



Einblicke 2016

Journal zur Umweltforschung in Baden-Württemberg



Energie und Ressourcen im Fokus

■ ENERGIE ■ WASSERSTOFF ■ BIOENERGIE ■ RESSOURCEN ■ ÖKOLOGIE ■ RUNDBLICK



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

IMPRESSUM

- TITEL** Einblicke 2016 – Journal zur Umweltforschung in Baden-Württemberg
- HERAUSGEBER** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Postfach 103439, 70029 Stuttgart, www.um.baden-wuerttemberg.de
Tel. 0711 126-2780, Fax 0711 126-2880, poststelle@um.bwl.de
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
Tel. 0721 5600-0, Fax 0721 5600-1456, poststelle@lubw.bwl.de
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, www.ptka.kit.edu/bwp/
Tel. 0721 608-25191, Fax 0721 608-23929, bwp@ptka.kit.edu
- REDAKTION** Prof. Dr. Günther Turian, Umweltministerium, Referat 24 Umwelttechnik, Forschung, Ökologie
Manfred Lehle, LUBW, Referat 21 Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung
Peter Fendrich, EcoText International PartG, Stuttgart
- TITELBILD** Prof. Dr. Ingrid Stober, KIT
- TEXTE UND LAYOUT** EcoText International PartG – Partnerschaftsgesellschaft Freier Journalisten
Hermannstr. 5, 70178 Stuttgart, www.ecotext.eu
Tel. 0711 615562-0, Fax 0711 615562-20, redaktion@ecotext.de
- DRUCK** W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG
Augsburger Straße 722, 70329 Stuttgart, www.kohlhammerdruck.de
Tel. 0711 3272-0, Fax 0711 324080, vertrieb@kohlhammerdruck.de
-  klimaneutral
natureOffice.com | DE-159-049787
gedruckt
- Der Druck ist CO₂-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, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, 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 Bezug 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 Beschränkungen 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 Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.
- STAND** Dezember 2016, 1. Auflage
- COPYRIGHT** Der Nachdruck ist – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

INHALTSVERZEICHNIS

EDITORIAL		RESSOURCENSCHONUNG	
Vorwort		Schlacke als wertvolle Ressource	
Umweltminister Franz Untersteller MdL	4	Bio2value – Gewinnung wertvoller Metalle aus Müllverbrennungsschlacke	28
ENERGIE		WASSERSTOFF	
Erdwärme nachhaltig nutzen		Wasserstoff-Infrastruktur	
Ein Verbundprojekt stellt die Geothermie auf den Öko-Prüfstand	5	Förderprogramme für regenerativ erzeugten Wasserstoff	31
Mit Messmolch und Kontrastmittel		Tanken, forschen, informieren	
Ein Konzept zur Sanierung von Erdwärmebohrungen	8	Neue Wasserstofftankstelle in Ulm: Praxisnähe für die Forschung	32
Böblingen – von ganz weit oben		Qualität und Quantität im Fokus	
Satellitenbilder sollen über den Beginn von Hebungen informieren	10	Erweiterung der Wasserstoff-Infrastruktur in Freiburg	33
Hebungen durch Erdbeben?		ÖKOLOGIE	
Gebäudeschäden können durch Fernwirkung von Erdstößen entstehen	12	Belastungsgrenzen für Stickstoff	
Forschen im Untergrund		Bund und Länder machen sich auf den Weg, den Eintrag zu reduzieren	34
Voruntersuchungen für ein Geothermie-Labor im Schwarzwald	14	Zeckenaufkommen vorhersehbar?	
Ausbau der Solarthermie		Einfluss von Klima, Wirten und Pathogenen auf die Aktivitäten von Zecken	36
Decarbonisierung mit solarthermisch unterstützten Wärmenetzen	17	RUNDBLICK	
Strom im Quartier vermarkten		Nachweis von PFC im Boden	
Strombank als innovatives Betreibermodell für Quartierspeicher	19	Neue Analysemethoden für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)	39
BIOENERGIE		Synopse im Schlossgarten	
Kohlenstoff optimal ausnutzen		Landschafts- und kulturgeschichtliche Auswertung von Bohrkernen und Funden aus der Baugrube am Stuttgarter Hauptbahnhof	41
Innovative Erzeugung von Synthesegas aus biogenen Rest- und Abfallstoffen	21	Entwicklung gemeinsam gestalten	
Kraftstoff aus der Biotonne		Nachhaltige Kommunalentwicklung mit Bürgerbeteiligung – aber wie?	44
Bioelektrochemische Produktion von hochreinem Biogas aus Abfallstoffen	22	Radon in Schulen	
RESSOURCENSCHONUNG		Natürliche Strahlung ganz einfach senken	45
Ultraeffizient im urbanen Umfeld		PROJEKT-ÜBERSICHT	
Ressourcenschonende Produktionstechnologien ohne Emissionen	23	Einblicke in die Umweltforschung	
Wiederverwertung statt Import		Aktuell geförderte Forschungsprojekte im Überblick	46
Demontagefabrik zur Sicherung wichtiger Rohstoffe	26	Aktiv in Sachen Umweltforschung	51



Die „Einblicke 2016“ informieren Sie wieder über die aktuellen Entwicklungen unserer Umweltforschung in Baden-Württemberg.

Den Themenschwerpunkt dieser Ausgabe bildet erneut die Energieforschung. Das Themenfeld reicht von der nachhaltigen Nutzung von Erdwärme über Energiespeicher bis hin zur Wasserstoffnutzung. Die rund 20 Vorhaben des seit 2012 laufenden Schwerpunkts „Energie, Energiespeichertechnologien“ sind abgeschlossen oder in der Endphase der Bearbeitung.

Wir wollen und müssen aber mit Unterstützung der Wissenschaft diesen Bereich weiter ausbauen, um die Energiewende zum Erfolg zu bringen.

Mit dem in diesem Jahr ausgeschriebenen Forschungsprogramm „Transformation des Energiesystems in Baden-Württemberg – TRAFO BW“ folgen wir einer Empfehlung des Wissenschaftlichen Ausschusses des Beirats der Landesregierung für nachhaltige Entwicklung Baden-Württemberg. Neu eingeworbene Vorhaben sollen die Transformation des Energiesystems noch mehr unterstützen als bisher.

Unserer Ansicht nach kommt es dabei vor allem auf die Art und Weise an, wie innovatives Wissen gewonnen und in die praktische Umsetzung transferiert wird, damit die Energiewende gelingt. Gefordert sind deshalb systemische Ansätze, insbesondere in Reallaboren, also in Praxisprojekten für den Wissensgewinn.

Die mitwirkenden Institutionen verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen sind dabei nicht nur Beobachter, sondern aktive Partner. Gerade durch das gemeinsame Arbeiten an Lösungen versprechen wir uns einen besonderen Mehrwert. Wir wollen, dass alle relevanten gesellschaftlichen Gruppen und verschiedene wissenschaftliche Disziplinen in die Bearbeitung der Projekte eingebunden werden. Von dieser Art der Energieforschung erwarten wir uns vor allem einen deutlich verbesserten Transfer von zukunftsbeständigen Problemlösungen in die praktische Umsetzung.

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Untersteller'.

Franz Untersteller MdL

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

Erdwärme nachhaltig nutzen

Ein Verbundprojekt stellt die Geothermie auf den Öko-Prüfstand

Sieben Arbeitspakete umfasst das breit angelegte Geothermie-Forschungsvorhaben zur nachhaltigen Nutzung oberflächennaher Erdwärme. Beteiligt sind Experten zahlreicher Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Fachrichtungen. Gebündelt und koordiniert wird das Know-how vom Landesforschungszentrum Geothermie. Wir stellen ausgewählte Ergebnisse vor.

Wann ist die Erdwärmenutzung nachhaltig? Projektkoordinator Professor Roland Koenigsdorff von der Hochschule Biberach gibt die Antwort: „Eine nachhaltige Erdwärmenutzung muss dauerhaft stabil sein. Bohrung und Betrieb müssen hohen Qualitätsansprüchen genügen. Die Hinterfüllung der Sonde muss Belastungen von Erdreich und Grundwasser zuverlässig verhindern. Und natürlich muss die Erdwärme möglichst effizient genutzt werden.“

Forschung im Verbund

Insgesamt sieben Teilprojekte nehmen die diversen Nachhaltigkeitsaspekte bei der Erdwärmenutzung unter die Lupe. Ein Schwerpunkt liegt in der Verbesserung der Planungsmethoden. So entwickelten die am Verbundprojekt beteiligten Forscher einen mobilen Sondenprüfstand, statteten ihn mit Mess- und Auswertungssoftware aus und führten Testmessungen durch. Die erarbeiteten Verfahren sollen Ingenieuren die Planung von Erdwärmesonden erleichtern.

Die Erdwärme-Experten wollen zudem mehr über einige energetisch relevante Vorgänge im Untergrund wissen. So untersucht ein Teilprojekt, wie Grundwasserleiter den Temperaturverlauf und die Wärmeausbreitung beeinflussen. Ein weiteres möchte wissen, welches energetische Potenzial unter Großstädten schlummert, wo die Bodentemperaturen höher sind als unter unbebautem Land.

Im Folgenden werden einige ausgewählte Forschungsarbeiten und -ergebnisse näher beschrieben.

Besser messen

Für die Effizienz von Erdwärmehohrungen spielt der effektive thermische Bohrlochwiderstand eine Rolle. Mathieu Riegger vom Forschungsinstitut Solites, das zur Steinbeis-Stiftung gehört, erläutert: „Bei diesem Kennwert spielen wichtige Faktoren zusammen:

die Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials, die Strömungsverhältnisse des Wärmeträgermittels und die Lage der Sondenrohre innerhalb des Bohrlochs.“ Berühren sich beispielsweise die Rohre des Sondenvor- und -rücklaufs, gibt es einen thermischen Kurzschluss – ein erhöhter effektiver thermischer Bohrlochwiderstand ist die Folge. „Der Wert wirkt sich auf die Auslegung der Sonde aus: Je geringer der Widerstand, desto weniger Strom



PROJEKT

Nachhaltige Nutzung von Erdwärmesonden

Laufzeit: 12/2013 bis 12/2015

Projektpartner:

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE
Hochschule Biberach
Prof. Dr. Roland Koenigsdorff
koenigsdorff@hochschule-bc.de
www.hochschule-biberach.de/ige

EIFER, Europäisches Institut für Energieforschung, Karlsruhe
Dr. Roman Zorn
zorn@eifer.uni-karlsruhe.de
www.eifer.uni-karlsruhe.de

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites), Stuttgart

Mathieu Riegger
riegger@solites.de
www.solites.de

Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Dr. Philipp Blum
philipp.blum@kit.edu
www.agw.kit.edu

Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Universität Stuttgart
Dr. Jürgen Braun
jb@iws.uni-stuttgart.de
www.iws.uni-stuttgart.de

Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Christian Moormann
Christian.moormann@igs.uni-stuttgart.de
www.uni-stuttgart.de/igs

Fachbereich Geowissenschaften, Universität Tübingen
Prof. Dr. Peter Grathwohl
grathwohl@uni-tuebingen.de
www.geo.uni-tuebingen.de

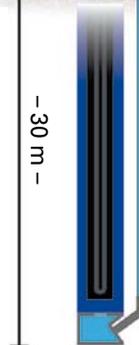
Forschung für die Praxis: Die Umweltwärme aus dem Erdboden soll ohne negative Folgen und möglichst effizient genutzt werden.

Bild: Ingrid Stober

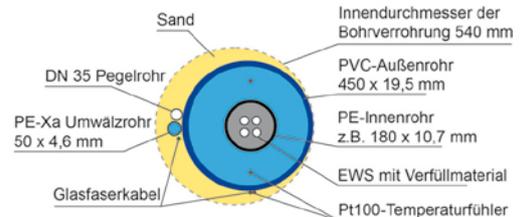


- 1 Versuchsbohrungen
- 2 Eingebautes PE-Innenrohr mit Erdwärmesonde
- 3 Misch- und Verpressanlage
- 4 Coriolis-Messgerät
- 5 Anschluss der Ring-spaltumwälzung

- 6 Versuchscontainer mit Anlage zur Ringspaltumwälzung und -temperierung
- 7 Temperaturmessfühler und Datenlogger
- 8 Alu-Portalkran mit Hebezeug
- 9 PE-Innenrohre
- 10 Lagercontainer



Querschnitt durch Versuchsbohrung mit eingebauter Erdwärmesonde



Der weiterentwickelte Prüfstand befindet sich im Versuchscontainer auf dem im Verbundprojekt genutzten EWS-tech-Versuchsgelände am KIT.

Bilder: Solites

braucht die Wärmepumpe bei unveränderter Sondenlänge. Andersherum kann man den geringeren Widerstand auch nutzen, um die Sonden kürzer auszulegen, ohne die Effizienz des Gesamtsystems zu verschlechtern“, so Riegger.

Deshalb wurde ein im Rahmen von Vorgängerprojekten entwickelter Prüfstand fit gemacht für die Messung dieser Kenngröße. Die Solites-Mitarbeiter integrierten diverse Temperaturfühler, ein Volumestrommessgerät, einen Thermostat, einen Frequenzrichter zur Regulierung der Pumpen und weiterer Gerätschaften. „Bisher wurden die Betriebsbedingungen während einer Testmessung meist manuell eingestellt und die Messdaten aufwendig ausgewertet“, nennt Riegger Schwächen des alten Prüfstandes. „Wenn wir ein zuverlässigeres und schnelleres Verfahren wollen, brauchen wir eine automatische Messprozedur.“ Ein mobiler Mess-Computer wertet nun die Versuchs-

messungen zum größten Teil automatisiert aus.

Sechs Versuche mit dem weiterentwickelten Prüfstand standen seit Oktober 2015 auf dem Programm, im Schnitt dauerte jeder sieben Tage. „Wir haben viele Varianten getestet und mit jedem Versuch dazugelernt. Mal war ein Wärmeübertrager undicht, mal führte ein nicht kompatibler Adapter zum Absturz des Mess-PC“, berichtet Mathieu Riegger aus dem Projektalltag.

Mit dem optimierten Prüfstand kann nun der effektive thermische Bohrlochwiderstand einer Erdsonde mit einer zweitägigen Messung sehr genau bestimmt werden. Das bringt die Planungssicherheit von Erdsonden voran, wie Riegger bilanziert: „Die Messwerte des effektiven thermischen Bohrlochwiderstands können nicht nur die Kollegen in Biberach bei ihren Untersuchungen sehr gut nutzen.“

Die „Kollegen in Biberach“ sind Roland Koenigsdorff und sein

Team vom Institut für Gebäude- und Energiesysteme der ortsansässigen Hochschule.

Besser planen

Sie wollen die Aussagekraft der im Vorfeld einer Bohrung durchgeführten Tests optimieren. „Je besser ein Planer über die thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrunds und der Sonden Bescheid weiß, desto effizienter kann er die Erdwärmesonde planen“, stellt Koenigsdorff fest.

Unter anderem liefern sogenannte „Thermal Response Tests“ Daten zur Auslegung von Sonden. Dabei wird Wärme in eine Testsonde eingespeist und die resultierende thermische Reaktion gemessen. Der Test informiert über die Wärmeleitfähigkeit der geologischen Schichten, die Temperatur im Erdboden sowie den besagten thermischen Bohrlochwiderstand – und all das genauer als etwa Laboranalysen von Bodenproben. Der Einfluss des Grundwassers

lässt sich nur durch In-situ-Messungen bestimmen, nicht im Labor.

Bei der „Übersetzung“ der Messdaten sah das Forscherteam noch Luft nach oben. „Wir haben deshalb ein Software-Tool entwickelt, das die Daten eines Thermal Response Tests für die späteren Betriebsbedingungen der Erdwärmesonde umrechnet“, so Projektleiter Koenigsdorff. Ein Prototyp der Software liegt vor, demnächst auch eine Version für Beta-Tester. Ergänzt wird die Software von Interpretationshilfen für die Planer.

Mit dem Geothermie-Testfeld des Technikums Gebäudeklimatik der Hochschule Biberach besitzen die Forscher vor Ort eine ideale „Spielwiese“. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden die Ergebnisse jahrelanger Messreihen aus dem Testfeld analysiert. Dabei fielen den Experten vor allem die Temperaturen direkt unter der Erdoberfläche auf: „Hier ergaben unsere Auswertungen, dass die anzusetzenden Temperaturen höher sind als die Default-Werte in einigen gängigen Auslegungsprogrammen“, berichtet Roland Koenigsdorff. Zwar sind die Ergebnisse für den Standort Biberach noch nicht abschließend, grundsätzliche Hinweise lassen sich trotzdem bereits in der Planungspraxis umsetzen.

Mehr Erdwärme gewinnen

In einem Teilprojekt wurde das nutzbare Wärmepotenzial in Boden und Grundwasser unter Großstädten analysiert. Denn so wie die Luft in den Städten meist wärmer ist als in der ländlichen Umgebung, so zeigt auch der urbane Untergrund oft erhöhte Temperaturen. „Hier schlummern bislang meist ungenutzte Energiereserven für die oberflächennahe geothermische Nutzung“, stellt Philipp Blum vom Institut für Angewandte Geowissenschaften am KIT in Karlsruhe fest. Auch zur Kühlung sowie als Wärme- oder Kältespei-

cher ließe sich das städtische Grundwasser nutzen, so Blum.

Welches Energiepotenzial verbirgt sich beispielsweise unter Stuttgart oder Karlsruhe? Für die badische Metropole ist das leichter zu ermitteln als für die Landeshauptstadt. Sechs hydrogeologische Einheiten unterscheiden die Forscher in Stuttgart – entsprechend unterschiedlich sind die Grundwassertemperaturen: bis zu 20 Grad Celsius im Bereich der Thermalquellen in Bad Cannstatt und Berg, nur etwa zwölf Grad Celsius im Süden und Westen der Stadt.

Dagegen ist der oberflächennahe Grundwasserkörper im Rheintal recht homogen. Beim oberen Aquifer setzten die Forscher eine Mächtigkeit von 30 Metern an. Die Wassertemperaturen in dieser Schicht steigen vom Umland zur Innenstadt hin mit der Bebauungsdichte und anderen Einflüssen des Menschen. Ein bis drei Jahre lang könnte davon der häusliche Wärmebedarf gedeckt werden, bevor das Grundwasser um zwei Kelvin abkühlt. Würde nur so viel Wärme entzogen, wie durch die anthropogene Nutzung zugeführt wird, ergäbe sich ein nachhaltiges geothermisches Potenzial von 32 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs. Philipp Blum: „Wir empfehlen, das Grundwasser auch zur Kühlung zu nutzen. Das erhöht den Wärmeeintrag in den Untergrund – entsprechend mehr Wärme kann gespeichert und auch wieder entzogen werden.“ Würde in Karlsruhe der gesamte industrielle Kältebedarf aus dem Grundwasser gedeckt werden, könnte die Erdwärme sogar 65 Prozent des Wärmebedarfs nachhaltig zur Verfügung stellen. Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets zeigen es auf drastische Weise, die Ergebnisse der anderen Teilprojekte eher im Detail: Erdwärmenutzung lohnt sich, ihre nachhaltige Ausgestaltung senkt die Risiken und erhöht die Chancen.

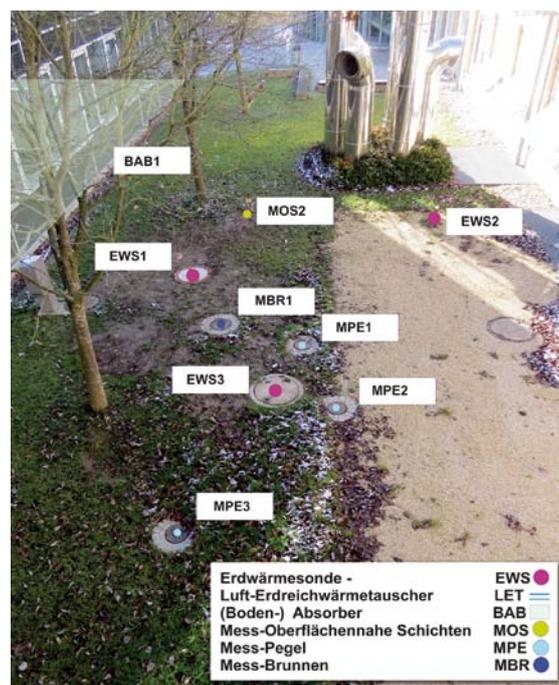
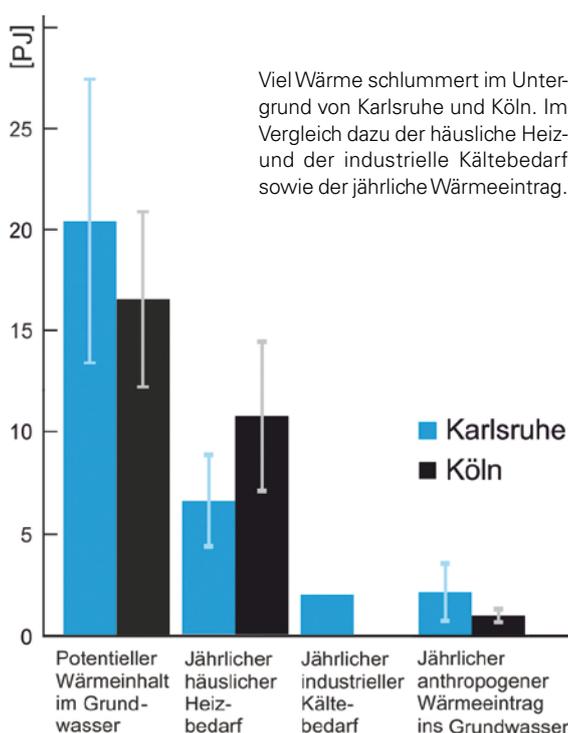


Bild: IGE

Eine ideale „Spielwiese“: das Geothermie-Testfeld des Technikums Gebäudeklimatik der Hochschule Biberach. Unten: Testbohrung auf dem Hochschulareal



Bild: IGE



Viel Wärme schlummert im Untergrund von Karlsruhe und Köln. Im Vergleich dazu der häusliche Heiz- und der industrielle Kältebedarf sowie der jährliche Wärmeeintrag.

Bild: AGW

Mit Messmolch und Kontrastmittel

Ein Konzept zur Sanierung von Erdwärmebohrungen

Wenn es um die Sanierung von Erdwärmesonden geht, denkt jeder zunächst an spektakuläre Schadensfälle, wie sie hierzulande in Staufen oder Böblingen aufgetreten sind. Doch es gibt auch ganz alltägliche Gründe, Erdsonden zurück- oder neu einzubauen. Ein Verbund aus Forschern und Anwendern sucht nach sicheren und kostengünstigen Verfahren.

Sonde raus – Zement rein – fertig! Der Laie stellt sich die Reparatur einer fehlerhaften Erdsondenbohrung einfach vor. Dr. Roman Zorn vom European Institute for Energy Research (EIFER), erklärt, wie es dabei zu Kosten von bis zu 250.000 Euro für eine gängige 100-Meter-Bohrung kommen kann: „Die Sonde muss ja zusammen mit der Hinterfüllung rausgeholt werden. Dazu muss das Bohrloch mit einem großen Bohrdurchmesser überbohrt werden. Und weil man den genauen

Verlauf der ursprünglichen Bohrung nicht kennt – sie verläuft ja nie genau in der Vertikalen –, ist das ein Bohren ins Ungewisse. Das alles macht die Sanierung richtig teuer.“ Zwei Karlsruher Forschungsinstitute, eine Bohrfirma und ein Messtechnikanbieter suchen deshalb im Projekt „Recover-EWS“ nach einfacheren und vor allem günstigeren Verfahren.

10.000 Euro ist die Zielmarke, die sie sich für ihr Sanierungskonzept gesetzt haben. Bei diesen Kosten könnte sich das Sanierungssystem

auf dem Erdwärmemarkt als „Alltagstechnologie“ etablieren.

Sonden-Sanierung

Sanierungsbedarf bei Erdwärmesonden gibt es nicht nur, wenn wie in Staufen, Rudersberg oder Böblingen (vgl. S. 10) spektakuläre Schäden auftreten. Die meisten Sanierungsfälle sind viel alltäglicher: Eine Sonde älterer Bauart soll durch eine neue, effizientere ersetzt werden. Oder es erscheint während der Bohrung eine Fehlermeldung auf dem Display der Bohrfirma. In solchen Fällen kann eine Sonde nicht immer durch Verschließen einfach stillgelegt werden. Korrektur- oder sogenannte Überbohrungen sind nötig. „Deshalb ist es wichtig, dass Bohrfirmen sichere und bezahlbare Technologien zur Kontrolle und Sanierung

PROJEKT

Recover-EWS: Effizienter Rückbau und Sanierung von Erdwärmesonden

Laufzeit: 11/2014 bis 10/2016

EIFER European Institute for Energy Research, Karlsruhe

Dr. Roman Zorn
roman.zorn@eifer.uni-karlsruhe.de
www.eifer.uni-karlsruhe.de

KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften
www.agw.kit.edu

Burkhardt Geologische und hydrologische Bohrungen GmbH & Co. KG
www.burkhardt-bohrungen.de

Enoware GmbH
www.enoware.de

Bei Erdwärmebohrungen ist Sicherheit gefragt – gerade auch bei der Sanierung von Sonden.



Bilder: Bundesverband Wärmepumpe



Bohrkopf

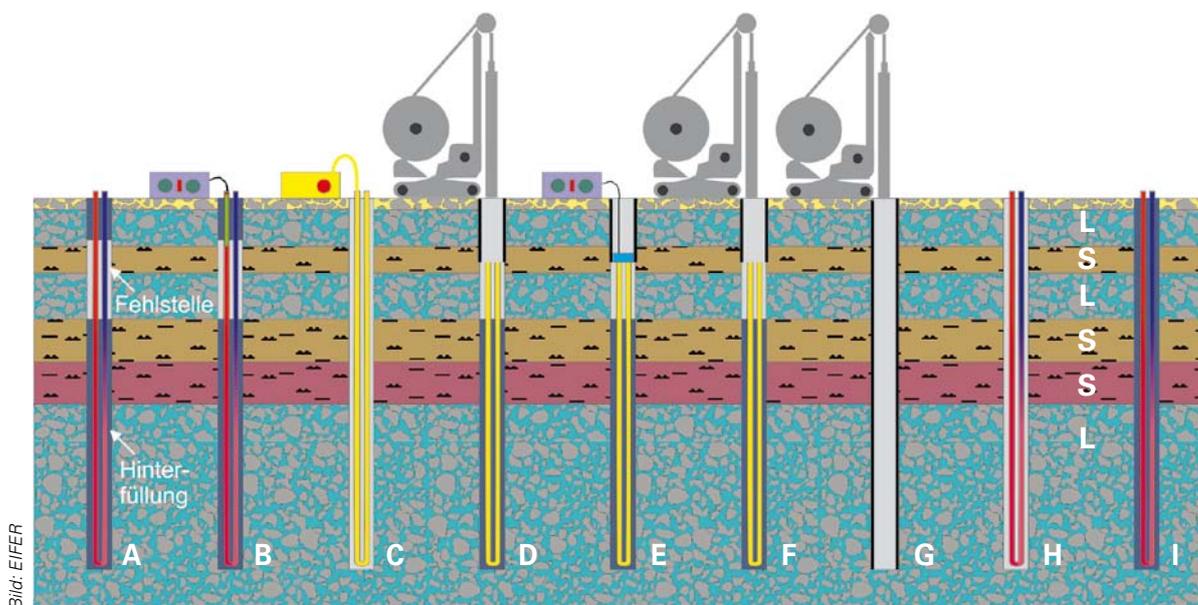


Bild: EIFER

in ihrem Repertoire haben“, betont Roman Zorn.

Sonden-Optimierung

Ein weiterer Aspekt liegt den Experten am Herzen: Die Erdwärmennutzung droht von den weniger effizienten Luft-Wärmepumpen abgehängt zu werden. Umso wichtiger ist es, durch seriöse Messungen auch kleineren, „unsichtbaren“ Mängeln auf die Spur zu kommen. Gängige Richtbohrverfahren, die zu mehr Sicherheit bei einer Bohrung führen, sind aufwendig und kommen deshalb nur ganz selten zum Einsatz. Zudem erhoffen sich die Forscher Antworten auf Fragen zur langfristigen Beständigkeit von Erdwärmehohrungen sowie deren meist zementbasierten Hinterfüllungen.

Ein Messmolch als Kundschafter

Im Zuge des noch laufenden Projekts entwickeln die Forscher einen schwimmenden Miniatorsensor für einfache Verlaufs- und Orientierungsmessungen in Erdwärmesonden. Dieser „Messmolch“ heißt offiziell „GEOsniff“, sein Chip trägt Temperatur- und Drucksensoren. Der Molch sinkt durch sein Eigengewicht mit einer Geschwindigkeit von 6,5 Metern pro Minute gemäch-

lich bis zum tiefsten Punkt der Sonde und sendet kontinuierlich Daten nach oben. Roman Zorn nennt weitere Vorteile der Erfindung: „Der Messmolch ist wartungsfrei, weil er drahtlos aufgeladen werden kann. Auch die Datenübertragung wird drahtlos erfolgen. Eine Energieladung reicht für etwa 3.200 Messdatensätze.“

Die bisherigen Messreihen ergaben sehr präzise Tiefentemperaturprofile, die ein guter Indikator für Schäden sein können. Der im Frühjahr 2016 verwendete Prototyp des Molchs ist noch kabelgebunden. Geplant sind zudem Erweiterungen durch einen Energie- und Datenspeicher.

Orientierung durch Kontrastmittel

Eine weitere Neuentwicklung, die derzeit erprobt wird, ist ein einfaches Richtbohr-Tool. Es ermöglicht eine Korrektur der Ausrichtung von Bohrungen und soll damit die bisherigen teuren Verfahren ersetzen. Das Werkzeug zeigt stets den optimalen Abstand zwischen Überbohrung und bestehendem Sondenverlauf an. So kann das Bohrgeschäft immer exakt ausgerichtet werden, die Überbohrung gerät nicht aus der Spur.

Wie bei einer Herzoperation macht zudem ein Kontrastmittel den Bohrverlauf sichtbar. Im Zuge des Projekts entwickelten die Forscher spezielle magnetische Verfüllungen. Sie belasten weder Boden noch Grundwasser, sind günstig, stabil und perfekt auf die magnetischen oder elektrischen Sensoren abgestimmt.

Komplettes Rückbaukonzept

Die Abbildung oben zeigt den schematischen Verlauf einer Sanierung vom Vermessen per Messmolch über die genaue Anzeige des Sondenverlaufs und das immer wieder neu justierte Überbohren bis zum Neueinbau einer Sonde oder der Stilllegung durch Verfüllung (im Bild nicht dargestellt). Spannend wird es, wenn alle Hilfsmittel fertig entwickelt sind. Dann muss das „Recover-EWS“-Rückbaukonzept bei einem realen Sonderrückbau inklusive Wiedereinbau seine Praxistauglichkeit beweisen. Eine umfangreiche Dokumentation soll die Übertragbarkeit auf andere Standorte sicherstellen. Roman Zorn und seine Kollegen sind optimistisch, dass Messmolch & Co. auch den Praxistest bestehen werden.



Unscheinbarer als ein Molch: Der Prototyp des schwimmenden Sensors hat gerade einmal zwei Zentimeter Durchmesser.

Bild: Enoware GmbH



Böblingen – von ganz weit oben

Satellitenbilder sollen über den Beginn von Hebungen informieren

Auf ihrem Weg um die Erde gerät immer wieder auch der Raum Böblingen ins Visier von Satelliten.

Bild: Airbus Defence and Space – Infoterra GmbH

Dass ein Adler aus großer Höhe eine Maus wahrnimmt, ist schon erstaunlich. Dass aber aus 800 Kilometern Höhe winzige Erdbewegungen im Millimeterbereich gemessen werden können, erscheint unwirklich. Möglich wird dies durch Radarsatelliten, die ständig die Erde umkreisen und deren Antennen um ein Vielfaches genauer sind als der Blick eines Adlerauges. Forscher am Geodätischen Institut des KIT nutzen dies, um Hebungen in Böblingen zu vermessen.

Mitte 2011 machten erste Berichte über Schäden an Gebäuden im Kreis Böblingen die Runde. Risse an Fassaden, Kellerwänden und Fundamenten versetzten Hausbesitzer in Alarmstimmung. Schnell kam der Verdacht auf, dass Quellvorgänge im Untergrund zu Erdhebungen geführt haben mussten: Wenn Anhydrit in den Schichten des Gipskeupers mit Wasser in Berührung kommt, kann sich unter Volumenzunahme Gips bilden, der die darüber liegenden Schichten anhebt. Waren die Gebäudeschäden eine Folge von Geothermiebohrungen im Zuge der Installation von Wär-

mepumpen-Heizungen? Wärmepumpen bringen Umweltwärme auf ein höheres Temperaturniveau. Am effizientesten arbeiten sie mit Erdwärme – im Untergrund herrschen auch im Winter, wenn Heizwärme benötigt wird, gut zehn Grad Celsius. So wurden auch in und um Böblingen mit dem Beginn des Wärmepumpen-Booms seit 2006 vermehrt Sonden in 80 bis 130 Meter Tiefe gebohrt.

Ferndiagnose möglich?

Um zehn bis 25 Zentimeter hat sich der Boden im Kreis Böblingen in den letzten Jahren gehoben. Gegenmaßnahmen führen seit 2015

zwar zu einer Verlangsamung. Doch der Konflikt mit möglichen Verursachern und den Versicherungen von Bohrunternehmen und Hauseigentümern ist noch längst nicht ausgestanden. Als die Hebungen offenkundig waren, wurde nach Methoden und Verfahren gesucht, um deren Ursachen zu ermitteln: Gibt es räumliche und zeitliche Zusammenhänge zwischen Bohrungen und Hebungen?

Eine Antwort darauf erhofft man sich von Fernerkundungs-Experten. Denn seit Jahren umkreisen Satelliten in 800 Kilometern Höhe die Erde und liefern zahllose Daten, so auch den millimetergenauen Abstand zwischen Radarantenne und Erdboden. Immer wieder streifte auch der Satellit „Envisat“ den Raum Böblingen. „Wir haben die Möglichkeit, 97 Radarbilder aus den Jahren 2002 bis 2010 auszuwerten. Sie wurden aus unterschiedlichen Umlaufbahnen aufgenommen und überschneiden sich im Stadtgebiet von Böblingen“, beschreibt Dr. Mal-

PROJEKT

Einsatz der Multi-Track SAR-Interferometrie zur Bestimmung von Beginn und Ausgangspunkt des Hebungssignals in Böblingen

Laufzeit: 10/2015 bis 9/2017

Geodätisches Institut (GIK),

KIT Karlsruhe

Dr. Malte Westerhaus

malte.westerhaus@kit.edu

www.gik.kit.edu

te Westerhaus die Ausgangslage. Der Naturwissenschaftler arbeitet am Geodätischen Institut des KIT in Karlsruhe. Gleich als die Bewilligung für das Forschungsprojekt vorlag, stellte er einen Antrag bei der Europäischen Raumfahrtagentur ESA zur Nutzung der Aufnahmen.

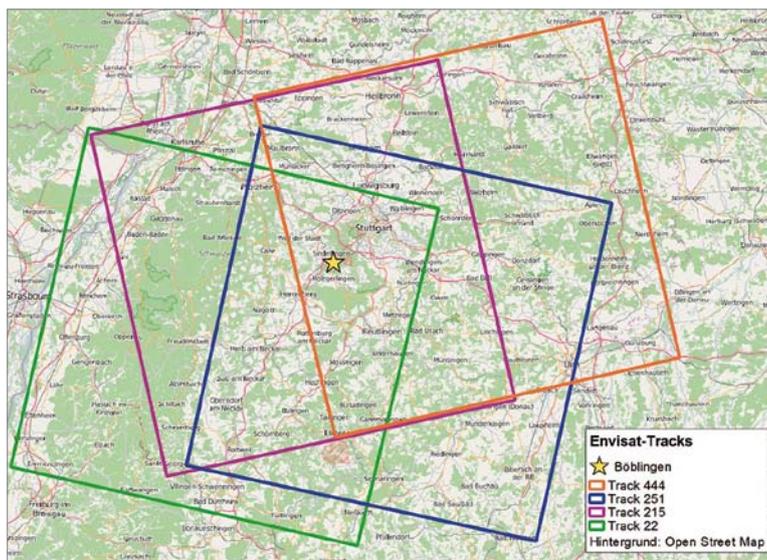
Höhere Mathematik

Malte Westerhaus und seine Kollegen übertragen die Einzelmessungen aus unterschiedlichen Orbits in Zeitreihen, um damit den Beginn des Hebungsvorgangs sichtbar zu machen. Die Auswertung erfolgt nach der Methode der „Persistent-Scatterer SAR-Interferometrie“ (PSI). Westerhaus übersetzt: „PSI ist eine Fernerkundungsmethode auf Radarbasis zur Messung von Deformationen der Erdoberfläche. Der Satellit sendet kurze Radarpulse aus, das Echo gibt uns sehr exakte Informationen über den Abstand zum Boden.“

Um den Einfluss zufälliger Änderungen, etwa durch Bautätigkeit oder Pflanzenwachstum, auszuschließen, ist die statistische Auswertung großer Datenmengen erforderlich. Übrig bleiben zuverlässige Referenzpunkte, um Veränderungen der Erdoberfläche zu messen. „Wenn wir 30 oder mehr Radarszenen eines Beobachtungsgebiets haben, ist eine Präzision von zwei bis vier Millimetern für Punktbewegungen und 0,4 bis 0,6 Millimetern für Bewegungsraten möglich – pro Jahr“, erläutert Westerhaus. Für Böblingen sind es teilweise weniger als 20 Szenen. „Die PSI-Auswertung ist hier zwar noch möglich, aber die Unsicherheiten nehmen natürlich zu“, so der Projektleiter.

Erste Ergebnisse

Malte Westerhaus zum Stand nach einigen Monaten Projektlaufzeit: „Wir haben bisher erst einen kleinen Teil der Bilder ausgewertet.



Diese Beobachtungstreifen (Tracks) von Satelliten-Überflügen stehen zur Auswertung zur Verfügung.

Bild: GIK; Kartengrundlage: Open Street Map

Ebenso wichtig ist das Rechenmodell, das wir parallel zur Datenauswertung entwickeln. Robuste Zahlen gibt es erst, wenn die einzelnen Messreihen zusammengeführt werden. Aber erste Trendaussagen sind bereits möglich.“

Demnach können im Stadtgebiet von Böblingen drei kleinräumige Zonen mit Bodenhebungen nachgewiesen werden. Die Zonen im Süden (im Bild S. 12 die Bereiche BS1 bis BS3) und Norden (BN1) stimmen mit den Gebieten mit Gebäudeschäden überein. In der südlichen Zone betragen die Hebungen in den Jahren 2007 bis 2010 vier bis neun Millimeter pro Jahr. Diese Beobachtungen bestätigen die Er-

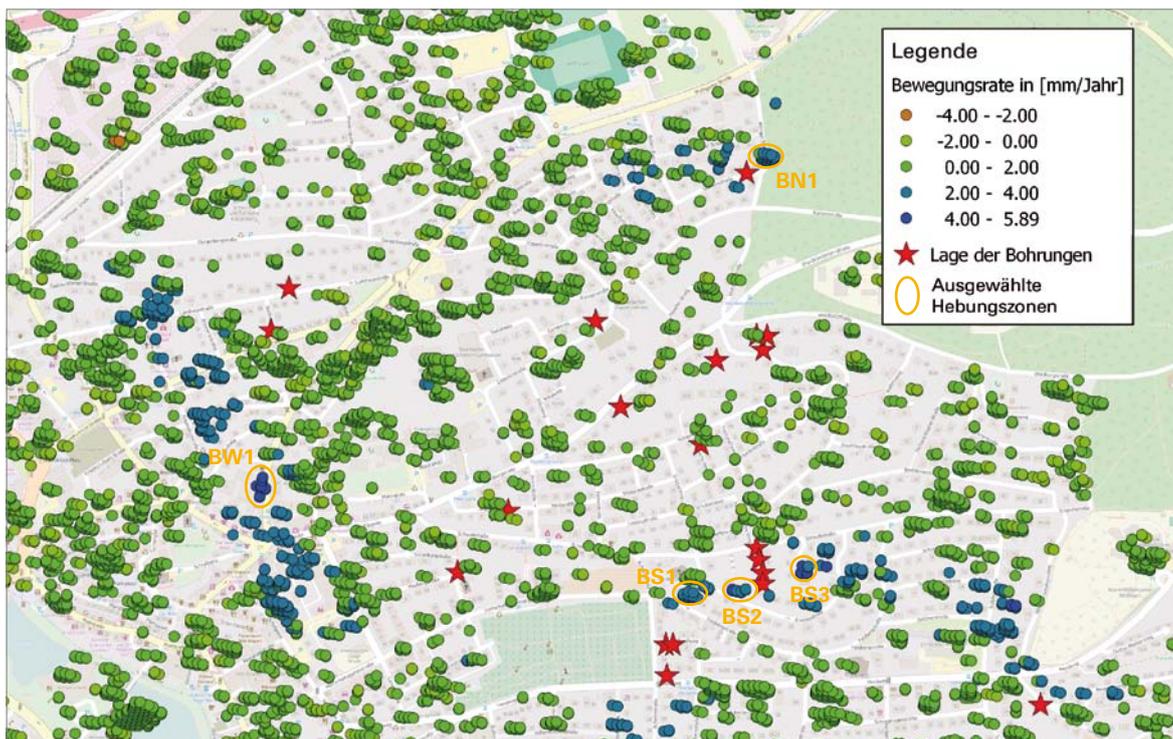
gebnisse früherer Auswertungen. Wichtig war den Forschern vor allem der Beginn der Hebungen. Er lässt sich nach dem bisherigen Datenmaterial mit einer statistischen Abweichung von einem bis zwei Monaten bestimmen. Da in beiden Zonen die Hebungen nur wenige Wochen nach den Bohrungen einsetzten oder sich verstärkten, liegt der Schluss nahe, dass die südliche und wohl auch die nördliche Hebungszone tatsächlich durch Geothermiebohrungen ausgelöst wurden.

Das dritte Hebungsbereich im Westen der Böblinger Innenstadt (BW1) besitzt dagegen einen kontinuierlichen Verlauf, der nach einer Auswertung durch Airbus Defence and



Einer von zahlreichen Gebäudeschäden in und um Böblingen.

Bild: Landratsamt Böblingen



Jeder Messpunkt im Stadtgebiet Böblingen entspricht einem Areal von zweimal zehn Metern. Zwei der drei Hebungs-zonen (in Blau) decken sich mit der Lage der Bohrungen.

Bild: GIK; Kartengrundlage: Open Street Map

Space – Infoterra bis 1992 zurückreicht. Hier scheint es also keinen Zusammenhang mit den Sondenbohrungen der Jahre 2006 und 2008 zu geben.

Im restlichen Stadtgebiet konnten die Forscher im Übrigen bislang

keine signifikanten Oberflächenveränderungen erkennen – auch keine Absenkungen.

Wichtiger noch als diese ersten Ergebnisse ist dem Projektteam, dass sie mit ihrer Auswertungsmethodik und dem hierfür entwickelten Re-

chenmodell allem Anschein nach auf dem richtigen Weg sind. Mit diesem Wissen geht es nun an die Auswertung der restlichen Daten und an die Kombination der verschiedenen, sich überschneidenden Beobachtungstreifen.

Hebungen durch Erdbeben?

Gebäudeschäden können durch Fernwirkung von Erdstößen entstehen

Fehlerhafte Geothermiebohrungen können zu Grundwassereintritt in Gipskeuperschichten führen. Das Wasser lässt trockenen Anhydrit zu Gips aufquellen, der Boden hebt sich, Gebäude bekommen Risse. Können neben menschlichen Fehlerquellen auch natürliche Vorgänge diesen Dominoeffekt auslösen? Eine Grundlagenstudie sucht Antworten.

Die Wirkung ist klar, die Ursache nicht eindeutig: „Anhydritschichten sind eigentlich ‚trocken‘. Wenn aber die darüber oder darunter liegenden, abdichtenden Schichten gestört werden, kann es zu einem Wasserzutritt kommen“, erklärt Manfred Joswig, Professor am Institut für Geophysik der Universität Stuttgart. Was aber kann zum Eindringen von Grundwas-

ser in die Anhydritschichten führen? Gibt es neben unfachmännisch ausgeführten und unzureichend abgedichteten Geothermiebohrungen andere Gründe für die Gebäudeschäden in Böblingen? Greift vielleicht sogar die Natur selbst ein – etwa durch leichte Erdstöße? Genau das wollen die Stuttgarter Geophysiker herausbekommen.

Projektleiter Joswig stellt klar: „Unser Projekt ist kein Gutachten zur Beurteilung der aktuellen Schadensfälle. Wir betreiben Grundlagenforschung. Wenn wir den weltweiten Kenntnisstand festgehalten haben, werfen wir aber auch einen Blick auf den Raum Böblingen.“ Wie die Literaturrecherche ergab, unterscheidet die Fachliteratur zwei Wirkungsbereiche von Erdbeben:

PROJEKT

Abgrenzung von Erdbeben als mögliche Schadensursache für Hebungen/Setzungen

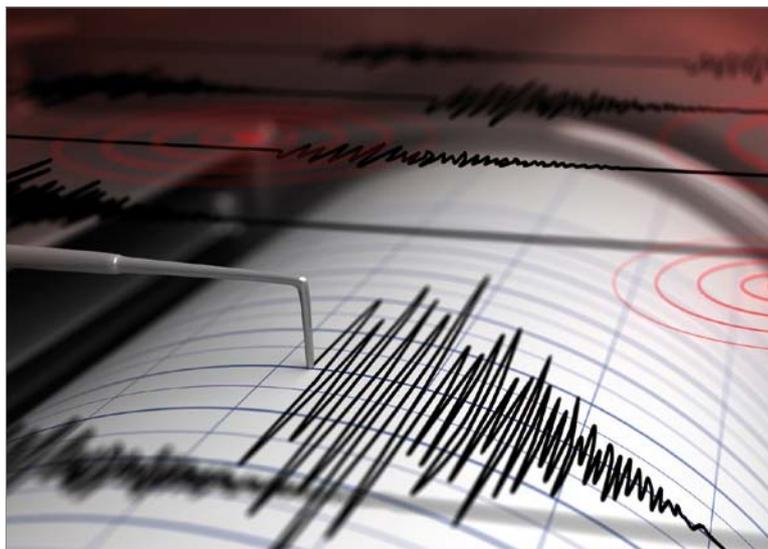
Laufzeit: 07/2015 bis 09/2016

Institut für Geophysik,
Universität Stuttgart

Prof. Dr. Manfred Joswig
joswig@geophys.uni-stuttgart.de
www.geophys.uni-stuttgart.de

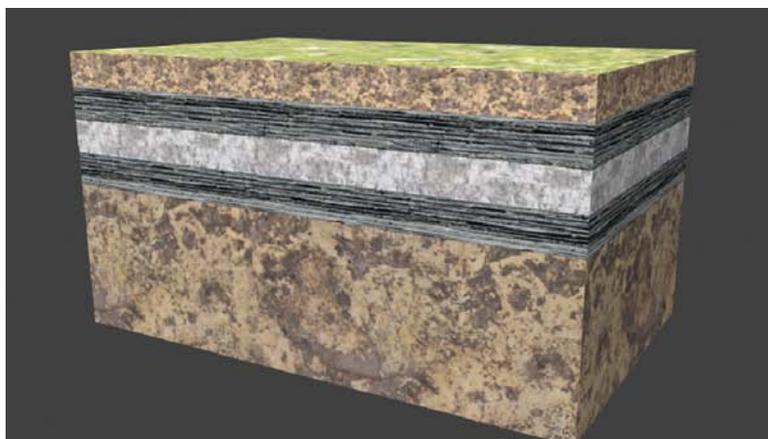
Im Nahbereich führen die Erdstöße zum unmittelbaren Bruch des Festgesteins. Die Schichten werden stark mechanisch beansprucht und verschoben. Dabei treten Klüfte und andere Beschädigungen auf. Eine solche Bruchzone kann sich der Literatur zufolge schon bei einem Beben der Stärke 3,6 in Einzelfällen über mehrere Kilometer ausdehnen. Tausende Kilometer weit können dagegen die Fernwirkungen starker Beben reichen: Die abgestrahlten Erdbebenwellen verursachen kleine Druckänderungen in wasserführenden Schichten, die wiederum zu Rissöffnungen führen können. Solche Phänomene sind in der Fachliteratur zahlreich festgehalten. „Die Fernwirkungen sind in der Regel zwar weit weniger katastrophal als die Bruchprozesse im Nahbereich, aber dennoch von Bedeutung – weil große Gebiete betroffen sind“, betont Manfred Joswig. Als Ursache von Quell- oder auch Lösungsprozessen im Untergrund kämen also sowohl entfernte, größere Erdbeben infrage als auch kleine bis mittelstarke, lokale Beben.

Gerade von kleinen, kaum spürbaren Beben bleibt auch der Südwesten der Region Stuttgart nicht verschont. Ihre Herde sind teilweise oberflächennah und kommen dann durchaus für Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse infrage. 2004 gab es zwei Erdbeben mit Magnituden von 2,3 und sogar 3,1 im Raum Böblingen, 2003 ereignete sich auf der Schwäbischen Alb zudem ein Beben der Stärke 4,0 – mit denkbaren Auswirkungen auch noch in 60 bis 70 Kilometer Entfernung. Projektleiter Joswig hat ermittelt, dass die beiden lokalen Beben zu schwach waren bzw. zu tief lagen, um für die Hebungen in Böblingen infrage zu kommen. „Die Suche nach Indikatoren für mögliche Fernwirkungen muss fortgesetzt werden“, so der Geophysiker.

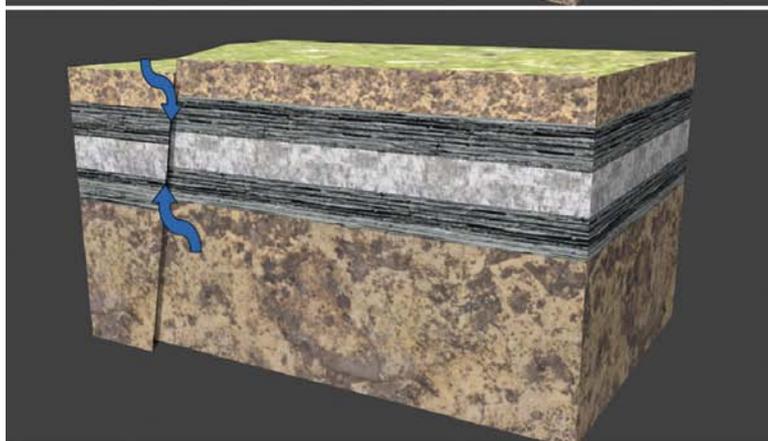


Seismograph zur Aufzeichnung von Erdstößen

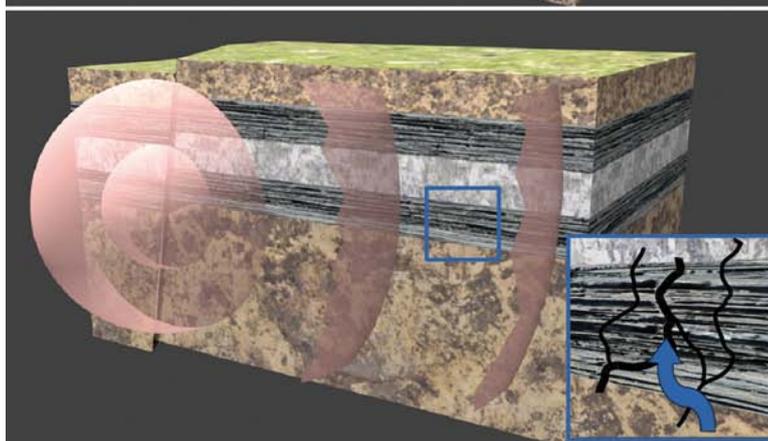
Bild: Petrovich12/Fotolia



Wasserundurchlässige Schichten dichten das hellgrau dargestellte Anhydritgestein ab.



Nach einem Erdbeben dringt über Bruchflächen Wasser ein.



Wellen starker Beben können durch Druck und Zug auch in hundert bis tausenden Kilometern Entfernung vorhandene, inzwischen verschlossene Risse wieder öffnen. Zudem können sie Wasser aus der Tiefe in vorhandene Risse drücken (schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung).

Bilder: Institut für Geophysik, Uni Stuttgart

Forschen im Untergrund

Voruntersuchungen für ein Geothermie-Labor im Schwarzwald

GeoLaB – „Geothermie-Labor im Bergwerk“ ist der Name eines ambitionierten Projekts der bundesweiten Spitzenforschung: In einem Untertagelabor im Grundgebirge des Schwarzwalds sollen zentrale Fragen zur Erschließung der Tiefengeothermie geklärt werden. An den Voruntersuchungen sind auch Forschungseinrichtungen des Landes beteiligt, gebündelt unter dem Dach des Landesforschungszentrums Geothermie.

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde auch in der Grube Anton geforscht und gemessen.

Bild: KIT

Geothermische Energie aus der Tiefe ist nahezu CO₂-frei, grundlastfähig und unabhängig von Wind und Wetter oder der Tageszeit. Und: Baden-Württemberg ist damit reich gesegnet. Der Oberrheingraben besitzt mit das größte Potenzial in Europa. Rund 3.000 Meter unter dem Rheintal liegt zerklüftetes kristallines Grundgebirge – ein ideales Reservoir für die geothermische Strom- und Wärmeerzeugung. Schon heute arbeiten in der Pfalz, im Elsass, in der Schweiz und in Baden-Württemberg Kraftwerke mit insgesamt über 100 Megawatt thermischer Leistung. Die tektonische Hebungsgeschichte hat nun zu einer einzigartigen

Konstellation geführt: In der Nachbarschaft des riesigen Energiereservoirs liegen im Schwarzwald oder Odenwald dieselben kristallinen Schichten gut zugänglich an der Oberfläche. „Eine große Chance für die Forschung“ hat Professor Thomas Kohl vom Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) am KIT in Karlsruhe erkannt. Nutzen will Kohl diese Chance mit dem von ihm sowie den Helmholtz-Zentren in Leipzig und Potsdam initiierten Untertagelabor GeoLaB. Gesucht ist ein neuer oder ehemaliger Bergwerksstollen, in dem Messgeräte und Laborarbeitsplätze untergebracht und Experimente sicher durchgeführt werden können.

„Vor dem Ausbau und der Nutzung eines solchen Labors brauchen wir jedoch geologische, geophysikalische, geochemische, hydraulische und geomechanische Vorerkundungen“, erläutert der Karlsruher Geowissenschaftler.

Leuchtturmprojekt

Schon die Erkundungsphase hat sich zu einem eigenen Forschungs-komplex entwickelt. Zu den Aktivitäten, die in ein Konzept für das GeoLaB mündeten, gehörte eine Probebohrung, die Erschließung einzelner Kavernen über einen ein Kilometer langen Zugangsstollen und Experimente in rund 400 Metern Tiefe. Rechtsfragen zur Erstel-

PROJEKT

LFZG Verbundvorhaben: Kombinierte Voruntersuchungen für Tiefengeothermie-Labor

Laufzeit: 05/2014 bis 12/2015

KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Abteilung Geothermie

Prof. Dr. Thomas Kohl
thomas.kohl@kit.edu
www.agw.kit.edu

Universität Stuttgart,
Institut für Geophysik
www.geophys.uni-stuttgart.de

Universität Freiburg, Institut für Geowissenschaften
portal.uni-freiburg.de/geologie

Hochschule Offenburg,
Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik
mv.hs-offenburg.de/mv0

lung dieses nicht alltäglichen Bauwerks waren zu klären, bergrechtliche Genehmigungen einzuholen. Zentrale Fragen der Forschung wurden in nationalen und internationalen Workshops diskutiert.

Baden-Württemberg hat sich mit eigenen Forschungen an den GeoLaB-Voruntersuchungen beteiligt. Vier Universitäten bzw. Institutionen aus dem Land bildeten unter dem Dach des Landesforschungszentrums Geothermie einen Projektverbund. Leiter des bis Ende 2015 laufenden Vorhabens war Thomas Kohl. Er hebt die herausragende Stellung des zukünftigen Labors hervor: „Wir schaffen mit dem GeoLaB eine interdisziplinäre und internationale Forschungsplattform, die mit ihren Partnern aus Forschung, Industrie und Behörden viele Synergien und Innovationen hervorbringen wird. Deutschland kann sich mit dem GeoLaB in einem hochaktuellen Themenfeld wissenschaftlich ganz weit vorn positionieren.“

In dem Verbundvorhaben des Landes sind sechs Arbeitspakete zusammengefasst. Aus unterschiedlichen Perspektiven versuchten Geologen, Physiker und Chemiker die Prozesse im Grundgebirge näher zu erkunden. Hier ein kurzer Überblick über die Arbeiten.

Messen in Grube Anton

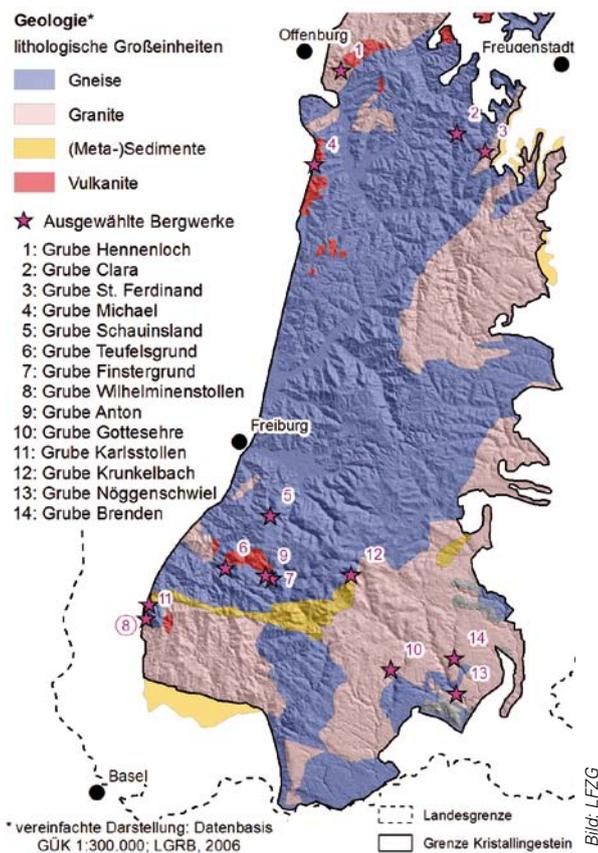
Nicht weit von Schiltach im mittleren Schwarzwald betreiben die Universitäten Karlsruhe und Stuttgart schon seit über 40 Jahren das „Black Forest Observatory“ (BFO). Es liegt im Grubengebäude der „Grube Anton“, einem ehemaligen Silberbergwerk, und könnte damit ein Vorbild für das GeoLaB sein – wenngleich einige Nummern kleiner. „Wir wollten herausbekommen, ob anthropogene Störquellen auch an abgelegenen Standorten messbar sind“, erläutert Professor Manfred Joswig.

Den Stuttgarter Geophysiker interessiert, ob kleine seismische Bodenunruhen die Untertage-Messungen im GeoLaB beeinflussen. „Entscheidend sind die bisher unbekannt aktiven Störungszonen in einem 20-Kilometer-Radius um den Laborstandort“, erläutert Joswig. „Wir müssen sie aufspüren, kartieren und mit den bekannten Störungen abgleichen.“ Vier Seismometer haben dieses „Grundrauschen“ – die Experten nennen es „Noise“ – in der Grube Anton aufgezeichnet. Um die „Noise“-Quellen zuzuordnen, haben die Forscher auch kleine regionale Erdbeben ausgewertet – nicht jede Erschütterung muss schließlich von einem vorbeifahrenden Lkw oder von Baumfällarbeiten stammen. Ergebnis der Messungen: „Noise“ ist zwar vorhanden, fällt aber im zentralen Schwarzwald sehr gering aus.

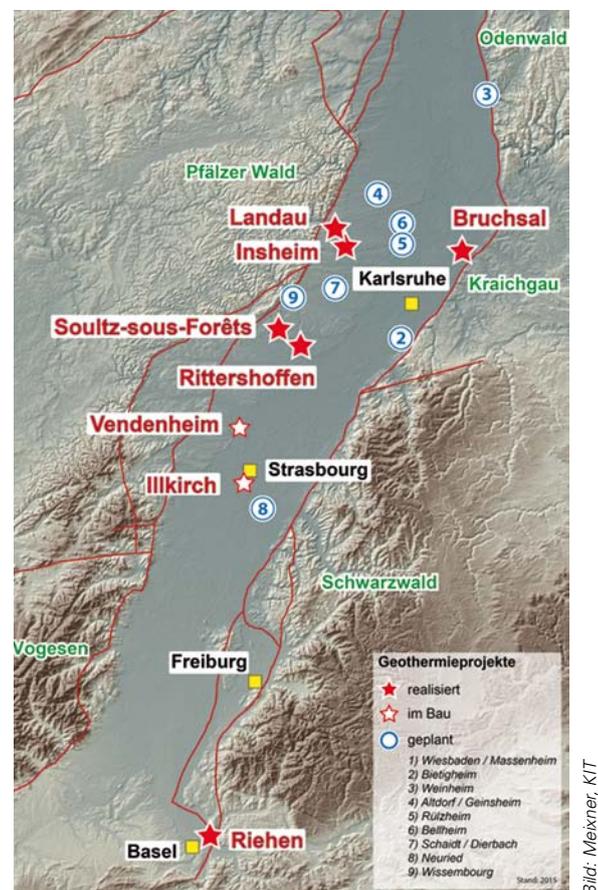
Experimente mit Langzeitwirkung

Chemiker und Hydrogeologen arbeiteten beim zweiten Teilprojekt Hand in Hand. Die Forscher von der Uni Freiburg und dem KIT in Karlsruhe wollten wissen, wie sich Gesteine und Klüfte verhalten, wenn große Mengen Wasser in die tiefen Schichten gepresst werden, um sie dort zu erwärmen. „Wir peilen 50 Liter pro Sekunde an, das ist, wie wenn eine große Badewanne in vier Sekunden gefüllt wird“, veranschaulicht Thomas Kohl.

„Die durchgeführten Experimente haben uns viel über die chemischen Prozesse an den Klüftflächen verraten“, sagt Professor Kurt Bucher von der Uni Freiburg. So können sich durch Lösungsvorgänge beispielsweise Klüfte zunächst vergrößern – gut für die Durchlässigkeit und damit für die Energiegewinnung –, um sich später jedoch durch die Neubildung von Mineralien wieder zu verengen. Jedes der



Ehemalige Bergwerke, die für das GeoLaB infrage kommen. ○ Eingerahmt ist der Wilhelminenstollen bei Badenweiler.



Hier wird die Geothermie am Oberrhein bereits genutzt. Erst jüngst ging das Kraftwerk Rittershoffen im Elsass in Betrieb.

zwölf durchgeführten Experimenten mit Granit, Sandstein und Kalkstein dauerte im Schnitt 41 Tage.

Sandstein im Stresstest

Wie reagiert die Kristallstruktur, wenn Gesteine unter Spannung stehen? Bevor dies im künftigen GeoLaB untersucht werden kann, sollten Deformations-, Spannungs- und Bruchmessungen am Landesforschungszentrum Geothermie und im KIT Antworten geben. Als Untersu-

raus filterten die Forscher 14 Favoriten heraus, wie sie die Karte auf Seite 15 zeigt. Zu den Auswahlkriterien zählten Zugänglichkeit, Größe, maximale Überdeckung und vorhandenes Gestein. „Wichtig ist außerdem, dass wir die hydraulischen Bedingungen kontrollieren können“, erläutert Projektleiter Kohl. „Das ist schwierig, wenn verzweigte Stollensysteme existieren oder unbekannte Altbergbaustandorte in der Nähe liegen.“ Ganz oben auf die Liste

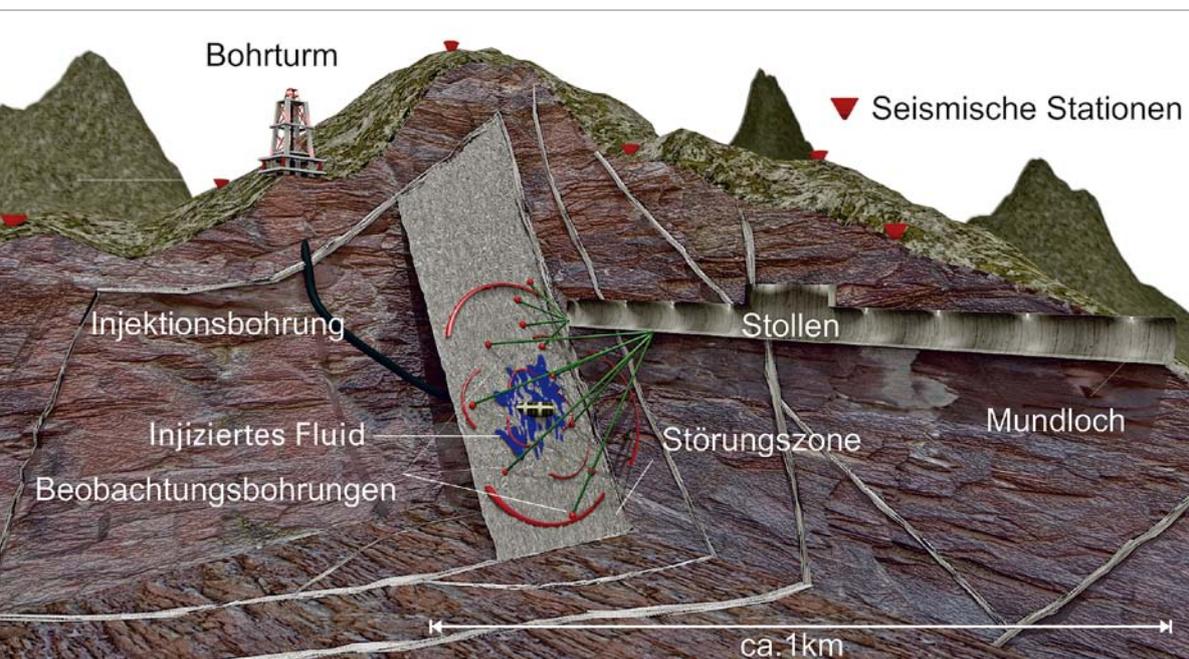
gen speziell im Südschwarzwald, als „passend für die geplanten Versuche im Untertagelabor“.

Wissen, wo die Erde bebt

Ein weiteres Teilprojekt befasste sich mit der verbesserten Lokalisierung von Erdbeben. Eine neue Methode soll das Monitoring auch bei einer geringen Zahl von Messwerten verbessern. Nach methodischen Arbeiten und synthetischen Tests folgte eine erste Anwendung des neuen Verfahrens. Fazit der Forscher: Die entwickelte Methode erhöht die Genauigkeit der Erdbeben-Lokalisierung.

Gebündelte Forschung

Schon die hier skizzierten Teilprojekte zeigen, wie vielfältig die Fragestellungen rund um die Tiefengeothermie sind. So ist es nur folgerichtig, dass gerade dem digitalen Forschungs- und Projektmanagement ein eigenes Arbeitspaket



Schnittbild des geplanten Untertagelabors
Bild: Meller u. Meixner, KIT

chungsobjekt wählten die Forscher einen Sandstein aus Lahr, der die Merkmale typischer Wärmespeicher-Sandsteine aufweist. In mehreren Zyklen wurden beispielsweise die Bruchwinkel bei verschiedenen Belastungssituationen gemessen.

GeoLaB: Neu- oder Ausbau?

Mit konkreten Standortfragen für das GeoLaB befassten sich Prof. Thomas Kohl und seine Mitarbeiter am AGW in Karlsruhe. Sie verfolgten zwei Ansätze für den Bau des Untertagelabors: den Ausbau eines Bergwerksstollens, was einigen Aufwand sparen würde, und, wenn das nicht geht, einen Neubau.

Im Schwarzwald gibt es mehrere Hundert Altbergbaustandorte. Da-

rückten deshalb gut dokumentierte Explorationsstollen, die keinen weiteren Bergbau nach sich zogen – wie etwa der Wilhelminenstollen bei Badenweiler. Hier könnte das Labor zudem einen existierenden Tunnel nutzen – genug Pluspunkte, um diesen Stollen für die weiteren Vorerkundungen auszuwählen. So prüften die Forscher anhand eines Simulationsmodells, welchen Einfluss die Oberflächentopographie auf die Spannungsverhältnisse im Wilhelminenstollen hat. „Es hat sich gezeigt, dass der störende Einfluss in 300 bis 500 Metern Tiefe nur noch eine untergeordnete Bedeutung besitzt“, resümiert Professor Kohl. Generell bewerten Kohl und seine Kollegen die Bedingun-

gewidmet war. Die Hochschule Offenburg hat hierfür eine professionelle Software entwickelt. Auf einem gemeinsamen, über eine verschlüsselte Datenverbindung erreichbaren Server sind alle projektbezogenen Daten und Aufgaben der einzelnen Arbeitspakete hinterlegt.

Projektleiter Kohl sieht den konzertierten Forschungsansatz als eine der großen Stärken des GeoLaB-Konzepts. Unterschiedlichste Fachdisziplinen arbeiten zusammen, von Geo- und Materialwissenschaften über Informatik bis zu den Ingenieurwissenschaften. Seit April 2016 liegt der 500-seitige Projektantrag für das GeoLaB beim KIT vor.

Ausbau der Solarthermie

Dekarbonisierung mit solarthermisch unterstützten Wärmenetzen

Mithilfe solarthermischer Kollektorfelder lassen sich die Emissionen bei der Versorgung von Wärmenetzen für Kommunen, Quartiere oder Unternehmen wesentlich reduzieren. Im Rahmen des Vorhabens SolnetBW sollten die Projektpartner ausloten, wie man dieser ausgereiften Technologie hierzulande zum Durchbruch verhelfen und Baden-Württemberg die Vorreiterrolle sichern kann.

Mit ihrem integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) verfolgt die Landesregierung Baden-Württembergs ehrgeizige Ziele: Bis 2050 soll das Land nur noch halb so viel Energie verbrauchen wie 2010, 80 Prozent des verbleibenden Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen decken und damit die durch den Energieverbrauch bedingten Treibhausgasemissionen um 90 Prozent senken. Eine tragende Rolle kommt dabei der Solarthermie insbesondere im Verbund mit Wärmenetzen zu. Bereits bis 2020 soll die dafür eingesetzte Kollektorfläche nahezu verzehnfacht werden: von stark 20.000 auf 200.000 Quadratmeter mit einer Wärmeleistung von 140 Megawatt.

Wegbereiter und Initiator

Als Wegbereiter für diese Mammutaufgabe namens „SolnetBW“ wurde ein Konsortium um das Steinbeis-Forschungsinstitut Solites auserkoren. Gefördert vom Land sollten die Projektpartner Hemmnisse

aufspüren, Strategien zur Verbesserung der Rahmenbedingungen entwickeln und über „eine intensivierete Marktbereitung“ die Anlage von neuen Kollektorfeldern anstoßen. Zielvorgabe bis zum Projektende im Juni 2016 war eine Kollektorfläche von insgesamt 50.000 Quadratmetern mit einer Leistung von rund 35 Megawatt. Was in Dänemark bereits in großem Maßstab praktiziert wird, sollte, so das Kalkül, auch im „Musterländle“ machbar sein. Doch stellte sich bald heraus, dass diese Latte zu hoch liegt: Zwar stieß SolnetBW auf breites Interesse, eine zügige Umsetzung blieb jedoch die Ausnahme. Die nebenstehende Karte zeigt, was das SolnetBW-Konsortium innerhalb der gesetzten Frist initiiert hat. Zusätzlich zu den älteren Bestandsanlagen wurden im „Bioenergiedorf“ Büsingen 1.090 Quadratmeter Röhrenkollektoren und zwei Pufferspeicher mit je 50 Kubikmetern Fassungsvermögen in das Nahwärmenetz eingebunden. Derzeit neu in

Vorbereitung, Planung oder Realisierung sind ca. 25.500 qm Kollektorfläche, von denen der überwiegende Teil laut Projektleiter Thomas Pauschinger durch SolnetBW initiiert und beraten wurde. Durch seine „Verbreitungsaktivitäten, insbesondere direkte Initialberatungen“, wurden solarthermische Großanlagen bei weiteren Projekten angestoßen bzw. bei Machbarkeitsstudien berücksichtigt. Konkret hätten laut Pauschinger 50 Kommunen bzw. kommuna-

PROJEKT

SolnetBW – Solare Wärmenetze Baden-Württemberg

Laufzeit: 11/2013 bis 6/2016

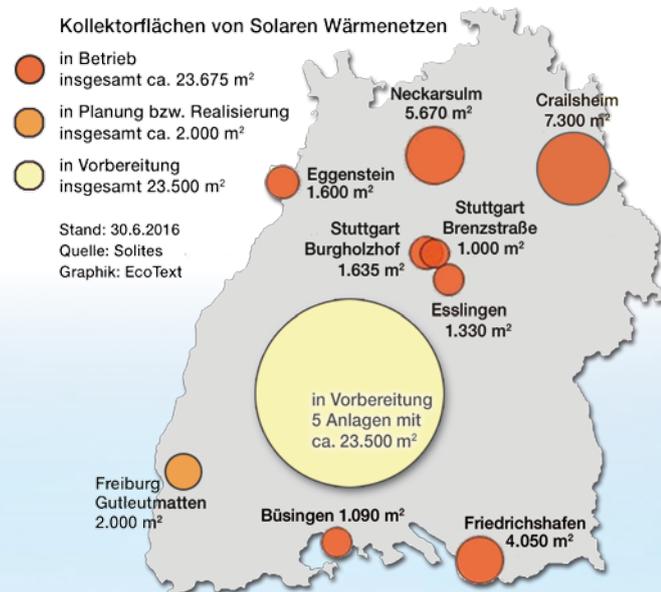
Steinbeis Forschungsinstitut Solites, Stuttgart
Thomas Pauschinger
pauschinger@solites.de
www.solnetbw.de

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA)
www.kea-bw.de

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
www.ier.uni-stuttgart.de

AGFW – Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
www.agfw.de

Hamburg Institut Research gGmbH
www.hamburg-institut.com



le Eigenbetriebe oder Stadtwerke, Energieversorger und Genossenschaften während der Projektdauer eine thermische Solaranlage in Erwägung gezogen. Zwölf davon seien einen weiteren Schritt in Richtung Realisierung gegangen und hätten zumindest ein Grobkonzept erstellt. Fünf Akteure bereiteten die Errichtung einer Anlage vor und würden zusammen etwa 23.500 qm Kollektorfläche aufstellen. Ohne Unterstützung durch das Projekt wird in Freiburg-Gutleutmaten eine Kollektorfläche von 2000 Quadratmetern auf 38 Dächern realisiert. Addiert man alle avisierten Flächen (25.500 qm) mit den bestehenden Anlagen (23.650 qm), werden in den nächsten Jahren 49.175 qm erreicht. Weit entfernt also von den bis 2020 angestrebten 200.000 qm.

Grundlagenermittlung

Einige Gründe für diese Diskrepanz fanden sich im Zuge der Grundlagenermittlung, bei der Ausgangsbasis und Marktsituation, Hemmnisse und Chancen solarer Wärmenetze in Baden-Württemberg untersucht wurden. Dabei stellten die Projektbetreiber fest, dass „noch auf verschiedenen Ebenen

Anstrengungen erforderlich sind, um der solaren Nah- und Fernwärme in Baden-Württemberg zum Marktdurchbruch zu verhelfen“. So sei der bestehende Rechtsrahmen „bisher kein wesentlicher Treiber für die Marktausweitung“. Schwierigkeiten bereite in Verdichtungsräumen mit bestehenden Wärmenetzen die Konkurrenz um Flächen. Wo noch kein Wärmenetz existiert, stoße man mancherorts auf Aversionen gegen den Verzicht auf die eigene Heizung oder Skepsis bezüglich der Wirtschaftlichkeit. Dass ausgerechnet während der Projektlaufzeit der Ölpreis auf ein Dauertief sank, erschwerte den Anstoß neuer Projekte.

Dennoch könnten dank attraktiver Förderung konkurrenzfähige Wärmegestehungskosten gegenüber fossiler Wärmeerzeugung „insbesondere bei großen Anlagen (> 1 MW), Freilandaufstellung und solaren Deckungsanteilen bis etwa 20 Prozent erreicht werden“. Für die Umsetzung der Energiewende, die langfristige Kostenstabilität und die Verbesserung der Versorgungssicherheit sei die Solarthermie ohnehin „ein unverzichtbarer Baustein künftiger Energieversorgung“.

Strategie für die Initiative zur Markteinführung

Die Grundlagenermittlung diene als Basis für die Erarbeitung von Marktentwicklungsansätzen und Medien zur effizienten Ansprache möglicher Akteure und Konsumenten. Seine in Workshops entwickelte Strategie fasste das SolnetBW-Konsortium in einem Sechs-Punkte-Plan zusammen:

- Informationsvermittlung auf Basis der erarbeiteten Studie sowie landesweite Beratungsaktivitäten und Exkursionen,
- Abbau von Hemmnissen durch Stärkung der Bürgerbeteiligung,
- Vorschläge zur Verbesserung des Rechts- und Förderrahmens für solare Wärmenetze,
- Entwicklung von Geschäftsmodellen für solare Wärmenetze,
- Anbahnung von Projekten zur Integration von Solarthermie in bestehende Wärmenetze,
- Anbahnung von Projekten für neue solare Wärmenetze.

Durch die Umsetzung des Plans erhielt die Marktbereitung für solare Wärmenetze, so Pauschingers Fazit, „einen deutlichen Impuls bei allen relevanten Zielgruppen“.

In Crailsheim findet sich die bislang größte solarthermische Anlage Baden-Württembergs mit 7300 Quadratmetern, teils auf Dächern, teils an einem Lärmschutzwall.

Bild: Solites



Strom im Quartier vermarkten

Strombank als innovatives Betreibermodell für Quartierspeicher

Um Strom aus dezentraler Erzeugung möglichst vor Ort zu nutzen, haben Energiefachkräfte und Wissenschaftler die Idee einer „Strombank“ erprobt. Als ob sie ein Girokonto hätten, können ihre Kunden jederzeit überschüssigen Strom einspeisen und bei Bedarf wieder abrufen. Mithilfe dieses Quartierspeichers haben sie ihren Eigenverbrauchsanteil deutlich gesteigert.

Die Idee einer Strombank als Betreibermodell eines Quartierspeichers beruht darauf, dezentral erzeugten Strom zu speichern und den lokalen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch zu ermöglichen. Dabei ersetzt der eine kosteneffiziente Speicher im Quartier eine Vielzahl von kleineren Hausbatterien. Ähnlich wie in einer Bank können die Kunden verschiedene Konten und Dienstleistungen in Anspruch nehmen. Dabei beziehen die Kunden Strom nicht nur aus der Steckdose, sondern sie werden zum Akteur in ihrer lokalen Energiewelt, wie der Projektleiter Dr. Robert Thomann von MVV Energie erläutert: „Zusätzlich zur Zwischenspeicherung von Strom zwecks Eigenverbrauch steht

es dem Kunden auch frei, Überschussmengen an das Quartier abzugeben und aus dem Quartier Strom zu beziehen.“

Im Rahmen eines Praxistests wurde das Betreibermodell im Mannheimer Stadtteil Rheinau umgesetzt und dabei technisch, wirtschaftlich, rechtlich sowie sozialwissenschaftlich untersucht. Regie führte dabei das Energieunternehmen MVV Energie. Projektpartner waren die Netzgesellschaft Netrion GmbH, der Batteriehersteller Adstec GmbH aus Nürtingen und die Universität Stuttgart mit dem Institut für Photovoltaik (ipv) und dem Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS). Die baden-württembergische Landesregierung förderte

das Projekt durch ihr BWPLUS-Programm.

Aufbau des Speichers

Im Mittelpunkt der realisierten Strombank steht ein Lithium-Ionen-Speicher mit einer Kapazität von 100 Kilowattstunden und einer Aufnahme- und Abgabeleistung von 100 Kilowatt. Dieser bietet den Teilnehmern, 14 privaten Haushalten und vier Gewerbetreibenden, Speicherkapazität in Form einer Kontogröße an. Sie alle verbrauchen nicht nur Strom, sondern erzeugen diesen auch mittels Photovoltaik-Anlagen oder kleiner hocheffizienter Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

„Den Quartierspeicher platzierten wir in einen umgerüsteten Contai-

PROJEKT

Strombank – innovatives Betreibermodell für Quartierspeicher
 Laufzeit: 11/2013 bis 3/2016

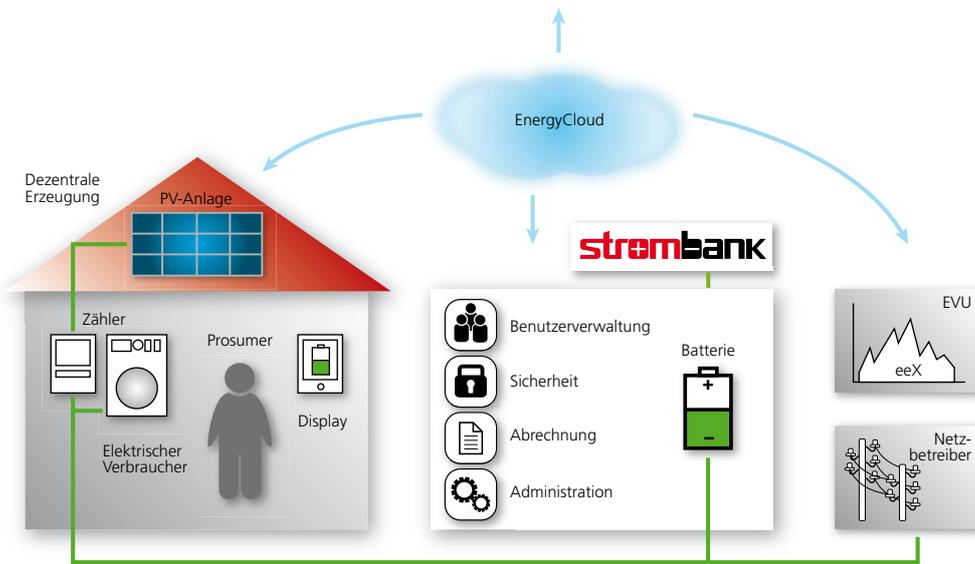
MVV Energie AG, Mannheim
 Dr. Robert Thomann
 robert.thomann@mvv.de
 www.mvv.de

Universität Stuttgart, Institut für Photovoltaik
 www.ipv.uni-stuttgart.de
 Netrion GmbH, Mannheim
 www.netrion.de

Adstec GmbH, Nürtingen
 www.adstec.de

Strombank-Container mit Lithium-Ionen-Batteriespeicher (links) bei der Inbetriebnahme am 15. Dezember 2014 im Mannheimer Stadtteil Rheinau
 Bilder: MVV Energie





ten sie sich beispielsweise im Monat April, dass der Strombedarf aus dem öffentlichen Netz um 36 Prozent und die Einspeisung ins Netz um 70 Prozent reduziert wurden. Hauptstromabnehmer waren dabei die Gewerbebetriebe. Nach Ablauf des Projekts beurteilten die mit sozialwissenschaftlichen Methoden befragten Teilnehmer vor allem die zentrale Steuerung eines Speichers durch einen Energieversorger sowie monetäre Vorteile eines Großspeichers als interessante Option im Vergleich zu kleinen Heimspeichern. Im Mittelpunkt stand die Eigenverbrauchs-optimierung, wobei die meisten Teilnehmer die Vermarktung des Stroms lieber dem Anbieter überlassen wollen, um einen moderaten Erlös für sie zu erzielen.

Netzdienlicher Betrieb

Die betrieblichen Auswertungen des Quartierspeichers zeigten vor allem an sonnigen Tagen, dass das gewählte Lademanagement nicht immer netzkonform war: Bereits vor der eigentlichen Mittagsspitze lief der Speicher bei hoher PV-Einspeisung über, wodurch der Strom ungedämpft ins Netz floss. Um die Mittagsspitze besser abzufangen, entwickelten die Wissenschaftler einen „Peak Shaving Algorithmus“, der mittels Prognosedaten in der Lage ist, das Laden des Speichers ohne Einfluss auf den Eigenverbrauch zeitlich zu verzerren.

Als weitere netzdienliche Funktion untersuchten die Wissenschaftler während der Praxisphase die Bereitstellung von Regelleistung, für die ein sogenannter Präqualifikationsantrag beim Übertragungsnetzbetreiber gestellt wurde. Projektleiter Thomann ist überzeugt: „Die Idee, Erzeugung und Verbrauch von Strom dezentral auszugleichen, passt sehr gut in die Anforderungen der künftigen Energiewelt.“

ner, der neben den Batteriemodulen den Wechselrichter und eine CO₂-Löschanlage beherbergt“, erklärt Projektleiter Thomann. „Um die Kommunikation zwischen den Teilnehmern, dem Speicher und der Netzleitwarte aufzubauen“, fährt Thomann fort, „bauten wir intelligente Zähler bei den Teilnehmern ein, die Informationen zur erzeugten Strommenge, zum Verbrauch, zum Netzbezug beziehungsweise zur Einspeisung an die sogenannte ‚Energy Cloud‘ senden.“ Die Energy Cloud (vgl. Graphik) funktioniert als Datennetzwerk und bündelt die Informationen aller Teilnehmer, berechnet daraus den Kontostand und erteilt dem Speicher den Befehl zu laden oder zu entladen. Über eine App können die Teilnehmer ihre Kon-

to-Bewegungen online einsehen. „Bereits zu Beginn der Praxisphase erkannten wir, dass KWK- und PV-Anlagenbetreiber ein gegenläufiges Benutzerverhalten aufweisen, das es erlaubt, die vorhandene Speicherkapazität effizienter beziehungsweise mehrfach zu nutzen“, erläutert Thomann die ersten Messungen. Konnte ein Haushalt vor der Projektphase mittels Direktverbrauch 30 bis 40 Prozent seines Bedarfs decken, so stieg der Autarkiegrad durch das Konto bei der Strombank zeitweise auf 60 bis 80 Prozent. Der restliche Bedarf beziehungsweise Überschuss wurde über das Quartier geregelt. Die Teilnehmer konnten über ihre App die verkaufte Menge Strom und die daraus generierbaren Erlöse einsehen. So freu-

Aufbau der Strombank mit ihren Funktionen (Mitte), dem Privathaushalt als Produzent und Verbraucher (links) sowie dem Anschluss ans Stromnetz
Graphik: MVV Energie

Der Screenshot der App zeigt beispielhaft die Stromerzeugung in einer Märzwoche jeweils mit den Anteilen von Strombank, Eigenverbrauch und Netzeinspeisung.



Bild: MVV Energie

Kohlenstoff optimal ausnutzen

Innovative Erzeugung von Synthesegas aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

Bei der Gewinnung von synthetischem Biogas wird der Gehalt an Kohlenstoffdioxid trotz aufwendiger Aufbereitungstechnik nicht hinreichend genutzt und entweicht deshalb in die Atmosphäre. In einem Verbundvorhaben untersuchen Wissenschaftler die direkte Kraftstofferzeugung aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Dabei soll der Kohlenstoff möglichst komplett und effizient in Methan umgewandelt, ins Erdgasnetz eingespeist oder als Flüssiggas im Schwerlastverkehr eingesetzt werden.

Bild: Ulrich Antas/Pixelio

In einem neuen Verbundvorhaben haben sich vier wissenschaftliche Institute zusammengeschlossen, um durch eine optimale und effiziente Nutzung von Kohlenstoff aus Biomasse Synthesegas zu erzeugen. „Ziel ist dabei die möglichst komplette Umwandlung des Kohlenstoffs in Methan (CH_4), anstatt wie üblich lediglich das Kohlenstoffmonoxid zu methanisieren und das Kohlenstoffdioxid abzutrennen“, erläutert Dr. Frank Graf von der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT in Karlsruhe, der das Verbundvorhaben leitet.

Effiziente Prozesskette

In einem ersten Schritt des zu erforschenden Verfahrens entsteht aus biogenen Rest- und Abfallstoffen über eine Wirbelschichtvergasung ein Synthesegas. Danach wird das

Synthesegas zusammen mit molekularem Wasserstoff (H_2) aus einer effizienten Hochtemperatur-Elektrolyse in Methan („SNG“) umgewandelt. Bei diesem Verfahren wollen die Forscher laut Graf eine möglichst hohe Effizienz der gesamten Prozesskette erreichen, indem sie mehrere Nebenprodukte der Prozesskette integrieren: „Die wichtigsten sind die bei der Methanisierung anfallende Prozesswärme während der Vergasung beziehungsweise in der Hochtemperatur-Elektrolyse sowie die Nutzung des bei der Elektrolyse anfallenden Sauerstoffs.“

Hohe Wirkungsgrade

Die angestrebte vollständige Kohlenstoffausnutzung dürfe jedoch ökonomische Gesichtspunkte nicht außer Acht lassen, so Graf, denn es sei erklärtes Projektziel, „tech-

nisch realisierbare Prozessketten zu finden, mit denen sich durch Wärmeintegration und möglichst vollständige Nutzung aller eingesetzten Stoffe hohe Wirkungsgrade erzielen lassen“.

CNG und LNG

Mit dem neuen Verfahren wollen die Wissenschaftler in erster Linie Methan als „compressed natural gas“ (CNG) produzieren, das ins Erdgasnetz eingespeist werden kann. Zudem untersuchen sie, welche Parameter sie verändern müssen, um mit demselben Verfahren am Ende der Prozesskette Flüssiggas (liquified natural gas, abgekürzt LNG) zu erhalten. Aufgrund erster Recherchen zur Wirtschaftlichkeit schätzen die Projektpartner, dass es für LNG großes Entwicklungspotenzial als Kraftstoff für den Schwerlastverkehr gibt.

PROJEKT

Innovative Erzeugung von SNG und CNG aus biogenen Rest- und Abfallstoffen (Res2CNG)

Laufzeit: 9/2015 bis 8/2018

DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT
Dr. Frank Graf
graf@dvgw-ebi.de
www.dvgw-ebi.de

Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)
www.ifk.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)
www.ier.uni-stuttgart.de

Europäisches Institut für Energieforschung (EIFER), Karlsruhe
www.eifer.kit.edu

Kraftstoff aus der Biotonne

Bioelektrochemische Produktion von hochreinem Biogas aus Abfallstoffen

Mit einem neu entwickelten Verfahren wollen Wissenschaftler aus Gemüseabfällen vom Großmarkt und aus Küchenabfällen Biogas gewinnen. Wenn alles klappt, soll dessen Methangehalt so hoch sein, dass es ohne weitere Aufbereitung als Kraftstoff nutzbar ist.

PROJEKT

BioElektroGas – Bioelektrochemische Produktion von hochreinem Biogas aus Abfallstoffen

Laufzeit: 9/2015 bis 8/2018

Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie Stuttgart
Dr. Andreas Lemmer
andreas.lemmer@uni-hohenheim.de
www.uni-hohenheim.de

KIT, Institut für Angewandte Biowissenschaften
www.iab.kit.edu

Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK)
www.imtek.de

Um Biogas aus einer konventionellen Erzeugung in das Erdgasnetz einspeisen zu können, muss in einem Aufbereitungsverfahren das Kohlenstoffdioxid abgetrennt werden. Vor zehn Jahren gingen die ersten drei Anlagen zur Aufbereitung von Biogas in Deutschland in Betrieb. Inzwischen haben sich die Technologien weiterentwickelt und sind effizienter geworden, so dass die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe „Biomethan als eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende“ bezeichnet. Die derzeit eingesetzte Aufbereitungstechnik ist jedoch sehr aufwendig und nur für große Anlagen geeignet.

Neu entwickeltes Verfahren

Doch ein Team von Wissenschaftlern unter der Leitung von Dr. Andreas Lemmer von der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie an der Universität Hohenheim will das

ändern und auch für kleinere Anlagen nutzbar machen: „Mit unserem Forschungsprojekt haben wir uns das Ziel gesetzt, in einem neuen Prozess erstmals fermentative Verfahren und bioelektrische Systeme miteinander zu kombinieren.“ Die Wissenschaftler untersuchten unterschiedlich zusammengesetzte Speisereste und Großmarktabfälle auf ihre Eignung: Die Abfallstoffe werden zuerst klein gehackt und danach in einer Hydrolyse zu einem Substrat fermentiert. „Ziel ist es, die festen organischen Reststoffe in Alkohole und organische Säuren – insbesondere Essig- und Buttersäure – zu überführen“, wie Lemmer erklärt.

Optimierter Prozess

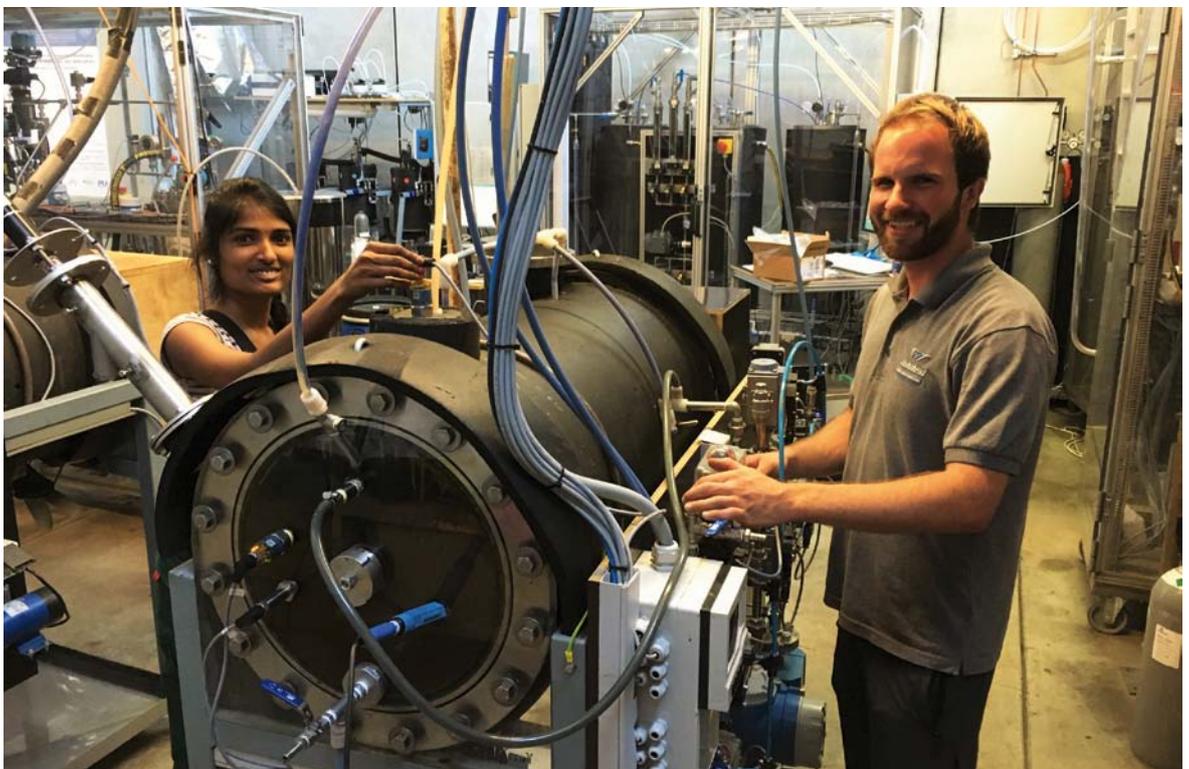
Das in der Hydrolyse gebildete Substrat führen die Wissenschaftler in einem zweiten Schritt einem bioelektrochemischen Reaktor zu,

an dessen Anode die organischen Säuren und die Alkohole des Substrats zu elektrischem Strom, zu Wasserstoff-Protonen und zu Kohlenstoffdioxid aufgeschlossen werden. Projektpartner Prof. Dr. Johannes Gescher vom KIT erläutert: „Kern dieser bioelektrochemischen Microbial-Fuel-Cell (MFC) ist eine Protonenaustauschmembran, über die die Anodenkammer mit der Kathode verbunden ist, in der Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid zu einem hochreinen Biogas umgesetzt werden.“ Überschüssiges CO₂ kann so bereits während der Produktion über die Anodenkammer abgeführt und genutzt werden.

Mit den ersten Versuchen sind die Wissenschaftler zufrieden. Lemmer ist optimistisch, denn „unser neu entwickeltes Verfahren verspricht einen gleichbleibend hohen Methangehalt des produzierten Biogases von über 90 Prozent.“

Projektbearbeiter Padma Priya Ravi und Armin Kini-gadner am Hydrolysefermenter der Versuchsanlage

Bild: Universität Hohenheim





Ultraeffizient im urbanen Umfeld

Ressourcenschonende Produktionstechnologien ohne Emissionen

Wissenschaftler von drei Fraunhofer-Instituten haben ein Leitbild für ultraeffiziente und emissionsfreie Produktion in dicht besiedelten Regionen entworfen. Gemeinsam mit Unternehmen haben sie ganzheitliche Bewertungs-Tools und ressourceneffiziente Produktionstechnologien zur integrativen Verbindung von Wohnumfeld und Arbeitsplatz entwickelt.

Der Trend zur Verstädterung hält auch in Baden-Württemberg weiter an: Städtische Verdichtungsräume wachsen weiter, während der ländliche Raum zumeist Einwohner verliert. Die höchsten Bevölkerungszuwächse werden laut Untersuchungen der Bertelsmann-Stiftung zum demographischen Wandel im Einzugsgebiet größerer Städte erwartet. Sie liegen zwischen 15 und 30 Prozent.

Vor diesem Hintergrund muss gemäß der „Landesstrategie Ressourceneffizienz Baden-Württemberg“ auch die Trennung von industrieller Produktion und Leben und Wohnen in der Stadt auf den Prüfstand gestellt werden.

Als eines von vier Strategiezielen soll das Land zum Leitanbieter von Ressourceneffizienztechnologien werden. Bezogen auf die Industrie wird die Entwicklung hin zu einer „sanften, ultraeffizienten Produktion“ angestrebt. Dabei sollen nicht nur negative Produktionseffekte wie Emissionen minimiert werden. Vielmehr brauche es

„ein neues Leitbild, das industrielle Produktion und urbanes Leben verbindet“.

Ganzheitlicher Ansatz

Hier setzte das Projekt „Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld“ an, „in dem wir gemeinsam mit Unternehmen einen ganzheitlichen Ansatz entwickelt haben, die Effizienz in ihren Unternehmen zu steigern“, wie Projektleiter Dr.-Ing. Jörg Mandel erläutert. Er ist Abteilungsleiter beim Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und hat bei diesem Projekt mit den beiden Fraunhofer-Instituten für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) sowie für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) zusammengearbeitet.

Für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sei es wichtiger denn je, Ressourcen bestmöglich zu verwerten sowie Abfall und Emissionen weitgehend zu vermeiden. Der neue Ansatz der „Ultraeffizienzfabrik“ nehme dieses Be-

streben auf und erweitere es, wie Mandel verdeutlicht. Denn eine Ultraeffizienzfabrik habe das Ziel, „in lebenswerter Umgebung effizient und mit so wenig Material und Energie wie nötig effektiv zu produzieren“.

Aus der Sicht eines Unternehmens gehe es darum, wirtschaftlich zu bleiben und sich dennoch möglichst ökologisch zu präsentieren. Dazu zähle eine ressourcenschonende Produktion mit hoher Recyclingquote, geringem Energieverbrauch sowie wenig Lärm und anderen Emissionen.

Aufbau einer Datenbank

Im ersten Teil des Projekts lag der Schwerpunkt auf dem Aufbau einer Datenbank, in der die Wissenschaftler „Best-Practice-Daten“ anderer Unternehmen hinterlegten. Dabei spielten die Bereiche Material, Energie und Personal eine zentrale Rolle. So sei für die ersten beiden genannten Produktionsfaktoren in einer Ultraeffizienzfabrik das Ziel, dass sie möglichst „im Kreislauf fließen und

Auf dem Weg zur Ultraeffizienzfabrik: Vernetzung und Digitalisierung mit Drohne in der Produktion (links oben)

Bild: R. Bez/Fraunhofer IPA

PROJEKT

Die Ultraeffizienzfabrik – Ressourcenschonende Produktionstechnologien ohne Emissionen im urbanen Umfeld (UltraEff-UP)

Laufzeit: 11/2013 bis 2/2016

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB)

Dr.-Ing. Jörg Mandel
joerg.mandel@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de



Eine fiktive Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld
Graphik: Fraunhofer

immer wieder als Ausgangspunkt der Produktion dienen“, wie der Leiter des Fraunhofer IPA, Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, erklärt. Für den Bereich Energie gebe es Beispiele verbesserter Nutzungskonzepte wie die Verwendung von eigenem Solarstrom für Elektroautos oder die Nutzung von Abwärme. Außerdem könne die Wirksamkeit eines Gesamtsystems mit einer dezentralen Versorgung und mit dem flexiblen Einsatz multipler regenerativer Energiearten verbessert werden. Im Bereich der eingesetzten Materialien gehe es um die direkte Wieder- und Weiterverwendung nicht vermeidbarer Reststoffe durch erweiterte Prozessketten zur

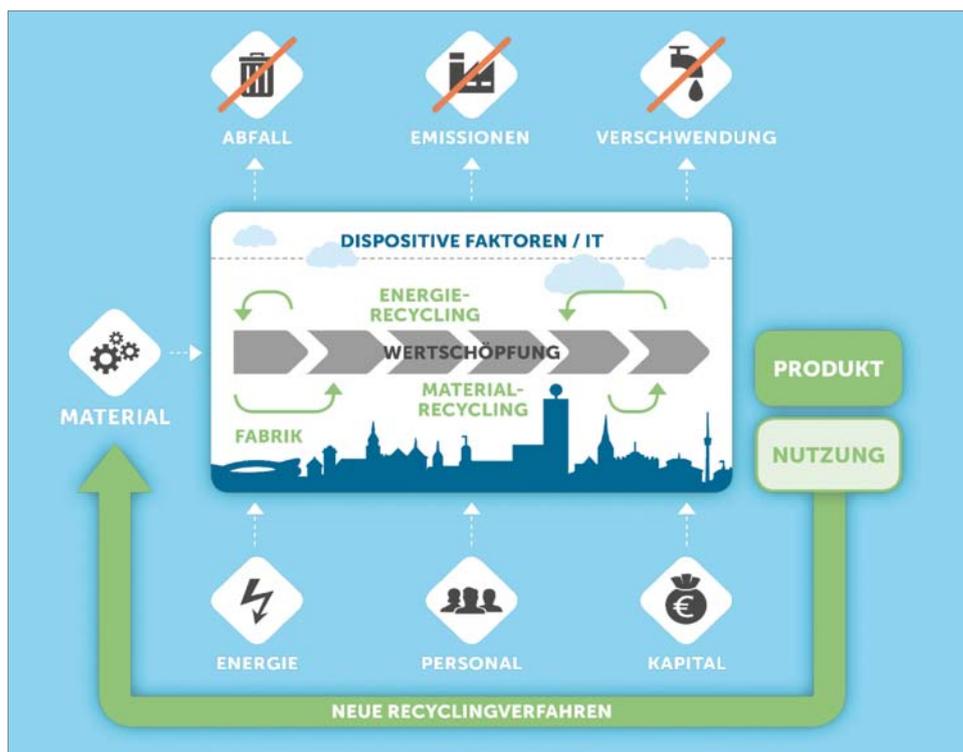
Reaktivierung von Abfällen. Außerdem führt Bauernhansl intelligente Konzepte zur Emissionsvermeidung und -verwertung an. Beim Personal könne man mit der Flexibilitätsanpassung für Mitarbeiter im Bereich der Arbeitszeiten viel erreichen. Auch eine „Shared-Production“, also die Teilung der innerbetrieblichen Ressourcen zwischen mehreren Unternehmen in derselben Fabrik, sei laut Bauernhansl eine organisatorisch vorteilhafte Maßnahme.

Bestandteil einer Stadt der Zukunft

Im Unterschied zu bisher bekannten Benchmarking-Konzepten, bei

denen es vorwiegend um die betriebswirtschaftliche Analyse von Ergebnissen und Prozessen eines Unternehmens mit vergleichbaren Daten seiner Branche geht, rücken die Wissenschaftler beim ganzheitlichen Ansatz der Ultraeffizienzfabrik den Menschen ins Zentrum. Laut Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer vom Fraunhofer IAO seien „ultraeffiziente Betriebe eine große Bereicherung für die Stadt der Zukunft“. Dabei spielen innerbetriebliche Faktoren wie die verstärkte Beteiligung an Entscheidungsprozessen oder die Gleichberechtigung bei flexiblen Arbeitszeiten eine Rolle. Aber es gehe auch darum, das direkte Umfeld des Unternehmensstandorts einzubeziehen und „die Produktion neu zu denken“, wie Bauer erklärt. Faktoren wie die Vereinbarkeit von Familie und Beruf, das Angebot von Kindertagesstätten auch für Nachbarskinder oder beispielsweise die Vermietbarkeit von Firmenautos für Anwohner würden zur Attraktivität eines Arbeitsplatzes beitragen. Gemäß diesem ganzheitlichen Ansatz habe eine Ultraeffizienzfabrik laut Leitbild nicht nur das Ziel, „auf technisch höchstem Niveau effizient und effektiv zu produzieren und dabei die Umweltbelastung zu minimieren oder zu vermeiden“, sondern auch „die zukünftige industrielle Produktion mit dem urbanen Leben in Einklang zu bringen“.

Modell der Ultraeffizienzfabrik mit relevanten Einflussfaktoren als ganzheitlicher Ansatz zur nachhaltigen Produktion



Graphik: Fraunhofer

Zur Thematik, den arbeitenden Menschen zusammen mit seinem Umfeld zu betrachten, haben sich laut der Landesstrategie Ressourceneffizienz inzwischen die sogenannten „urbano-industriellen Symbiosen“ auch als Forschungsgegenstand entwickelt. Diese seien inspiriert von den in der Natur vorkommenden Symbiosen und haben das Ziel, deren Prinzipien „auf die Industrie und das urbane Leben zu übertragen, um hiermit ein nachhaltigeres Wirtschaften zu erreichen“.

Bislang sei in den Arbeiten zu urbano-industriellen Symbiosen jedoch nicht hinreichend berücksichtigt worden, mögliche Austauschbeziehungen zwischen urbanen Räumen und Industrie systematisch in Bezug auf ihre Ressourceneffizienzpotenziale zu untersuchen. Doch darum gehe es im Ansatz der Ultraeffizienzfabrik, wie es in der Landesstrategie heißt: „Die Ressourceneffizienzpotenziale schließen auch soziale Synergismen wie kurze Arbeitswege, hohe Flexibilität von Arbeit und Leben und integrative Verbindung von Mensch und Arbeitsplatz in einer zunehmend digitalisierten Arbeits- und Lebenswelt ein.“

Von der Ist-Analyse zum Reifegradmodell

Nachdem die Wissenschaftler in der ersten Projektphase die Datenbank aufgebaut hatten, testeten sie sämtliche Kriterien an einem fiktiven Beispielunternehmen. Danach suchten sie „Pilotunternehmen im urbanen Umfeld, die sich den Herausforderungen einer Ultraeffizienzfabrik stellen wollen“, wie es in einem Aufruf von Fraunhofer IPA vom Dezember 2014 heißt – mit folgendem Versprechen: „Den Firmen kann nach umfassender Evaluation des Ist-Zustands ein Gestaltungsrahmen samt Handlungsfeldern und Maßnahmen für Einzelverfahren und Produk-

tionlinien vorgeschlagen werden. Dabei werden alle Produktionsfaktoren einbezogen, also auch Organisation, Personal, Planung usw.“ Auf der Basis dieser Ist-Analyse erarbeiteten die Wissenschaftler ein sogenanntes „Reifegradmodell“, das die gegenwärtige Annäherung des Unternehmens an den Idealzustand „Ultraeffizienz“ beschreibt und „dem Pilotunternehmen hilft, entscheidende Verbesserungsfelder zu identifizieren“.

Pilotunternehmen im urbanen Umfeld

Als erstes Unternehmen interessierte sich die Firma Rieger Metallveredelung für das Projekt. Sie hat ihren Sitz am Rande des Dorfs Steinheim am Albuch bei Heidenheim. Mit etwa 40 Mitarbeitern zählt das Unternehmen zu den Vorreitern bei der Entwicklung von Verfahren für die Aluminiumgalvanisierung, die eine hohe Abwasserproblematik mit sich bringen. Aufgrund der ausführlichen Ist-Analyse ihres Unternehmens konnte der Geschäftsführer Franz Rieger beispielsweise „im Handlungsfeld Prozessoptimierung“ feststellen, welche geplanten Maßnahmen bei der Galvanisierung und

beim Abwasser den größten Effekt haben. Mit dem methodischen Ansatz der Ultraeffizienzfabrik sei er „von den eigenen Potenzialen zu neuen Ideen“ geführt worden, bilanziert Rieger.

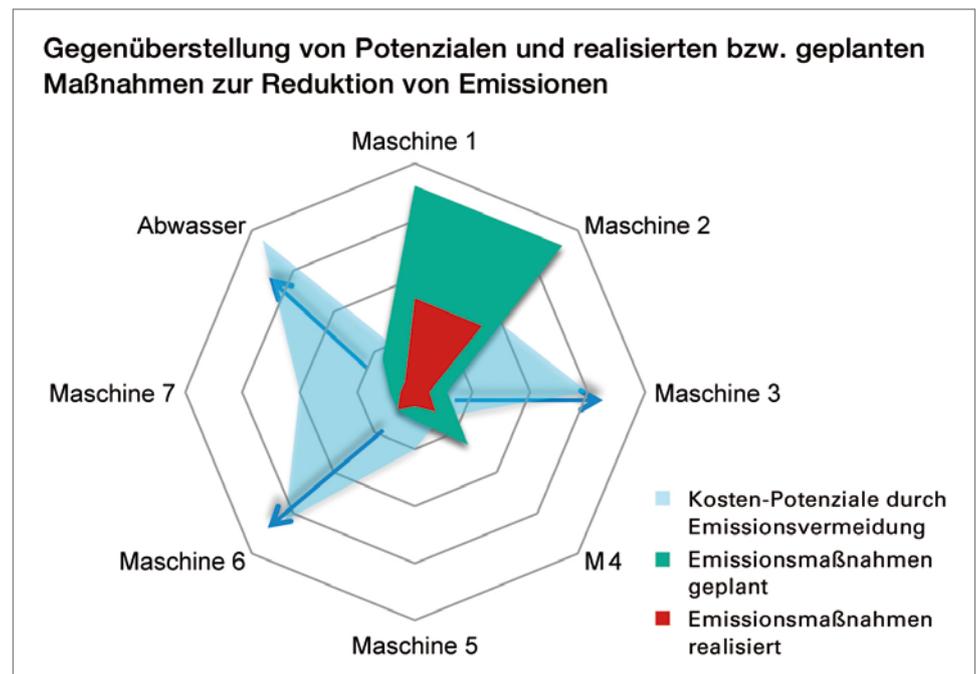
Wie ultraeffiziente Ansätze real aussehen können, zeigt sich am Beispiel Wittenstein in Fellbach, einem Verzahnungstechnikbetrieb, der aufgrund seiner Lage im direkten Umfeld einer Wohnsiedlung bereits hohen Wert auf die „soziokulturelle Nachhaltigkeit“ seiner Produktion legt. Im Zusammenhang mit einem notwendigen Neubau ermittelte das Unternehmen, dass „die Standortattraktivität für neue hoch qualifizierte Mitarbeiter ein zentrales Thema“ sei. Denn als Arbeitgeber würden sie in hartem Wettbewerb um die „technikaffinen, selbstbestimmten und Sinn suchenden Young Professionals“ stehen.

Die Landesstrategie Ressourceneffizienz bewertet diese ersten Beispiele als vielversprechend im Hinblick darauf, dass „Baden-Württemberg hier eine Vorreiterrolle einnehmen“ könne: Das Projekt werde als wichtiger Beitrag für die erfolgreiche Entwicklung einer „Green Economy“ betrachtet.

KONFERENZ

Zum Abschluss des Projekts fand am 9. Dezember 2015 eine ganztägige Konferenz im Goldbergwerk in Fellbach statt. Rund 200 Teilnehmer aus Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Verbänden haben sich mit dem Ansatz der „Ultraeffizienzfabrik“ auseinandergesetzt. Die konzeptionellen Vorträge sowie mehrere praktische Ansätze aus Unternehmen sind als kostenloser Download verfügbar: www.ultraeffizienzfabrik.de

Auf Basis der Potenzialanalysen zeigt dieses Reifegradmodell, wie ein Teil (rot) der Handlungsempfehlungen zur Emissionsvermeidung bei den Maschinen 1 und 2 (grün) realisiert wurde.



Graphik: Fraunhofer

Wiederverwertung statt Import

Forscher planen eine Demontagefabrik zur Sicherung wichtiger Rohstoffe

Als Hochtechnologiestandort ist Baden-Württemberg auf Rohstoffe angewiesen. Das macht die Wirtschaft vom globalen Markt abhängig. Zudem belastet der Abbau oft die Umwelt und das soziale Gefüge vor Ort. Eine Möglichkeit, gleich beide Probleme zu entschärfen, erforscht das Clausthale Umwelttechnik-Institut CUTEC.

Zu den Top-10-Rohstoffen, die für die baden-württembergische Industrie am kritischsten sind, gehören Antimon, Titan und Seltenerdmetalle. Dies ergab eine Studie von 2013, auf deren Basis die „Landesstrategie Ressourceneffizienz“ entwickelt wurde. Kritische Rohstoffe sind von großer Bedeutung für die hiesige Wirtschaft, während sich ihre Abbaugelände in wenigen, politisch mitunter instabilen Staaten konzentrieren.

Baden-Württembergs Ziel: eine möglichst umweltschonende und gesicherte Versorgung mit diesen kritischen Rohstoffen. Ein wichtiges Projekt im Rahmen dieser Strategie ist die Errichtung einer Demontagefabrik im urbanen Raum, die die Sammlung, Aufbereitung und Rückgewinnung von wichtigen Wertstoffen verbessert. Die Musterfabrik soll gleichzeitig als Vorbild zur Etablierung einer effektiveren Kreislaufwirtschaft dienen. Denn die der-

zeitigen Wiederaufbereitungsverfahren haben Schwächen. Sie sind ausschließlich auf Massenmetalle wie Kupfer und Aluminium ausgerichtet und ignorieren meist die genannten Top-10-Rohstoffe. Andererseits ist ein wirtschaftlicher Betrieb der Demontagefabrik nur möglich, wenn dort auch die Massenmetalle aufbereitet werden.

Jan Seelig vom Clausthale Umwelttechnik-Institut (CUTEC) nennt ein weiteres Manko: „Es genügt

PROJEKTE

Demontagefabrik im urbanen

Raum:

1. Erweiterte Stoffstromanalyse

2. Konzeption und Planung

Laufzeiten:

11/2014 bis 5/2015

8/2015 bis 5/2016

Clausthale Umwelttechnik-

Institut GmbH (CUTEC)

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich

cutec@cutec.de

www.cutec.de



Elektroschrott enthält viele brauchbare Materialien.

Bild: ALBA Group

nicht, Materialien nur irgendwie im Nutzungskreislauf zu halten.“ Dieses rein mengenbezogene Recycling sei laut Seelig nur der halbe Weg. Erst wenn die Materialien so aufbereitet sind, dass sie für die ursprünglichen Anwendungsgebiete erneut zur Verfügung stehen, müssten unterm Strich weniger Ressourcen abgebaut werden. Und erst dann wird die Umwelt wirklich geschont und die heimische Wirtschaft unabhängiger vom Rohstoffmarkt. Man spricht in diesem Fall von einer doppelten Entkopplung des Rohstoffverbrauchs.

Rohstoffe aufspüren

„Erst mal mussten wir wissen, in welchen Altgeräten die kritischen Rohstoffe zu finden sind“, beschreibt Jan Seelig die Projektarbeiten. Darum führten die Forscher zunächst detaillierte Stoffstromanalysen durch. Bekannte Größen waren die produzierten Mengen, die Verfahren zur Erstgewinnung von Ressourcen und der gegenwärtige technische Stand der Rückgewinnung. Über die Rohstoffpotenziale sowohl in kommunalen Abfällen als auch im gewerblichen Müll der sechs wichtigsten Branchen Baden-Württembergs waren die Forscher ebenfalls bereits im Bilde. Um diese Kenntnisse zu ergänzen, untersuchten sie weitere kommunale Abfallanteile und gewerbliche Abfälle aus weiteren Wirtschaftszweigen. Teile der erfassten Materialströme eignen sich zur Verarbeitung in der Demontagefabrik. Außerdem richteten die Wissenschaftler ihr Augenmerk auf Recycling-Praktiken, die zu Materialverlust führen können, um solchen Gefahren künftig besser vorzubeugen.

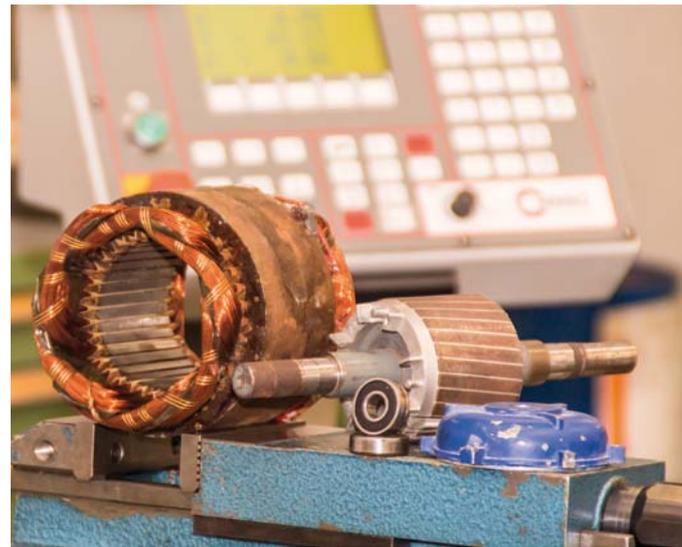
Planung der Fabrik

Auf Basis dieser Erkenntnisse ging die Forschergruppe an die Konzeption und Planung der Demontage-

fabrik. Hier standen gleich mehrere wichtige Punkte auf dem Programm: Lassen sich Komponenten gemäß ihrem Rohstoffgehalt so kennzeichnen, dass schon bei ihrer Anlieferung die Zerlegungsschritte rasch festgelegt werden können? Ein besonders hohes Potenzial an Sekundärrohstoffen aus der Top-Ten-Liste bieten Elektromotoren und Altfahrzeuge. Denn Automobile enthalten heute eine Vielzahl elektrischer und elektronischer Komponenten, bergen aber etwa in Bremsbelägen auch Materialien wie Molybdän. Hier gingen die Experimente ins Detail: So versuchten die Forscher, aus dem Stator eines Elektromotors die Kupferstränge rein mechanisch mittels Zugklemmen zu entfernen – siehe Bilder unten. Das funktionierte nur mit enormem Kraftaufwand, und die Stränge drohten zu reißen. Schließlich stand fest: Für ein effizientes Recycling ist eine chemische oder thermische Vorbehandlung vor der Demontage nötig. Solche Versuche simulierten Verfahren für die zukünftige Fabrik.

Sofortmaßnahmen

Einige Erkenntnisse der Studie können ohne großen Aufwand sofort in Wiederaufbereitungsbetrieben für Elektromotoren umgesetzt werden. Damit lässt sich die Lücke zwischen dem Stand der Forschung und dem Stand der Technik ein gutes Stück verkleinern. „Aber wir hoffen natürlich, dass die Demontagefabrik irgendwann tatsächlich gebaut wird“, meint Seelig. Und zwar am besten dort, wo der Schrott entsteht: im Ballungsraum. Von der zentralen Lage erhoffen sich Land und Forscher zudem mehr Verständnis der Bürger für die Bedeutung und den Ablauf von Recycling – sowie nicht zuletzt eine höhere Bereitschaft, Altgeräte wie vorgesehen zu entsorgen.



Wie lassen sich die Kupferstränge einfach und effektiv vom Stator trennen? Bilder: CUTEK



Versuchsaufbau: Karosserie-Zugklemmen werden an den Kupfersträngen befestigt.



Ergebnis: Mit großem Kraftaufwand hat die Zugklemme die Stränge herausgezogen – und beinahe zerrissen.



Schlacke als wertvolle Ressource

Bio2value – Gewinnung wertvoller Metalle aus Müllverbrennungsschlacke

Mit mechanischen Verfahren lassen sich bisher nur etwa 80 Prozent der Metalle aus Abfallprodukten zurückgewinnen. Tübinger Wissenschaftler entwickeln die methodischen Grundlagen, um die wertvolle Ressource mit einem neuen Laugungsverfahren unter Mithilfe von Mikroorganismen aus Müllverbrennungsschlacke zu gewinnen. Ein Verfahren, das ökonomisch interessant zu werden verspricht.

Eine möglichst effektive Rohstoffverwertung und eine hohe Ressourceneffizienz sind wichtige Bestandteile einer nachhaltigen Entwicklung. Insbesondere die Gewinnung wertvoller Metalle sowie Seltener Erden ist aufgrund gestiegener Weltmarktpreise für diese Rohstoffe von hohem wirtschaftlichem und politischem Interesse. Allerdings landen große Mengen wertvoller Metalle bisher in Müllverbrennungsanlagen, da sie Bestandteil von angelieferten Abfallprodukten wie Verpackungsmaterial und Elektroschrott sind. Wie das Energieunternehmen MVV Energie schätzt, verbleiben noch bis zu 20.000 Tonnen Metall

in den jährlich anfallenden 170.000 Tonnen Schlacke ihres Müllheizkraftwerks (MHKW) in Mannheim. Diese Restschlacken landen häufig auf Mülldeponien oder im Straßenbau – verbunden mit einem Verlust an Metallen.

Wir sollten daher „die Müllverbrennungsschlacke als wertvolle Ressource für wirtschaftlich wichtige Metalle anstatt als Abfallprodukt betrachten“, sagt Professor Dr. Andreas Kappler vom Zentrum für Angewandte Geowissenschaften an der Universität Tübingen. Gemeinsam mit seinen Projektpartnern wollte er feststellen, „ob eine neue mikrobiologische Strategie der Metallgewinnung aus Müllverbrennungsschlacke ökonomisch und ökologisch möglich ist“. Insbesondere zählte die Gewinnung von Seltenen Erden zu den Projektzielen. Auch die Metalle Aluminium, Kupfer, Chrom, Zink und Blei wurden als aussichtsreich für eine wirtschaftliche Wiedergewinnung eingeschätzt. Die Projektpartner setz-

ten sich zum Ziel, die Laugung der Schlacke sowohl als Feststoff mit klassisch verwendeten Laborbakterien zu untersuchen als auch neuartige Mikroorganismen aus der Natur zu gewinnen, damit eine Laugung unter optimalen Bedingungen stattfinden kann.

Beteiligt an dem Projekt „Bio2value“ waren drei verschiedene Partner, die jeweils ihre individuellen Kompetenzen einbrachten: MVV Energie mit ihren Erfahrungen in den Prozessen der Müllverbrennung, die Arbeitsgruppe Geomikrobiologie von Professor Kappler mit ihrem Know-how über die mikrobielle Aufarbeitung von Mineralen, Erzen und Schlacken sowie die Tübinger Novis GmbH als Spezialist für das sogenannte Upscaling von industriellen Anlagen.

Biolaugung schon bei den Römern

Als herkömmliche Methoden zur Metallgewinnung aus Feststoffen sind Flotation, Röst- und Schmelz-

Aus dem stark metallhaltigen, sauren Fluss Rio Tinto in Südspanien stammen die Sedimente für die Laugungsversuche.

Bild: Riotinto2006, Wikimedia

PROJEKT

Bio2value – Gewinnung wertvoller Metalle aus Müllverbrennungsschlacken mit Hilfe von Mikroorganismen

Laufzeit: 8/2014 bis 6/2015

Universität Tübingen
Angewandte Geowissenschaften,
Geomikrobiologie

Prof. Dr. Andreas Kappler
andreas.kappler@uni-tuebingen.de
www.uni-tuebingen.de

Novis GmbH, Tübingen
www.novis.de

Bild: Universität Tübingen



Sortiertes Schlackenmaterial aus der Müllverbrennungsanlage

verhüttung bekannt. Sie sind allerdings sehr kosten- und energieintensiv und können zu großen Umweltschäden führen. „Mikroorganismen dagegen können kleinste Mineralpartikel angreifen und die darin befindlichen Metalle freisetzen“, erklärt Kappler. Dieser Prozess werde heutzutage allgemein als mikrobielle Feststofflaugung oder auch als Biolaugung – englisch Bioleaching – bezeichnet.

Eine Untergruppe der Biolaugung ist das „Biomining“, welches mittels Bakterien und Extraktionsflüssigkeiten Metalle aus metallarmen Mineralen gewinnt. Biomining lässt sich bis ins antike Rom zurückverfolgen. Als bekanntestes Beispiel gilt der südspanische Fluss Rio Tinto, mit Hilfe dessen Wasser die Römer Kupfer gewannen. Dieser markant rote und stark saure, metallhaltige Fluss ist so giftig, dass das Wasser weder trinkbar ist, noch Fische darin leben können. Aber er enthält die Bakterien, die die Erze aufschließen. Im Bergbau wird Bioleaching auch heute erfolgreich angewendet, zum Beispiel zur kommerziellen Kupfergewinnung aus Sulfiderzen in Chile.

Feststoff-Laugung

Wie funktioniert nun eine herkömmliche Biolaugung? Ganz entscheidend sei es, erklärt Professor Kappler, „zu wissen, welche elementare und mineralogische Zu-

sammensetzung ein Feststoff hat und in welchen Vergesellschaftungen die Metalle miteinander vorkommen, um eine wirkungsstarke Biolaugung zu erreichen“. Daher müsse jeder Feststoff vor der Metallaugung „genauestens mineralogisch und geochemisch beschrieben werden, um das Potenzial der Biolaugung zu bestimmen und eine passende Laugungsstrategie zu entwickeln“. Als chemischer Prozess findet dabei eine Redoxreaktion statt, bei der der Feststoff als Reaktionspartner Elektronen auf die Bakterien in der Laugungsflüssigkeit überträgt.

Die Wissenschaftler bestimmen daher vor einer Biolaugung die Mengen an redox-aktiven (elektronenreichen) Mineralanteilen im Feststoff wie beispielsweise Schwefel, Eisen, Mangan und organischer Kohlenstoff. Abhängig davon legen sie die Art der verwendeten Bakterien und die Zugabe von Laugungshilfsstoffen fest. Oft werden saure Milieus zur Biolaugung genutzt, da so die freigesetzten Metalle in Lösung bleiben. Geeignete Methoden zur Gewinnung der Metalle sind beispielsweise die Ausfällung oder die Zementierung.

Erste Laugungsversuche

Eine der am häufigsten zur Biolaugung genutzten Bakterienarten ist „Acidithiobacillus ferrooxidans“ mit den Eigenschaften acido-



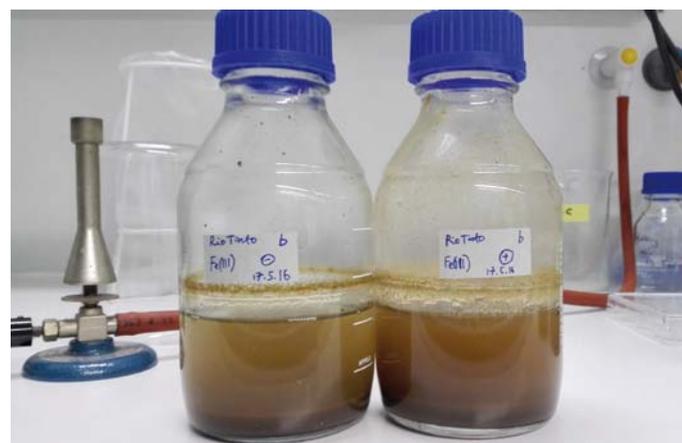
Bei niedrigem pH-Wert der Extraktionssäure kann es zu Verstopfung und zu Problemen beim Ernten der Laugungsflüssigkeit kommen.

Bild: Universität Tübingen

Bakterielle Laugung: Verschiedene Umweltbakterien, gewonnen aus den Flusssedimenten des Rio Tinto, wurden auf Schlacke aus der Müllverbrennungsanlage Mannheim herangezogen und ihnen eine Reihe von Elektronenspendern und -empfängern zugesetzt, um bestimmte funktionale Mikroorganismen zu stimulieren (bei 28 °C, dunkler und saurer Umgebung, pH = 3). T0: sterile Kontrolle, T1: gelöstes Eisen (Fe²⁺), T2: Feststoff-Eisen (Fe III), T3: elementarer Schwefel (S⁰), T4: Thiosulfat (S₂O₃²⁻)

Eisenoxidierende Bakterienmischungen aus Rio-Tinto-Sedimenten wurden an die Metallkonzentrationen der Müllverbrennungsschlacke angepasst und mit gelöstem Eisen (Fe²⁺) stimuliert.

Bilder: Universität Tübingen



phil (säureliebend) und autotroph, das heißt, sie nutzt Kohlenstoffdioxid als Kohlenstoffquelle für Wachstum. Die Bakterienart oxidiert Eisen(II) oder elementaren Schwefel nur unter sauerstoffhaltigen Bedingungen. Die ersten Versuche mit den eingesetzten Bakterien dienten den Wissenschaftlern dazu, die chemischen Laugungsparameter der Metalllaugung von MHKW-Schlacke zu bestimmen. Im Verlauf des Projekts stellte sich in Gesprächen mit der MVV heraus, dass die Müllverbrennungsanlage große Mengen eines metallhaltigen Säuregemischs als Abfallprodukt ihrer Rauchgaswäsche produziert. Die Wissenschaftler testeten daraufhin in einem weiteren Schritt dieses industrielle Säuregemisch erfolgreich als Laugungsflüssigkeit.

Bakterielle Laugung

Im Unterschied zur herkömmlichen Biolaugung, mit der oft nur ein bestimmtes Metall gelaugt wird, weist die Müllverbrennungsschlacke eine Vielzahl unterschiedlicher, wertvoller Metalle auf. Um diese gewinnen zu können und neue mikrobielle Laugungswege zu finden, beschafften die Wissenschaftler einige Sedimentproben aus dem hochgradig metallhaltigen und sauren Rio Tinto – jenem

Fluss, den schon die Römer zur Kupfergewinnung nutzten.

Aus den Sedimentproben gelang es dem Projektteam um Professor Kappler, sogenannte Umweltbakterienkonsortien (Gemeinschaften von Umweltbakterien) anzuziehen. „Wir wollten sie im Labor so kultivieren, dass sie perfekt an die hohen Metallkonzentrationen angepasst sind und unter stark sauren Bedingungen wachsen und aktiv sind“, erklärt Kappler und fährt fort: „Das Wachstum verschiedener Umweltbakterienkonsortien mit unterschiedlichen metabolischen Eigenschaften stimulierten wir durch die Zugabe verschiedener Zusätze. Zum Beispiel gaben wir elementaren Schwefel oder Thiosulfat zu, um das Anwachsen von Schwefel oxidierenden oder reduzierenden Bakterien zu stimulieren“ (vgl. Abb. zur bakteriellen Laugung).

Die ersten dieser Versuche benötigten fast sechs Wochen, um die Umweltbakterienkonsortien in stabile Kulturen zu bekommen. In späteren Versuchen reduzierte sich die Wachstumszeit auf wenige Tage.

Kleine Testanlage

Unter Berücksichtigung der gewonnenen Projektdaten und der durchgeführten Versuche baute der Projektpartner Novis den Pro-

totyp einer Miniaturlaugungsanlage, die für mehrere Kilogramm Schlacke ausgelegt ist. Die ersten Versuche dauerten länger als ursprünglich geplant, bis die ungewollte Gelierung der stark silikathaltigen Schlacke unter längerer Einwirkung der säurehaltigen Lösung optimiert war. Dennoch war Novis-Geschäftsführer Dr. Thomas Helle mit den Ergebnissen zufrieden: „Die Grundlagen des Verfahrens, insbesondere die Laugung mit Säuren, die bei der Rauchgasreinigung anfallen, sind gelegt und haben sich als praktikabel erwiesen.“

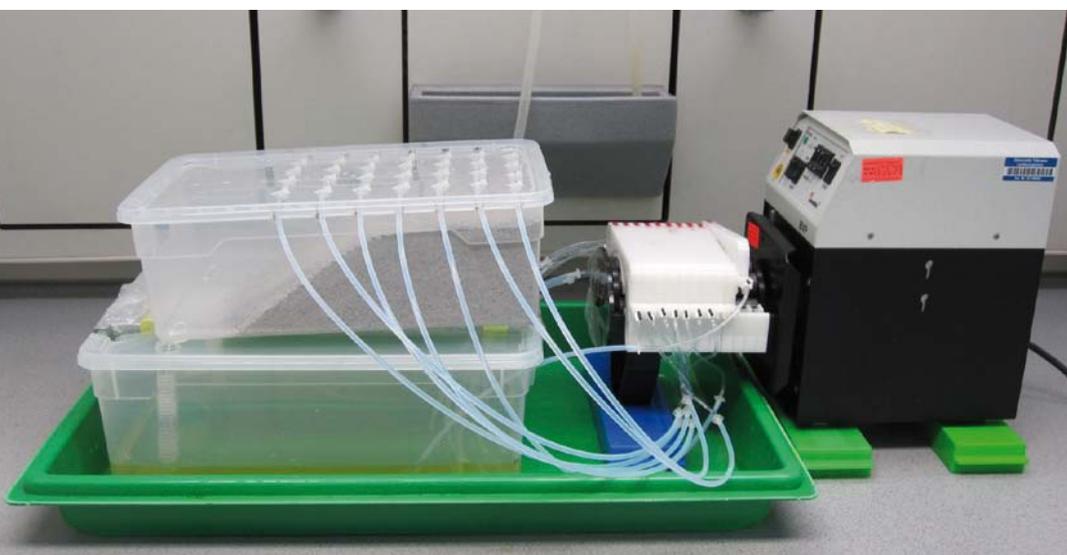
Ökonomisch interessant

Wie die abgeschlossenen Versuchsreihen zeigten, habe die wirtschaftliche Laugung von Müllverbrennungsschlacke ein hohes Potenzial zur Umsetzung, fasst Projektleiter Kappler die Projektergebnisse zusammen, denn „bis zu 340 Euro absolute Metallwerte je Tonne Schlacke stellen einen interessanten Wert dar“. Realistischerweise und unter Zugrundelegung aller bereits bekannter Verarbeitungsparameter könne laut Kappler im Idealfall mit „einem Mehrwert von bis zu 100 Euro je Tonne Schlacke“ gerechnet werden. Vor allem die Laugung der Metalle Aluminium, Vanadium und Titan erscheine in Relation zum jeweiligen Weltmarktpreis ökonomisch interessant.

Die Anwendung in baden-württembergischen Müllverbrennungsanlagen sehen die Projektpartner MVV und Novis als zukunftsreiches Betätigungsfeld, in dem sie künftig aktiv werden wollen. Die Projektergebnisse stießen auch bundesweit auf Interesse, so dass die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit Hilfe des Bundesministeriums für Wirtschaft und Industrie nahtlos fortgeführt werden können.

Miniatur-Laugungsanlage, die bis zu zwei Kilogramm Schlacke mit bis zu fünf Litern Laugungsflüssigkeit laugt.

Bild: Novis GmbH



Wasserstoff-Infrastruktur

Förderprogramme für regenerativ erzeugten Wasserstoff

Die Nutzung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff als Energieträger hat große Potenziale, die Umsetzung mehrerer umweltpolitischer Zielstellungen des Landes voranzubringen. Als kohlenstofffreier Energieträger kann Wasserstoff einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und zum Klimaschutz leisten. Das Land hat mehrere Förderprogramme aufgelegt.

Der Einsatz von Wasserstoff in Brennstoffzellen führt zu einer Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduzierung von Schadstoffemissionen, wenn Wasserstoff mit Hilfe regenerativer Energien hergestellt wird. Dabei sind Synergieeffekte mit der Energiewirtschaft zu erwarten, für die Wasserstoff ein wichtiger Energiespeicher für fluktuierende Energiemengen aus Windkraft und Photovoltaik werden kann.

Wasserstoffantriebe

Im Hinblick auf die zunehmende Verbreitung der Elektromobilität auch in Form von Brennstoffzellenfahrzeugen gilt der Mobilitätssektor als einer der wichtigsten Märkte für die Nutzung von „grünem“ Wasserstoff.

Voraussetzung für die Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist der begleitende Aufbau eines Netzes von Wasserstofftankstellen sowie von Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff. Die technologischen und betriebswirtschaftlichen Herausforderungen sowie die hohen Investitionskosten stellen für potenzielle Betreiber jedoch ein hohes Risiko dar, weil die noch sehr kleine Zahl von Fahrzeugen keine quantitativ bedeutsame Nachfrage erzeugt.

H2BW

Das „Innovationsprogramm Wasserstoffinfrastruktur Baden-Württemberg H2BW“ stellte daher einen Anreiz dar, über Forschungs-

und Entwicklungsprojekte die Technologie im Hinblick auf Sicherheit, Nutzerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit weiter zu verbessern, die Praxis-tauglichkeit in Feldversuchen zu demonstrieren sowie in neue Anlagen zu investieren. Das Förderprogramm ergänzte die Aktivitäten des Bundes und der Industrie (vor allem CEP und H₂-Mobility) zum Aufbau einer Grundversorgung mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff. Zudem sind mittel- bis langfristig zusätzliche Energiespeicher zur Integration der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in das Energieversorgungssystem erforderlich. Dabei stellt die Umwandlung von Stromüberschüssen in Wasserstoff („Power-to-Gas“) eine wichtige Option dar.

Power to Hydrogen

Im Rahmen des Förderprogramms „Power to Hydrogen“ werden daher Vorhaben unterstützt, die die effiziente und wirtschaftliche Erzeugung von größeren Wassermengen aus erneuerbaren Energien, deren Speicherung und Verteilung sowie die Infrastrukturplanung (Pipelines, Verteilung an Endkunden, Geschäftsmodelle) vorbereiten, entwickeln und erproben. Zudem sollen die Sicherheitsaspekte bei der Lagerung und Abgabe großer Wassermengen geprüft und den Bedürfnissen angepasst werden. Ziel der Förderung ist unter anderem die Weiterentwicklung von Technologien bis hin zur

Marktreife und der Aufbau einer grundlegenden, wirtschaftlichen und großtechnischen Wasserstoff-erzeugung, -speicherung und -verteilung im Land sowie deren Akzeptanz und Nutzung zu erhöhen. Demonstrationsanlagen sollen zu marktreifen Anlagemodellen weiterentwickelt werden.

Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft

Im Zuge einer neuen Ausschreibung werden daher künftig „Studien zum Aufbau und zur Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft“ gefördert, aus denen Projektideen zur Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien als treibende Kräfte für den schrittweisen Aufbau einer „grünen Wasserstoffwirtschaft“ in Baden-Württemberg generiert werden können. Für eine kurz- und mittelfristige Marktdurchdringung wurden sektorübergreifend insbesondere wasserstoffgetriebene Busse im ÖPNV, leichte Nutzfahrzeuge aus der Logistik und im Arbeitsbetrieb sowie Pkw-Flotten als erste marktfähige Einsatzgebiete identifiziert. In der Wertschöpfungskette werden diese Einsatzbereiche als besonders vordringlich gesehen.

Die Schwerpunkte orientieren sich an marktaktivierenden Maßnahmen für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien, welche die Ziele und Anforderungen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP 2) betreffen.

PROJEKTE

Förderprogramme des Landes zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft

Karlsruher Institut für Technologie
Projekträger Karlsruhe
Baden-Württemberg Programme (PTKA-BWP)
Dr.-Ing. Stefan Wigger
stefan.wigger@kit.edu
www.ptka.kit.edu/bwp

Tanken, forschen, informieren

Neue Wasserstofftankstelle in Ulm: Praxisnähe für die Forschung

Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb haben einige Pluspunkte: Sie sind schnell mit Wasserstoff betankt, besitzen eine große Reichweite – und aus ihrem Auspuff kommt nur Wasserdampf. Eine neue H₂-Tankstelle am ZSW in Ulm markiert einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur. Gleichzeitig ist sie ein Forschungsfeld zur Verbesserung der Zukunftstechnik.

Mitte Juli 2016 wurde die H₂-Tankstelle am Ulmer Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) offiziell eingeweiht. Seither werden dort Brennstoffzellenfahrzeuge wie das institutseigene „F-Cell“-Fahrzeug von Daimler innerhalb weniger Minuten betankt und kommen mit einer Füllung auf eine Reichweite von 400 bis maximal 700 Kilometern. Das Tankstellennetz muss also längst nicht so dicht geknüpft sein wie bei der herkömmlichen E-Mobilität. Schon heute stehen bundesweit Wasserstoff-Zapfsäulen zur Verfügung oder sind im Bau. Auch die Zahl der Brennstoffzellen-Fahrzeuge auf den Straßen steigt. Während Daimler, Hy-

undai & Co. ihre Modelle optimieren, gibt es rund um die Betankung noch Forschungsbedarf. Die H₂-Tankstelle am ZSW ist deshalb nicht nur Service-Station, sondern dient gleichzeitig als Testlabor für Forschungsprojekte.

Sicherheit und Qualität

Logisch: Wasserstoff-Zapfsäulen müssen vor ihrer Inbetriebnahme abgenommen und danach regelmäßig gecheckt werden. Außerdem müssen die Betreiber die Qualität des Wasserstoffs kontinuierlich überwachen. Denn bei dessen Herstellung und Transport können Verunreinigungen auftreten, etwa durch Kohlenmonoxid oder Schwefelverbindungen – schlecht für die emp-

findlichen Brennstoffzellen. Nicht jede Tankstelle kann auf ein eigenes Forschungslabor wie das ZSW zugreifen, um die Einhaltung der Qualitäts- und Sicherheitsstandards zu gewährleisten. Alltagstaugliche Verfahren sind gefragt – und so hat das ZSW zusammen mit einem Partner eine mobile Apparatur für die Probenabnahme entwickelt. Das Prüfmodul integriert alle Sicherheitseinrichtungen und kann an jeder H₂-Tankstelle eingesetzt werden.

Kostengünstige Diagnose

Zweiter Schwerpunkt ist die Analyse des Wasserstoffs bei Anlieferung, Entnahme und Betankung. Hier hat das Forschungsteam ein Diagnoseverfahren kreiert, das spezielle Brennstoffzellen als Sensoren nutzt. Auch herkömmliche Gasanalysatoren sind seit Ende 2015 im Probetrieb. Neben Kohlenmonoxid und Schwefelverbindungen können auch andere Spurengase identifiziert werden. „Unsere Versuche haben gezeigt, dass damit ein kostengünstiges Qualitäts-Monitoring möglich ist“, berichtet der ZSW-Projektleiter Markus Jenne. Das am ZSW entwickelte Verfahren sei in der Lage, die bisher sehr aufwendige und teure Analysetechnik zu ersetzen. Zur Freude der Gaslieferanten, die damit die Einhaltung der Grenzwerte einfacher nachweisen können. Zur Information potenzieller Nutzer haben die Projektpartner unter anderem eine Infosäule an der Ulmer Tankstelle aufgestellt.

PROJEKT

Wasserstofftankstelle Ulm – Begleitforschung zur Analyse des Betankungsprozesses und der Wasserstoffqualität
 Laufzeit: 5/2015 bis 11/2016
 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW)
 Markus Jenne
 markus.jenne@zsw-bw.de

Im Juli 2016 wurde die Wasserstofftankstelle am ZSW in Ulm feierlich eröffnet. Links im Bild die Infosäule. Der Wasserstoff strömt mit einem Druck von 700 bar in den Tank des Brennstoffzellen-Fahrzeugs.

Bild: ZSW



Qualität und Quantität im Fokus

Erweiterung der Wasserstoff-Infrastruktur in Freiburg

Der Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft erfordert eine genaue Qualitäts- und Mengenerfassung bei Herstellung und Vertrieb. Bei der vom Fraunhofer ISE in Freiburg betriebenen Elektrolyseanlage mit Speicher und Tankstelle wurden von der Hochschule Offenburg und der Sick AG entwickelte Technologien zur Überwachung von Produktion und Abgabe von Wasserstoff im Zuge einer Testreihe geprüft.

Als „Eckstein der baden-württembergischen Wasserstoff-Infrastruktur“ bezeichnet Projektleiter Christopher Voglstätter die Pilotanlage im Industriegebiet Freiburg Nord: Hier betreibt das Fraunhofer ISE seit 2012 eine PEM-Elektrolyse-Anlage mit Wasserstoff-Tankstelle als Forschungsplattform. Die mit Unterstützung des Landes erweiterte Anlage diente zuletzt der Entwicklung und Erprobung von Messinstrumenten zur eichfähigen Mengen- und Qualitätsmessung von Wasserstoff.

An dem Verbundprojekt waren neben dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg ein Team der Hochschule Offenburg und Entwickler der Sick AG beteiligt. Der in Waldkirch ansässige Hersteller von Sensortechnik hat zur Wasserstoff-Mengen-

messung in Erzeugungsanlagen einen konventionellen Ultraschall-Zähler getestet. Parallel wurde ein verändertes Pfaddesign untersucht, das für die sehr hohe Schallgeschwindigkeit von H₂ besser geeignet ist. Laut Markus Haas, dem Projektleiter von Sick, hat sich dieses Versuchsmuster auf dem PTB-Prüfstand als geeignet erwiesen. Allerdings sei es im vorgegebenen Zeitrahmen des Forschungsprojektes nicht mehr möglich, die erforderliche Zulassung zu erreichen.

Im Feldtest befindet sich hingegen eine von Sick entwickelte Analytik-Box, die Verunreinigungen von PEM-Elektrolyse-Anlagen „auf dem für die Mobilität notwendigen Niveau online und mit schneller Reaktionszeit überwachen kann“. An der Hochschule Offenburg hat eine Forschergruppe um Prof. Ul-

rich Hochberg einen Demonstrator für ein Gerät zur eichfähigen Messung von Wasserstoffabgabemengen an Tankstellen entwickelt. Es basiert auf dem Differenzdruckverfahren und stellt einen „neuen Ansatz zur eichfähigen Mengenummessung“ dar. Umfangreiche Tests am selbst entwickelten gravimetrischen Teststand belegten laut Voglstätter „Eignung und Präzision des Funktionsmusters“.

Kapazität erhöht

Im Rahmen des Projekts wurde aber nicht nur an der Analytik der Freiburger Anlage gefeilt. Um den gestiegenen Anforderungen durch neue Brennstoffzellen-Fahrzeuge gerecht zu werden, hat das ISE die Kapazität von Speichern und Verdichtern erweitert und Redundanz für eine höhere Ausfallsicherheit geschaffen.

PROJEKT

Erweiterung der Wasserstoff-Infrastruktur in Freiburg
 Laufzeit: 5/2015 bis 6/2016

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
 Christopher Voglstätter
 christopher.voglstatter@ise.fraunhofer.de
 www.ise.fraunhofer.de

Projektpartner:
 Hochschule Offenburg (HSO)
 Prof. Dr. Ulrich Hochberg
 ulrich.hochberg@hs-offenburg.de
 www.hs-offenburg.de

Sick AG, Waldkirch
 Markus Haas
 markus1.haas@sick.de
 www.sick.com

Links: Das lange Speicherelement wird mittels Stapler und T-Träger eingeschoben
 Rechts: Betestung des Demonstrators der Hochschule Offenburg an der Wasserstoff-Tankstelle

Bilder: Fraunhofer ISE





Belastungsgrenzen für Stickstoff

Bund und Länder machen sich auf den Weg, den Eintrag zu reduzieren

Zuviel reaktiver Stickstoff schädigt Natur und Umwelt. Bund und Länder haben es sich darum zum Ziel gesetzt, den Eintrag zu verringern. Um dies zu erreichen, müssen zunächst die Belastungsgrenzen festgesetzt werden.

Stickstoff kommt als elementarer Stickstoff (N₂), aber auch als reaktiver Stickstoff in Form von Ammoniak, Nitrat, Lachgas oder anderen Verbindungen als Gas, gelöst oder in Feinstaub vor. Reaktiver Stickstoff ist ein notwendiger Nährstoff für alle Lebewesen. Er belastet aber auch die Umwelt. Zu rund 55 Prozent stammen die Emissionen an reaktivem Stickstoff aus der Landwirtschaft. 23 Prozent emittiert die Industrie und 22 Prozent der Verkehr.

Erhöhte Stickstoffgehalte gelten als gesundheitsschädlich, sei es in Form von Nitrat im Grundwasser oder in Form von Stickoxiden in der Luft. Über die Atmosphäre eingetragener Stickstoff düngt außerdem flächenhaft, kontinuierlich und ungezielt die Vegetation. Zwar profitieren Landwirtschaftsflächen, Parkanlagen, Gärten und ein Großteil der Forstflächen von diesen – zu

70 Prozent im Land selbst „erzeugten“ – flächenhaften Einträgen. Die Artenvielfalt aber leidet. Kein anderer Stoff im Periodensystem der Elemente wirkt ähnlich breit auf die Pflanzenwelt. Und Lachgas verstärkt auch noch den menschengemachten Treibhauseffekt.

Herausforderungen für Politik und Praxis

Seit 1992 verschärfte Abgasnormen und Immissionsgrenzwerte wie die Normen EURO 1 bis EURO 6 vermindern zwar immer stärker die Stickstoff-Emissionen aus Industrie und Verkehr. Emissionen aus der Landwirtschaft wirksam zu begrenzen, stellt uns aber vor mindestens ebenso große Herausforderungen. Damit Politik und Praxis auch die Emissionen aus der Landwirtschaft und damit die Einträge in die Umwelt wirksam verringern können, ist zunächst die Wissenschaft gefragt:

Welche Maßstäbe für Belastungsgrenzen werden noch benötigt und welche Kontrollinstrumente müssten eingesetzt werden?

Derzeit nimmt StickstoffBW rund 100 stickstoffempfindliche Pflanzenarten unter die Lupe. Denn besonders empfindliche Ökosysteme und deren Arten brauchen quasi-natürliche Stickstoffverhältnisse ohne erhöhte Einträge aus der Atmosphäre. Bei uns haben wir aber solche Verhältnisse heute kaum noch. Naturnahe Verhältnisse wiederherzustellen, verlangt große Anstrengungen und wohl ein gestuftes Vorgehen über viele Jahre.

StickstoffBW erarbeitet deshalb aktuell die Grundlagen für eine erste Stufe an Belastungsgrenzen, analog zur „EURO-1-Abgasnorm“. Kritische Konzentrationen in der Luft (Critical Level) und kritische Depositionen (Critical Loads) ziehen die ökologischen Leitplanken

PROJEKT

StickstoffBW – Stickstoffhaushalt
Baden-Württemberg

LUBW Landesanstalt für Umwelt,
Messungen und Naturschutz 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

Typen von Belastungsgrenzen für die flächenhafte Bewertung des Stickstoffhaushalts

Bezeichnung	Bedeutung	Differenziert nach (vereinfacht)	Flächenbezug	Dimension
Critical Level (CLe)	Kritische Konzentration in der Luft oder im Wasser	schutzguttypisch: Gesundheit; niedere oder höhere Pflanzen (Sättigung der Vegetation); Gewässer(schutzgebiets)typ	flächendeckend	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$] oder [mg/l]
Critical Load (CL)	Kritische Deposition in Ökosysteme	standort- und lebensraumspezifisch; mit oder ohne Meeresschutz (Sättigung der Böden)	Wald und naturnahes Offenland	[kg/ha pro Jahr]
Critical Surplus (CS)	Kritischer Überschuss der Agrarfläche	schutzgut-, gebiets-, betriebs- und produkttypisch; Emissionen in die Atmosphäre und Hydrosphäre	Agrarflächen	[kg/ha pro Jahr]

für empfindliche Ökosysteme (siehe Tabelle). Beide Kategorien sind international eingeführt.

Es gilt hier, die für Naturschutzfragen sehr weit differenzierten Critical Loads noch an die landespezifischen Standortverhältnisse anzupassen. Die zugehörigen Projekte laufen voraussichtlich bis zum Jahr 2020. Critical Levels für Ammoniak wiederum sind vergleichsweise einfach anwendbar und liegen für empfindliche niedere bis höhere Pflanzen bei 1 bis 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mikrogramm pro Kubikmeter).

Neue Maßstäbe

Solche Belastungsgrenzen für Stickstoff einzuhalten, wird künftig für Genehmigungen von Betrieben, Anlagen und Straßen mit entscheidend sein. Sind Critical Levels oder Critical Loads bereits überschritten, wird man als weitere Grenze

die sogenannte „zulässige Zusatzbelastung“ für geschützte Gebiete anwenden. Für diese „zulässige Zusatzbelastung“ werden aktuell auf europäischer Fachebene jährliche Obergrenzen zwischen 14 und 300 Gramm pro Hektar diskutiert. Solange solche Obergrenzen nicht gesetzlich verankert sind, entscheidet letztlich die Rechtsprechung über die Zulässigkeit von Einträgen und damit auch von geplanten emittierenden Vorhaben. Solche Obergrenzen anzuwenden, würde bedeuten, dass in betroffenen Gebieten auch kleinere landwirtschaftliche Tierhaltungen nur noch nach strengen Anforderungen wirtschaften könnten und der Düngereinsatz erheblich einzuschränken wäre. StickstoffBW will daher neue sachgerechte Maßstäbe entwickeln, die Umwelt-, Naturschutz, Landwirtschaft und

Tierwohl im Land vereinen: mit Hilfe des sogenannten „kritischen Überschusses“ (Critical Surplus). Ausgehend von der aktuellen bundesweiten Diskussion, die Hoftorbilanz für große Tierhaltungsbetriebe düngerechtlich einzuführen, sollen kritische Überschüsse fachgerecht ermittelt werden, beispielsweise für nährstoffarme Mähwiesen oder für das Allgäu. Die derzeit noch sehr komplizierten und aufwendigen Einzelfallprüfungen für Genehmigungen können dann in den betroffenen Gebieten mittelfristig von der Verpflichtung zur Naturalbuchhaltung (Selbstüberwachung) und der Einhaltung eines kritischen Überschusses abgelöst werden.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ = Mikrogramm pro Kubikmeter
 mg/l = Milligramm pro Liter
 kg/ha = Kilogramm pro Hektar und Jahr

Gewöhnlicher Löwenzahn breitet sich in Wiesen und Weiden als Folge hoher Stickstoffdüngung aus.

Bild: M. Witschel



Zeckenaufkommen vorhersehbar?

Einfluss von Klima, Wirten und Pathogenen auf die Aktivitäten von Zecken

Weltweit nimmt die Zahl der von Zecken übertragenen Krankheiten zu. Welche Rolle ökologische Faktoren dabei spielen, sollte im Rahmen eines Verbundprojekts unter Leitung des KIT geklärt werden. Ziel: die Entwicklung und Einführung geeigneter Präventions- und Kontrollstrategien.

PROJEKT

Untersuchung der Ökologie von Zecken als Überträger von Krankheitserregern in Baden-Württemberg in Bezug auf Habitat, Landnutzung, Wirtstiere und Klima

Laufzeit: 4/2012 bis 7/2015

Karlsruhe Institut für Technologie

Abt. Ökologie und Parasitologie

Dr. Trevor Petney

trevor.petney@kit.edu

Institut für Geographie und

Geoökologie

Dr. Stefan Norra

stefan.norra@kit.edu

Landesgesundheitsamt

RP Stuttgart, Ref. 93, Allgemeine

Hygiene und Infektionsschutz

Dr. Rainer Oehme

Rainer.oehme@rps.bwl.de

Universität Hohenheim

Institut für Zoologie

Prof. Dr. Johannes Steidle

jsteidle@uni-hohenheim.de

Die am häufigsten von Zecken übertragene Krankheit ist die Lyme-Borreliose, häufig erkennbar an der sogenannten Wanderröte, die sich etwa drei Wochen nach der Infektion kreisförmig um den Einstich herum bilden kann. Werden die Erreger nicht mit einem Antibiotikum abgetötet, können Spätfolgen wie Gelenkentzündungen, Herzrhythmusstörungen oder Hautveränderungen auftreten. Auch die Frühsommer-Meningoenzephalitis, eine Entzündung der Hirnhaut, die gelegentlich gar tödlich endet, wird durch einen Zeckenstich übertragen. Es wäre also von Vorteil, wenn man die Verursacher in den Griff bekommen könnte. Dazu ist es aber notwendig, das Verhalten der Zecken und ihre Lebensumstände genau zu kennen.

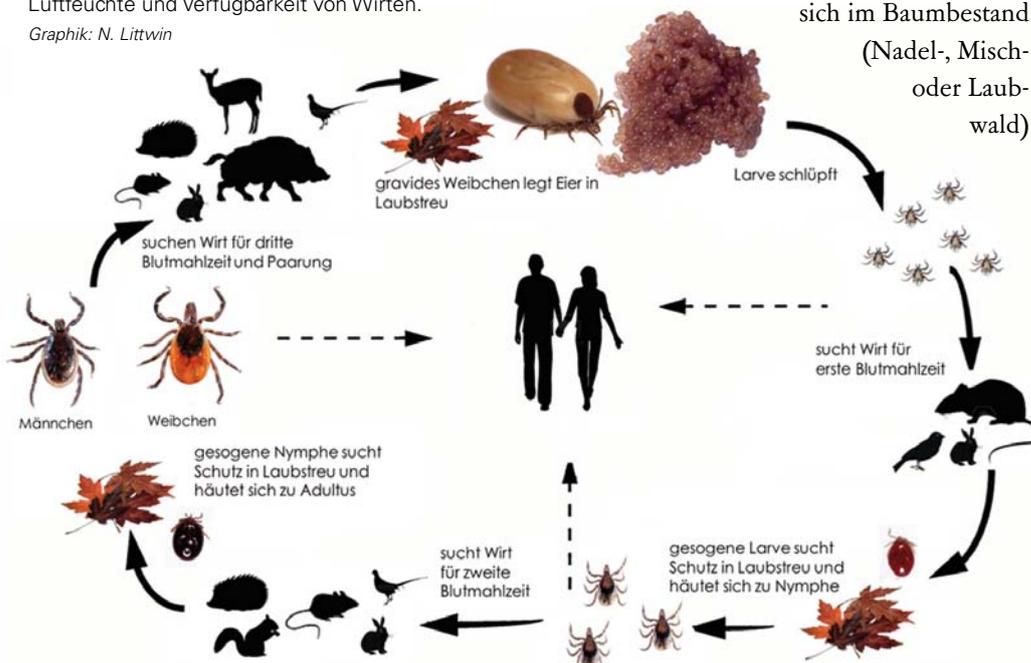
Drei Jahre lang haben Mitarbeiter des KIT, des Landesgesundheitsamts (LGA), der Universität Hohenheim und der Tick-radar GmbH in Berlin untersucht, wie sich das Aufkommen von Wirtstieren, die Verbreitung von Krankheitserregern und die klimatischen Bedingungen auf die Aktivität von Zecken auswirken.

Die Forscher von KIT und LGA stellten an 25 Waldstandorten in Baden-Württemberg Sensoren auf, um Daten über Luftfeuchte und Lufttemperatur in 50 cm Höhe zu erfassen. Darüber hinaus ermittelten sie die Temperatur und Feuchte in der Streuschicht über dem Boden und in fünf cm Bodentiefe. Dies sind die relevanten Bereiche, in denen sich Zecken zu 99 Prozent ihrer Lebenszeit aufhalten. Die restliche Zeit, also nur zu einem Prozent, sitzen sie auf ihren Wirten.

sowie in den kleinklimatischen Bedingungen, bedingt durch Höhenlage, Niederschlagsmenge, Bodenfeuchte oder Mächtigkeit der Streuschicht. Der Vergleich der verschiedenen Mikroklimata dieser Zeckenhabitate und ihre Charakterisierung sollte Aussagen zum generellen Einfluss meteorologischer und klimatischer Einflüsse auf das Vorkommen von Zecken in Baden-Württemberg ermöglichen. An fünf der 25 Standorte richteten die Forscher sogenannte Intensivstationen ein, an denen sie erweiterte Messungen durchführten. Darüber hinaus zeichneten sie circa 40 Meter entfernt, außerhalb des Waldbestandes, die dort in zwei Meter Höhe herrschenden Klimadaten auf, um ihre Daten bezüglich der Standardmessungen des Deutschen Wetterdienstes einordnen zu können. Über drei Jahre hinweg sammelten die Mitarbeiter nun jeweils von Frühjahr bis Herbst einmal pro Monat und Standort mit der Flagge-Methode Zecken von der Vegetation ab. Anhand der Gesamtanzahl gefundener Nymphen pro Jahr und Standort (= Nymphendichte) konnten sie die Zeckenpopulationen dann miteinander vergleichen.

Lebenszyklus von *Ixodes ricinus*: Die Entwicklung vom Ei bis zum adulten Tier kann drei bis sechs Jahre dauern. Der Lebenszyklus ist stark abhängig von Umweltvariablen wie Temperatur, Luftfeuchte und Verfügbarkeit von Wirten.

Graphik: N. Littwin



Die 25 Standorte unterschieden sich im Baumbestand (Nadel-, Misch- oder Laubwald)

Auf Mäusefang

Weiter wurde untersucht, wie sich das Bestandsklima, der Lebensraum und die Verbreitung der Kleinsäugerwirte auf die Aktivität und das Vorkommen von Zecken und damit auf die grundsätzliche Möglichkeit der Infektion mit Krankheitserregern auswirken. Da sich Zecken-



Bei der Flagg-Methode wird mit einem hellen Tuch das Vorbeistreichen eines vermeintlichen Wirtstiers simuliert. Die sich ans Tuch heftenden Zecken werden abgesammelt, gezählt und auf Krankheitserreger untersucht.

Bild: L. Kratzer

larven mit Vorliebe an Kleinsäuger heften, konzentrierten sich die Wissenschaftler auf die europaweit häufig vorkommende Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) und die Rötelmaus (*Myodes glareolus*). Sie gelten als wichtige Reservoirwirte für eine große Anzahl von durch Zecken übertragenen Krankheitserregern. Zecken, die an den Wirten saugen, nehmen die Erreger also auf und übertragen sie beim nächsten Biss auf den neuen Wirt. An jeder Intensivstation stellten die Forscher daher an drei aufeinanderfolgenden Tagen und zwei Nächten 75 Kleinsäuger-Lebendfallen auf und kontrollierten diese morgens und abends. Sie untersuchten die gefangenen Mäuse auf Art, Geschlecht, Alter und Reproduktionsstatus, markierten sie und ließen sie dann wieder frei.

Die auf den Kleinsäufern gefundenen Zecken wurden bei -20°C gelagert und anschließend im Labor auf Art und Entwicklungsstadium bestimmt und für die Pathogenuntersuchungen an das Landesgesundheitsamt geschickt.

Zeckenaktivität

Zur gleichen Zeit bauten die Karlsruher Wissenschaftler in Kooperation mit der Berliner Tick-radar GmbH an zwei Probestellen Feldparzellen auf und setzten die dort zuvor gesammelten und im Labor an Wirtstieren gefütterten Zecken wieder aus. Von März bis Oktober zählten sie dann dreimal pro Woche (Nov. bis Feb. einmal pro Woche), wie viele Zecken an den Holzstäben hochgeklettert waren, das heißt, sich auf Wirtssuche begeben hatten. Mit dieser von Tick-radar etablierten Methode konnte erstmals die Entwicklungshistorie vom Zeit-

punkt des letzten Saugakts bis zur letzten Häutung verfolgt werden. Es zeigte sich, dass ein großer Teil der ausgewachsenen Zecken, aber auch der Nymphen, zwölf Monate nach der letzten Häutung noch aktiv sind.

Parallel zu dieser Plotmethode suchten die Mitarbeiter mit der Flagg-Methode in der Nähe der Feldparzellen wöchentlich die umgebende Vegetation nach aktiven Zecken ab und verglichen wiederum die Ergebnisse.

Luftfeuchte und -temperatur

Wie zu erwarten, herrschen außerhalb des Waldes eine höhere Luft-

Bei dieser Rötelmaus sind gleich mehrere Zecken (Larven und Nymphen) aktiv.

Rechts: In solchen Kleinsäuger-Lebendfallen wurden Gelbhalsmäuse und Rötelmäuse gefangen. Als Köder dienten Heu, Sonnenblumenkerne, Mehlwürmer und Apfelstücke.

Bilder: N. Littwin

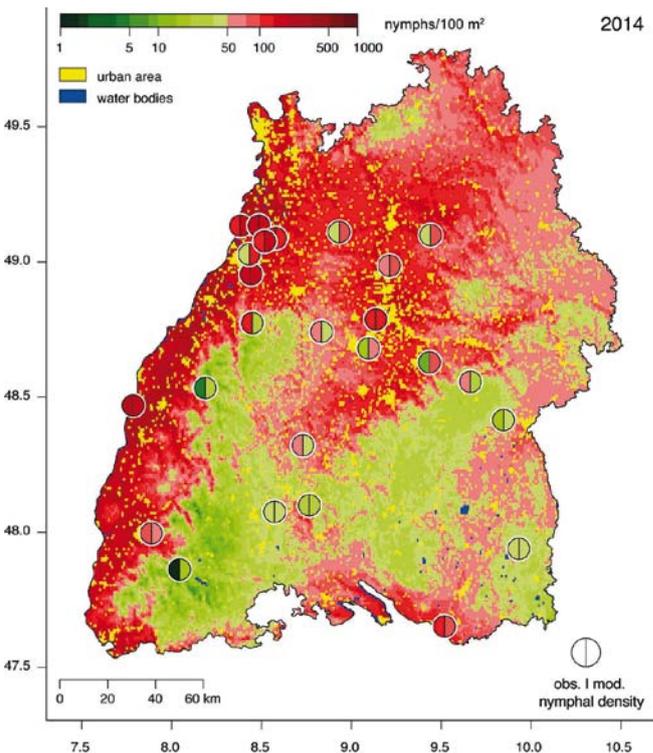




Patrick Sebastian untersucht im Labor des Landesgesundheitsamts Zecken auf Krankheitserreger.
Bild: privat

temperatur und eine geringere Luftfeuchtigkeit als innerhalb des Waldes. Mit zunehmender Höhe erwärmt sich die Luft im Tagesverlauf und wird auch trockener. Im Wald bleiben die Werte innerhalb der bodennahen Streuschicht hingegen relativ konstant und damit selbst im Sommer auf einem für Zecken idealen Niveau von >85 Prozent Luftfeuchte und weniger als 25 °C – je nach Witterung. Sobald die Zecken auf Wirtssuche gehen und dabei Höhen bis zu 50 Zentimeter erklimmen, wird es für sie gefähr-

Die Nymphendichte-Verteilung im Jahr 2014: Die Kreisflächen geben auf der linken Seite die Anzahl beobachteter Nymphen wieder, auf der rechten Seite die von dem Modell berechnete.
Graphik: D. Böhnke et al.



lich, da sie warmer und trockener Luft nicht lange standhalten.

Identifikation der Erreger

Forscher des Landesgesundheitsamts untersuchten die geflaggtten sowie die von Wirtstieren abgesammelten Zecken auf fünf verschiedene Erreger, die von Zecken auf den Menschen übertragen werden können. Dazu zählen vor allem das FSME-Virus und das Lyme-Borreliose-Bakterium. Aus finanziellen Gründen konnten von den 20 Basisstationen nur die geflaggtten Zecken der Jahrgänge 2012 und 2013 untersucht werden. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede: Während das FSME-Virus an keinem Standort nachgewiesen wurde, trat 2013 an allen Standorten *Borrelia burgdorferi* auf, obwohl einige der Standorte 2012 noch als Borrelien-frei gegolten hatten. Die anderen drei Krankheitserreger (*Rickettsia*, *Babesia* und *Candidatus Neorhlichia mikurensis*) traten ebenfalls von Standort zu Standort und von Jahr zu Jahr unterschiedlich häufig oder auch gar nicht auf.

An den Intensivstationen wurden sowohl die geflaggtten als auch die von den Wirtstieren abgesammelten Zecken der Jahre 2012 bis 2014 untersucht.

Auswertung der Daten

Schließlich flossen sämtliche erhobenen Daten in ein statistisches Modell ein, das in Kooperation mit der Veterinärmedizinischen Universität Wien entwickelt wurde. Damit kann man die jährliche Verteilung der Nymphendichte über ganz Baden-Württemberg berechnen. Die Kreisdiagramme in nebenstehender Karte zur Nymphendichte-Verteilung im Jahr 2014 zeigen jeweils den empirisch ermittelten und den vorausberechneten Wert. Geringe Abweichungen bestätigen die

Vorhersagegüte des Modells. Darüber hinaus zeigt die Karte, dass die Anzahl der Nymphen mit zunehmender Höhenlage abnimmt. Damit werde auch die Trefferquote des Modells geringer, was wohl auf die geringe Anzahl von Standorten in Höhenlagen mit sehr geringen Zeckendichten zurückzuführen sei. Exaktere Daten ließen sich durch die Aufnahme weiterer Standorte, eine längerfristige Untersuchung der Parameter und die damit verbundene Einspeisung größerer Datenreihen erreichen.

Diskussion

Im Laufe der dreijährigen Untersuchungen stellten die Forscher bei den Kleinsäugerpopulationen sehr starke Schwankungen fest. Diese ließen sich großteils auf das stark variierende Nahrungsangebot fruchttragender „Mastbäume“ wie Buchen und Kastanien zurückführen. Zudem ließ die sibirische Kälte Anfang 2013 wohl viele Mäuse erfrieren. So gingen 2013 nur halb so viele Mäuse in die Fallen wie 2012. Dennoch gab es im Frühjahr und Sommer 2013 nicht weniger Zecken als im Jahr zuvor, womit ein stärkerer Befall der einzelnen Wirtstiere einherging.

Auch die sommerlichen Temperaturen und der Niederschlag variierten stark von Jahr zu Jahr. Und selbst von einem untersuchten Standort zum nächsten zeigten sich innerhalb eines Jahres sehr große Abweichungen nicht nur in Bezug auf das Zeckenvorkommen, sondern auch auf das Auftreten der verschiedenen Krankheitserreger. Um bestimmte Muster erkennen, besser verstehen und schlussendlich verlässliche Aussagen machen zu können, bedürfe es daher einer längerfristig angelegten Untersuchung. Vielleicht lässt sich dann doch eines Tages per Knopfdruck die Zeckenvorhersage abrufen.

Nachweis von PFC im Boden

Neue Analysemethoden für per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)

Verunreinigte Böden und Grundwasser beunruhigen die Öffentlichkeit. Bisher kann jedoch organisch gebundenes Fluor nur unzureichend mit Einzelstoffanalysen gemessen werden. Wissenschaftler entwickeln nun ein neues Messverfahren, um die tatsächliche Gesamtmenge der Verunreinigungen bestimmen zu können.



In Mittelbaden sind seit 2013 großräumige Grundwasser- und Bodenverunreinigungen mit per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) bekannt geworden. Auch im Raum Mannheim war die Öffentlichkeit nach dem Fund ähnlicher Verunreinigungen beunruhigt, deren Herkunft noch nicht zweifelsfrei erwiesen ist. Doch „sehr wahrscheinlich spielt die Ausbringung von Kompost, der mit PFC-belasteten Papierschlämmen vermischt war, eine wichtige Rolle“, vermutet Dr. Frank Thomas Lange vom Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe.

Anlass zur Forschung: begrenzte Einzelstoffanalyse

Auch andere Grundwasser- und Bodenkontaminationen sind inzwischen in Baden-Württemberg bekannt geworden – beispielsweise durch den Einsatz von Fluortensiden in Feuerlöschschäumen. So waren nach einem Großbrand in einem Schredderwerk in Herberlingen im Jahr 2007 unter anderem

die lokalen Wasserversorgungen beeinträchtigt. Im Zusammenhang mit den PFC-Verunreinigungen des Grundwassers in Mittelbaden fanden Wissenschaftler Spuren von PFC auch in landwirtschaftlichen Produkten – beispielsweise in Spargel und in Erdbeeren. Die Untersuchungen führten in einzelnen Fällen sogar zur vorsorglichen Vernichtung der Ernte.

Die Wissenschaftler im Technologiezentrum Wasser konnten mit der bisher üblichen Einzelstoffanalytik lediglich einzelne Chemikalien untersuchen. Gründe genug also, ein Forschungsprojekt zu starten, um statt der Analyse einzelner Stoffe mit eingeschränkter Aussagekraft einen summarischen Parameter für unbekannte Perfluor- und Polyfluorverbindungen in Bodenverunreinigungen zu entwickeln. Denn Projektleiter Lange beklagt, dass „derzeit eine Methode fehlt, mit der zumindest eine Abschätzung der tatsächlichen Mengen des in diesen kontaminierten Böden enthaltenen, organisch ge-

bundenen Fluors vorgenommen werden kann“.

Die derzeit angewandte Einzelstoffanalytik kommt bei wässrigen Proben und auch bei Feststoffen – beispielsweise Boden- und Klärschlammproben – zum Einsatz. Damit ist nur „eine begrenzte Auswahl poly- und perfluorierter Verbindungen erfassbar“, wie Projektleiter Lange erklärt. Es sind dies C4- bis C10-Perfluorcarbonsäuren, C4-, C6- und C8-Perfluorsulfonsäuren und gegebenenfalls einige weitere Verbindungen.

Bei den analysierbaren Stoffen handelt es sich im Wesentlichen um Produktverunreinigungen und Abbauprodukte der in technischen Produkten enthaltenen fluorierten Wirkstoffe. Dies können Papierchemikalien, Fluortenside in Feuerlöschschaumprodukten oder Chemikalien zur Imprägnierung von Textilien oder Leder sein.

Für die Wissenschaftler gibt es zwei wesentliche Gründe, warum die bisher übliche Analyse der Einzelstoffe nur sehr begrenzte Aus-

Kompost, der auf die Felder ausgebracht wird, kann verunreinigt sein.

Bild: W.R. Wagner/Pixelio

PROJEKT

Entwicklung eines fluorspezifischen Gruppenparameters „EOF“ für Boden und weitere Feststoffmatrices

Laufzeit: 9/2015 bis 5/2017
 DWVG-Technologiezentrum Wasser
 Karlsruhe
 Dr. Frank Thomas Lange
 frank-thomas.lange@tzw.de
 www.tzw.de

gekräft für die gesamten Grundwasser- und Bodenverunreinigungen bietet: Zum einen „entziehen sich die wirksamen fluorierten Bestandteile derzeit der Analyse aufgrund von Betriebsgeheimnissen und/oder mangels Verfügbarkeit analytischer Standards“, bedauert Lange. Und zum anderen existiere inzwischen eine enorme Substanzvielfalt, denn in den letzten etwa sechs Jahrzehnten seien mehrere Tausend PFC-Einzelverbindungen entwickelt und angewandt worden.

Vielversprechender Ansatz

Um zu einem summarischen Parameter für PFC-Verunreinigungen in Bodenproben zu gelangen, bedienen sich die Wissenschaftler am TZW ihrer eigenen, vielversprechenden Entwicklung, die inzwischen vermehrt für Wasserproben angewandt wird: Der ebenfalls summarische Parameter AOF (abgekürzt für „adsorbierbares organisch gebundenes Fluor“) umfasst im Wesentlichen die aus einer wässrigen Probe gelösten organischen Fluorverbindungen.

Projektleiter Lange erklärt die Funktionsweise: „Der operationell

definierte Parameter erfasst die Organofluorverbindungen, soweit sie sich unter den analytischen Randbedingungen mittels Adsorption an einer synthetisch hergestellten, fluorarmen Aktivkohle bestimmen lassen. Das Ergebnis ist eine Massenkonzentration, die den Mindestgehalt an organisch gebundenem Fluor darstellt. Durch einen Vergleich von als AOF gemessenem Organofluor mit dem aus der Einzelsubstanzanalytik berechneten Organofluor kann abgeschätzt werden, ob in einer bestimmten Wasserprobe, beispielsweise einem kontaminierten Grundwasser, noch größere Anteile unbekannter fluorierter Verbindungen zu erwarten sind.“

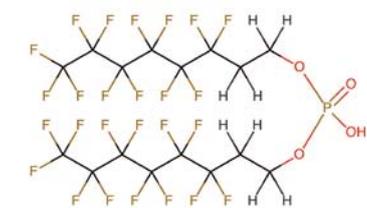
Methode zur Vorsorge

Ein ähnlich aussagekräftiger Parameter für Feststoffe – wie Boden, Klärschlamm oder Kompost – existiert bisher nicht. Der Bedarf hierfür ist groß, da vor allem von fluorhaltigen Imprägniermitteln für Papier, Textilien und Leder ein nicht unerheblicher Anteil im Boden adsorbiert vorliegen dürfte. Einmal in die Umwelt gelangt, unterliegen die teilfluorier-

ten Wirkstoffe abiotischen und biotischen Abbauprozessen zu perfluorierten Verbindungen.

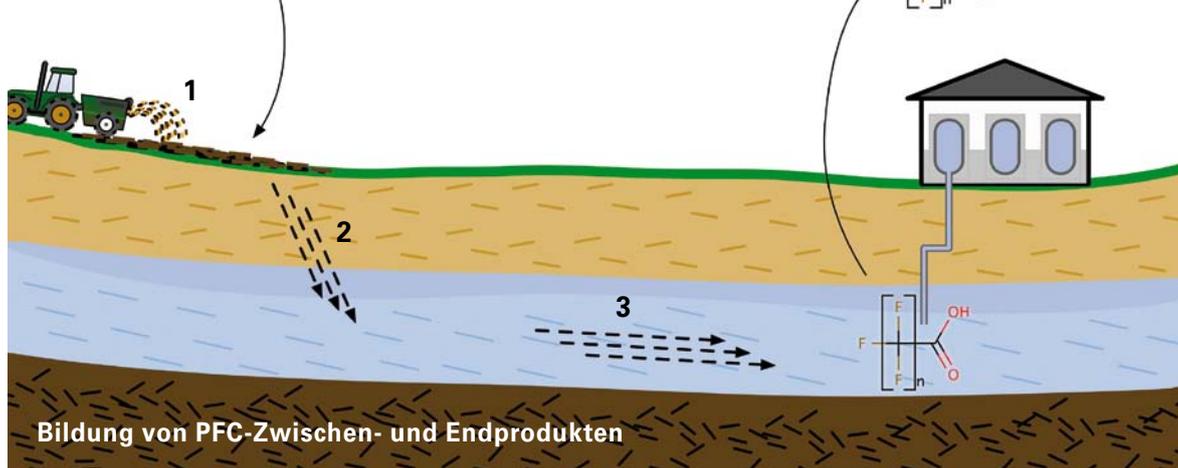
Die Wissenschaftler am TZW wollen mit ihrem Projekt den neuen summarischen Parameter mit dem Arbeitstitel „EOF“ (extrahierbares organisch gebundenes Fluor) entwickeln, der die Menge der bislang noch nicht identifizierbaren Organofluorverbindungen in Bodenproben messen kann. Hierfür erarbeiten die Wissenschaftler 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 durch eine Verbrennungsanalyse aufgeschlossen, aus der Fluorid entsteht, das mittels Ionenchromatographie bestimmbar ist.

Im Unterschied zur Einzelstoffanalytik verspricht sich Projektleiter Lange von der integralen Vorgehensweise „eine vorsorgeorientierte, neue Betrachtung von Grenzwerten für PFC“. Es ist vorgesehen, dafür eine Projektbegleitgruppe mit Vertretern baden-württembergischer Behörden einzurichten.



Beispiel für Vorläuferverbindung: Polyfluorierter Phosphatdiester (diPAP) aus Papierimprägnierung

- n = 3: PFBA, Perfluorbutansäure
- n = 4: PFPeA, Perfluorpentansäure
- n = 5: PFHxA, Perfluorhexansäure



Schematische Darstellung der Bildung von Zwischen- und Endprodukten per- und polychlorierter Chemikalien (PFC) im Boden und im Grundwasser.

1. Ausbringung von kontaminiertem Kompost-Papierschlamm-Gemisch
2. Abbauprozesse im Boden über unbekanntem Zeitraum
3. Abbau und Transportprozesse im Grundwasser

Graphik: Technologiezentrum Wasser (TZW)

Synopse im Schlossgarten

Landschafts- und kulturgeschichtliche Auswertung von Bohrkernen und Funden aus der Baugrube am Stuttgarter Hauptbahnhof



Wie zuletzt auf einer Konferenz der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Karlsruhe mahnen Bodenkundler meist vergeblich, dass die vielfältige Bedeutung des Bodens nicht mehr ausreichend wahrgenommen wird. Auch in Genehmigungsverfahren werde das Schutzgut Boden häufig nicht ausreichend einbezogen. Laut Referent Dr. Andreas Lehmann werde der Aushub allzu oft unbeesehen fortgeschafft, „ohne zu berücksichtigen, dass mit dem Stadtboden ein Archiv verloren geht, dessen vielfältige Informationen weit über die schriftliche Zeit zurückreichen“.

Untersuchungen der Archivfunktion und archäologische Baubegleitung waren auch bei Stuttgart 21 nicht vorgesehen. Als die Deutsche Bahn im Mittleren Schlossgarten zu graben begann, war die Entnahme von Bodenproben und Exponaten für die Universität Hohenheim deshalb nur mit Zustimmung des Bauherrn möglich. Dabei stieß das Team um Lehmann und Dr. Hans-Peter Stika vor Ort umgehend auf Relikte menschlicher Besiedlung: erst auf einen Steinkopf aus jüngerer Zeit, dann auf römische Brennöfen zur

Herstellung von Keramik und Ziegeln. Nun gewährte die Projektbaugesellschaft auch Archäologen vom Landesamt für Denkmalpflege Zutritt zur Baustelle. Sie identifizierten zunächst einen römischen Gutshof, dann reihte sich ein Befund an den anderen, so dass die Archäologen kaum noch mit dem Baufortschritt mithalten konnten. Darunter ein aufwendig konstruierter Kanal und Relikte eines herrschaftlichen Vergnügungsparks aus der frühen Neuzeit. Lehmann entdeckte zudem eine Drainageschicht, die Baumpflanzungen in der stark vernässten Nesenbachaue ermöglichte. Darüber hinaus überredete er die DB-Verantwortlichen, Proben aus den zahlreichen Bohrkernen zur Verfügung zu stellen, die zur Erkundung des problematischen Baugrunds entnommen worden waren. Zu deren Auswertung wurden nun auch Geographen um Dr. Joachim Eberle von der Universität Tübingen einbezogen.

Damit war die Basis für ein interdisziplinäres Forschungsprojekt geschaffen, das anhand der archäologischen Befunde und der Analysen der Bodenproben neue Einblicke in die bislang nur vage erfasste Land-

schafts- und Kulturgeschichte des Stuttgarter Talkessels eröffnet.

Fragen über Fragen

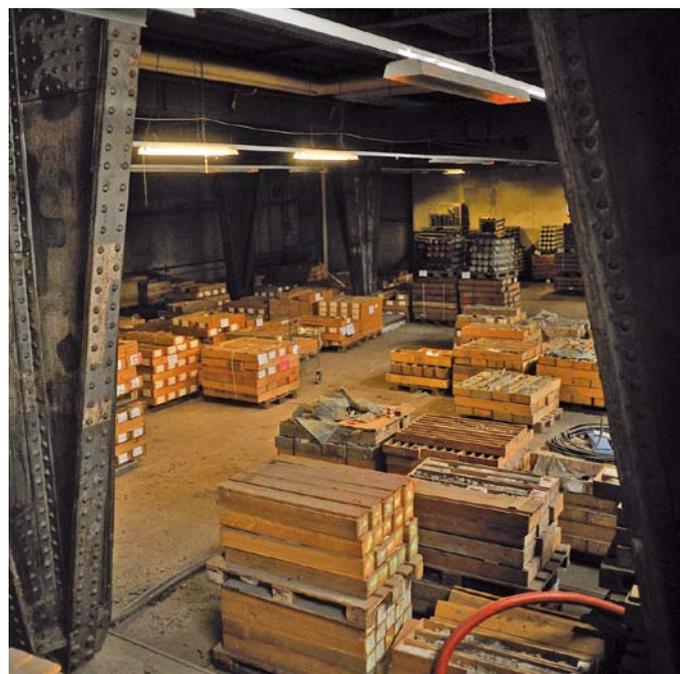
Im Sinne einer Synopse pflegen die Forscher an den Universitäten Hohenheim und Tübingen nicht nur den Dialog mit den Archäologen vor Ort. Zusammen mit lokal bewanderten Geologen, Hydrologen und Baugrundspezialisten, Botanikern, Geographen und Historikern haben sie im Rahmen eines Kolloquiums im April 2016 erste

PROJEKT

Schnittstelle der Landschafts- und Kulturgeschichte – Untersuchung von Bohrkernen aus dem Mittleren Schlossgarten in Stuttgart
 Laufzeit: 2/2016 bis 12/2016
 Universität Hohenheim, Fachgebiet Archäo-/Paläobotanik
 Dr. Hans-Peter Stika
 stika@uni-hohenheim.de
 Dr. Andreas Lehmann
 as@uni-hohenheim.de
 www.botanik.uni-hohenheim.de

Im Untergeschoss des Bahnhofs eingelagerte Bohrkern aus dem Stuttgarter Talkessel

Bilder: Andreas Lehmann





In Schloss Hohenheim trafen sich Wissenschaftler mit Praktikern – unter anderem vom Landesamt für Denkmalpflege, vom Hauptstaatsarchiv Stuttgart und vom Württembergischen Landesmuseum.

Bild: A. Lehmann

Ergebnisse korreliert und einen umfangreichen Fragenkatalog zur kommunikativen Projektstruktur, zum Kenntnisstand, zu weiteren Forschungsansätzen und zur Verwertung der Ergebnisse aufgestellt: Wie können Wissenstransfer und Diskurs bestmöglich organisiert werden? Was schlummert in den Archiven und welche Erkenntnisse aus der Praxis können Baugrundspezialisten beisteuern? Welche Lücken und Unsicherheiten lassen sich in der Siedlungsgeschichte identifizieren, denen im Rahmen der naturwissenschaftlichen Untersuchungen nachgegangen werden sollte? Welche Untersuchungsgegenstände sollten über spezielle Forschungsvorhaben ergänzt oder vertieft werden? Zudem stand die Frage im Raum, wie man die Öffentlichkeit für die Forschungen und die erhofften Ergebnisse interessieren könnte bzw.

wie sich diese entsprechend aufbereiten und präsentieren ließen. Hierbei kommt das Württembergische Landesmuseum ins Spiel, dessen Hausspitze sich interessiert zeigte und eine Ausstellung dazu plant. Außerdem saßen ein Filmteam und zwei Journalisten mit am großen Tisch. Als Kernbotschaft für die mediale und museale Präsentation kristallisierte sich die Fragestellung heraus, wieso ausgerechnet im etwas abseits gelegenen und sumpfigen Talkessel die Landeshauptstadt entstand. Allerdings zeichnete sich umgehend ab, dass Stuttgarts Standortfaktoren für eine mittelalterliche Agrargesellschaft in der Runde unterschiedlich bewertet werden. Diese Uneinigkeit sei bezeichnend für die hier bestehende Forschungs- und Erkenntnislücke, die, so der Historiker Harald Schukraft, auch der konsequenten Abkehr von der Nazi-

Vergangenheit geschuldet sei: „Aufbruch in die Moderne statt Erhalt und Wiederaufbau war die Stuttgarter Devise in der Nachkriegszeit“, die bis heute nachklinge. So seien bei Tiefbauvorhaben in der historischen Innenstadt viele Chancen verpasst worden, den Kenntnisstand zur Siedlungsgeschichte zu erweitern. Dieser verharre weitgehend auf den Schlussfolgerungen Oscar Parets aus den 1950er Jahren und könnte, hofft Schukraft, durch das interdisziplinäre Forschungsprojekt maßgeblich erweitert werden.

Einmalige Chance

Außerhalb des mittelalterlichen Stadtkerns bietet sich im Schlossgarten nun die einmalige Chance, im Talquerschnitt der Baugrube ein landschafts- und siedlungsgeschichtliches Profil zu erstellen. Bis über 30 Meter tief reichende

Bilder: A. Lehmann u. S. Papadopoulos, Landesamt für Denkmalpflege



Stelldichein in der Baugrube: Mitarbeiterinnen vom Landesamt für Denkmalpflege und der Uni Hohenheim mit Patrick Schwarz, Geographie-Absolvent an der Uni Tübingen.

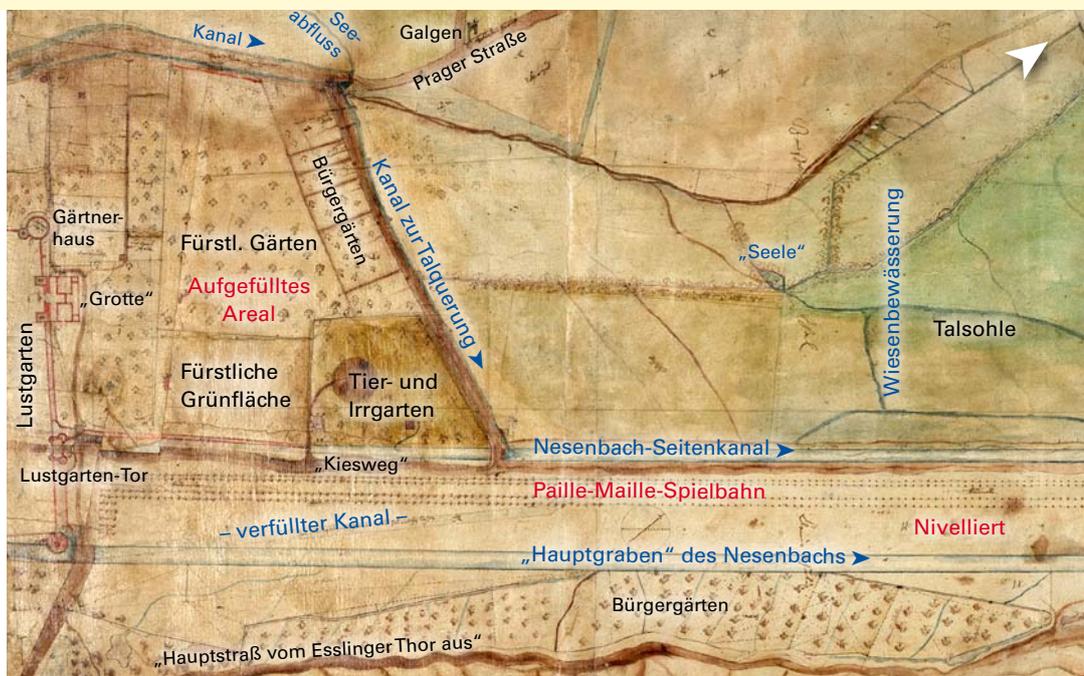
Der erste archäologische Fund in der Baugrube: ein Steinkopf, der vermutlich aus dem Spätmittelalter stammt.

Zweiter Fund: Gut erhaltene römische Brennöfen zur Herstellung von Keramik und Ziegeln, inmitten der Rohstoffquelle errichtet.

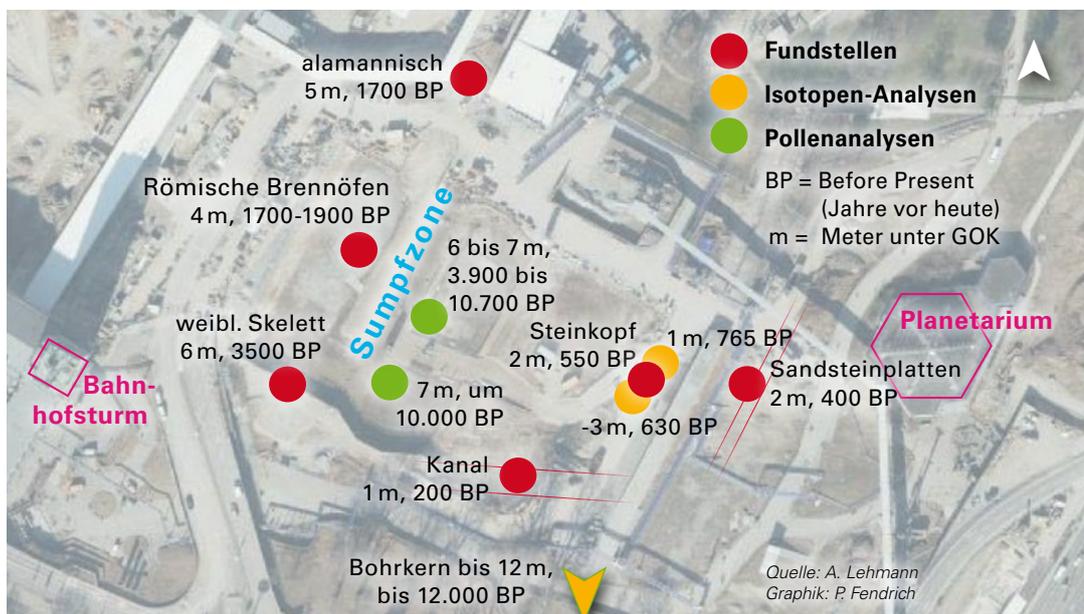
Bohrkerne bergen Informationen über eine Zeitspanne von mehr als 12.000 Jahren.

Über die in der Archäologie gebräuchliche Radiocarbonmethode hinaus werden stratigraphische und geochemische Untersuchungen vorgenommen. Davon versprechen sich die Wissenschaftler Rückschlüsse über den Stoffeintrag, die Häufigkeit und Intensität von Hochwässern, über klimatische Verhältnisse und – zusammen mit der Pollenanalyse – über die Vegetation im Wandel der Zeit. Die Untersuchung auf Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) soll Hinweise auf menschliche Einflüsse wie Verbrennung von Holz beisteuern.

Ursprünglich hat besonders der heute verdolte Nesenbach den Untersuchungsraum beeinflusst. Zusammen mit seinen Seitenbächen hat er den Talkessel einst ausgeräumt und seit Menschengedenken regelmäßig überflutet. Neben dessen aufschlussreichen Sedimenten wurden zudem Material von Hangrutschungen, von Aufschüttungen und ein mächtiger Dauervernässungshorizont in der Mitte der Talverengung identifiziert. Die Pollenanalyse lieferte Hinweise auf Sumpfpflanzen und frühe Besiedlung im näheren Umfeld. Darauf deutet die Häufig-



Plan aus dem 17. Jahrhundert zur Anlage einer Paille-Maille-Bahn mit zunehmender Auffüllung und neuen Kanälen
Quelle: Hauptstaatsarchiv Stuttgart, N1, Nr. 15, www.landesarchiv-bw.de/plink/?f=1-547992, Bearbeitung: P. Fendrich



Standorte von archäologischen Funden und bislang ausgewerteten Probenentnahmen



In Talrichtung verlegte Sandsteinplatten mit flankierenden Rillen, die einen kleinen Kanal abdeckten. Teil der Paille-Maille-Bahn aus dem 17. Jahrhundert? (s. Karte)

Unter König Wilhelm I. wurde um 1818 ein 2,3 Meter breiter, teils überwölbter Kanal anstelle eines Vorläufers quer durch den Mittleren Schlossgarten gebaut. Das massive Bauwerk ruhte auf einem Balkengitter und Pfählen, die eine Absenkung verhindern sollten.



Paille-Maille-Spieler im 17. Jahrhundert
Bild: Wikimedia

keit von verkohlten Pflanzenresten und von Pollen des Spitzwegerichs hin, der als Siedlungszeiger gilt. Dr. Maria Knipping von der Uni Hohenheim hält es für möglich, im Zuge weiterer Untersuchungen menschliche Aktivitäten seit der Steinzeit nachzuweisen.

Fruchtbarer Dialog

In jüngerer Zeit lassen sich mehr und mehr menschliche Eingriffe wie Aufschüttungen zur Hochwasserregulierung nachvollziehen. Auffällig hohe Vanadium-Konzentrationen in diesen jungen Schichten konnten sich die Naturwissenschaftler allerdings nicht wirklich erklären und reichten die Frage an den Stuttgarter Historiker und Geographen Harald Schukraft weiter. Prompt stellte sich exemplarisch heraus, wie fruchtbar

der interdisziplinäre Dialog sein kann: Hohe Vanadium-Konzentrationen weisen auf Verhüttung oder Kohlebergbau hin, was man im Stuttgarter Talkessel nicht erwartet hätte. Schukraft wusste jedoch, dass die hier anstehenden Keuper-schichten vereinzelt geringmächtige Kohleflöze enthalten, die Herzog Friedrich I. ab 1596 am benachbarten Kriegsberg ausbeuten ließ. Kohle diente vor allem als Brennstoff für Schmiede. Zur Befuerung eines Kalkofens ließ zwischen 1611 und 1617 auch der herrschaftliche Baumeister Heinrich Schickhardt hier nach Kohle graben.

1623 wurden die letzten Stollen am Kriegsberg stillgelegt. Vermutlich, weil im Tal kein Abraum mehr untergebracht werden konnte. Bei maximal zehn Zentimeter starken Flözen

war ein wirtschaftlicher Abbau nur möglich, wenn die unverhältnismäßig großen Mengen an Abraum aus den bis zu 200 Meter langen Stollen direkt vor Ort abgelagert werden konnten. So wurde er anfangs wohl für Aufschüttungen bei der Erweiterung des Lustgartens in der Talsohle verwendet, zum Beispiel für eine lange Paille-Maille-Spielbahn umrahmt von neuen Kanälen des Nesenbachs. Eine im Hauptstaatsarchiv aufbewahrte Karte eines unbekanntenen Verfassers dokumentiert die Erweiterung des Lustgartens und könnte aufgrund der korrespondierenden Befunde von Bodenkundlern und Historikern wiederum in die Zeit Heinrich Schickhardts datiert werden. Er war möglicherweise auch Urheber der Karte und Leiter der Baumaßnahmen.

Entwicklung gemeinsam gestalten

Nachhaltige Kommunalentwicklung mit Bürgerbeteiligung – aber wie?

Das Umweltministerium und seine Projektpartner wollten klären, was Kommunen auf dem Weg zur nachhaltigen Entwicklung gemeinsam mit ihrer Bürgerschaft weiterbringt. Das abgeschlossene Realexperiment liefert Grundlagen für eine wirksame Unterstützung.

Aus erprobter Unterstützung in kommunalen Vor-Ort-Projekten gewannen Umweltministerium und Projektpartner Antworten auf drei zentrale Fragen:

- Was gehört in das Portfolio von Unterstützungsangeboten?
- Welches Profil besitzen qualifizierte Prozessunterstützer?
- Welche Rahmenbedingungen braucht es für erfolgreiche Prozesse nachhaltiger Kommunalentwicklung mit Bürgerbeteiligung?

Die Ergebnisse: Wirksame Unterstützungsangebote sind auf den jeweiligen Bedarf ausgerichtet. Sie sind klar in Zielen, Inhalt, Fokus und mit den Auftraggebern abgestimmt. Die Angebote ermöglichen einen Kulturwandel in Politik und Verwaltung und unterstützen dabei praktisch über einen ausreichenden Zeitraum.

Ins Portfolio gehören Schulungen für kommunale Akteure, Wissensmanagement für den Erhalt aufgebauter Kompetenzen unabhängig von Personen und die Adressierung dringlicher Inhalte. Kurz: Das notwendige Know-how für Prozesse nachhaltiger Kommunalentwicklung lässt sich mit Hilfe der Unter-

stützung in Kommunen verankern. Wesentlich für das Profil unterstützender Akteure sind außer fachlichem Wissen zur Nachhaltigkeit und Verwaltungserfahrung auch Kompetenzen in Beteiligungsmethoden, Projektmanagement und Erfolgsbewertung. Fehlendes Wissen wäre über Aus- und Fortbildung zu ergänzen.

Unterstützungsangebote sollten auf der im Pilotprojekt erprobten Struktur mit Prozessarchitekten und Prozessbegleitern mit jeweils klar definierten Aufgaben aufbauen und zentral organisiert werden. Der ausführliche Abschlussbericht ist im Fachdokumentendienst der LUBW veröffentlicht.

PROJEKT

Nachhaltige Kommunalentwicklung – gemeinsam auf dem Weg in die Zukunft

Laufzeit: 2012-2016

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Referat 24
Prof. Dr. Günther Turian
guenther.turian@um.bwl.de
<http://um.baden-wuerttemberg.de>
> Nachhaltige Kommunalentwicklung



Nachhaltige Kommunalentwicklung

Radon in Schulen

Natürliche Strahlung ganz einfach senken

Manchmal sind die ganz einfachen Lösungen zugleich die erfolgreichen. Öfter lüften heißt die Devise, falls in Schulen die Radonkonzentration in der Atemluft zu hoch ist.

Ein großes Messprogramm des Karlsruher Instituts für Technologie bietet zudem interessante Einblicke in die Thematik.



Fast jeder hat von „natürlicher Strahlung“ schon gehört, fast keiner macht sich darüber ernsthaft Gedanken. Der Begriff „natürliche Strahlung“ suggeriert zum einen keine wirkliche Gefahr – was „natürlich“ ist, kann so schlimm nicht sein – zum anderen hat der Terminus eine Anmutung von „Unausweichlichkeit“. Doch für die Wissenschaftler um Dr. Gerhard Frank und Ingo Fesenbeck vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gilt das nicht: Intensiv forschen sie zu Wegen, die Radon-Konzentration in Innenräumen zu senken. Zielgröße ist ganz konkret die „Radonraumluftkonzentration“ in Schulen in Baden-Württemberg. Erfahrung mit dem radioaktiven Stoff Radon, der insbesondere in Böden, die sich aus Granit gebildet haben, natürlich vorkommt, haben die Karlsruher viel. Im bereits in den 1980er-Jahren eingerichteten „Radonlabor“ werden bis heute rund 2.500 Messungen jährlich durchgeführt.

Ist die Radonkonzentration in der Luft groß, steigt die Wahrscheinlichkeit von Mutationen in den Körperzellen und damit auch die Wahrscheinlichkeit, an Krebs – insbesondere Lungenkrebs – zu erkranken. Da lag es auf der Hand, Räume, in denen Kinder und Jugendliche viele Stunden verbringen, möglichst flächendeckend zu untersuchen. Frank und Fesenbeck schrieben einen Brief an die Schulen im Land und boten an, kostenfrei eine passive Messung durchzuführen. Die Kampagne begleiteten sie mit einem Online-Angebot, das nicht nur die Möglichkeit einer vertieften Information bot, sondern auch schon interaktiv viele Parameter abfragte, die wichtig für die Problemeinschätzung sind. Über 220 Schulen nahmen das Angebot an und wurden zunächst mit einer passiven Messung, bei höherer Belastung auch mit einer aktiven Messung ins Programm aufgenommen. Die Auswertung zeigte: In 143 von 2178 untersuchten Räumen lag die

Radonkonzentration über 300 Becquerel pro Kubikmeter, dem Wert, der nach aktueller Planung als Referenzwert in den nächsten Jahren gesetzlich verankert werden soll. Doch dieser Wert ist keinesfalls unausweichlich, wie die Wissenschaftler an mehreren Räumen sehr gut nachweisen konnten: Lüften hilft gegen hohe Radon-Werte. Sowohl in einem Lehrerzimmer als auch in einem Hausmeisterraum sank die Radonkonzentration, wenn Fenster geöffnet oder eine Lüftung eingeschaltet wurde, in kurzer Zeit unter den Referenzwert. Und die Konzentration blieb nach 20-minütigem Lüften auch über Stunden unter diesem Wert.

Das Projekt ist noch nicht abgeschlossen, die letzten Proben werden noch ausgewertet. Aber immerhin lässt sich schon sagen, dass die Zahl der Schulen, in denen einzelne Räume über 300 Becquerel pro Kubikmeter liegen, gering ist und dass diesen Problemräumen mit Lüften gut beizukommen ist.

Tag und Nacht im Klassenzimmer: Radon-Messgerät
Bild: I. Fesenbeck, KIT

PROJEKT

Radon in Schulen
Laufzeit: 12/2013 bis 6/2016
KIT und Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft
Ingo Fesenbeck
ingo.fesenbeck@kit.edu
www.sum.kit.edu/Radonlabor.php

Einblicke in die Umweltforschung

ENERGIE/ENERGIESPEICHER

Projekt Latentwärmespeicher in netzreaktiven Gebäuden (LaNeG) – 3 Teile

Einblick Moderne Bürogebäudekomplexe verfügen häufig über eigene Erzeugungsanlagen für Strom, Wärme und Kälte. Das Förderprojekt sieht den Einsatz eines Latentspeichers als Puffer und Wärme-(Kälte-)Speicher im Gesamtnetz einer ansonsten energieautarken Liegenschaft vor. Speicherzyklen sind auf Tages- und Jahresbasis angedacht (Tag/Nachtbetriebsunterschiede bzw. jahreszeitlich schwankenden Energiebedarf). Dabei ist zu überlegen, ob eine Einbindung des sonst autarken Systems der Liegenschaft in die regionale Energieversorgungslandschaft ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Laufzeit 01.12.2012 – 31.12.2016

Teil 1

FKZ* BWE13009

Institution DEKRA SE, Stuttgart

Leitung Alexander Wahl
alexander.wahl@dekra.com

Internet www.dekra.de

Teil 2

FKZ BWE13010

Institution Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

Leitung Stefan Gschwander
stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de

Internet www.ise.fraunhofer.de

Teil 3

FKZ BWE13011

Institution Fact GmbH, Böblingen

Leitung Dr. Volker Krieger
volker.krieger@fact-gmbh.com

Internet www.fact-gmbh.com

Projekt Power&Biomass2Gas: Ergänzung des Power2Gas-Konzepts um die Biomasse als Kohlenstoffquelle. Ganzheitliche Analyse der Wirkung auf die Einbindung erneuerbarer Energien – 2 Teile

Einblick Im Projekt Power&Biomass2Gas wird untersucht, wie durch den flexiblen Betrieb von Biomassevergasungsanlagen Strom zu Überschusszeiten im Erdgasnetz gespeichert werden kann. Der Strom wird dabei für eine Wasserelektrolyse genutzt, um zusammen mit Kohlenstoff aus der Biomassevergasung eine Methanisierung zu betreiben. Endprodukt dieses Prozesses ist Synthetic Natural Gas (SNG), das in seiner Zusammensetzung im Wesentlichen natürlichem Erdgas entspricht und in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Die Besonderheit des Gesamtprozesses liegt darin, dass nahezu 100 % des in Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs der Methanisierung zur Verfügung gestellt werden kann. Der Nutzen der Flexibilisierung und die Auswirkungen auf das deutsche Stromerzeugungssystem

werden durch detaillierte Prozesssimulationen sowie durch Marktsimulationen und Netzberechnungen quantifiziert.

Laufzeit 01.10.2013 – 30.12.2016

Teil 1

FKZ BWE13012

Institution Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik

Leitung Prof. Dr. Günter Scheffknecht
guenter.scheffknecht@ifk.uni-stuttgart.de

Internet www.ifk.uni-stuttgart.de

Teil 2

FKZ BWE13013

Institution Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik

Leitung Michael Baumann
michael.baumann@lbp.uni-stuttgart.de

Internet www.f02.uni-stuttgart.de

Projekt PtG-Konzepte mit hoher gesellschaftlicher Akzeptanz für eine effiziente und flexible Speicher- und Energieinfrastruktur zur Integration erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg – 6 Teile

Einblick Das bisherige Energiesystem in Baden-Württemberg basiert auf getrennten Strom- und Gasnetzen sowie auf bedarfsgerechter Stromerzeugung. Im Rahmen der Energiewende und der Abschaltung der Atomkraftwerke ist Baden-Württemberg zur Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklung darauf angewiesen, Strom zu importieren oder selbst regenerativ zu erzeugen. Hierfür muss das Stromnetz an die zukünftigen Anforderungen (Fluktuation und zeitliche Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage) angepasst werden. Für Baden-Württemberg soll ein technisch optimiertes Energiesystem (Strom und Gas) skizziert, ökonomisch bewertet und auf Umsetzbarkeit geprüft werden. Hierfür wird ein übergreifender Ansatz verfolgt, der alle Sektoren (Wärme, Strom, Mobilität) technisch koppelt und die Akzeptanz der technischen Maßnahmen einbezieht.

Laufzeit 01.11.2013 – 31.10.2016

Teil 1

FKZ BWE13021

Institution DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT, Bereich Gastheologie, Karlsruhe

Leitung Wolfgang Köppel
koeppel@dvwg-ebi.de

Internet www.dvbw-ebi.de

Teil 2

FKZ BWE13022

Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion

Leitung Prof. Dr. rer. pol. W. Fichtner
wolf.fichtner@kit.edu

Internet www.iip.kit.edu

Teil 3

FKZ BWE13023

Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik

Leitung Prof. Dr.-Ing. Thomas Leibfried

thomas.leibfried@kit.edu

Internet www.ieh.kit.edu

Teil 4

FKZ BWE13024

Institution Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, ISI Karlsruhe

Leitung Prof. Dr. Martin Wietschel
martin.wietschel@isi.fraunhofer.de

Internet www.isi.fraunhofer.de/isi-de

Teil 5

FKZ BWE13025

Institution Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme

Leitung Prof. Dr. Jörg Entress
entress@hochschule-bc.de

Internet www.hochschule-biberach.de

Teil 6

FKZ BWE13026

Institution Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH

Leitung Dr.-Ing. Roland Trauth
roland.trauth@netzservice-swka.de

Projekt Kommunalen Energieverbund Freiburg – Demonstrationsbetrieb einer Elektrolyseanlage im Industriegebiet Freiburg Nord zur Verbindung des Strom- und Erdgasnetzes und zur Speicherung erneuerbarer Energien – Bindeglied zwischen Energiesystemen – 3 Teile

Einblick Es werden Algorithmen zur Steuerung von Power-to-Gas-Anlagen entwickelt. Diese sollen anschließend auf ihre Praxistauglichkeit im Energieverbund überprüft werden: in Offenburg im Kleinen als „Microgrid“, in Freiburg im größeren Rahmen als Schnittstelle von Strom- und Gasnetz des regionalen Energieversorgers.

Hervorzuheben ist die Fahrweise des Elektrolyse-Systems als Teil eines Energieverbunds, in dem weitere Anlagen (Energieverbraucher und -erzeuger) aus dem Umfeld des Elektrolyseurs mit abgebildet werden und über den Regelungsalgorithmus auf die Steuerung des Power-to-Gas-Systems Einfluss nehmen. Es sollen außerdem die Anbindung eines Elektrolyseurs an das Erdgasnetz, die Anpassung und Zulassung der dafür benötigten Mengenmessung sowie die aus Netz- und Marktsicht effiziente Integration der systemverbindenden Elektrolyseanlage durch die Entwicklung geeigneter Betriebsführungsstrategien realisiert werden.

Laufzeit 16.12.2013 – 31.03.2017

Teil 1

FKZ BWE13031

Institution Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg

Leitung Christopher Voglstätter
christopher.voglstatter@ise.fraunhofer.de

Internet www.ise.fraunhofer.de

Teil 2

FKZ BWE13032

Institution Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg

Leitung Prof. Dr. Anke Weidlich

* FKZ = Förderkennzeichen

Internet anke.weidlich@hs-offenburg.de
 www.hs-offenburg.de
 Teil 3
 FKZ BWE13035
 Institution Badenova AG & Co KG, Innovations- und Ökologiemanagement, Freiburg
 Leitung Peter Majer
 peter.majer@badenova.de
 Internet www.badenova.de/web/de/privatund-geschaeftskunden/index.jsp

Projekt SmartReFlex – Smart and flexible 100 % Renewable District Heating and Cooling Systems for European Cities

Einblick Das Vorhaben SmartReFlex hat das Gesamtziel, europäische Städte und Stadtwerke bei der Umsetzung von innovativen Wärmenetzkonzepten mit Zielwert 100 % erneuerbare Energien zu unterstützen. Hierzu sollen Erfahrungen aus Dänemark und anderen erfolgreichen Modellregionen genutzt und verbreitet werden. Zu den Kernelementen des Projekts gehören die Identifizierung der jeweils passenden technischen und organisatorischen Strategien sowie die optimale Ausnutzung und Verbesserung des rechtlichen, planerischen, sozialen und wirtschaftlichen Rahmens auf lokaler und übergeordneter regionaler Ebene. Das Vorhaben SmartReFlex wird durch die EU gefördert. Das Projekt ist eine Kofinanzierung des IEE-Vorhabens SmartReFlex.

FKZ L7514012
 Laufzeit 17.09.2014 – 28.02.2017
 Institution Solites, Steinbeis Forschungs- und Innovationszentren GmbH, Stuttgart
 Leitung Thomas Pauschinger
 pauschinger@solites.de
 Internet www.smartreflex.eu/en/home

Projekt Studie zur Effizienzmessung eines neuartigen und innovativen Rührwerks für Substrate in Biogasanlagen

Einblick Bei diesem Projekt soll ein innovatives bionisches Rührwerk für zwei Verweilzeiten (circa 180Tage) in einem der beiden Biogasfermenter an der Forschungsbiogasanlage Unterer Lindenhof der Versuchsstation der Universität Hohenheim eingebaut und insbesondere auf die Faktoren Primärenergieverbrauch, Menge und Qualität des erzeugten Biogases, Nährstoffverteilung in den Fermentern oder prozessbiologische Aktivität des Gärsubstrates im Fermenter getestet werden. Die Rührleistung und Effizienz des neuen Rührwerks soll mit der bestehenden Ausstattung der Anlage verglichen werden.

FKZ L7515002
 Laufzeit 01.12.2014 – 30.12.2016
 Institution Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (LAR)
 Leitung Dr. Hans Oechsner
 Hans.Oechsner@uni-hohenheim.de
 Internet www.uni-hohenheim.de/organisation

Projekt Dünnschichtsolartechnologien der Zukunft – SOLAMO

Einblick Ziel des SOLAMO-Vorhabens ist die Weiterentwicklung der PV-Dünnschichttechnologie für die beiden derzeit inte-

ressantesten und effizientesten Vertreter Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (Cu(In,Ga)Se₂ – CIGS) sowie Perowskit in Richtung höherer Wirkungsgrade (Perowskit), aber auch in Richtung kostengünstiger Umsetzbarkeit auf industrierelevanter Fläche (CIGS).

FKZ L7516013
 Laufzeit 15.02.2016 – 14.02.2019
 Institution Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart
 Leitung Dr. Friedrich Kessler
 friedrich.kessler@zsw-bw.de
 Internet www.zsw-bw.de

SMART GRIDS

Projekt Netzausbaureduzierung durch Speichereinsatz im Verteilnetz am Beispiel Netzverstärkung Ostalbkreis – 2Teile

Einblick In der Durchführbarkeitsstudie wird der technische Einsatz von Speichertechnologien als Alternative zum konventionellen Netzausbau anhand einer konkreten Maßnahme im 110-kV-Netz untersucht. Mittels eines zeitreihenbasierten Simulationsmodells wird die reale Netztopologie nachgebildet und simulationstechnisch analysiert. Um die Speicherparameter zu identifizieren, kommt eine Optimierungsumgebung zum Einsatz. Darauf aufbauend wird betrachtet, ob die Netzentlastung auch durch ein verteiltes Speichersystem in der unterlagerten Netzebene möglich ist und ob Synergieeffekte entstehen. Abschließend werden die notwendigen Modellierungsschritte in einer Planungsgrundlage zusammengefasst.

Laufzeit Teil 1 01.09.2016 – 31.12.2018
 FKZ BWSGD16009
 Institution Universität Stuttgart, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik
 Leitung Prof. Dr.-Ing. Krzysztof Rudion
 rudion@ieh.uni-stuttgart.de
 Internet www.ieh.uni-stuttgart.de

Teil 2
 FKZ BWSGD16010
 Institution Hochschule Aalen, Lehrstuhl für erneuerbare Energien
 Leitung Prof. Dr.-Ing. Martina Hofmann
 martina.hofmann@hs-aalen.de
 Internet www.hs-aalen.de

Projekt Demonstration des zellularen Ansatzes mit einem Hybridbatteriekonzept – 3 Teile

Einblick Es soll der zelluläre Ansatz als Alternative zum konventionellen Netzausbau demonstriert werden. Der Testbetrieb der hier avisierten Zelle liefert die Basis zur Entwicklung von Geschäftsmodellen, die zur Konzeption und Inbetriebnahme weiterer Energiezellen in BW dienen können. Die SES übernimmt die Installation und Einbindung der VRFB (5 kW/45 kWh) im Hinblick auf eine hybride Funktionsweise mit einer LIB (50 kWh) in den Netzabschnitt, welcher derzeit aufgrund von Spannungsbandproblemen seine maximale Aufnahmefähigkeit von er-

neuerbaren Energien erreicht hat. Dieser Hybridspeicher soll den selbst verbrauchten Anteil des in der Energiezelle erzeugten Solarstroms erhöhen.

Laufzeit Teil 1 01.09.2016 – 31.12.2018
 FKZ BWSGD16011
 Institution Stadtwerke Bühl GmbH
 Leitung Rüdiger Höche
 ruediger.hoeche@stadtwerke-buehl.de
 Internet www.stadtwerke-buehl.de

Teil 2
 FKZ BWSGD16012
 Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Leitung Prof. Dr. Ing. Thomas Leibfried
 thomas.leibfried@kit.de
 Internet www.ieh.kit.edu

Teil 3
 FKZ BWSGD16013
 Institution Schmid Energy Systems GmbH (SES), Freudenstadt
 Leitung Dr. Melanie Schroeder
 schroeder.me@schmid-group.com
 Internet http://schmid-group.com

Projekt CLS-Applikation – Digitalisierung Energiewende – made in BW – 3Teile

Einblick Dieses Projekt soll am Ende belegen, dass sich intelligente Messsysteme in Kombination mit CLS-Steuerboxen für den Betrieb des Smart Grids auf Basis von internationalen Standards eignen. Bestehende Komponenten der Prosumer werden dabei in das Netz integriert, um ein verbessertes Einspeisemanagement, eine Anpassung und Kontrolle von Systemdienstleistungen und eine sichere Marktintegration zu erreichen. Hierzu gehören zum Beispiel PV-Anlagen, Heizstäbe und Kühlanlagen sowie Ladesäulen für Elektroautos und Batteriespeicher. Im Rahmen des Projekts werden zwei bereits verfügbare CLS-Applikationen und neun neue CLS-Applikationen in eine CLS-Steuerbox integriert, in dem Smart-Grid-Labor der Hochschule Ulm auf Kommunikations- und Funktionseigenschaften getestet und im Rahmen eines Feldtests erprobt.

Laufzeit Teil 1 01.09.2016 – 31.12.2017
 FKZ BWSGD16014
 Institution Hessware GmbH, Mannheim
 Leitung Sebastian Hess
 shess@hessware.de
 Internet www.hessware.de

Teil 2
 FKZ BWSGD16015
 Institution Hochschule Ulm, Institut für Energie und Antriebstechnik
 Leitung Prof. Gerd Heilscher
 heilscher@hs-ulm.de
 Internet www.hs-ulm.de

Teil 3
 FKZ BWSGD16016
 Institution Meteocontrol GmbH, Forschung und Entwicklung
 Leitung Katharina Stern
 k.stern@metocontrol.de
 Internet www.metocontrol.com/de

Projekt Living Lab Walldorf – Simulation und Feldtest der Transformation des Strommarktes unter veränderten Ta-

	<p>rif-, Bilanzierungs- und Regulations-systemen – 6 Teile</p>		
<p>Einblick Die Energiewirtschaft befindet sich im Umbruch. Die bisherige, zentral geprägte Versorgungsstruktur, in der die Verbraucher „Zählpunkte“ darstellen, verändert sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Kunden haben begonnen, eine aktive Rolle in der Energiewirtschaft zu spielen. Die „Prosumer“ erzeugen, speichern und verbrauchen Energie, speisen diese in das Netz ein und entnehmen Energie. Vorgehensweisen und Prozesse aus der „alten Welt“ müssen durch veränderte, moderne Alternativen ergänzt werden. Eine Voraussetzung dabei ist zunächst die Umsetzung einer viertelstündlichen Erfassung und Bilanzierung der Verbrauchs- und Erzeugungsmengen. Dies wird durch die Anwendung der Zählerstandgangbilanzierung (ZSGB) ermöglicht. Trotz der bereits im Jahr 2013 erfolgten Verankerung des ZSGB-Verfahrens in der StromNZV fehlen nach wie vor hinreichende Umsetzungsrichtlinien. Im Rahmen von Living Lab Walldorf wird die ZSGB nun pilothaft umgesetzt.</p>	<p>Einblick Virtuelle Kraftwerke (VKK) mit Mini- und Mikro-BHKW bieten ein vielfältiges Smart-Grids- und Klimaschutzpotenzial für die „Wärmewende“. Der Marktverbreitung dieser Systeme stehen aber vielfältige Hemmnisse wie die hohen Anschluss- und Integrationskosten der Anlagen, vielfältige Informationsdefizite bei den Endkunden sowie die aktuelle Regulierung (EEG2014, KWK-Novellierung) entgegen. Daher werden aktuell nur Anlagen in höheren Leistungsklassen (>500 kW) in VKK eingebunden und für Systemdienstleistungen – z. B. Regelleistung – genutzt. Im Rahmen des Projekts mikroVKK wird demonstriert und nachgewiesen, dass auch BHKW-Anlagen unter <100 kW in ein VKK wirtschaftlich integriert und durch eine Kombination von verschiedenen marktlichen und netzdienlichen Geschäftsmodellen und Betriebsführungsstrategien wirtschaftlich betrieben werden können.</p>	<p>Internet www.reutlingen-university.de Teil 2 FKZ BWSGD15005 Institution AVAT Automation GmbH, Tübingen Leitung Heinz Hagenlocher heinz.hagenlocher@avat.de Internet www.avat.de Teil 3 FKZ BWSGD15006 Institution ENERGIEFREY GmbH, Stuttgart Leitung Dr. Armin Frey frey@energiefrey.de Internet http://energiefrey.de Teil 4 FKZ BWSGD15007 Institution GridSystronic Energy GmbH, Albstadt Leitung Stefan Jägers stefan.jaegers@gridsystronic-energy.com Internet http://gridsystronic-energy.com Teil 5 FKZ BWSGD15008 Institution Mack Electronic Systems GmbH, Reutlingen Leitung Lothar Dürr lothar.duerr@mack-electronics.de Internet www.mack-electronics.de</p>	
<p>Laufzeit 01.12.2015 – 31. 01.2019 Teil 1 FKZ L7515011 Institution BEEGY GmbH, Mannheim Leitung Steffen Link, M. Sc. steffen.link@beegy.com Internet www.beegy.com Teil 2 FKZ L7515012 Institution Stadtwerke Walldorf GmbH & Co KG, Walldorf Leitung Matthias Gruber matthias.gruber@stadtwerke-walldorf.de Internet www.stadtwerke-walldorf.de Teil 3 FKZ L7515013 Institution MVV Energie AG, Mannheim Leitung Melanie Kubach melanie.kubach@mvv.de Internet www.mvv-energie.de/de Teil 4 FKZ L7515014 Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) Leitung Prof. Dr. Wolf Fichtner wolf.fichtner@kit.edu Internet www.iip.kit.edu Teil 5 FKZ L7515015 Institution FZI Forschungszentrum Informatik am KIT, Forschungsbereich ISPE Leitung Sebastian Steuer steuer@fzi.de Internet www.fzi.de Teil 6 FKZ L7515016 Institution KEO GmbH, Köln Leitung Peter Kellendonk kellendonk@kellendonk.de Internet www.keo-gmbh.de</p>	<p>Laufzeit 16.10.2015 – 15.09.2017 Teil 1 FKZ BWSGD15001 Institution GridSystronic Energy GmbH, Albstadt Leitung Sebastian Mayer sebastian.mayer@gridsystronic-energy.com Internet http://gridsystronic-energy.com/ Teil 2 FKZ BWSGD15002 Institution Schäffler sinnogy, Freiburg Leitung Dr. Harald Schäffler hallo@sinnogy.de Internet www.schaeffler-sinnogy.de Teil 3 FKZ BWSGD15003 Institution Hochschule für Technik und Wirtschaft, Offenburg Leitung Prof. Dr. Anke Weidlich anke.weidlich@hs-offenburg.de Internet www.hs-offenburg.de</p>	<p>Teil 6 FKZ BWSGD15009 Institution PATAVO GmbH, Pliezhausen Leitung Thomas Röger M. Sc. thomas.roeger@patavo.de Internet www.patavo.de Teil 7 FKZ BWSGD15010 Institution RUOFF Energietechnik GmbH, Riedelrich Leitung Karsten Lindner k.lindner@ruoff-solar.de Internet www.ruoff-solar.de Teil 8 FKZ BWSGD15011-2 Institution ENISYST GmbH, Pliezhausen Leitung Dieter Ebinger info@enisyst.de Internet www.solidautomation.de Teil 9 FKZ BWSGD15012 Institution Universität Tübingen, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze Leitung Prof. Dr. Michael Menth menth@uni-tuebingen.de Internet www.wsi.uni-tuebingen.de/fachbereich/</p>	
<p>Projekt Demonstration der Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und der Smart-Grid-Potenziale von Virtuellen Kraftwerken mit Mikro- und Mini-BHKW, mikroVKK – 3 Teile</p>	<p>Projekt Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb – 9 Teile</p>	<p>Projekt Konzeption und prototypische Umsetzung einer Echtzeit-Datenplattform für Demand Side Management in Baden-Württemberg – 7 Teile</p>	
	<p>Einblick Der Demonstrator „Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb“ an der Hochschule Reutlingen wird ein funktionsfähiges Virtuelles Kraftwerk (VK) sein, das den Partnern Möglichkeiten bietet, wie die Integration in das zukünftige Smart Grid, die Demonstration eines VKs mit Aufzeigen unterschiedlicher Lösungswege, das Testen von Optionen der Querverbundoptimierung zwischen Strom-, Gas-, und Wärmemarkt unter Berücksichtigung realer Marktdaten oder die Unterstützung der Markteinführung durch Öffentlichkeitsarbeit und sozioökonomische Untersuchungen. Schwerpunkte sollen auf Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit gesetzt werden. Dabei sollen die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse und deren Adaption in der Fläche ermöglicht werden.</p> <p>Laufzeit 16.10.2015 – 15.10.2018 Teil 1 FKZ BWSGD15004 Institution Hochschule Reutlingen Leitung Prof. Dr. Frank Truckenmüller frank.truckenmueller@reutlingen-university.de</p>	<p>Einblick Ziel des Vorhabens DSM-Plattform BW ist die Konzeption und prototypische Umsetzung einer Plattform zur Erfassung und Darstellung von DSM-Potenzialen in Baden-Württemberg in hoher regionaler und zeitlicher Auflösung. Unternehmen wird Hilfestellung gegeben, ihr DSM-Potenzial realistisch einzuschätzen, dieses über die Plattform auf regionaler Basis aggregiert transparent darzustellen und damit Energiedienstleistungen die Nutzung dieser Flexibilität im Prozess des Ausgleichs von Angebot und Nachfrage im Stromversorgungssystem zu ermöglichen. Die Plattform stärkt durch ihre Ausrichtung auf Akteure im Land die regionale DSM-Vermark-</p>	

tung und unterstützt die vom Regulierer forcierte aktive Bilanzkreisbewirtschaftung. Grundsätzliche Strategien für die Vergütung und Abrechnung von Flexibilität sowie der nachhaltige Betrieb der Plattform über die Demonstration hinaus werden evaluiert.

Laufzeit 23.05.2016 – 22.11.2017

Teil 1

FKZ BWSGD16001

Institution FZI Forschungszentrum Informatik am KIT, Karlsruhe

Leitung Dr. Alexander Schuller
schuller@fzi.de

Internet www.fzi.de

Teil 2

FKZ BWSGD16002

Institution IDS GmbH, Ettlingen

Leitung Alexander Dinter
alexander.dinter@ids.de

Internet www.ids.de

Teil 3

FKZ BWSGD16003

Institution Flughafen Stuttgart GmbH

Leitung Holm Wagner
wagner@stuttgart-airport.com

Internet www.flughafen-stuttgart.de

Teil 4

FKZ BWSGD16004

Institution Altran GmbH & Co. KG, Stuttgart

Leitung Christopher Muth
christopher.muth@altran.com

Internet www.altran.de

Teil 5

FKZ BWSGD16005

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

Leitung Martin Steurer
martin.steurer@ier.uni-stuttgart.de

Internet www.iier.uni-stuttgart.de

Teil 6

FKZ BWSGD16006

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

Leitung Thomas Renner
thomas.renner@iao.fraunhofer.de

Internet www.iao.fraunhofer.de

Teil 7

FKZ BWSGD16007

Institution ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Stuttgart

Leitung Dr. Jann Binder
jann.binder@zsw-bw.de

Internet www.zsw-bw.de

Projekt Quartierlösung aus innovativen gekoppelten Energieversorgungseinheiten mittels Kombination von Photovoltaik, Akku, KWK- und Wärmepumpentechnik zur Bereitstellung von Wärme, Kälte, Strom und Regenergie zu jedem Zeitpunkt (Ehoch4-Quartier 4.0)

Einblick Das smarte Ehoch4-Quartier 4.0 beinhaltet die Kombination verschiedener Energiewandlungsverfahren aus Solar-, Akku-, KWK- und Wärmepumpentechnik. Die geplante Demonstration zeichnet sich dadurch aus, dass die Technologie neben maximalem Eigenverbrauch dem Netzbetreiber sowohl positive als auch negative Regenergie bietet. Durch die Kombination der

Wärmepumpentechnik mit der KWK-Technik kann maximale Flexibilität erreicht werden. Bei Wärmebedarf entscheidet das System selbstständig, je nach Strombedarf und Netzauslastung, ob die Strom erzeugende KWK-Technik oder die Strom absorbierende Wärmepumpentechnik zum Einsatz kommt. Die Herausforderung ist die Kombination dieser gegenläufigen thermodynamischen Maschinen und die Einbindung des Lastmanagements unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

FKZ BWSGD16008

Laufzeit 23.05.2016 – 22.05.2018

Institution ISC Konstanz e.V.

Leitung Dr. Kristian Peter
kristian.peter@isc-konstanz.de

Internet www.isc-konstanz.de

BIOENERGIE

Projekt Innovative Erzeugung von SNG und CNG aus biogenen Rest- und Abfallstoffen (Res2CNG) – 4 Teile

Einblick Siehe Seite 21

Laufzeit 01.09.2015 – 31.08.2018

Teil 1

FKZ BWB15001

Institution DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT, Bereich Gastheologie

Leitung Dr.-Ing. Frank Graf
graf@dvgw-ebi.de

Internet www.kit.edu/index.php

Teil 2

FKZ BWB15002

Institution Europäisches Institut für Energieforschung EIFER, Karlsruhe

Leitung David Colomar
david.colomar@eifer.uni-karlsruhe.de

Internet www.eifer.kit.edu

Teil 3

FKZ BWB15003

Institution Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Abt. Systemanalyse und Erneuerbare Energien

Leitung Dr. Ludger Eltrop
Ludger.Eltrop@ier.uni-stuttgart.de

Internet www.iier.uni-stuttgart.de

Teil 4

FKZ BWB15004

Institution Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)

Leitung Prof. Dr. Günter Scheffknecht
guenter.scheffknecht@ifk.uni-stuttgart.de

Internet www.ifk.uni-stuttgart.de

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

Einblick Siehe Seite 22

Laufzeit 01.09.2015 – 31.08.2018

Teil 1

FKZ BWB15005

Institution Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (LAB), Stuttgart

Leitung Dr. Andreas Lemmer
andreas.lemmer@uni-hohenheim.de
www.uni-hohenheim.de/einrichtung/landesanstalt-fuer-agrartechnik-und-bioenergie-1437

Internet

Teil 2

FKZ BWB15006

Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Biowissenschaften

Leitung Prof. Dr. Johannes Gescher
johannes.gescher@kit.edu

Internet www.iab.kit.edu

Teil 3

FKZ BWB15007

Institution Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik – IMTEK

Leitung Dr. Sven Kerzenmacher
sven.kerzenmacher@imtek.de

Internet www.imtek.de

ERDWÄRME

Projekt Anwendung der Multi-track-SAR-Interferometrie zur Bestimmung von Beginn und Ausgangspunkt des Hebungssignals in Böblingen

Einblick Siehe Seite 10ff

FKZ L7515001

Laufzeit 01.10.2015 – 30.09.2017

Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geodätisches Institut

Leitung Dr. Malte Westerhaus
malte.westerhaus@kit.edu

Internet www.gik.kit.edu

Projekt Abgrenzung von Erdbeben als mögliche Schadensursache für Hebungen/ Setzungen

Einblick Siehe Seite 12

FKZ L7515007

Laufzeit 01.07.2015 – 30.09.2016

Institution Universität Stuttgart, Institut für Geophysik

Leitung Prof. Dr. Manfred Joswig
joswig@geophys.uni-stuttgart.de

Internet www.geophys.uni-stuttgart.de

Projekt Machbarkeitsstudie zur Kopplung eines Blockheizkraftwerks mit einem tiefen geothermalen Energiespeicher (GtES) – 2 Teile

Einblick Im Rahmen dieser Studie sollen Konzepte für eine wirtschaftliche KWWSK (Kraft-Wärme-Kopplung mit saisonalem Speicher) erarbeitet werden. Von den möglichen Umsetzungsszenarien sollen diejenigen, welche sich für eine Realisierung in einer konkreten Geologie im südlichen Oberrheingraben besonders eignen, näher untersucht werden. Bedarfsanalysen sollen unter Rücksprache mit lokalen Energieerzeugern und Großabnehmern erstellt und die Wirtschaftlichkeit der KWWSK berechnet werden.

Laufzeit 15.12.2015 – 31.12.2016

Teil 1

FKZ L7516003

Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften

Leitung Prof. Dr. Thomas Kohl
thomas.kohl@kit.edu

Internet www.agw.kit.edu/24.php

Teil 2

FKZ L7516004

Institution Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik, Freiburg

Leitung Martin Jäggle
martin.jaegle@ipm.fraunhofer.de
Internet www.ipm.fraunhofer.de

Projekt Recover-EWS: Effizienter Rückbau und Sanierung von Erdwärmesonden – 4 Teile

Einblick Siehe Seite 8
Laufzeit 01.11.2014 – 31.10.2016

Teil 1
FKZ BWG14001
Institution Burkhardt Geologische und hydrologische Bohrungen GmbH & Co. KG, Tulpenstraße 15, 75389 Neuweiler

Leitung Frank Burkhardt
frank@burkhardt-bohrungen.de
Internet www.burkhardt-erdwaerme.de

Teil 2
FKZ BWG14002
Institution EIFER, Europäisches Institut für Energieforschung, Karlsruhe
Leitung Dr. Roman Zorn
zorn@eifer.uni-karlsruhe.de
Internet www.eifer.kit.edu

Teil 3
FKZ BWG14003
Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften

Leitung Dr. Hagen Steger
hagen.steger@kit.edu
Internet www.agw.kit.edu

Teil 4
FKZ BWG14004
Institution enOware GmbH, Karlsruhe
Leitung Karl G. Linder
kl@enoware.de
Internet www.enoware.de/imprint.html

RESSOURCENSCHONUNG

Projekt 100 Betriebe für Ressourceneffizienz – 3 Teile

Einblick Es werden (bis zu 100) Praxisbeispiele aus Unternehmen zum Thema Ressourceneffizienz identifiziert, fachlich begleitet, bewertet und die Ergebnisse analysiert. Es werden Erfolgsfaktoren, Hemmnisse und Potenziale analysiert und Empfehlungen zur Stärkung von Ressourceneffizienz-Maßnahmen gegeben. Die Praxisbeispiele werden ausführlich dokumentiert und ansprechend öffentlich kommuniziert.

Laufzeit 01.09.2014 – 31.10.2016

Teil 1
FKZ L7514008
Institution Hochschule Pforzheim, Institut für Industrial Ecology

Leitung Prof. Dr. Mario Schmidt
mario.schmidt@hs-pforzheim.de
Internet http://umwelt.hs-pforzheim.de/en/home/

Teil 2
FKZ L7514009
Institution Universität Stuttgart, Institut für Technologiemanagement und Arbeitswissenschaften (IAT)

Leitung Prof. Dr. Wilhelm Bauer
wilhelm.bauer@iat.uni-stuttgart.de
Internet www.iat.uni-stuttgart.de

Teil 3
FKZ L7514010
Institution Umwelttechnik BW, Böblingen

Leitung Dr. Hannes Spieth
hannes.spieth@umwelttechnik-bw.de
Internet http://umwelttechnik-bw.de/de

Projekt Demontagefabrik im urbanen Raum: Erweiterte Stoffstromanalyse

Einblick Siehe Seite 26
FKZ L7515005
Laufzeit 10.11.2014 – 15.05.2015
Institution CUTEC-Institut, Clausthal-Zellerfeld

Leitung Prof. Dr. Martin Faulstich
martin.faulstich@cutec.de
Internet www.cutec.de/index.php/de

Projekt Vergleichende Analyse der Ressourceneffizienz von Primär- und Sekundärrohstoffgewinnung – Volkswirtschaftliche Indikatoren und der energetische Aufwand als zentraler Bewertungsindikator – der Rohstoff-Energie-Nexus – 2Teile

Einblick Das Projekt befasst sich einerseits mit der Bedeutung der Primärrohstoff- in Relation zur Sekundärrohstoffwirtschaft in Baden-Württemberg, andererseits mit der Regionalisierung aktueller nationaler und internationaler Ansätze für volkswirtschaftliche Indikatoren zur Messung der Ressourceneffizienz. Außerdem soll ein umfassender Bewertungsansatz zur Beurteilung des ökologischen und ökonomischen Aufwands bei der Primär- und Sekundärrohstoffgewinnung von Rohstoffen vorgeschlagen sowie ein allgemeiner Ansatz zum Vergleich der Ressourceneffizienz der Primär- und Sekundärrohstoffgewinnung für wirtschaftsstrategische Metalle Baden-Württembergs durchgeführt werden.

Laufzeit 01.12.2015 – 31.05.2018

Teil 1
FKZ L7516001
Institution Hochschule Pforzheim, Institute for Industrial Ecology

Leitung Prof. Dr. Mario Schmidt
mario.schmidt@hs-pforzheim.de
Internet www.hs-pforzheim.de

Teil 2
FKZ L7516002
Institution Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH

Leitung Prof. Dr. Martin Faulstich
martin.faulstich@cutec.de
Internet www.cutec.de/index.php/de

WASSERSTOFF

Projekt Regenerative Wasserstofferzeugung beim DLR Lampoldshausen – 2Teile

Einblick Im Rahmen dieses Projekts sollen die für den Aufbau und die Umsetzung erforderlichen Technologien und Subsysteme für die regenerative Wasserstofferzeugung, von einer fluktuierenden Stromeinspeisung über die Elektrolyse bis hin zur Speicherung ausgelegt, konzeptioniert, installiert und in Betrieb genommen werden. Somit ist eine lokale Zusammenführung von Energieerzeugung, Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und -nutzung möglich.

Laufzeit 16.09.2014 – 31.03.2017

Teil 1
FKZ BWH14002
Institution Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Raumfahrtantriebe, Hardthausen

Leitung Thorben Andersen
thorben.andersen@dlr.de
Internet www.dlr.de/ra/

Teil 2
FKZ BWH14003
Institution ZEAG Energie AG, Heilbronn

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

Projekt Erweiterung der Wasserstoff-Infrastruktur im Industriegebiet Freiburg Nord – 3 Teile

Einblick Siehe Seite 33
Laufzeit 22.09.2014 – 30.06.2016

Teil 1
FKZ BWH14004
Institution Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Leitung Dr. Tom Smolinka
tom.smolinka@ise.fraunhofer.de
Internet www.ise.fraunhofer.de/de

Teil 2
FKZ BWH14005
Institution Hochschule Offenburg, Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Labor Mess- und Regelungstechnik

Leitung Prof. Dr. Ulrich Hochberg
ulrich.hochberg@hs-offenburg.de
Internet https://mv.hs-offenburg.de/nc/mv0/aktuelles/

Teil 3
FKZ BWH14006
Institution Sick AG, Erwin-Sick-Straße 1, Waldkirch

Leitung Markus Haas
markus1.haas@sick.de
Internet www.sick.com

Projekt Wasserstofftankstelle Ulm – Begleitforschung zur Analyse des Betankungsprozesses und der Wasserstoffqualität

Einblick Siehe Seite 32
FKZ BWH15001
Laufzeit 13.05.2015 – 31.01.2016
Institution Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Ulm

Leitung Markus Jenne
markus.jenne@zsw-bw.de
Internet www.zsw-bw.de/das-zsw/standorte/ulm-mit-elab.html

Projekt Elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff mittels regenerativer Energie (Hochtemperaturelektrolyseanlage)

Einblick Erstmalige Installation und Erprobung einer neuartigen Wasserstoff-Hochtemperaturelektrolyseanlage (SOEC) zur Herstellung und Speicherung von regenerativem Wasserstoff an einer Solar-Wasserstoff-Tankstelle in Karlsruhe. Die Anlage soll eine elektrische Anschlussleistung von ca. 10 kW und eine Wasserstoff-Produktion von ca. 0,22 kg/h gewährleisten. Sie wird bei erhöhtem Druck (ca. 15 bar) und mit regenerativ erzeugtem Strom betrieb-

ben. Mit dem Betrieb des Elektrolyseurs unter realen Bedingungen über mind. 5000 Stunden werden durch das Monitoring der Anlage Erkenntnisse über das System und insbesondere die Steuerung erworben.

FKZ BWP16001
 Laufzeit 01.03.2016 – 31.05.2017
 Institution Europäisches Institut für Energieforschung (EIFER), Karlsruhe
 Leitung Dr. Annabelle Brisse, Maxime Zeller
 annabelle.brisse@eifer.uni-karlsruhe.de
 Internet www.eifer.kit.edu

Projekt Clusterunterstützung als Dienstleister für den Cluster Brennstoffzelle BW

Einblick Der Cluster zielt auf die Schaffung von Arbeitsplätzen durch Marktinnovationen, wettbewerbsfähige, attraktive und alltagstaugliche Produkte mit hoher Energie- und Ressourceneffizienz sowie die Information und Beteiligung von Bürgern und Kunden. Die Projektförderung dient der Operationalisierung des Clusters in der Startphase und dessen Verankerung auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene. Damit werden die Bereiche Veranstaltungsmanagement und Querschnittsthemen u. a. zum Wissenstransfer unterstützt.

FKZ L7513010
 Laufzeit 01.12.2013 – 31.12.2016
 Institution E-Mobil BW GmbH, Stuttgart
 Leitung Dr. Manuel Schaloske
 manuel.schaloske@e-mobilbw.de
 Internet www.e-mobilbw.de

Projekt Radon in Schulen

Einblick Siehe Seite 45
 FKZ L7513011
 Laufzeit 01.12.2013 – 30.12.2016
 Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Sicherheitsmanagement
 Leitung Dr. Gerhard Frank
 gerhard.frank@kit.edu
 Internet www.sum.kit.edu

ÖKOLOGIE

Projekt Repräsentative Erfassung der Emissionen klimarelevanter Gase aus Mooren in Baden-Württemberg (Em-Mo) – 3 Teile

Einblick In Forschungsprojekten zur Klimawirksamkeit von Mooren geht es um die Messung der Treibhausgasemissionen aus Mooren. Drei repräsentative Moorstandorte am Oberrhein (Graben-Neudorf) und in Oberschwaben (Federsee-Ried, Pfrunger-Burgweiler-Ried) werden untersucht. Dabei werden verschiedene Messmethoden angewandt.

Laufzeit 01.06.2012 – 31.12.2016
 Teil 1
 FKZ BWM11003
 Institution Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Stuttgart
 Leitung Prof. Dr. Thilo Streck
 thilo.streck@uni-hohenheim.de
 Internet www.uni-hohenheim.de
 Teil 2
 FKZ BWM11001
 Institution Universität Ulm, Institut für Systemi-

sche Botanik und Ökologie
 Leitung Prof. Dr. Marian Kazda
 marian.kazda@uni-ulm.de
 Internet www.uni-ulm.de/navi/sysbot.html
 Teil 3
 FKZ BWM11005
 Institution Universität Mainz, Geographisches Institut

Leitung Prof. Dr. Sabine Fiedler
 s.fiedler@geo.uni-mainz.de
 Internet www.geo.uni-mainz.de

Projekt Standsicherheits- und Bodeneigenschaften von Rekultivierungssubstraten – 2 Teile

Einblick Das Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Herstellung von Deponierekultivierungsschichten als Komponenten des Oberflächenabdichtungssystems unterschiedlicher Deponieklassen. Ziel des Vorhabens ist es, für Deponierekultivierungen infrage kommende Bodenmaterialien Baden-Württembergs zu ermitteln und an repräsentativen Bodenproben die Parameter für die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht (Scheureigenschaften) und weitere relevante Parameter in unverdichtetem Zustand zu erheben.
 Laufzeit 01.11.2015 – 31.10.2018
 Teil 1

FKZ L7515003
 Institution Universität Freiburg, Landespflege
 Leitung Prof. Dr. Werner Konold
 werner.konold@landespflege.uni-freiburg.de
 Internet www.landespflege-freiburg.de
 Teil 2

FKZ L7515009
 Institution Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik
 Leitung Prof. Dr. Theodoros Triantafyllidis
 Theodoros.Triantafyllidis@kit.edu
 Internet www.ibf.kit.edu

Projekt Entwicklung eines fluorspezifischen Gruppenparameters „EOF“ für Boden und weitere Feststoffmatrices

Einblick Siehe Seite 39f
 FKZ L7515008
 Laufzeit 01.09.2015 – 31.05.2017
 Institution DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe
 Leitung Dr. Frank Thomas Lange
 frankthomas.lange@tzw.de
 Internet www.tzw.de

WEITERE FORSCHUNGSPROJEKTE

Projekt Schnittstelle der Landschafts- und Kulturgeschichte. Untersuchung von Bohrkernen aus dem Mittleren Schlossgarten in Stuttgart

Einblick Siehe Seite 41ff
 FKZ L7516005
 Laufzeit 01.02.2016 – 31.12.2016
 Institution Universität Hohenheim, Institut für Botanik, Fachgebiet Allgemeine Botanik, Stuttgart
 Leitung Dr. Hans-Peter Stika und Dr. Andreas Lehmann
 hans-peter.stika@uni-hohenheim.de
 Internet www.botanik.uni-hohenheim.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 auf seinen Internetseiten unter <http://um.baden-wuerttemberg.de/de/wirtschaft/ressourceneffizienz-und-umwelttechnik/foerdermoeglichkeiten/foerderprogramm-bwplus> zur Verfügung.

Ansprechpartner:
 Prof. Dr. GüntherTurian
 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Referat 24 Umwelttechnik, Forschung, Ökologie
 E-Mail: guenther.turian@um.bwl.de

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/.

Ansprechpartner:
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe
 E-Mail: bwp@ptka.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. 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.

Ansprechpartner:
 Manfred Lehle
 LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 21 Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung
 E-Mail: manfred.lehle@lubw.bwl.de



PTKA
Projekträger Karlsruhe
im Karlsruher Institut für Technologie



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT