen höheren Erzgehalt, die Mächtigkeit ihrer Flöze ist jedoch eher klein.

Da der weltweite Kupferbedarf in den vergangenen Jahrzehnten stark angestiegen ist, werden heute vorrangig sogenannte porphyrische Kupfervorkommen abgebaut, die mengenmäßig viel größer sind, aber einen geringeren Kupfergehalt haben. Er liegt bei durchschnittlich 0,5 Prozent pro Tonne Erz, in sulfidischen Vorkommen bei durchschnittlich 1,9 Prozent (vgl. Graphik). Zum Abbau dieser Lager-

stätten wurden neue Technologien entwickelt, und so haben es beispielsweise große Schaufelbagger und das Verfahren der Schaumflotation erst möglich gemacht, Erze mit einer geringen Metallkonzentration abzubauen. Denn was Ende des 20. Jahrhunderts als Erz bezeichnet wurde, galt hundert Jahre zuvor noch als Abraum, da es nicht möglich war, den Rohstoff unter ökonomischen Bedingungen zu gewinnen. Dies zeige sich auch durch die langfristig sinkenden Preise, erläutert Schmidt.

**Indikator Energieaufwand**

Trotzdem sei der Abbau heute rentabel, denn der Energiebedarf pro Tonne Kupfer konnte aufgrund technischer Innovationen über Jahrzehnte hinweg verringert werden. In ersten Projektergebnissen verdeutlichten Schmidt und sein Forschungsteam am Beispiel Kupfer, dass der Erzgehalt allein nicht geeignet sei, um eine Aussage über die Rohstoffverfügbarkeit zu treffen. Vielmehr konnten sie zeigen, „welch riesigen Fortschritt die eingesetzten Technologien gemacht haben“.

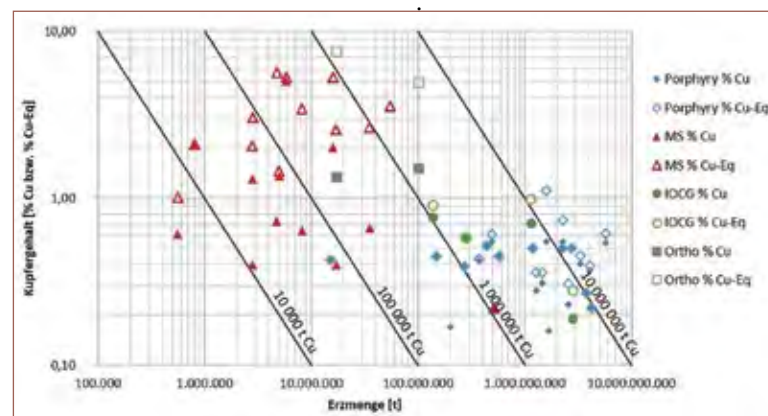
Daher sollte der Energieaufwand zur Gewinnung einer bestimmten Menge Metall – aus einem Bergwerk oder mit Recycling aus Abfall – viel stärker beachtet werden, fordert Schmidt. Denn er sei ein ergänzender Indikator für die Verfügbarkeit einer Ressource und sei wich-



tiger als die Reservenangaben und zeitlichen Reichweiten, mit denen üblicherweise argumentiert werde. Um heute die Frage nach den Grenzen des Wachstums präziser und umfassender beantworten zu können, sollten zudem weitere Indikatoren berücksichtigt werden: Zu nennen seien hierfür der steigende ökologische Aufwand – beispielsweise für die Vermeidung von Emissionen – sowie zunehmende Nutzungskonflikte um Schutzgüter wie Flächen, da sie erheblichen Einfluss auf unsere Umwelt haben.

Mittelalterlicher Kupferbergbau in Handarbeit, Holzschnitt von Georgius Agricola (1556)

Quelle: Mario Schmidt



Metallgehalt und Erzmenge in den derzeit größten Kupferminen der Welt. Sulfidische Vorkommen (MS, rot) mit hohem Metallgehalt und geringer Menge, porphyrische Vorkommen (blau) mit geringem Metallgehalt und großer Erzmenge. IOCG = Eisenoxid-Kupfer-Gold-Vorkommen, Ortho = Orthomagmatische Vorkommen

Graphik: Hochschule Pforzheim



# Ultraeffizienz und Digitalisierung

## Verlustfreie Produktion in Industrieunternehmen im urbanen Umfeld

Der Name ist Programm: In der Ultraeffizienzfabrik soll der Verbrauch von Ressourcen und Energie auf das Minimum reduziert werden. Ein Projektkonsortium um das Fraunhofer IPA will diesen Ansatz mit digitalen Bausteinen erweitern und verbessern. Zur Erprobung ist der Aufbau einer industriellen Demontagefabrik geplant.

### PROJEKT

Ultraeffizienz und Digitalisierung  
 Laufzeit: 7/2017 bis 12/2020  
 Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart  
 Dr.-Ing. Robert Miehe  
 robert.miehe@ipa.fraunhofer.de  
 www.ipa.fraunhofer.de

### PARTNER

KIT, Institut für Informatik  
 Clausthaler Umwelttechnik-  
 Forschungszentrum (CUTEC),  
 TU Clausthal  
 Hochschule Pforzheim

Vor zwei Jahren ging das erste Projekt zum Thema „Ultraeffizienz“ erfolgreich zu Ende. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von drei Fraunhofer-Instituten hatten darin ein „Leitbild für ultraeffiziente und emissionsfreie Produktion in dicht besiedelten Regionen“ entworfen. Gemeinsam mit Unternehmen entwickelten sie ganzheitliche Bewertungswerkzeuge und ressourceneffiziente Produktionstechnologien, die den Arbeitsplatz und das Wohnumfeld von Mitarbeitenden integrativ verbinden sollen.

Dieser im Leitbild formulierte methodische Ansatz hat inzwischen auch Eingang in die Landesstrategie Digitalisierung von Baden-Württemberg gefunden. Darin heißt es: „In der ‚Ultraeffizienzfabrik‘ wollen wir mit Unternehmen, Verbänden und der Recyclingindustrie neue Ansätze entwickeln, um die Digitalisierung als Instrument für eine intelligente Kreislaufwirtschaft zu nutzen

und eine verlust- und emissionsfreie Produktionsweise voranzutreiben.“

### Ultraeffizienz-Konzept

Nun hat das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) ein zweites Forschungsprojekt zu diesem Themenfeld gestartet. Wieder ist es ein Verbundprojekt mit mehreren Partnern aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft. Für den Leiter des Bereichs Ressourceneffiziente Produktion beim Fraunhofer IPA, Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer, besteht eine ultraeffiziente Produktion darin, dass „die eingesetzten Rohstoffe möglichst vollständig verwertet und die dabei entstehenden Emissionen weitestgehend vermieden werden“. Um eine möglichst „verlustfreie Produktion im urbanen Umfeld“ erreichen zu können, sollen „Material und Energie im Kreislauf fließen und immer wieder als Ausgangspunkt der Produktion dienen“. Zudem solle laut Sauer „die an-

passungsfähige, emissionsfreie Fabrik ein ökologisches und soziales Umfeld sichern“, das integriert sei in die urbane Umgebung. Ziel des ganzheitlichen Konzepts sei „die Optimierung aller relevanten Unternehmensbereiche wie Technologie, Mensch und Organisation“.

### Digitalisierung

Das aktuelle Forschungsprojekt habe nun das Ziel, das Ultraeffizienz-Konzept mit Elementen der Digitalisierung zu verbinden, um verschiedene Erweiterungen zu erreichen, sagt der Projektleiter Dr.-Ing. Robert Miehe vom Fraunhofer IPA. Dadurch sollen sowohl die Material- und Energieeffizienz gesteigert als auch die Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden verbessert werden.

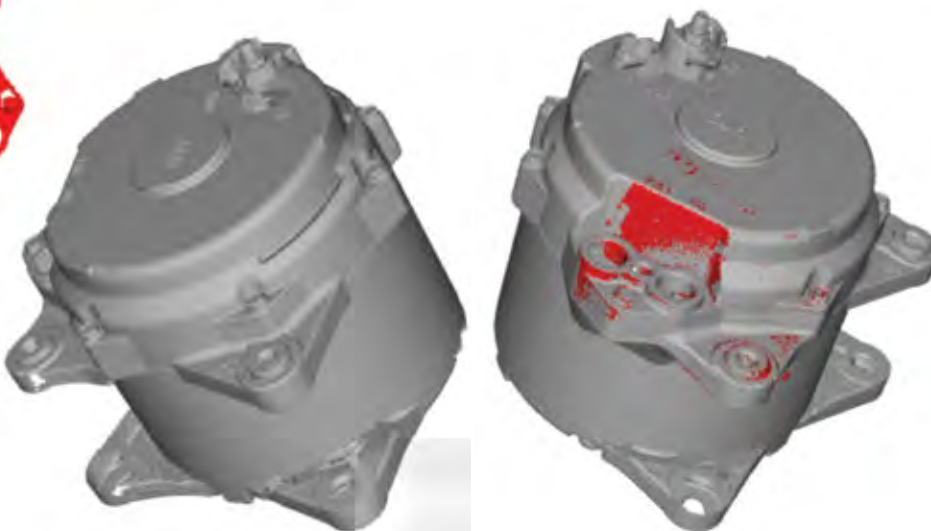
Im Verlauf des gut dreijährigen Projekts untersuchen die Forscherinnen und Forscher auf konzeptioneller Ebene die Entwicklung von Ultraeffizienzstrategien und bieten Workshops zu branchenspezifischen Vergleichszahlen an. In zwei weiteren Arbeitspaketen geht es um den Aufbau einer industriellen Demontagefabrik und die Planung eines Ultraeffizienz-Zentrums.

### Vergleichszahlen

Mit dem konzeptionellen Arbeitspaket der Entwicklung von Ultraeffizienzstrategien will das Forschungsteam ihr Konzept der ultraeffizienten Produktion für eine interessierte Fachöffentlichkeit sichtbar und bekannter machen, wie Projektleiter Miehe erklärt.

Kfz-Lichtmaschine in der industriellen Demontagefabrik, roter Ausschnitt für die digitale Produktidentifizierung (rechts)

Bilder: CUTEC



Als Schwerpunkt ihres Vorgehens soll es dabei um branchenspezifische Vergleichszahlen gehen: „Die breitenwirksame Kommunikation unseres Konzepts soll mit einem technisch-wirtschaftlichen Benchmarking-Modell für Ultraeffizienzfabriken erreicht werden, die jeweils branchenspezifisch ausgestaltet werden“, sagt Miehe. Demnach werde ein neuer Vergleichsmaßstab entwickelt, der „die Handlungsfelder der Ultraeffizienzfabrik detailliert betrachtet und die Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen ermöglicht“.

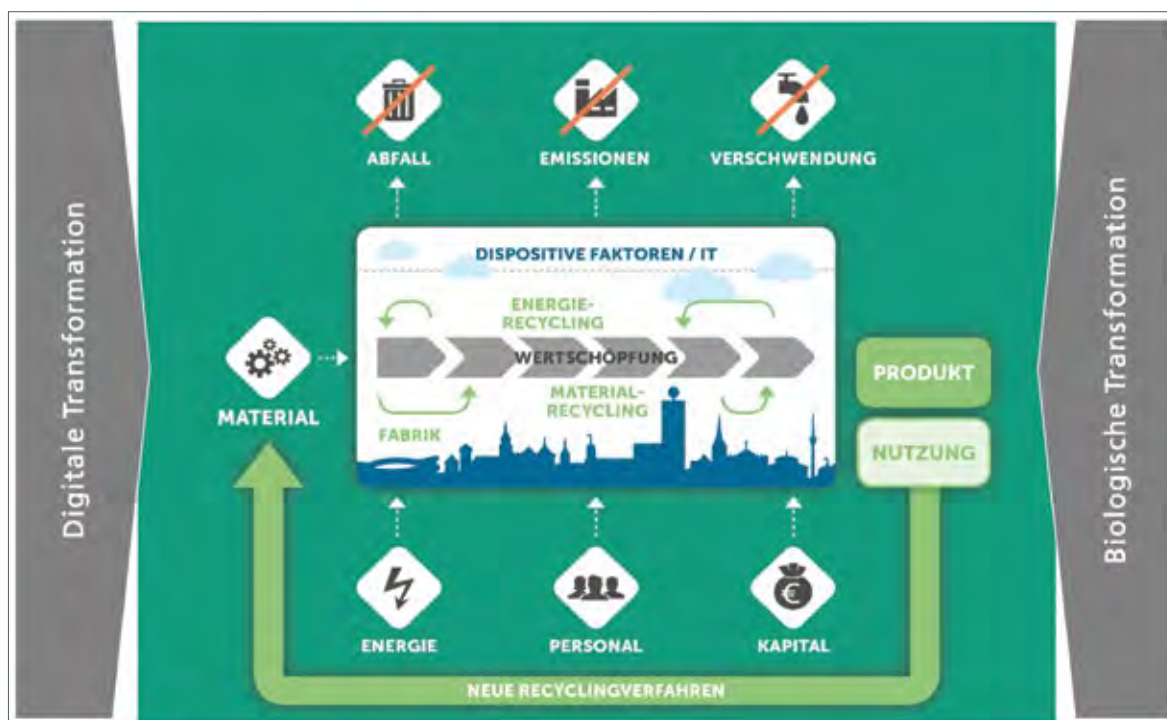
zientzennzahlen eine erste Einordnung der Ultraeffizienz ihres Unternehmens vornehmen können“, heißt es in der Workshop-Einladung.

### Aufbau einer Demontagefabrik

Die verschiedenen Teilaspekte des Forschungsprojekts fließen beim Modellaufbau einer „industriellen Demontagefabrik 4.0“ zusammen. Das CUTEC-Institut als Partner will dabei mit dem Einsatz moderner Informationsverarbeitung „die wirtschaftliche Demontage einer bestimmten Produktgruppe

### Entwurf eines Ultraeffizienz-Zentrums

In einem weiteren Arbeitspaket plant das Forschungsteam laut Sauer die „organisatorische und inhaltliche Ausgestaltung eines Ultraeffizienz-Zentrums“, das eine „innovative Forschung für eine verlustfreie Produktion betreiben und ihren Transfer“ gestalten soll. Das Zentrum soll voraussichtlich auf Flächen des Vaihinger Campus der Universität Stuttgart und des Fraunhofer Instituts-Zentrums Stuttgart errichtet werden und als „Industry-on-Cam-



Konzept einer Ultraeffizienzfabrik und ihre Einflussfaktoren mit möglichst verlustfreier Produktion im urbanen Umfeld  
Graphik: Fraunhofer IPA

Konkret umgesetzt wurde dieses Vorgehen mit einer Veranstaltung für die Elektrobranche, bei der die teilnehmenden Unternehmen „gemeinsam mit dem Fraunhofer IPA ein handlungsleitendes Bild zur Ultraeffizienz der Branche entwerfen“ sollen. Durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise könnten Konflikte „wie beispielsweise der Zielkonflikt zwischen Energie- und Materialeffizienz aufgedeckt und aufgehoben werden“. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer würden dadurch „anhand von Effektivitäts- und Effi-

durch Roboter“ praktisch vorführen, wie Miehe erklärt. Ziel sei es unter anderem, die Industrie mit kritischen Rohstoffen zu versorgen und Stoffkreisläufe zu schließen. Als erstes Zielprodukt sei ihre Wahl auf Kfz-Lichtmaschinen gefallen. Deren technische Ausstattung kann in einer Demontagezelle beispielsweise von einem Laserscanner erkannt, mit digitalen, dreidimensionalen Aufnahmen abgeglichen und dadurch mit einem Roboter möglichst wirtschaftlich zerlegt werden.

pus-Konzept“ eine Kontaktstelle für klein- und mittelständische Unternehmen zu Forschungseinrichtungen bilden.

Das Forschungsteam erarbeitet dafür nicht nur die konzeptionellen Schwerpunkte, sondern „entwickelt auch ein Geschäftsmodell für den dauerhaften Betrieb sowie eine Architekturstudie als Grundlage für die spätere Detailplanung“, so Projektleiter Miehe. Prof. Sauer ruft die interessierte Fachöffentlichkeit auf, sich an dem Ultraeffizienz-Zentrum zu beteiligen.



# Trennung von Verbundmaterial

## Wie lassen sich Wärmedämmverbundsysteme hochwertig recyceln?

Die Nutzungsdauer von Wärmedämmverbundsystemen währt nicht unendlich. Ihre Entsorgung ist problematisch. So stellt sich die Aufgabe, einen wachsenden Berg an Styropor-Putz-Gemisch in die einzelnen Komponenten zu zerlegen, um sie in die Produktion zurückführen zu können.

### PROJEKT

Recycling von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS)  
 Laufzeit: 12/2016 bis 02/2018  
 Technische Hochschule Nürnberg  
 Prof. Dr.-Ing. Ulrich Teipel  
 Ulrich.Teipel@th-nuernberg.de  
 B.Eng. Thomas Fehn,  
 FehnTh46706@th-nuernberg.de

### PARTNER

Technische Hochschule  
 Nürnberg, Institut für Interdisziplinäre Innovationen (iii)  
 Fraunhofer-Institut für Chemische  
 Technologie (ICT), Pfinztal

Nachdem die erste Ölkrise 1975 überstanden war, rückte die Energieeffizienz nicht nur von Autos, sondern auch von Gebäuden zunehmend in den Fokus. Auf das Energieeinsparungsgesetz vom Juli 1976 folgte die „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden“ im August 1977. Dieses sogenannte Wärmeschutzgesetz wurde bis dato so oft verschärft, dass heutige Wohngebäude im Vergleich zu Häusern aus den 1950er und 60er Jahren nur noch einen Bruchteil an Energie benötigen. Erzielt wird diese enorme Energieeinsparung vor allem durch Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), die eine schützende Hülle ums Gebäude bilden. Sie sind aus mehreren Schichten aufgebaut (s. Abb. 1). Volumenmäßig machen Expandiertes und Extrudiertes Polystyrol (EPS/XPS), im Volksmund Styropor genannt, den Löwenanteil aus. Dessen Nutzungs-

dauer ist nach rund fünfzig Jahren erschöpft, wenn der Oberputz nicht sorgfältig gepflegt wurde. Ansonsten können durch Risse im Putz UV-Strahlen eindringen und das Styropor spröde werden lassen, oder eindringender Niederschlag setzt die Dämmleistung herab. Daher stehen die ersten WDVS in wenigen Jahren zur Erneuerung an. Wohin aber mit dem ausgedienten Mischgewebe?

### Gefährliche Flamm-schutzmittel

Die Palette an Dämmstoffen ist breit. Während der Marktanteil von nachwachsenden Materialien wie Schurwolle, Zellulose, Hanf, Kokos usw. stetig steigt, wurden in der Anfangszeit der Energiesparmaßnahmen an Gebäuden hauptsächlich Steinwolle und Styropor eingesetzt. Diese Materialien waren relativ preiswert und konnten mit einem geringen Transmissions-

wärmeverlust aufwarten. Problematisch ist nun, dass sie mit dem Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) versetzt wurden. Seit 2008 ist dieser hochgiftige Stoff verboten. Alles, was zuvor verbaut wurde, muss sorgfältig recycelt werden, damit HBCD nicht in die Umwelt gelangt. Deponieren geht nicht, da der organische Anteil im WDVS hoch ist und seit 2005 ein Ablagerungsverbot für organikhaltige Abfälle besteht. Auch Müllverbrennungsanlagen (MVA) scheiden aus, weil der Heizwert von EPS als Monocharge zu hoch ist und es daher zu technischen Anlagenproblemen kommen kann. Aber auch die untergemischten mineralischen Bestandteile wie Armierungs- und Oberputz sind in MVAs ungeeignet. Es bedurfte also einer Recyclingstrategie, die es vermag, WDVS-Systeme unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Aspekte

Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS)  
 1. Verklebung  
 2. Dämmung  
 3. Armierungsmasse  
 4. Armierungsgewebe  
 5. Grundierung  
 6. Schlussbeschichtung

Abb. 2: Styropor ist der Klassiker bei Wärmedämmverbundsystemen  
 Bilder: Sto und Gerd/fotolia.de



te so in ihre Einzelheiten zu zerlegen, dass sie dem Wertstoffkreislauf wieder zugeführt werden können. Unter der Regie des Karlsruher Instituts für Technologie haben sich Forschende der Fakultät Verfahrenstechnik und des Instituts für Interdisziplinäre Innovationen der Technischen Hochschule Nürnberg sowie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie in Pfnitztal der Herausforderung gestellt.

**Erst erfolgt die Trennung in Grob und Fein ...**

Das Ausgangsmaterial war ein vom Forschungsteam im Labor eigens aufgebautes Wärmedämmverbundsystem. Dazu benutzten sie marktübliche Materialien: Beim Dämmstoff entschieden sie sich für Styropor, weil das in der Realität mengenmäßig am häufigsten verbaut worden war. Beim anschließenden Abbau des WDVS ergab sich ein miteinander „verbackenes“ Gemisch aus Dämmstoff, Unterputz, Armierungsgewebe und Oberputz (s. Abb. 1), welches es in seine Einzelteile zu zerlegen galt. Das Team um Prof. Dr. Teipel entwickelte nun einen Verwertungsweg, bei welchem als erstes eine Hammermühle die WDVS-Bauteile zerkleinerte (s. Abb. 3).

Die so erhaltenen, höchstens 10 mm großen Partikel waren noch immer aus diversen Materialien zusammengesetzt, die nun mit Hilfe eines Einlegesiebes in eine Grob- und eine Feinfraktion unterteilt wurden. Gewichtsmäßig machte die Grobfraktion mit 85 Prozent den größten Teil aus, die Feinfraktion lag bei 15 Prozent. Es folgte die wiederholt angewandte Strömungsklassierung der Grobfraktion in einer Zickzacksichteranlage (s. Abb. 4). Darin werden die verschiedenen Partikel in einen Luftvolumenstrom eingebracht, um sich in Abhängigkeit von ihren unterschied-

lichen Sinkgeschwindigkeiten und Umströmungseigenschaften immer weiter auszudifferenzieren.

**... und dann in Schwer- und Leichtfraktion**

Bei dieser Sichtung spielt also nicht mehr die Größe, sondern die Dichte der vorliegenden Materialien eine Rolle, die eine große Spannweite aufweist. Ergebnis ist jetzt eine Schwer- und eine Leichtfraktion. Vor und nach dieser Sichtung kam ein opto-elektronisches Messgerät, der Camsizer, zum Einsatz. Dieser registriert in einer dynamischen Bildanalyse die jeweiligen Anteile der großen wie auch der kleinen Partikel beziehungsweise der schweren und der leichten Partikel.

Nach diesen wiederholten Maßnahmen bestand die Schwerfraktion zumeist aus Dämmstoff und Gewebe, doch fanden sich auch Reste von Ober- und Unterputz. Desgleichen sammelten sich in der Leichtfraktion nicht nur Putzpartikel, sondern es tauchten auch Styroporanteile auf, da dieser Stoff in unterschiedlichen Formen auftreten kann. Die intakten charakteristischen Kügelchen waren in die Schwerfraktion gefördert worden, während die von der Hammermühle zerkleinerten EPS-Teile in kleineren Fasern vorlagen und daher in die Leichtfraktion zum Putz gelangt waren. Nach weiteren Sichtungsgängen mit variierenden Siebgrößen und Luftvolumenströmen war es geschafft: Die Grobfraktion war weitestgehend sortenrein in die ursprünglich eingesetzten Ausgangsmaterialien EPS, Gewebe und Putz aufgeteilt. Die erhaltenen prozentualen Anteile entsprachen nahezu den anfangs verwendeten Mengen.

**Fazit**

In den zwei Jahren der Projektlaufzeit ist es der Forschergruppe



Abb. 3: Hammermühle zur Zerkleinerung



Abb. 4: Im Zickzacksichter wird in Schwer- und Leichtfraktion getrennt.

also gelungen, im Labor einen mechanischen Aufbereitungsweg für Wärmedämmverbundsysteme zu entwickeln, bei dem der überwiegende Teil des groben Materialmixes wieder in die Ausgangsmaterialien aufgesplittet werden konnte – Voraussetzung dafür, dass die Recyclingindustrie die Styroporkügelchen wieder verschmelzen, pressen und anschließend erneut aufblähen kann. Was noch ansteht, ist die ebenfalls sortenreine Trennung der Feinfraktion, die etwa 15 Prozent ausmacht. Dies dürfte jedoch nur noch eine Frage der Zeit sein. Gut so, denn die ersten WDVS stehen bereits zur Erneuerung an.

Abb. 5: Ergebnis



Bilder: Ulrich Teipel

Bild: Thomas Fehn



# Plan B wie Bioökonomie

## Kurzstudien für die Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“

Die baden-württembergische Landesregierung will die „Nachhaltige Bioökonomie“ voranbringen. In 13 Konzeptstudien skizzierten verschiedene Akteure sowohl sozio-ökonomische als auch technologische Aspekte des Themas. Neben Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen waren auch Unternehmen beteiligt.

### PROJEKT

Konzeptstudien zur Bioökonomie mit kurzer Laufzeit  
 Laufzeit: 11/2017 bis 2/2018  
 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
 Dr. Alice Schneider  
 alice.schneider@um.bwl.de  
 www.um.baden-wuerttemberg.de  
 www.biooekonomie-bw.de

Im 2016 beschlossenen Koalitionsvertrag hat die baden-württembergische Landesregierung verankert, eine Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ zu erarbeiten. Verantwortlich für die Umsetzung sind die Ministerien für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) sowie für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR).

### Beteiligungsprozess

Die Landesstrategie wird auf der Basis eines offenen Beteiligungsprozesses mit Akteurinnen und Akteuren aus Unternehmen, den angewandten Wissenschaften sowie aus Netzwerken und Verbänden erarbeitet. Die Landesstrategie besteht aus zwei Teilprozessen: dem Strang „Plan B – Nachhaltige Bioökonomie in urbanen und industriellen Räumen“, für welchen das UM zuständig ist, und dem Strang „BioWerZ – Nachhaltige Bioökonomie für die

ländlichen Räume“ unter Federführung des MLR.

Im Fokus von „Plan B“ stehen die Nutzung biologischer Ressourcen als Rohstoffquelle und die Nutzung biologischer Prozesse und Prinzipien. Das Besondere sei laut Dr. Alice Schneider vom UM, dass die genutzten Ressourcen aus urbanen und industriellen Prozessen stammen sollen. Neben vier Arbeitskreisen und verschiedenen Leuchtturm-Projekten war unter anderem ein Förderprogramm zur Erstellung von konzeptionellen Kurzstudien mit einer Laufzeit von jeweils drei Monaten Teil von „Plan B“.

Die Konzeptstudien sollten strategische Ansätze in Form konkreter Handlungsempfehlungen für die Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie in Baden-Württemberg formulieren, und zwar unter besonderer Berücksichtigung der bestehenden Wirtschafts- und In-

dustriestruktur im Land. Dabei galt es, bereits vorhandene Potenziale der Bioökonomie zu eruieren sowie Wissens- und Datenlücken zu schließen und Konzepte für weitere Vertiefungen und zur Umsetzung zu entwickeln.

### Themen der Konzeptstudien

Folgende Themenfelder hat das Umweltministerium als relevant für das Voranbringen nachhaltiger Bioökonomie im Land identifiziert:

- Kommunikation und Vernetzung relevanter Akteure aus Politik, Wissenschaft und Industrie,
  - normative und strukturelle Rahmenbedingungen, die für die Implementierung einer leistungsstarken Bioökonomie in Baden-Württemberg notwendig sind,
  - Indikatoren bzw. Bewertungsinstrumente für eine nachhaltige Bioökonomie, beispielsweise Lebenszyklusbetrachtungen,
  - Bioökonomie in industriellen Prozessketten, unter anderem durch Technologietransfer,
  - Rückgewinnung biotischer und abiotischer Grundmaterialien durch biobasierte Verfahren aus Abfällen, Abwässern, Schlämmen oder Schlacken und gegebenenfalls deren Verknüpfung,
  - Einbindung der Öffentlichkeit im Rahmen der bioökonomischen Aktionsfelder, um eine Änderung im gesellschaftlichen Nutzungsverhalten zu bewirken.
- Trotz verhältnismäßig kurzer Laufzeit seien laut Schneider wertvolle Ergebnisse generiert worden. „Die-

Versuchsanlage für die Nutzung von Bio-Brennstoffzellen im Abwasser  
 Bild: CUTEC



se sind in den Strategieprozess eingeflossen und werden in der Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ zum Tragen kommen.“

### Sozioökonomisch ausgerichtete Konzeptstudien

Von Interesse sei beispielsweise die Handlungsempfehlung, das Thema durch ein „Haus der Bioökonomie“ in der Gesellschaft zu implementieren. Darin soll „eine breite Öffentlichkeit mit einem modularen Grundkonzept“ angesprochen werden. Exponate und Experimente – händisch und virtuell – sollen bioökonomische Prinzipien, Produkte und Verfahren Jung und Alt gleichermaßen verdeutlichen und zum Mitmachen und Experimentieren anregen. Mit einem mobilen Bioökonomie-Truck könnten Labore den Umgang mit bioökonomischen Produkten schon frühzeitig für Schülerinnen und Schüler interaktiv erlebbar machen.

Auch das Didaktik-Konzept für die Fortbildung von Hochschul-Lehrenden zur Vermittlung von transformativem Wissen für den Wandel hin zu einem biobasierten Wirtschaftssystem gibt Impulse für die Landesstrategie.

Unter anderem wurden die Grundlagen geschaffen für den Aufbau einer Informations- und Serviceplattform mit ausführlichen Bilanzdaten für nutzungsfähige Abfallbiomasse und organische Reststoffe zur Vernetzung von verschiedenen Partnern im Land. Ebenso wurden die aktuelle Lage im Land für kleine und mittelständische Unternehmen analysiert und Indikatoren für den Entwicklungsstand der Bioökonomie gesucht.

### Technologieorientierte Konzeptstudien

Die technologieorientierten Konzeptstudien befassten sich unter anderem mit dem Wertschöpfungs-



potenzial von Mikroalgen und verschiedenen Nebenstoffströmen aus der Produktion. Exemplarisch seien an dieser Stelle Weintrester und Elektroofenschlacke genannt. Im zuletzt genannten Fall untersuchte ein Forschungsteam des Fraunhofer IGB die Möglichkeit, aus der Schlacke durch ein Laugungsverfahren mittels Mikroorganismen – dem sogenannten Bio-Leaching – Schwermetalle zu extrahieren.

In einer weiteren Studie wurde untersucht, wie aus Abfallströmen der Holz-, Papier- und Zuckerindustrie Lävulinsäure-Derivate gewonnen werden können als Plattformchemikalien – also in der Industrie in großen Mengen benötigte Chemikalien.

Darüber hinaus befasste sich das Cutec-Forschungsteam mit den Ein-

satzmöglichkeiten von bioelektrochemischen Systemen in der Abwasser- und Abfallaufbereitung. Diese versprechen Nutzen- und Kostenvorteile nicht nur durch Energieeinsparung und -gewinnung, sondern auch durch erheblich reduzierte Schlammproduktion, Möglichkeiten zur Elimination von Stickstoff und zur Gewinnung von Rohstoffen wie Metallen.

Das Forschungsteam sieht hohes Potenzial in einer dafür vorgesehenen „Bio-Brennstoffzelle“ und empfiehlt, „so schnell wie möglich eine Praxisanlage zu entwickeln und zu testen“. Denn eine Bio-Brennstoffzelle sei interessant, „weil es keine andere Technologie gibt, die ohne Hilfsmittel in der Lage ist, im Abwasser chemisch gebundene Energie in elektrischen Strom zu überführen“.

Modell eines Labor-Moduls für das „Haus der Bioökonomie“

Bild: Claus Lämmle/Bueroplaz

Nahaufnahme von Bio-Brennstoffzellen

Bild: CUTEC





# Wildtier-Beobachtung in Echtzeit

## Kostengünstige Technik zur Überwachung von Fledermaus & Co.

Handelsübliche USB-Empfänger und Mini-Sender sollen die automatisierte Erstellung von Bewegungsprofilen auch kleiner Wildtiere ermöglichen. Die gleichzeitige Beobachtung mehrerer Tiere in Echtzeit würde der ökologischen Freilandforschung einen enormen Wissensschub verschaffen.

### PROJEKT

Bereits in den 1960er Jahren schuf Bill Cochran, US-amerikanischer Ingenieur für Radio-technik, die Voraussetzungen für die Wildtier-Telemetrie. Die benötigten Antennen wurden damals aufs Autodach geklemmt und die mit Sendern ausgestatteten Vögel über Tausende von Kilometern verfolgt. Der leichteste heute erhältliche Sender bringt gerade mal 0,22 Gramm auf die Waage. Damit kann man auch kleinste Wildtiere wie Schmetterlinge oder – wie hier vorgestellt – die Rauhaufledermaus bestücken.

Damals wie heute erhofft sich die Wissenschaft nicht nur neue Erkenntnisse über die globalen Wan-

derbewegungen von Wildtieren, sondern unter anderem auch zur Vorhersage von Naturkatastrophen und zur Ausbreitung von Infektionskrankheiten wie der Vogelgrippe. Ralf Zeidler vom Freien Institut für Datenanalyse erarbeitet in Kooperation mit dem Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FRINAT GmbH) derzeit ein neues System. Es soll aufgrund einer deutlich erhöhten Genauigkeit die Möglichkeit schaffen, mehrere Tiere gleichzeitig in Echtzeit auf dem Bildschirm zu beobachten.

### Kleiner, kompakter, besser

Die dazu benötigte Hardware ist mittlerweile relativ günstig zu be-

kommen. Daher spekuliert das Team auf die Mitarbeit vieler ehrenamtlicher Hobbyforscher und Amateurfunker im gesamten Bundesgebiet und auch darüber hinaus. Die nötige Ausrüstung besteht aus einer Antenne, einem USB-Empfänger, einem Raspberry Pi Mini-Computer mit einem Akku oder einer anderen geeigneten Stromversorgung. Was früher Kartographen im Feld in monatelangem Einsatz per Triangulation ermittelten, soll nach erfolgreicher Beendigung des Projekts durch Antennenmasten, die mit mehreren Antennen bestückt sind, erfolgen. Die Winkelbestimmung wird anhand der aufgezeichneten Signalstärken an den unter-

Machbarkeitsstudie zur automatisierten Wildtier-Telemetrie mit Bewegungsprofil mittels kostengünstiger Consumer-Elektronik

Laufzeit: 7/2017 bis 7/2018

Dipl.-Phys. Ralf Zeidler

Freies Institut für Datenanalyse

Ralf.Zeidler@Fridata.de

Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FRINAT GmbH)

brinkmann@frinat.de

www.radio-tracking.eu

Ralf Zeidler beim

Kalibrieren des Systems

Bild: Hannes Kampf, Freies

Institut für Datenanalyse







Rauhautfledermaus  
Bild: R. & E. Francke

Mast mit vier Antennen zur Richtungsbestimmung der Mini-Sender von Fledermäusen

Bild: Hannes Kampf, Freies Institut für Datenanalyse

schiedlich ausgerichteten Antennen an einem Standort automatisch erfolgen. Die empfangenen Daten lassen sich dann herunterladen oder direkt in Excel importieren. Wer die Daten darüber hinaus in einem Datenbankverwaltungssystem (MySQL) speichert, kann in Echtzeit per Internet darauf zugreifen.

### Warum Fledermäuse?

Gemäß der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der Europäischen Union von 1992 sind „wildlebende Arten, deren Lebensräume und die europaweite Vernetzung dieser Lebensräume zu sichern und zu schützen. Die Vernetzung dient der Bewahrung, (Wieder-)Herstellung und Entwicklung ökologischer Wechselbeziehungen sowie der Förderung natürlicher Ausbreitungs- und Wiederbesiedlungsprozesse“. Die im vorliegenden Projekt beispielhaft besenderten Rauhautfledermäuse unterliegen auf ihren Wanderungen vielfältigen Bedrohungen, allen voran Windkraftanlagen. Darüber hinaus leiden sie unter der Zer-

störung von Altholzbeständen oder unter Dürreperioden aufgrund des Klimawandels. Dies könnte zu Änderungen ihres Zugverhaltens führen. Das Forschungsprojekt baut daher auf die Mitarbeit möglichst vieler Tierschützerinnen und Tierschützer bei der Überwachung des länderübergreifenden Fledermauszugs, um etwaige Bedrohungen erkennen und möglichst verhindern zu können. Es ist als Open-Source-Projekt angelegt, das heißt, Interessierte können die benötigte Software wie auch die Anleitung zur Hardwaresteuerung kostenlos von der Website <https://radio-tracking.eu> herunterladen.

### Ergebnisse

Bei Redaktionsschluss waren die Feldstudien noch nicht abgeschlossen. Doch schon im Laufe der Erstellungsphase haben sich viele aktive Nutzende ehrenamtlich in das Projekt eingebracht, und Teamchef Ralf Zeidler ist überzeugt: „Mit Hilfe kostengünstiger Consumer-Elektronik lassen sich Bewegungsprofile von mehreren kleinen, besen-

derten Wildtieren in Echtzeit erstellen.“ Im weiteren Verlauf des Projekts stehen noch die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit wie auch die Robustheit des Systems im Fokus.

Sobald man durch das Monitoring Genaueres über den Wildtierzug weiß, lassen sich geeignete Schutzmaßnahmen einleiten. Dazu gehören im Falle der Rauhautfledermaus unter anderem

- die Meidung von nachgewiesenen Wochenstuben-Quartierzentren,
  - die Verlegung von Rodungszeitpunkten in Frostperioden und
  - pauschale Abschaltzeiten von Windkraftanlagen im ersten Betriebsjahr bis mindestens 6 m/s und ab 10 °C, sofern sich diese in der Nähe von Paarungs- und Wochenstubenquartierzentren befinden oder in Gebieten mit erhöhter Aktivität zur Zugzeit.
- Bundesweit finden bereits Telemetrie-Seminare statt, das Interesse daran ist groß, einer Anwendung der Forschungsergebnisse steht also nichts mehr im Wege.





# Belastete Böden

## Erweiterte Analysemethoden für per- und polyfluorierte Chemikalien

Etwa 880 Hektar landwirtschaftlich genutzte Flächen in Nord- und Mittelbaden sind mit per- und polyfluorierten Chemikalien verunreinigt. Ein Forschungskonsortium hat neue Analyseverfahren entwickelt, mit denen die Kontamination des Bodens charakterisiert werden kann. Diese optimieren sie nun und erweitern sie im Hinblick auf Analysen von Pflanzen.

Versuchsfelder des LTZ

### PROJEKT

Optimierung der EOF-Analytik unter Berücksichtigung der Beiträge verschiedener Stoffklassen poly- und perfluorierter Verbindungen (EOFplus)

Laufzeit: 8/2017 bis 10/2018

DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe  
Dr. Frank Sacher  
frank.sacher@tzw.de  
www.tzw.de

### PARTNER

Universität Tübingen, Institut für Umweltanalytik und Institut für Evolution und Ökologie  
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)  
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)  
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Leipzig

Vor etwa fünf Jahren wurden in der Region Rastatt/Baden-Baden und später in Mannheim entdeckt, dass mehrere hundert Hektar Ackerfläche mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC, in der Wissenschaft als PFAS bezeichnet) verunreinigt sind. Als Folge der Bodenverunreinigung gelangten die Chemikalien teilweise auch ins Grundwasser. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hält es für sehr wahrscheinlich, dass „die Ursache hierfür die Ausbringung von Kompost ist, der mit

Schlämmen aus der Papierherstellung versetzt war“. Die Landesregierung hat zur Gefahrenabwehr mehrere Sofortmaßnahmen umgesetzt und unter anderem ein Vorerntemonitoring eingeführt, damit möglichst keine belasteten Lebensmittel in den Handel gelangten. Außerdem wurden einige Forschungsvorhaben zum längerfristigen Umgang mit dem PFAS-Schaden gestartet.

### Vorläuferprojekt

In einem dieser Vorhaben, dem „EOF-Projekt“, gelang es, ein neues Messverfahren zu entwickeln,

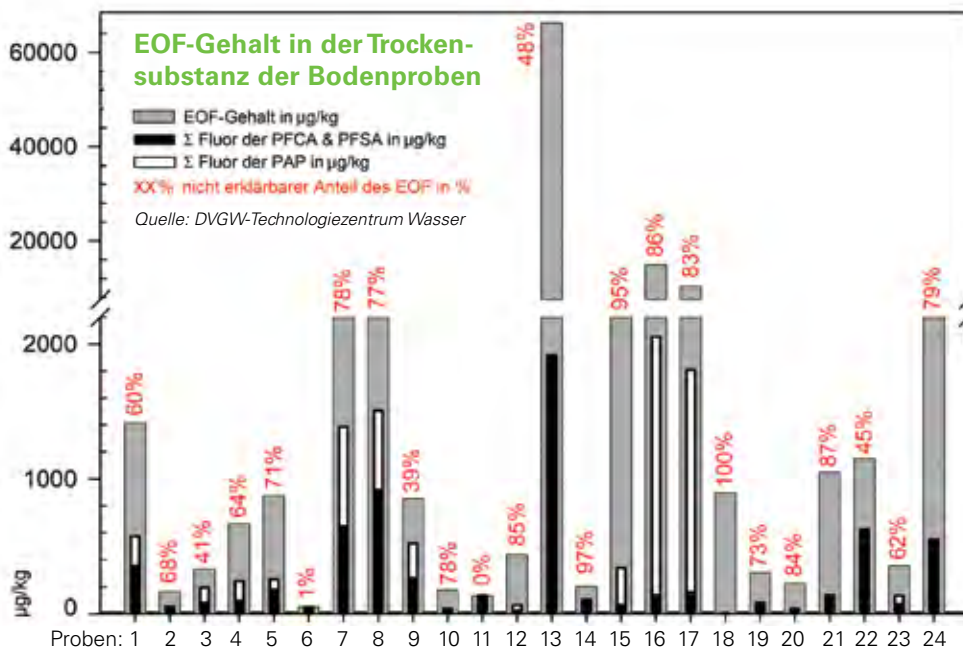
um die tatsächliche Menge der Verunreinigungen an fluorierten Verbindungen im Boden bestimmen zu können.

Denn bisher konnte organisch gebundenes Fluor nur unzureichend mit Einzelstoffanalysen gemessen werden. Aus den Forschungsarbeiten am Karlsruher Technologiezentrum Wasser (TZW) resultierte der neue summarische Parameter „EOF“ (extrahierbares organisch gebundenes Fluor), der auch „die Menge der bislang noch nicht identifizierbaren Organofluorverbindungen in Bodenproben messen“ kann, wie Projektleiter Dr. Frank Thomas Lange darlegte (vgl. Einblicke 2016).

Sein Team erarbeitete hierfür zuerst ein geeignetes Extraktionsverfahren, mit dem möglichst viele dieser Verbindungen aus der Bodenprobe herausgelöst und von anorganischem Fluorid abgetrennt werden. Das resultierende flüssige Extrakt wird dann durch eine Verbrennungsanalyse aufgeschlossen, bei der Fluorid entsteht, das mittels Ionenchromatographie bestimmbar ist.

### Optimierte Methoden

Auf der Basis dieser Ergebnisse startete ein neues Verbundprojekt





namens „EOFplus“ mit mehreren Partnern. Es hat zum Ziel, „ein analytisches Instrumentarium zu erarbeiten, mit dem die auf den betroffenen landwirtschaftlichen Flächen vorliegende Kontamination mit PFAS weitergehend charakterisiert werden kann“, erläutert Projektleiter Dr. Frank Sacher, der ebenfalls beim TZW tätig ist. Ein Teilprojekt zielt dabei auf eine Verbesserung der Bestimmungsgrenze der EOF-Analytik ab, um die Methode zukünftig auch auf Proben vergleichsweise gering belasteter Flächen anwenden zu können. Aus den Untersuchungen heraus hat sich die Bestimmungsgrenze von 50 µg/kg ergeben.

Darüber hinaus ist es gelungen, „zur Bestimmung von einzelnen Stoffgruppen der PFAS in kontaminierten Böden empfindliche Analyseverfahren zu entwickeln und zu optimieren“, fasst Sacher zusammen. Diese Stoffgruppen sind beispielsweise fluortelomerbasierte Acrylate und Polyacrylate sowie potenzielle Transformationsprodukte von Substanzen auf Basis von Fluortelomeralkohol (FTOH) und Perfluoroktansulfonamidalkohol (FOSE). Im Zuge eines Screening-Verfahrens kann man zudem bisher wenig beachtete Stoffklassen mittels hochauflösender Massenspektrometrie identifizieren.

Erste Ergebnisse der optimierten Analyseverfahren zeigen, dass in drei Viertel von 24 verschiedenen Bodenproben der bisher nicht erklärbare EOF-Anteil relativ hoch ist. Im Vergleich zu dem durch Einzelanalysen erklärbaren Anteil liegt er bei über 60 Prozent (vgl. Graphik). Außerdem wird in der Übersicht deutlich, wie unterschiedlich hoch die Menge des EOF-Gehalts in den verschiedenen Proben ist.

### Erweiterte Analysen

Über die Analyse von Bodenproben hinaus erweiterte das Forschungs-

konsortium die Anwendung seiner Verfahren auf Feldversuche mit Pflanzen, um aufzuklären, inwieweit sich PFAS aus belasteten Böden auch in Pflanzen anreichern. In Absprache mit der Projektbegleitgruppe, in der 14 Behördenvertreterinnen und -vertreter aus dem Untersuchungsgebiet mitarbeiten, wurde eine Auswahl für die zu untersuchenden Pflanzenteile getroffen. Dabei trug man der Relevanz der Nutzpflanzen für das Untersuchungsgebiet Rechnung sowie „dem Wunsch, maximal unterschiedliche Matrices abzudecken“, berichtet Sacher.

Die Wahl fiel auf Weizenkörner, Maiskörner und -blätter sowie die Topinamburwurzel, die sowohl in belasteten wie auch in unbelasteten Flächen Mittelbadens entnommen werden. Darüber hinaus setzt der Verbundpartner Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) Weidelgras aus Gefäßversuchen für die analytischen Untersuchungen ein.

Erste Ergebnisse verdeutlichen, „dass eine Übertragung des EOF-Analyseprotokolls auf bestimmte Pflanzenproben möglich ist“, fasst Projektleiter Sacher zusammen. Allerdings müsse dies für jede Matrix im Vorfeld geprüft werden.

### Toxikologische Bedeutung

Neben den analytischen Projektarbeiten führt das Forschungskonsortium eine umfassende Literaturstudie zum historischen Einsatz von PFAS in der Papierindustrie und zur toxikologischen Bedeutung der PFAS für Mensch und Ökosystem durch.

Schwerpunkt sollen diejenigen Substanzklassen sein, für die bisher keine Risikoabschätzung vorgenommen wurde. Diese Arbeit soll die Grundlage schaffen, um geeignete Prüf-, Maßnahmen- und Vorsorgewerte ableiten zu können.



Halle mit Gefäßversuchen für Mais, Weizen und Weidelgras



Gefäßversuche mit Weidelgras



Getrocknete Maisblätter für die Probenahme



# Stickstoffüberschüsse senken!

## Landesstrategie zum Schutz der Umwelt vor Ammoniak

In Baden-Württemberg – wie in Deutschland – sind die Ammoniakemissionen in die Umwelt zu hoch. Diese resultieren überwiegend aus der Landwirtschaft. Welche Rechtsvorschriften und praktischen Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffeinträge angewandt werden sollten, ist Bestandteil der Arbeiten zur Stickstoffstrategie Baden-Württemberg.

Mit dem starken Rückgang der Schwefeldioxidbelastung in den vergangenen Jahrzehnten sind heute Ammoniak- und Stickstoffdioxidemissionen zu den wichtigsten Luftschadstoffen geworden. Das ist eine Erfolgsgeschichte des technischen Umweltschutzes durch Rauchgasreinigung, den Einsatz schwefelarmer Brennstoffe oder die Nutzung regenerativer Energien. Gleichzeitig ist es aber auch die Geschichte vom Versagen des integrierten Umweltschutzes insbesondere in der Landwirtschaftspolitik. So sind die Ammoniakemissionen heute noch auf dem Stand der 1990er Jahre.

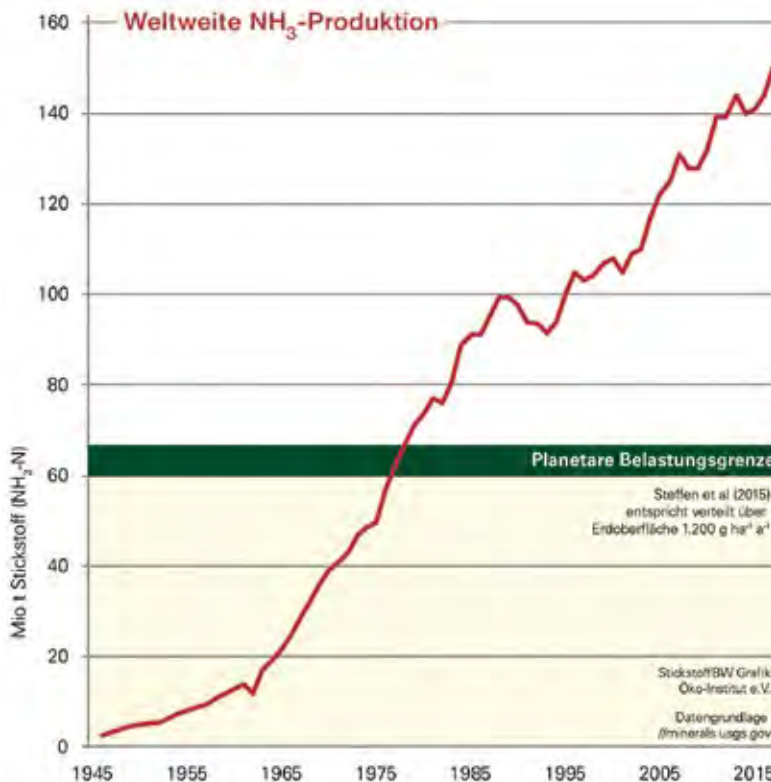
Bereits Anfang der 1980er Jahre hat die weltweite Ammoniak-Produktion (NH<sub>3</sub>) die planetare Belastungsgrenze

ze überschritten (siehe Graphik). Der aktuell diskutierte medienübergreifende Zielwert für Stickstoffeinträge in die Umwelt wird für Ammoniak derzeit um 400 bis 650 Prozent überschritten! Die Stickstoff- und Ammoniakemissionen gelangen über die Luft (v.a. Auswaschung durch Regen) in die Ökosysteme und führen insbesondere auf stickstoffempfindlichen Natura-2000-Gebieten zu deren unwiederbringlichen Zerstörung. Heute sind über eintausend besonders stickstoffempfindliche Tier- und Pflanzenarten und eine Vielzahl von Lebensraumtypen in ihrem Bestand massiv bedroht und in manchen Gebieten bereits verschwunden. Eine wesentliche Quelle für den Überschuss an reaktivem Stickstoff

ist Ammoniak, das in Baden-Württemberg zu über 90 Prozent von der Landwirtschaft emittiert wird.

### Ammoniak wird nicht wirksam reguliert

Dies liegt vor allem daran, dass die Landwirtschaftspolitik die Ammoniakemissionen, die bei der Düngung und der Tierhaltung in die Luft gelangen, nicht wirksam begrenzt. In der Umweltgesetzgebung soll das Immissionsschutzrecht für den Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen sorgen. Doch gilt dieses nur für bestimmte genehmigungsbedürftige Anlagen, zu denen innerhalb der Landwirtschaft lediglich große Tierhaltungsanlagen zählen. Angesichts der Bedeutung landwirtschaftlicher Quellen regelt das Bundesgesetz in Baden-Württemberg somit nur fünf Prozent der gesamten Ammoniakemissionen: ein Prozent aus großen Tierhaltungsanlagen und vier Prozent aus dem Verkehr. Ein Großteil der Ammoniakemissionen resultiert aus der organischen und mineralischen Stickstoffdüngung der Böden und aus Tierhaltungsbetrieben. Weil landwirtschaftliche Flächen keine Anlagen im Sinn des Immissionsschutzrechts sind, können Ammoniakemissionen nicht wirksam durch das Immissionsschutzrecht beschränkt werden. Aber auch das Agrarumweltrecht begrenzt die Emissionen von Stickstoff einschließlich Ammoniak nicht wirksam, da behördliche Kontrolle und sachgerechte Grenzwerte prak-



### PROJEKT

StickstoffBW, Projekt 401: Instrumente und Maßnahmen zur Stickstoffreduktion im Rahmen der Stickstoffstrategie Baden-Württemberg  
 Laufzeit bis 28.2.2019  
 Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie, Darmstadt  
 Andreas Hermann  
 a.hermann@oeko.de  
 Kirsten Wiegmann  
 k.wiegmann@oeko.de  
 www.oeko.de

Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frankfurt  
 Axel Wirz  
 axel.wirz@fibl.org  
 www.fibl.org

### PARTNER

Projekt im Rahmen des ressortübergreifenden Verbundvorhabens StickstoffBW

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
 Dr. Andreas Prüß  
 andreas.pruess@lubw.bwl.de  
 www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
 Prof. Dr. Günther Turian  
 guenther.turian@um.bwl.de  
 www.um.baden-wuerttemberg.de  
 www.lubw.baden-wuerttemberg.de/  
 medienuebergreifende-umweltbeobachtung/stickstoffbw

Die globale Ammoniakproduktion steigt nach wie vor an und liegt inzwischen weit über der planetaren Belastungsgrenze  
 Quelle: Öko-Institut

tisch fehlen. Ein grundlegendes Problem liegt darin, dass seit der Einführung der Umweltschutzpolitik in den 1970er Jahren der Landwirtschaft bis heute eine Sonderrolle zugebilligt wird – beispielsweise durch die „Landwirtschaftsklauseln“ im Bundesnaturschutzgesetz seit 1976. Die Einhaltung der meisten „Umweltvorschriften“ in der Landwirtschaft soll im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“ und damit im Wege der Eigenkontrolle erfolgen; eine wirkungsvolle behördliche Kontrolle fehlt. Mit der Überarbeitung der bundesweit geltenden Düngeverordnung inklusive des Erlasses der Stoffstrombilanzverordnung wurden 2017 nur theoretische Schritte zur Reduktion der Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft unternommen. Ausgerechnet die seit 1976 nicht geregelten gasförmigen „Stickstoffverluste“ u. a. aus der Düngung werden in beiden Verordnungen völlig vernachlässigt und durch das Emissions-Synonym „Verluste“ weiterhin bagatellisiert. In der Düngeverordnung werden diese Emissionen nur implizit mit den Auflagen zur Verbesserung der Wirtschaftsdüngerabfuhr abgebildet. Die Stoffstrombilanzverordnung bildet die Emissionen durch die Anwendung von Hoftorbilanzen mangelhaft ab. Die durch die Stoffstrombilanzverordnung erlaubte Höhe der Bilanzüberschüsse von 175 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr ist nicht geeignet, den Schutz sensibler Ökosysteme sicherzustellen. Wie dieser Wert wissenschaftlich begründet wird, bleibt unklar. Zumal beispielsweise in den Niederlanden Stickstoffeinträge von wenigen Gramm pro Hektar und Jahr geregelt werden. Klar ist aber, dass er keinen Umweltbezug aufweist und für den Schutz von sensiblen Natura-2000-Gebieten viel zu hoch ist. Hinzu kommt, dass in Baden-Württemberg aktuell nur sieben Prozent der Betriebe



zur Erstellung einer Stoffstrombilanz verpflichtet sind. Das Gros der Betriebe muss also weder Auflagen zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen erfüllen noch die Ammoniak-Emissionen dokumentieren. Das ist besonders dann kritisch, wenn sie in der Nähe von gefährdeten Natura-2000-Flächen liegen.

Die Wissenschaft bewertet den gestörten natürlichen Stickstoffkreislauf mit allen Folgen, insbesondere dem Verlust der biologischen Vielfalt, als ähnlich bedeutend oder sogar noch bedeutsamer als den globalen Klimawandel. Doch während es für den Klimaschutz Strategien zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die wichtigsten Verursacher gibt, fehlt eine „vergleichbare“ Strategie zur Reduzierung der Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft.

### Konkrete Ziele und Maßnahmen wie beim Klimaschutz

Gemäß dem Ersten Stickstoff-Bericht der Bundesregierung bedarf es „eines integrierten Politikansatzes und einer sektoren- wie medienübergreifenden Herangehensweise bei der Stickstoffminderung“. Diesen Gedanken verfolgt auch das Land Baden-Württemberg.

Ziel der Strategie muss es sein, die jährlichen Stickstoffüberschüsse von ca. 95 kg auf voraussichtlich deutlich unter 50 kg pro Hektar und Jahr zu senken. Zu den wesentlichen Maßnahmen einer solchen Strategie gehört es, bereits heute mit langfristig angelegten strukturellen Änderungen zu beginnen. Dazu zählen der Ausbau des Ökolandbaus, ein signifikanter Abbau des Tierbestandes in den Hotspot-Gebieten und nicht zuletzt die Änderung der menschlichen Ernährung. Weitere Bestandteile einer solchen Strategie sollten auch kurz- bis mittelfristig umsetzbare Maßnahmen und Instrumente zur Reduktion der Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft sein. Dazu zählen zum Beispiel Gülleabdeckung, Abluftfilter im Stallbau oder Änderungen in den Produktionsverfahren. Darüber hinaus sind neue rechtliche Instrumente für eine Reduzierung der Stickstoffüberschüsse nötig. Zwei davon werden im Folgenden beschrieben.

### Stickstoffgesetz

Die Regelungen zur Reduzierung von Stickstoff sind über viele Gesetze und Verordnungen verstreut. Regelungsbereichsübergreifende

Gülleabfuhr ist im Umfeld von gefährdeten Natura-2000-Flächen besonders problematisch.

Bild: Peter Delicaat, Wikimedia



Logo zur Stickstoffstrategie Baden-Württemberg



Definitionen fehlen. Ein wichtiges Instrument für eine integrierte Herangehensweise zur Stickstoffminderung ist deshalb die Schaffung eines Stickstoffgesetzes als Bundes- oder Landesrecht. So wurde in dem „Bund-Länder Fachgespräch Stickstoffbilanz“ bereits 2017 empfohlen, eine „bundesweite, medienübergreifende gesetzliche Regelung der Belastungsgrenzen (unter Federführung des Umweltressorts) in einem Bundes-Stickstoffgesetz (Arbeitsbegriff) zu bündeln“.

In einem Stickstoffgesetz müssen verbindliche nationale Reduktions-

von Zielwerten für Stickstoffemissionen bzw. -immissionen ermittelt werden kann. Mit dem Konzept von Critical Loads (kritische Deposition) und Critical Level (kritische Konzentration) steht hier bereits eine international anerkannte Bewertungsmethodik für den Stickstoffeintrag über Luftschadstoffe wie Ammoniak zur Verfügung, die im Stickstoffgesetz festgelegt werden kann.

Ein weiterer wichtiger Baustein im übergreifenden Definitionsgebäude besteht in der Vorgabe gebietspezifischer maximaler Stickstoff-

haben, wiederum andere, national oder global begründete Zielwerte. In die Ermittlung der Zielwerte gehen Critical Loads und Critical Levels der jeweiligen Schutzgüter mit ein. Sind keine Schutzgüter betroffen, könnten beispielhafte Hoftorbilanzen als Daten- und Bemessungsgrundlage für den Stand der Technik bestimmter Betriebstypen unter Einhaltung einer nationalen Obergrenze festgesetzt werden.

### Zugang zu Betriebsdaten für die Maßnahmenbewertung

Während Emissionsdaten von reaktivem Stickstoff für Industrie und Verkehr anlagen- und straßenscharf vorliegen, fehlt ein genaues Bild zur Belastungssituation durch landwirtschaftliche Betriebe. Damit die Behörden in Baden-Württemberg genauere Aussagen zur regionalen Belastungssituation auf Betriebsebene mit reaktivem Stickstoff treffen können, ist zu prüfen, ob die Rechtslage eine Vernetzung und Nutzung bereits existierender Datenbankinformationen erlaubt. So könnte anhand bestehender Daten eine Belastungskarte erstellt werden, die Flächen sichtbar macht, in denen hohe Ammoniakbelastungen empfindliche Naturschutzgebiete gefährden, und die als Grundlage zur Bewertung von Maßnahmen zur Stickstoffreduzierung dient.

Das Öko-Institut untersucht und beschreibt die zuvor genannten Maßnahmen und Regelungen in einer Studie für die Stickstoffstrategie Baden-Württemberg. Diese Studie und weitere Arbeiten in StickstoffBW werden der Politik Empfehlungen für eine Stickstoffstrategie an die Hand geben. Dazu sollten neben kurzfristig umsetzbaren Maßnahmen auch langfristige Ziele gehören, wie eine Stickstoff- und Ökologiewende in Baden-Württemberg.



Bild: Rainer Sturm/Pixelio.de

Durch geringeren Fleischkonsum könnten Verbraucherinnen und Verbraucher maßgeblich zur Reduktion der Stickstoffemissionen beitragen.

ziele für den Gesamteintrag von reaktivem Stickstoff festgeschrieben werden, damit die Stickstoffeinträge mittelfristig (bis 2030) und langfristig (bis 2050) wirksam gesenkt werden. Das Gesetz sollte verbindliche Reduktionsziele für den Stickstoffeintrag jedes einzelnen Sektors entsprechend seines Verursachungsanteils festlegen. Zur Überwachung der Zielerreichung gehören auch die Regelungen für ein Monitoringprogramm in das Gesetz – angefangen beim Ammoniak. Erforderlich ist in diesem Zusammenhang die Bestimmung eines Indikators und eines Zielwerts für die jeweiligen Schutzgüter, mit denen die Überschreitung

überschüsse für gedüngte Flächen („Critical Surplus“). Dazu wird eine Bilanzierungsmethode benötigt, die umwelt- und düngerechtliche Vorgaben einbezieht und die alle Stickstoffflüsse berücksichtigt. Dies erfordert eine Festlegung von Critical Surplus für die unterschiedlichen Betriebstypen.

Landwirtschaftliche Flächen, die wie extensives stickstoffsensibles Grünland selbst Schutzgut sind, benötigen dabei andere Zielwerte als „normale“ Wirtschaftsflächen, die jedoch in der Nachbarschaft von geschützten Gebieten wie Mooren liegen. Hingegen benötigen Flächen, die keine geschützten Lebensräume in ihrem Einwirkungsbereich

# Weitere Projekte der Umweltforschung

In folgender Übersicht finden Sie weitere Projekte, die im Rahmen der Umweltforschung vom Land gefördert wurden. Die Projekte, die in diesem Journal ausführlicher vorgestellt wurden, sind hier nicht enthalten.

## BIOENERGIE

### BioElektroGas – Bioelektrochemische Produktion von hochreinem Biogas aus Abfallstoffen – 3 Teile

**Einblick** Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines vollkommen neuen Verfahrens zur Erzeugung von gasförmigen Kraftstoffen aus organischen Abfallstoffen. Dazu werden erstmals fermentative Verfahren und bio-elektrische Systeme zu einem neuen Prozess kombiniert. In diesem Prozess werden die Abfallstoffe zunächst in einem „dark fermentation reactor“ fermentativ in organische Säuren umgewandelt und anschließend einer bio-elektrochemischen Konversion, bestehend aus einer Anoden- und einer Kathodenkammer zugeführt werden. Die Einzelziele des Projektes sind wie folgt definiert:

- Entwicklung und Erprobung eines geeigneten Anoden- und Kathodenmaterials und Optimierung der Elektrodenstruktur
- Untersuchung der biologischen Diversität der Mikroorganismen an den Elektroden
- Optimierung des fermentativ bioelektrochemischen Gesamtverfahrens unter technischen Aspekten im Labormaßstab.

**Laufzeit** 01.09.2015 bis 31.03.2019

#### Teil 1

**FKZ\*** BWB15005

**Institution** Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (LAB), Hohenheim

**Leitung** Andreas Lemmer  
andreas.lemmer@uni-hohenheim.de

**Internet** www.uni-hohenheim.de/organisation/einrichtung/landesanstalt-fuer-agrar-technik-und-bioenergie

#### Teil 2

**FKZ** BWB15006

**Institution** Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Karlsruhe

**Leitung** Johannes Gescher  
johannes.gescher@kit.edu

**Internet** www.iab.kit.edu

#### Teil 3

**FKZ** BWB15007

**Institution** Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK), Freiburg

**Leitung** Sven Kerzenmacher  
sven.kerzenmacher@imtek.de

**Internet** www.imtek.de

\* FKZ = Förderkennzeichen

## MIKROKUNSTSTOFFE

### Mikrokunststoffe in Komposten und Gärprodukten aus Bioabfallverwertungsanlagen und deren Eintrag in landwirtschaftlich genutzte Böden – Erfassen, Bewerten, Vermeiden (MiKoBo) – 7 Teile

**Einblick** Ziel des Verbundvorhabens ist die Bestimmung, Quantifizierung und Bewertung von Mikrokunststoffen (MKS) in Komposten, Gärprodukten und Böden. Mikroplastikpartikel, definiert als Kunststoffpartikel < 5 mm, werden zunehmend als Belastung der Umwelt gesehen. Die Dynamiken, wie Eintragswege und deren mögliche Beeinflussung, werden kaum untersucht. MiKoBo betrachtet das vergleichsweise wenig erforschte Umweltsystem Boden. Ein bekannter Eintragsvektor für Mikrokunststoffe (MKS) in Böden ist Klärschlamm. Dieser Eintragsweg kann durch rechtliche Vorgaben relativ einfach verschlossen werden. Bislang noch kaum erfasst ist dagegen die mögliche Belastung der Böden durch MKS in organischen Düngern. In den Teilprojekten werden unterschiedliche Fragestellungen adressiert.

**Laufzeit** 01.04.2018 bis 31.03.2021

#### Teil 1

**FKZ** BMWK18001

**Institution** Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Bioprozesstechnik, Bayreuth

**Leitung** Ruth Freitag  
bioprozesstechnik@uni-bayreuth.de

**Internet** www.dlr.de/ra/

#### Teil 2

**FKZ** BMWK18002

**Institution** Universität Stuttgart, Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Stuttgart

**Leitung** Franz Brümmer  
franz.bruemmer@bio.uni-stuttgart.de

**Internet** www.uni-stuttgart.de/bio/bioinst/

#### Teil 3

**FKZ** BMWK18003

**Institution** Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Stuttgart

**Leitung** Thilo Streck, Ellen Kandler  
thilo.streck@uni-hohenheim.de, kandler@uni-hohenheim.de

**Internet** www.uni-hohenheim.de/organisation/einrichtung/institut-fuer-bodenkunde-und-standortslehre

#### Teil 4

**FKZ** BMWK18004

**Institution** Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)

**Leitung** Jens Forberger  
jens.forberger@ict.fraunhofer.de

**Internet** www.fraunhofer.de

#### Teil 5

**FKZ** BMWK18005

**Institution** Universität Stuttgart, Institut für Kunststofftechnik, Stuttgart

**Leitung** Christian Bonten

**Internet** christian.bonten@ikt.uni-stuttgart.de  
www.ikt.uni-stuttgart.de

#### Teil 6

**FKZ** BMWK18006

**Institution** Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Stuttgart

**Leitung** Martin Kranert  
martin.kranert@iswa.uni-stuttgart.de

**Internet** www.iswa.uni-stuttgart.de

#### Teil 7

**FKZ** BMWK18007

**Institution** Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Bioprozesstechnik, Bayreuth

**Leitung** Christian Laforsch  
christian.laforsch@uni-bayreuth.de

**Internet** www.bioprozesstechnik.uni-bayreuth.de/de/index.html

## SMART GRIDS

### Dezentrales Open Source Energiemanagement in Liegenschaften – 2 Teile

**Einblick** Mit „DOSE“ soll ein cloudbasiertes dezentrales Open-Source-Energiemanagementsystem entwickelt und in einem Musterquartier getestet werden. Der Ansatz unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von bisher im Markt aktiven Systemen: Durch die Auslagerung einer Vielzahl von Aufgaben (Datenbereitstellung, Speicherung, Optimierung) in cloudbasierte Open-Source-Dienste und Plattformen entsteht ein System, das sowohl bezüglich Leistungsfähigkeit wie auch Verbreitung leicht skalierbar und für breite Bevölkerungsschichten zugänglich ist. Die Vernetzung von Steuerboxen erlaubt eine über die einzelne Liegenschaft hinausgehende Optimierung wie den netzdienlichen Betrieb der Liegenschaften und von Energiespeichern. Über Big-Data können Algorithmen fortlaufend optimiert werden. Das darauf abgestimmte Geschäftsmodell orientiert sich nicht am Verkauf und Betrieb von Hard- und Software, sondern an der Bereitstellung von Energiedienstleistungen mit Mehrwert für den Kunden bzw. Prosumenten. In „DOSE“ soll der Ansatz zur Marktreife entwickelt und die Funktionalität des Ansatzes in einem Musterquartier demonstriert werden.

**Laufzeit** 01.04.2017 bis 31.03.2020

#### Teil 1

**FKZ** BWSGD17001

**Institution** OLI Systems GmbH, Stuttgart

**Leitung** Ole Langniß  
ole.langniß@my-oli.com

**Internet** www.my-oli.com/de

#### Teil 2

**FKZ** BWSGD17002

**Institution** Conventic Gesellschaft für IT-Beratung und Applikationsentwicklung mbH, Remagen



Leitung Bernd Maurer  
b.maurer@conventic.com  
Internet www.conventic.com

**Demonstrator Automatisierte Kabelverteiler als Alternative zum regelbaren Ortsnetztrafo (DEMOrONT-Alternative) – 4 Teile**

Einblick Das Projekt hat zum Ziel, die Möglichkeit des alternativen Einsatzes von fernsteuerbaren Kabelverteilern (automatisierten Kabelverteilern, KVs) im Vergleich zu einem regelbaren Ortsnetztrafo (rONT) zu untersuchen. Dies soll als Stabilisierungsmaßnahme im Niederspannungsnetz Sickenhausen in Reutlingen Einsatz finden. Der starke Ausbau dezentraler erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen (im untersuchten Stadtteil hauptsächlich Photovoltaik (PV)) führt zu einer stark fluktuierenden Stromeinspeisung. Deshalb findet vielerorts bei starker und lang anhaltender Sonneneinstrahlung an Ortsnetzstationen (ONS) eine temporäre Lastumkehr statt, so dass die überschüssige Energie in das Mittelspannungsnetz rückgespeist wird. Daraus resultierende Schwankungen im Bezug und in der Rückspeisung verursachen deutliche Spannungsschwankungen, die in der Regel durch den Einbau eines rONTs ausgeglichen werden können. Im betroffenen Teilort soll untersucht werden, ob alternativ auch Umschaltungen an KVs benachbarter Netzteile denselben Effekt erreichen können. Es soll hier gezeigt werden, dass mit der Methode der Lastverschiebung dezentrale Überangebote an Energie in der gleichen Spannungsebene an anderen Verbrauchsorten ohne die o.g. Nachteile umgesetzt werden können.

Laufzeit 01.11.2017 bis 31.01.2021  
**Teil 1**  
FKZ BWSGD17003  
Institution Hochschule Reutlingen, Reutlinger Energiezentrum (REZ)  
Leitung Frank Truckenmüller frank.truckenmueller@reutlingen-university.de  
Internet www.tec.reutlingen-university.de/forschung-industrie/reutlinger-energiezentrum/  
**Teil 2**  
FKZ BWSGD17004  
Institution FairNetz GmbH, Netzmanagement, Reutlingen  
Leitung Simon Eilenberger simon.eilenberger@fairnetzgmbh.de  
Internet www.fairnetzgmbh.de/  
**Teil 3**  
FKZ BWSGD17005  
Institution DlgSILENT GmbH, Gomaringen  
Leitung Geschäftsführer Christoph Schmid c.schmid@digsilent.de  
Internet www.digsilent.de/de  
**Teil 4**  
FKZ BWSGD17006  
Institution EMIS Automatisierung GmbH  
Leitung Geschäftsführer Martin Bast m.bast@emis-gmbh.de  
Internet www.emis-gmbh.de

**„EnergieHafenWest“: Gewerbe-Mieterstrom mit „sektorübergreifendem“ prognoseoptimiertem Betrieb der Wärme-, Kälte- und Stromerzeuger bzw. -verbraucher – 2 Teile**

Einblick Auf dem „Hüller-Hille-Areal“ in Ludwigsburg errichteten die Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim (SWLB) eine Heizzentrale, um einen Teil des Gebiets „Werkszentrum West“ mit Wärme und Kälte zu versorgen. Die Kälte- und Wärmelieferung begann im Jahr 2017. Mit dem Demonstrationsvorhaben soll eine Sektorenkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch von Wärme, Kälte und Strom sowie der E-Mobilität erreicht werden, bei der die einzelnen Komponenten untereinander kommunizieren und somit intelligent gesteuert werden können. Gleichzeitig soll der vor Ort erzeugte regenerative Strom über eine Direktlieferung an die lokal ansässigen Unternehmen und die auf dem Areal vorgesehenen Ladesäulen über ein Gewerbe-Mieterstrommodell veräußert werden. Um das Areal- und Verteilnetz zu entlasten und den vor Ort erzeugten regenerativen Strom zum höchstmöglichen Anteil im Areal zu nutzen, soll ein Stromspeicher zum Einsatz kommen.

Laufzeit 01.01.2018 bis 31.01.2021  
**Teil 1**  
FKZ BWSGD17007  
Institution Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim GmbH, Innovative Energielösungen / Projektentwicklung  
Leitung Andreas Pfeif andreas.pfeif@swlb.de  
Internet www.swlb.de  
**Teil 2**  
FKZ BWSGD17008  
Institution Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart  
Leitung Jann Binder jann.binder@zsw-bw.de  
Internet www.zsw-bw.de

**Smart Local Energy Services – Demonstrations- und Transfervorhaben zur energetischen und nutzerbezogenen Umsetzung eines innovativen Micro Smart Grids für Wohnen & E-Mobilität auf Quartiersebene in der Stadtausstellung Heilbronn zur BUGA2019 (SmaLES@BW) – 4 Teile**

Einblick Das Vorhaben „SmaLES – Smart Local Energy Services“ stellt einen neuen ganzheitlichen Ansatz für ein ressourcenleichtes und vor allem übertragbares Micro Smart Grid in Baden-Württemberg dar. Am Beispiel des Block I der Stadtausstellung Neckarbogen in Heilbronn soll das Konzept im Rahmen der Bundesgartenschau 2019 erstmals als Demonstrationsvorhaben prototypisch umgesetzt werden. Das Herzstück im Projekt bildet eine übergreifende Daten-Infrastruktur, mit der Monitoring, Abrechnungs- und Messdienstwesen erfasst werden können. Dazu werden verschiedene Stromspeicherkonzepte entwickelt und bezüglich wirtschaftlicher, ökologischer

und energetischer Zielsetzungen miteinander verglichen. Um die Interessenskonflikte von Netzbetreiber, Staat und Anlagenbetreiber lokaler Energienetze bei der Betriebsführung von PV-Speicher-Systemen aufzuheben, werden Konzepte prognosebasierter Anlagensteuerung entwickelt und nach Möglichkeit in das Demonstrationsvorhaben integriert. Nicht zuletzt über das Mieterstrom-Modell und Wärmecontracting werden die Mieter dabei direkt mit einbezogen und bilden eine „Smart Energy Community“, die über neue Anreizsysteme, soziales Energiemanagement und kollaborative Geschäftsmodelle einen Beitrag zur Energiewende in BW leisten können.

Laufzeit 01.11.2017 bis 31.10.2019  
**Teil 1**  
FKZ BWSGD17009  
Institution Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT)  
Leitung Georg Göhler georg.goehler@iat.uni-stuttgart.de  
Internet www.iat.uni-stuttgart.de  
**Teil 2**  
FKZ BWSGD17010  
Institution DSG Invest GmbH, Heilbronn  
Leitung Matthias Haag m.haag@solargesellschaft.com  
Internet www.solargesellschaft.com  
**Teil 3**  
FKZ BWSGD17011  
Institution Widmann Energietechnik GmbH, Neuenstadt  
Leitung Friedhelm Widmann f.widmann@widmann-energietechnik.de  
Internet www.widmann-solartechnik.de  
**Teil 4**  
FKZ BWSGD17012  
Institution bpd GmbH, Altrip  
Leitung Peter Ruwe peter.ruwe@bpd-consulting.de  
Internet www.bpd-consulting.de

**PV-Vorhersage für netzdienliche Steuerung von Wärmepumpen (PV2WP) – 2 Teile**

Einblick Die Zunahme von Wärmepumpen bei der Realisierung einer klimaneutralen Wärmeversorgung führt zu einer signifikanten Zunahme und Änderung der elektrischen Lasten in den Verteilnetzen. Daher gilt es, Wärmepumpen so zu steuern, dass sie Verteilnetze wenig belasten oder sogar unterstützen. Im Projekt sollen Wärmepumpen, die gemeinsam mit PV-Anlagen betrieben werden, durch prädiktive Algorithmen in Kombination mit Wolkenkamera-basierten Kurzzeitvorhersagen für die PV-Erzeugung netzdienlich gesteuert werden. Auf Basis realer Betriebserfahrungen sollen das Potenzial aus Netzsicht abgeschätzt und Erkenntnisse für eine flächendeckende Nutzung abgeleitet werden (Details im Rahmenplan). Die Beiträge des Instituts für Energiesystemtechnik (INES) der HSO sind neben der Projektkoordination

- die Bereitstellung der prädiktiven Algorithmen, die zuvor als Basis einer Analyse historischer Betriebsdaten ausgelegt wurden,
- die Implementierung von Vorhersagesystem und Algorithmen in die Realumgebung sowie
- die Skalierung und Bewertung der Ergebnisse auf Netzebene.

Laufzeit 01.07.2018 bis 30.06.2021

**Teil 1**

FKZ BWSGD18001

Institution Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg (HSO)

Leitung Michael Schmidt  
schmidt@hs-offenburg.de

Internet www.hs-offenburg.de

**Teil 2**

FKZ BWSGD18002

Institution Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), München

Leitung Elke Lorenz  
elke.lorenz@ise.fraunhofer.de

Internet www.ise.fraunhofer.de

**Flexible Energieversorgung in Logistikzentren zur Erbringung von Systemdienstleistungen in elektrischen Netzen (FELSEN)**

Einblick Beim Projekt FELSEN handelt es sich um eine Durchführbarkeitsstudie zur flexiblen netzdienlichen Integration von Logistikzentren unter Berücksichtigung regenerativer Energiequellen und der Elektromobilität. Das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik und das Institut für Fördertechnik und Logistik (beide Universität Stuttgart) wollen zeigen, inwiefern Logistikzentren dazu geeignet sind, durch eine situative Anpassung der logistischen Prozesse auf Schwankungen der Energieerzeugung (eigene Photovoltaikanlage) oder zusätzliche Verbraucher (Elektromobilität) reagieren zu können. Darüber hinaus soll auch der Einfluss dieser Anpassungen auf das Energienetz betrachtet werden. Im Rahmen der Durchführbarkeitsstudie soll resultierend daraus ein Leitfaden erstellt werden.

Laufzeit 01.07.2018 bis 31.12.2020

FKZ BWSGD18003

Institution Universität Stuttgart, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik

Leitung Krzysztof Rudion  
rudion@ieh.uni-stuttgart.de

Internet www.ieh.uni-stuttgart.de

**Demonstration und Durchführbarkeitsstudie für ein neuartiges System zur Realisierung hoher Quoten der Einspeisung fluktuierender erneuerbaren Energien ohne Lastgangmessung im Stromnetz (SoLAR) – 3 Teile**

Einblick „SoLAR“ soll demonstrieren, wie Systemdienstleistungen im Stromnetz unter Berücksichtigung des NOXVA-Prinzips (Netz-Optimierung vor -Flexibilitätseinsatz vor -Verstärkung vor -Ausbau) in Gebieten, in denen die Netze durch einen überwiegenen Anteil von Netzteilnehmern ohne Lastgangmessung geprägt sind,

besonders sicher, effektiv und wirtschaftlich realisiert werden können. Im vorgeschlagenen Lösungskonzept werden die Systemdienstleistungen durch Optimierung und bestmögliche Nutzung von Flexibilitäten aller Netzteilnehmer erbracht. Die Flexibilitäten werden dezentral ohne Übermittlung von Lastgängen nur anhand von Netzzustandsgrößen und dem individuellen Energiebedarf gesteuert. Es soll nachgewiesen werden, dass dadurch die Verstärkung und der Ausbau des Netzes im Rahmen der Energiewende weitgehend vermieden werden kann. Die notwendigen Komponenten und Algorithmen sollen anhand einer Pilotinstallation und von Simulationen soweit demonstriert und spezifiziert werden, dass eine kommerzielle Anwendung des Verfahrens im Anschluss an das Projekt möglich ist.

Laufzeit 01.05.2018 bis 30.04.2019

**Teil 1**

FKZ BWSGD18004

Institution Stadtwerke Radolfzell GmbH

Leitung Andreas Reinhardt  
andreas.reinhardt@stadtwerke-radolfzell.de

Internet www.stadtwerke-radolfzell.de

**Teil 2**

FKZ BWSGD18005

Institution EIFER Europäisches Institut für Energieforschung, Karlsruhe

Leitung Enrique Kremers  
kremers@eifer.org

Internet www.eifer.kit.edu

**Teil 3**

FKZ BWSGD18006

Institution ISC Konstanz e.V., Konstanz

Leitung Kristian Peter  
kristian.peter@isc-konstanz.de

Internet www.isc-konstanz.de

**Lokale Märkte für Flexibilität: Stromkunden als Anbieter von Systemdienstleistungen im Verteilnetz (Local System Services)**

Einblick Das Vorhaben entwickelt eine Blaupause für ein Angebot von Systemdienstleistungen im Verteilnetz, welche der Netzbetreiber von angeschlossenen leistungsgemessenen Unternehmen einkaufen kann. Es handelt sich dabei um eine Durchführbarkeitsstudie einer Verfahrensinnovation mit starker forschungsseitiger Komponente. Das Vorhaben greift einen Vorschlag der Bundesnetzagentur auf, welcher die direkte Interaktion von Verteilnetzbetreibern mit Anbietern flexibler Lasten und Erzeugung anregt. Konkret wird auf Grundlage hochaufgelöster Daten zu Last- und Erzeugungsprofilen und von Netzzustandsdaten am Zählpunkt untersucht, wie die Spannungsqualität von der Fahrweise der angeschlossenen Kunden abhängt. Weiterhin wird kalkuliert, zu welchen Kosten eine Fahrplanflexibilisierung möglich ist und simuliert, wie diese auf die Spannungsqualität rückwirkt. Im Ergebnis soll die Kontrahierung von Systemdienstleistung als Option des

Verteilnetzbetreibers zur Systemstabilisierung stehen.

Laufzeit 01.05.2018 bis 30.04.2020

FKZ BWSGD18007

Institution Zentrum für Europäische Wirtschaftsförderung GmbH, Forschungsbereich Umwelt- und Ressourcenökonomik, Mannheim

Leitung Nikolas Wölfing  
nikolas.woelfing@zew.de

Internet www.zew.de/de/forschung

**Versorgungsqualität und -sicherheit in der industriellen Produktion bei Einspeisung aus Erneuerbaren Energien – VIPEER**

Einblick Im Projekt „VIPEER“ soll die Spannungs- und Versorgungsqualität (engl. Power Quality, kurz PQ) in einem industriellen Gebäude mit erneuerbarer Einspeisung und leistungselektronisch geprägten Verbrauchern untersucht werden. Das Leistungs- und Spannungsmesssystem der Forschungsfabrik „ARENA2036“ wird dabei genutzt, um fundierte mathematische Modelle für ausgewählte Aspekte der Spannungsqualität zu entwickeln und zu verifizieren. Mit diesen wird ein PQ-Monitoringsystem entwickelt, um im Rahmen der dynamischen und selbstoptimierenden Fertigung (Industrie 4.0) in der Forschungsfabrik eine weitere Führungsgröße für die optimale Produktionssicherheit und -qualität bereitzustellen und gleichzeitig unzulässige Netzzrückwirkungen zu vermeiden. Darüber hinaus soll eine PQ-Zustandschätzung entwickelt werden, die eine Verwendung der Erkenntnisse auch bei Gebäuden mit weniger detaillierter Vermessung erlaubt und so die einfache Übertragbarkeit ermöglicht. Weiterhin sollen die PQ-Aspekte im Fall eines Inselnetzbetriebes mit einer Großbatterie untersucht werden.

Laufzeit 01.04.2017 bis 31.03.2020

FKZ BWSGF17001

Institution Universität Stuttgart, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik (IEH)

Leitung Krzysztof Rudion  
rudion@ieh.uni-stuttgart.de

Internet www.ieh.uni-stuttgart.de

**IT-basierte Netzausbauplanung im Verteilnetz für ein erneuerbares dezentrales Energiesystem (IT-Grid-Design) – 3 Teile**

Einblick Das Ziel ist die Entwicklung neuartiger Optimierungsverfahren, die in der Lage sind, in der Realität Optimierungsergebnisse zu liefern, die sofort und direkt umgesetzt werden können und zukünftige Netzausbauplanungen unterstützen. Dabei sollen im Idealfall auch bereits im Forschungsvorhaben echte Netzdaten mit zeitnahen Live-Daten verwendet werden, um dem Netzbetrieb Optimierungen am echten System vorzuschlagen. Damit soll das bestehende Verteilnetz optimal genutzt werden und somit die Kosten eines resultierenden Netzausbaus zu verzögern oder ganz zu



vermeiden.  
 Laufzeit 01.04.2017 bis 31.03.2020  
**Teil 1**  
 FKZ BWSGF18001  
 Institution Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung  
 Leitung Gunnar Schubert  
 gunnar.schubert@htwg-konstanz.de  
 Internet www.htwg-konstanz.de  
**Teil 2**  
 FKZ BWSGF17003  
 Institution Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg  
 Leitung Christof Wittwer  
 christof.wittwer@ise.fraunhofer.de  
 Internet www.ise.fraunhofer.de  
**Teil 3**  
 FKZ BWSGF17004  
 Institution International Solar Energy Research Center Konstanz e.V.  
 Leitung Kristian Peter  
 kristian.peter@isc-konstanz.de  
 Internet www.isc-konstanz.de

**Intelligente dezentrale erneuerbare Wärme für Smart Grids in Baden-Württemberg – Lastflexibilisierung zur Verteilnetzentlastung mit Wärmepumpen (Heat4SmartGrid\_BW) – 2 Teile**

Einblick Das zentrale Ziel des Projektes ist es zu untersuchen, ob sich ein größerer Anteil erneuerbarer Wärme in Baden-Württemberg mithilfe von Wärmepumpen realisieren lässt und wie das Verteilnetz durch eine netzdienliche Steuerung dieser PV- und Wärmepumpensysteme entlastet werden kann. Hierzu wird zum einen eine Potenzialanalyse durchgeführt; zum zweiten liegt ein wichtiges Augenmerk auf der Entwicklung einer intelligenten dezentralen Steuerung für lokale Gebäudesysteme mit Wärmepumpe. Ein wichtiges Ergebnis bilden Leitlinien für die technische Realisierung von Wärmepumpensystemen und im Hinblick auf netzdienliche Anreize für Wärmepumpenbetreiber Empfehlungen hinsichtlich der Gestaltung von Tarifstrukturen und rechtlichen Rahmenbedingungen.

Laufzeit 01.04.2017 bis 31.03.2020  
**Teil 1**  
 FKZ BWSGF17005  
 Institution Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
 Leitung Kai Hufendiek  
 kai.hufendiek@ier.uni-stuttgart.de  
 Internet www.ier.uni-stuttgart.de  
**Teil 2**  
 FKZ BWSGF17006  
 Institution Hochschule Reutlingen, Reutlingen  
 Leitung Bernd Thomas  
 bernd.thomas@reutlingen-university.de  
 Internet www.reutlingen-university.de

**KREISLAUFWIRTSCHAFT**

**Standardsicherheits- und Bodeneigenschaften von Rekultivierungssubstraten – 2 Teile**

Einblick Das Vorhaben beschäftigt sich mit der Herstellung von Deponie-Rekulti-

vierungsschichten als Komponenten des Oberflächenabdichtungssystems unterschiedlicher Deponieklassen. Anforderungen an Rekultivierungs- oder Wasserhaushaltsschichten nach heutigem Stand der Technik sind aber praktisch nur noch mit unverdichtetem oder gering verdichtetem Einbau zu erfüllen. Das Bodenmaterial wird aufgrund mangelnder Daten sicherheitshalber meist jedoch verdichtet oder zumindest teilweise verdichtet eingebaut. Ziel des Vorhabens ist es daher, für Deponierekultivierungen in Frage kommende Bodenmaterialien Baden-Württembergs zu ermitteln und an repräsentativen Bodenproben die Parameter für die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht (Schereigenschaften) in unverdichtetem Zustand zu erheben. Weiterhin werden die Parameter, welche die Wasser- und Nährstoffversorgung der zukünftiger Vegetation beeinflussen (Bodenart, nutzbare Feldkapazität, pH-Wert und Nährstoffgehalte) ermittelt. Die Ergebnisse werden zu einem Kompendium der rekultivierungsrelevanten Eigenschaften baden-württembergischer Böden verarbeitet und in einer praxisorientierten Handlungshilfe zum Bau unverdichteter Rekultivierungsschichten veröffentlicht.

Laufzeit 01.11.2015 bis 31.07.2019  
**Teil 1**  
 FKZ L7515003  
 Institution Universität Freiburg, Landespflege Freiburg  
 Leitung Werner Konold  
 werner.konold@landespflege.uni-freiburg.de  
 Internet http://landespflege-freiburg.de  
**Teil 2**  
 FKZ L7515009  
 Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik  
 Leitung Theodoros Triantafyllidis  
 Theodoros.Triantafyllidis@kit.edu  
 Internet www.ibf.kit.edu

**Messtechnische Überprüfung des Erfolgs von Stabilisierungsmaßnahmen an im Rahmen der NKI geförderten Deponieprojekten (Müdse)**

Einblick Die aus der Abfalldeponierung gebildeten Emissionen von Treibhausgasen liegen jährlich bei 11.000 Gg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Eine Reduktion dieser Emissionen um 500 bis 2.500 Gg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr durch Deponiebelüftung ist ein erklärtes Ziel der Bundesrepublik Deutschland. Bisher ist der zentrale Punkt für die Ermittlung der Deponiegasemissionen eine Berechnung, die auf verschiedenen Annahmen beruht (u.a. Abbaubarkeit des eingelagerten Abfalls, Methangehalt des abgesaugten Deponiegases, Alter der Ablagerung). Das Projekt umfasst drei Messszenarien an zwei Deponien im Landkreis Waldshut. Jede Messung umfasst die Anwendung aller drei Messmethoden zeitgleich an beiden Deponien. Diese sind:

1. Inverse Dispersionsmethode (IDM): TDLAS-Messung, Windfelderfassung und computerbasierte Modellierung,
  2. CHARM: Helikoptergestütztes Gasdetektionssystem basierend auf Infrarot-Laser,
  3. FID-Begehung: Konzentrationserfassung unmittelbar an der Deponieoberfläche.
- Ziel des Projekts ist es, die Wirksamkeit der von der NKI geförderten Stabilisierungsmaßnahmen mit Hilfe von drei verschiedenen Messverfahren zu überprüfen und gegebenenfalls eine Optimierung zu erreichen.

Laufzeit 01.04.2018 bis 31.05.2020  
 FKZ L7518011  
 Institution Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA)  
 Leitung Martin Kranert  
 martin.kranert@iswa.uni-stuttgart.de  
 Internet www.iswa.uni-stuttgart.de

**WINDENERGIE**

**Realisierung und Charakterisierung einer süddeutschen Forschungsplattform für Windenergie im bergig-komplexen Gelände (WINDSENT-BW)**

Einblick Im Zuge des Gesamt-Vorhabens WINDSENT wird ein Windenergie-testfeld im bergig-komplexen Gelände errichtet und bereitgestellt. Der Standort des Testfelds, sowie dessen Ausstattung wurde bereits im Rahmen des Vorhabens KonTest identifiziert. Das Testfeld bietet eine reale sowie eine virtuelle Umgebung für die Erforschung des dynamischen Verhaltens von Windenergieanlagen (WEA) im komplexen Gelände sowie die Möglichkeit zur Erprobung neuer Technologien und Regelungsstrategien. Die offene Plattform unterstützt die Nutzung der Windenergie im komplexen Gelände durch verbesserte Vorhersage von Leistung und Anlagenbelastung, sowie durch Ertragssteigerung und Lastenreduktion. Das Vorhaben gliedert sich neben der Koordination in drei weitere Teilprojekte:  
 – Aufbau und Betrieb,  
 – Mikroklima sowie  
 – „FoWEA“

Laufzeit 01.09.2016 bis 31.12.2019  
 FKZ L7516012  
 Institution Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart  
 Leitung Anton Kaifel  
 anton.kaifel@zsw-bw.de  
 Internet www.zsw-bw.de

**NACHHALTIGE ENTWICKLUNG**

**Evaluierung des Biosphärengebiets Schwäbische Alb mittels qualitativer sozialwissenschaftlicher Methoden**

**Einblick** Das übergeordnete Ziel dieses Forschungsprojekts ist herauszufinden, wie gut es dem Biosphärengebiet Schwäbische Alb (BSG) gelang, den Weg vom Spannungsfeld zwischen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Interessen hin zu einer Modellregion für nachhaltige Entwicklung zu beschreiten. Die Meinungen von Führungskräften ausgewählter Akteurs-Gruppen aus verschiedenen Fachbereichen werden mittels qualitativer Interviews erfasst. Die Hauptfragestellungen umfassen die Analyse der Akzeptanz des BSG, die Bewertung der Aktivitäten des BSG sowie die Erwartungen an das BSG. Zudem wird die BSG-Geschäftsstelle mittels eines extern moderierten Evaluierung-Workshops die eigene Managementeffektivität beurteilen. Die Gegenüberstellung der Meinungen der Akteure und der Perspektive der Geschäftsstelle dient der Identifikation von Optimierungspotenzialen. Im Anschluss an die Auswertungen werden Feedback-Workshops mit regionalen Akteuren durchgeführt, um Handlungsempfehlungen für die künftige Entwicklung des BSG zu identifizieren und zu diskutieren. Die Daten dieses Forschungsprojektes werden zur Erfüllung der zehnjährlichen UNESCO-Evaluierungspflicht für Biosphärenreservate beitragen.

**Laufzeit** 01.03.2018 bis 31.12.2018  
**FKZ** L7518005  
**Institution** Universität Greifswald, Institut für Geographie und Geologie  
**Leitung** Susanne Stoll-Kleemann  
 susanne.stoll-kleemann@uni-greifswald.de  
**Internet** http://geo.uni-greifswald.de

**STROMSPEICHER**

**Wissenschaftliches Evaluierungsprogramm zur Landesförderung Netzdienliche PV-Stromspeicher in Baden-Württemberg – Speichermonitoring BW**

**Einblick** Das Projekt stellt das wissenschaftliche Monitoring zum landesweiten Förderprogramm für PV-Stromspeicher „Netzdienliche PV-Speicher“ in Baden-Württemberg dar. Der Fokus des Monitorings liegt auf der Markt- und Technologieentwicklung der geförderten Speichersysteme. Innerhalb des Projekts soll die Marktentwicklung von PV-Stromspeichern in Baden-Württemberg und die Wirkung des Förderprogramms erfasst werden. Dazu soll zunächst eine Webseite entwickelt werden. Diese dient einerseits als Informationsportal für PV-Stromspeicher und andererseits als verpflichtende Registrierungsplattform für die Käufer geförderter Speichersysteme. Die innerhalb der Registrierung erfassten Stammdaten sollen dafür genutzt werden, die zeitliche Entwick-

lung gängiger Marktkonfigurationen, PV-, Speicher- und Installationspreise sowie die räumliche Verteilung der Speichersysteme in Baden-Württemberg aufzeigen zu können. Durch den Vergleich mit dem deutschen Gesamtmarkt können anschließend die Auswirkungen des Förderprogramms evaluiert werden.

**Laufzeit** 01.02.2018 bis 31.10.2020  
**FKZ** L7518006  
**Institution** Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen), Insitut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe  
**Leitung** Uwe Sauer  
 dirkuwe.sauer@isea.rwth-aachen.de  
**Internet** www.isea.rwth-aachen.de

**Aktiv in Sachen Umweltforschung**

**Ansprechpartner bei Fragen rund um die Umweltforschung im Land**

**Umweltforschungsförderung**

Informationen zur Umweltforschung Baden-Württemberg stellt das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft im Internet zur Verfügung:

<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-energieforschung/>

**Kontakt:**

Prof. Dr. Günther Turian, Julia Vorsatz  
 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
 Referat 24 Umwelttechnik, Forschung, Ökologie  
 E-Mail: guenther.turian@um.bwl.de  
 E-Mail: julia.vorsatz@um.bwl.de



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

**Projektbegleitung**

Der Projektträger Karlsruhe am KIT berät Antragsteller und begleitet die Zuwendungsempfänger bei der Durchführung ihrer Forschungsprojekte. Aktuelle Ausschreibungen, Hinweise für Antragsteller und alle Formulare können auf den Internetseiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) abgerufen werden unter [www.ptka.kit.edu/bwp/](http://www.ptka.kit.edu/bwp/).

**Kontakt:**

Roland Heintz  
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
 Projektträger Karlsruhe  
 E-Mail: roland.heintz@kit.edu



**Forschungstransfer**

Die LUBW fördert den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis. Informationen zum Forschungstransfer finden Sie im Internet unter [www.lubw.baden-wuerttemberg.de/umweltforschung](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/umweltforschung).

Hier können alle Journale zur Umweltforschung in Baden-Württemberg heruntergeladen werden. Über den Button „Fachdokumente“ erhalten Sie Zugang zum Fachdokumentendienst Umweltforschung mit allen Zwischen- und Schlussberichten zu den Umweltforschungsprojekten des Landes.

**Kontakt:**

Ines Landwehr, Manfred Lehle  
 LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
 Referat 21 Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung  
 E-Mail: ines.landwehr@lubw.bwl.de  
 E-Mail: manfred.lehle@lubw.bwl.de







**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT