

**2012**

**TÄTIGKEITSBERICHT  
ANNUAL REPORT**

**MIT SONNE UND VERSTAND.**



**ZAE BAYERN**  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# 2012

# TÄTIGKEITSBERICHT ANNUAL REPORT

## **ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.  
Bavarian Center for Applied Energy Research

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

### **Der Vorstand | Board of Directors**

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (Vorsitzender | Chairman of the Board)

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff

Prof. Dr. Christoph J. Brabec

Stand: 31. Dezember 2012

Status: 31 December 2012

**MIT SONNE UND VERSTAND.**



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# IMPRESSUM

## IMPRINT

### Herausgeber

Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)

### Textbeiträge und Fotos

von den Mitarbeitern des ZAE Bayern;  
ergänzende Fotos: Romy Bonitz, München  
Rolf Thomas, Düsseldorf

### Redaktion und Bearbeitung

Anja Matern-Lang, Dr. Christian Scherdel

### ZAE Bayern

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg

☎ +49 931/ 705 64-0

☎ +49 931/ 705 64-600

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

✉ [info@zae.uni-wuerzburg.de](mailto:info@zae.uni-wuerzburg.de)

### Konzept und Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

### Druck

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energie-  
forschung e.V. (ZAE Bayern), Würzburg, Juni 2013

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion  
erforderlich.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem  
Papier.

### Editor

Bavarian Center for Applied Energy Research  
(ZAE Bayern)

### Articles and Photos

by ZAE Bayern staff members;  
additional photos: Romy Bonitz, Munich  
Rolf Thomas, Düsseldorf

### Coordination and Editing

Anja Matern-Lang, Dr. Christian Scherdel

### ZAE Bayern

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg

☎ +49 931/ 705 64-0

☎ +49 931/ 705 64-600

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

✉ [info@zae.uni-wuerzburg.de](mailto:info@zae.uni-wuerzburg.de)

### Concept and Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, Munich

### Print

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

Bavarian Center for Applied Energy Research  
(ZAE Bayern), Würzburg, June 2013

All rights reserved. No reproduction, copy or  
transmission of this publication may be made  
without written permission.

Printed on acid and chlorine free bleached paper.



0.1. | **INHALT**  
CONTENT

0.2. Vorwort . . . . .	6	0.2. Foreword . . . . .	6
<b>1.0. ALLGEMEINES . . . . .</b>	<b>10</b>	<b>1.0. GENERAL INFORMATION. . . . .</b>	<b>10</b>
1.1. Überblick . . . . .	12	1.1. At a Glance . . . . .	12
1.2. Das ZAE Bayern in Zahlen . . . . .	18	1.2. ZAE Bayern in Figures . . . . .	18
1.3. Das ZAE Bayern als Kooperationspartner . . . . .	19	1.3. Cooperation with ZAE Bayern . . . . .	19
1.4. Die Organe des ZAE Bayern . . . . .	20	1.4. The Governing Bodies of ZAE Bayern . . . . .	20
1.5. Rückblick . . . . .	22	1.5. Review . . . . .	22
1.6. Bei uns zu Gast 2012 . . . . .	34	1.6. Official Visitors in 2012 . . . . .	34
1.7. Ausblick . . . . .	37	1.7. Outlook . . . . .	37
<b>2.0. FORSCHUNG AM ZAE BAYERN . . . . .</b>	<b>40</b>	<b>2.0. RESEARCH AT ZAE BAYERN . . . . .</b>	<b>40</b>
2.1. Photovoltaik . . . . .	44	2.1. Photovoltaics . . . . .	44
2.2. Energiespeicher . . . . .	52	2.2. Energy Storage . . . . .	52
2.3. Energieoptimierte Gebäude . . . . .	56	2.3. Energy Optimized Buildings . . . . .	56
2.4. Energieeffiziente Prozesse . . . . .	60	2.4. Energy Efficient Processes . . . . .	60
2.5. Nanomaterialien . . . . .	66	2.5. Nanomaterials . . . . .	66
2.6. Thermophysik und -sensorik . . . . .	70	2.6. Thermophysics and Thermosensorics . . . . .	70
2.7. Thermophysik und -sensorik . . . . .	76	2.7. Thermophysics and Thermosensorics . . . . .	76
<b>3.0. VERÖFFENTLICHUNGEN . . . . .</b>	<b>80</b>	<b>3.0. PUBLICATIONS . . . . .</b>	<b>80</b>
3.1. Vorträge und Poster . . . . .	82	3.1. Presentations and Posters . . . . .	82
3.2. Veröffentlichungen . . . . .	89	3.2. Publications . . . . .	89
3.3. Studienabschlussarbeiten und Dissertationen . . . . .	93	3.3. Degree and Doctoral Theses . . . . .	93
3.4. Patente . . . . .	95	3.4. Patents . . . . .	95
3.5. Mitarbeit in Gremien . . . . .	96	3.5. Membership in Committees . . . . .	96
3.6. Vorlesungen . . . . .	98	3.6. Lectures . . . . .	98
3.7. Sonstiges . . . . .	99	3.7. Miscellaneous . . . . .	99
Adressen und Anfahrtsskizzen . . . . .	100	Addresses and how to find us . . . . .	100

## 0.2. | VORWORT

### FOREWORD

**Vladimir Dyakonov**  
 Vorstandsvorsitzender  
 Wissenschaftlicher Leiter der Abteilung  
 „Funktionsmaterialien der Energietechnik“  
 Chairman of the Board of Directors  
 Scientific Director of division  
 “Functional Materials of Energy Technology”



Liebe Freunde des ZAE Bayern,

Deutschland – doch kein Energiewendeland? Trotz stürmischer Wetterlage auf hoher energiepolitischer See, laufen die Bemühungen der Energieforscher ein neues tragfähiges Energieversorgungssystem zu entwickeln auf Hochtouren und die Anzahl erfolgreicher Umsetzungsprojekte steigt kontinuierlich an. Und doch – man könnte aufgrund des mancherorts vorliegenden Meinungsbild allzu leicht den Schluss ziehen, dass die Energiewende doch ein unbezahlbares Experiment sei. In diesem Zusammenhang wird auch vermehrt diskutiert, vor allem den Anteil der Erneuerbaren Energien bei der künftigen Energieversorgung nach unten zu korrigieren, im Gegensatz zu den Plänen in den Energiekonzepten der Bundesrepublik und des Freistaates Bayern. Interessant ist, dass gerade die junge Generation, d. h. Schüler, Studenten, die unbelastet von Öffentlichkeit heischenden Energiedebatten, immer mehr von der Idee der Energiewende und von dem Ziel, ein umweltfreundliches Energiesystem für die Zukunft zu gestalten, begeistert sind. 2012 haben wir am Institut das Interesse der jungen Leute aus der Region und aus dem Ausland, von USA, Frankreich über Russland und China bis nach Malaysia besonders stark gespürt. Über das ganze Jahr verteilte „Klassenfahrten“ lieferten spannende Diskussionen, einerseits über die technologischen Möglichkeiten im Bereich der Erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz, andererseits über die Chancen und Risiken die damit möglicherweise verbunden sind. Offenheit, Vorurteilsfreiheit und

Dear friends of ZAE Bayern,

Germany – no land of energy turnaround anymore? Despite the stormy weather on the high sea of energy policy, the efforts of the energy experts to develop a new sustainable energy supply system are in full swing and the amount of successful implementation projects is steadily growing. And still, the opinion leaders say the opposite and that the experiment is far too expensive and the share of renewables in the future energy mix should be downsized, other than it is foreseen by plans of the Federal and Bavarian government. In contrast, the young generation, pupils and students, consuming less and less traditional broadcasting and hence less energy polemics, is more and more enthusiastic about the vision of the energy turnaround. In 2012 ZAE Bayern exceedingly experienced the motivation of young people from near and far – from the USA, via France, Russia and China to Malaysia – to become prime movers of the “green” energy system of the future. Meeting those visitors during the whole year provided exciting discussions on technological opportunities in the sector of renewable energies on the one hand and the possible chances and risks on the other. Openness, being unprejudiced and the willingness to experiment is what you get at those meetings as a positive stimulating feedback in an age of busy schedules. The conclusion we may draw: Let’s try not to loose the young generation in this endeavour and don’t let the sceptics of this challenging and socially important goal make you feel uncertain!

Experimentierfreude – all das lernt man bei solchen Begegnungen im Zeitalter überfüllter Terminkalender. Fazit: Setzt auf Nachwuchs, lasst euch von den Skeptikern dieses wissenschaftlich anspruchsvollen und gesellschaftlich wichtigen Ziels nicht verunsichern!

Im vergangenen Jahr haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ZAE Bayern in Erlangen und in Garching ihr neues Zuhause bekommen. Bereits im Februar übergab der Bayerische Wirtschaftsminister Martin Zeil persönlich den symbolischen Gebäudeschlüssel an die Kollegen in Erlangen und nur wenige Monate später in Garching. In seinen Festreden lobte der Staatsminister die Arbeit des Instituts: „Wir setzen auf eine innovationsorientierte Energiewende. Schwerpunkte sind dabei die Erzeugung und Speicherung von Energie, genauso wie deren Übertragung und Effizienz. Deshalb unterstützen wir gezielt anwendungsnahe Forschungsinstitute wie das ZAE Bayern, das in all diesen Forschungsthemen seit Jahren hervorragende Arbeit leistet.“ Die Realisierung beider Baumaßnahmen wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert und unterstützt.

Bei der Veranstaltung in Garching wurde außerdem das neue Zentrum für Speichertechnologien (ZAE-ST) präsentiert, in welchem thermische, chemische und elektrische Speichertechnologien entwickelt und die

In the past year, the employees of ZAE Bayern in Garching and Erlangen moved into their new houses. The Bavarian Minister for Economy Martin Zeil handed over the symbolic key to my colleagues in Erlangen already in February and just a few months later in Garching. The State Minister praised the work of the institute in his official statements: “We consistently rely on an innovation oriented energy turnaround. The focus lies on the production and storage of energy, as well as their transmission and efficiency. Therefore we specifically support applied research institutes as ZAE Bayern which has been doing a brilliant work in all these research topics for years now.” Both building projects were supported by the Bavarian Ministry for Economy, Infrastructure, Transport and Technology.

Recently the new Center for Storage Technology (ZAE-ST) was introduced in Garching. Thermal, chemical and electrical storage technologies and demand-oriented system solutions which will enable the integration of the renewable energies and increase the energy efficiency will be developed there. The Bavarian State Ministry's support of this center shows the appreciation of the competence of ZAE Bayern in the research area of energy storage technologies and the confidence in the institutes' search for solutions for future energy storage systems at the same time.



bedarfsorientierten Systemlösungen erarbeitet werden um die Integration der Erneuerbaren Energien zu ermöglichen und die Energieeffizienz zu steigern. Die Förderung des Zentrums durch die Bayerische Staatsregierung ist ein Ausdruck der Anerkennung der Kompetenz des ZAE Bayern auf dem Forschungsgebiet der Energiespeichertechniken und gleichzeitig des Vertrauens in das ZAE Bayern bei der Suche nach Lösungen zukünftiger Energiespeichersysteme.

Nur wenige Tage später erfolgte der offizielle Startschuss für das Projekt „Smart Grid Solar“. „Der Modellversuch „Smart Grid Solar“ ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie wir die Energieforschung vorantreiben und gleichzeitig unsere Region stärken“, erklärte Staatsminister Martin Zeil in seiner Grußwortrede am 12. November 2012.

Das 21. Lebensjahr war ein wichtiger Lebensabschnitt des ZAE Bayern, in welchem es nicht nur um kurz- bis mittelfristige Umsetzungsprojekte im Rahmen der Energiewende ging, sondern auch über die Lösungen für die Energiesysteme der Zukunft intensiv nachgedacht wurde. So wurde bereits zum dritten Mal die Internationale Konferenz zum Thema „Organische Photovoltaik“ in Kooperation mit Bayern Innovativ in Würzburg veranstaltet. Unglaublich aber wahr – die Kunststoffszellzellen haben bereits die 12%-Marke im Wirkungsgrad erreicht! Organische PV hat sich am ZAE Bayern zu einem starken, abteilungsübergreifenden Forschungsthema entwickelt. Von der Erforschung von Grundlagen über die Drucktechnologieentwicklung bis hin zur Gebäudeintegration.

Eine Reihe von Auszeichnungen und Preisen ging auch in diesem Jahr an das Institut, darunter der so genannte „Green-Building“-Preis im Wettbewerb „German High-Tech Champions“ für die Entwicklung eines integrierten Solarsystems, das zum Heizen und Kühlen in Gebäuden eingesetzt werden kann. Ziel dieses durch die Fraunhofer Gesellschaft veranstalteten Wettbewerbs ist es für den Forschungsstandort Deutschland im In- und Ausland aktiv zu werben. Unser Glückwunsch geht an die erfolgreiche ZAE Bayern Ausgründung Fa. va-Q-tec AG in Würzburg, zur internationalen Auszeichnung „New Energy Pioneer“ für die hocheffiziente Nutzung intelligenter Materialien. va-Q-tec setzt die am ZAE Bayern begonnene Entwicklung von sogenannten Vakuumisolierpaneelen (VIP) in den Produkten fort und ist damit die erste deutsche Firma, die eine solche Auszeichnung von Bloomberg New Energy Finance in den USA erhalten hat. Wenn das Al-

Only a few days later, the project “Smart Grid Solar” coordinated by ZAE Bayern started officially. “The model test „Smart Grid Solar” is an excellent example to show how we support energy research and at the same time strengthen our region”, explained State Minister Martin Zeil in his speech on 12 November 2012.

The age of 21 was a very important stage in the life of ZAE Bayern. In this phase not only short to medium-term projects were carried out but also solutions for the future energy supply were sought after. For example, the International Conference “Organic Photovoltaics” addressing various aspects of this novel PV technology, took place already for the 3<sup>rd</sup> time in Würzburg in cooperation with Bayern Innovativ GmbH. Believe it or not – the plastic solar cells have reached 12% efficiency already! And the organic PV has become an important, inter-divisional research field at ZAE Bayern. The value chain is going to be here from fundamentals to efficient lab-scale devices, from printing technology development to building integration.

In the reported year, the institute again received a number of prestigious awards and prizes. Among them is the so-called “Green Building Prize” in the contest “German High Tech Champions” which was awarded for developing an integrated solar system, which could be used for cooling and heating of buildings. The objective of this competition, which is carried out by Fraunhofer Institutes is to actively promote Germany as a landmark of science and research both nationally and internationally. We congratulate the successful ZAE-spin-off company va-Q-tec AG in Würzburg for the international award “New Energy Pioneer” which they received for the highly efficient use of intelligent materials. va-Q-tec is successfully developing the so-called vacuum-insulation panels (VIP), the technology originally started at ZAE Bayern two decades ago. va-Q-tec is the first German company who received this prestigious award. If that was all I would stop at this point. Nevertheless, there was much more going on at ZAE Bayern in the last year. In the latest edition of our annual report we will show you which further exciting developments took place in 2012 and what to expect for 2013.

I would like to thank our members, our trustees and the members of our scientific advisory board for their constructive and critical impulses to improve the development of the institute. Special thanks go to the Bavarian Ministry of Economy (BayStMWIVT) for over

les wäre, würde ich an dieser Stelle Schluss machen. Dennoch... es geschah am ZAE Bayern im vergangenen Jahr viel mehr... Welche weiteren spannenden Entwicklungen das Jahr 2012 mit sich brachte und was Sie 2013 erwartet, zeigen wir Ihnen in der neuen Ausgabe unseres Jahresberichts.

Unseren Vereinsmitgliedern, unseren Kuratoren und den wissenschaftlichen Beiräten möchte ich für ihre kritischen und konstruktiven Impulse zur Weiterentwicklung des Instituts herzlich danken. Ein besonderer Dank geht seit über 21 Jahren an das Bayerische Wirtschaftsministerium für die institutionelle Förderung. Unseren Institutsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern, den Abteilungsleitern und den Vorstandskollegen Hartmut Spliethoff und Christoph Brabec möchte ich für ihren Forschungseinsatz, die hervorragende Atmosphäre und die gute Zusammenarbeit meinen Dank aussprechen.

Und das Wichtigste zum Schluss: Zwei unserer Ehrenmitglieder und Institutsgründer feierten kurz vor dem Entstehen dieses Vorworts ihren Fünfundsiebzigsten. Den Vorreitern der Energiewende in den Bereichen Photovoltaik und Energieeffizienz, Professoren Rudolf Hezel und Jochen Fricke gelten unsere besten Glückwünsche und unsere Anerkennung! Alles Gute zum Geburtstag! Ihnen und uns allen, meine Damen und Herren, wünsche ich viel Erfolg und das nötige Quäntchen Glück bei der Realisierung der Energiewende, um bald sagen zu dürfen „Deutschland IST ein Energiewendeland“!

Viel Spaß beim Lesen!

21 years of institutional funding. I would like to express my gratitude to the institute's employees, the group and division leaders for their commitment and to my colleagues on the board of directors Hartmut Spliethoff and Christoph Brabec for the excellent teamwork.

And the most important at the end: Two of our honorary members and founders of the institute celebrated their 75<sup>th</sup> birthday shortly before this foreword was written. We would like to congratulate the pioneers of the energy turnaround in the fields of photovoltaics and energy efficiency, professors Rudolf Hezel and Jochen Fricke and express our appreciation. Happy Birthday! For you and all of us, ladies and gentlemen, success and all the luck in the realization of the energy turnaround. May we soon say: "Germany – the land of energy turnaround!"

So I hope you will enjoy reading and browsing through this year's ZAE Bayern annual report!







1.0. | **ALLGEMEINES**  
GENERAL INFORMATION

## 1.1. ÜBERBLICK AT A GLANCE



**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Scientific Director



**Prof. Dr. V. Dyakonov**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Scientific Director



**Prof. Dr. C. J. Brabec**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Scientific Director

### SATZUNGSAUFRAG

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein mit Sitz in Würzburg. Zweck der Gründung ist die Förderung der Energieforschung sowie der Aus-, Fort- und Weiterbildung und der Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten, die für die Energieforschung bedeutsam sind. Der Verein unterhält ein wissenschaftliches Forschungsinstitut mit drei Abteilungen an den Standorten Würzburg, Erlangen und Garching, an welchen rund 180 Wissenschaftler, technische und Verwaltungsangestellte sowie Studenten tätig sind. Seit Gründung des ZAE Bayern im Jahr 1991 hat sich das Institut zu einer national und international anerkannten Forschungseinrichtung entwickelt.

### INSTITUTSPROFIL

Das ZAE Bayern arbeitet an der Schnittstelle zwischen erkenntnisbasierter Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung. Jährlich führt das Institut eine große Zahl von Projekten mit der Industrie, vom KMU bis zum Großkonzern, sowie mit universitären und außeruniversitären Forschungspartnern durch. Die Hauptforschungsschwerpunkte des ZAE Bayern sind den Bereichen verstärkter Einsatz von Erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz zugeordnet. Die Forschungsthemen des Instituts sind in vier Hauptforschungsthemen:



Photovoltaik



Energiespeicher



Energieoptimierte Gebäude



Energieeffiziente Prozesse

### CHARTERED OBJECTIVES

The Bavarian Center for Applied Energy Research (ZAE Bayern) is a registered, non-profit association. The association was founded in December 1991 and has its registered office in Würzburg. The association was established to promote energy research as well as education, further training, consultation, information and documentation in all fields significant to energy research. The association supports a scientific research institute with three divisions in Würzburg, Erlangen and Garching, employing about 180 scientists, technicians, administrative personnel and students. Since the founding of ZAE Bayern in 1991, the institute has become a both nationally and internationally recognized research institute.

### INSTITUTE PROFILE

ZAE Bayern works on the interface between evidence-based fundamental and applied- industrial research. Every year the institute performs a great number of projects with the industry, from SME to large groups, as well as with university and non-university research partners. The most important themes of research at ZAE Bayern are to encourage the use of renewable energy and increasing the energy efficiency. The institute's research topics are divided into four major research topics:



Photovoltaics



Energy Storage



Energy Optimized Buildings



Energy Efficient Processes



**Dr. A. Hauer**  
Abteilungsleiter  
Head of Division



**Dr. H.-P. Ebert**  
Abteilungsleiter  
Head of Division



**Dipl.-Ing. R. Auer**  
Abteilungsleiter  
Head of Division



**Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo**  
Verwaltungsleiter  
Head of Central Administration

und drei Querschnittsthemen gegliedert:



Nanomaterialien



Thermophysik und – sensorik



Systemtechnische Modellierung

Dabei bilden Materialkompetenz, Theorieverständnis, Bauteil- und Komponentenentwicklung und schließlich die Optimierung dieser Komponenten in Energiesystemen eine lückenlose erkenntnisbasierte Wertschöpfungskette. Die Vernetzung der einzelnen thematischen Schwerpunkte als auch die Vernetzung innerhalb der Wertschöpfungskette ermöglichen dem ZAE Bayern wertvolle Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz von Erneuerbaren Energien zu liefern. Die Projekte am Institut werden standortübergreifend bearbeitet und sind nur durch eine enge Vernetzung der einzelnen Arbeitsgruppen mit ihren Kompetenzen möglich. Aus- und Weiterbildung bilden eine weitere Säule der ZAE-Tätigkeit. Rund 25 Studenten fertigten im Jahre 2012 ihre Diplom- bzw. Master-, Bachelor- und Projektarbeiten in ZAE-Laboratorien an.

#### KOOPERATIONEN

Das ZAE Bayern fördert verstärkt die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Zu diesem Zweck strebt es Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und der Industrie an. Industrieverbundprojekte, die gemeinsam mit industriellen Partnern durchgeführt werden, profitieren von der engen Vernetzung und den hieraus resultierenden Synergieeffekten. Eine erfolgreiche Einwerbung von Drittmit-

and three cross-cutting issues:



Nanomaterials



Thermophysics and Thermosensorics



Systems Modelling

Competence in materials science, theoretical understanding, and development of components and finally optimization of the same within energy systems creates a continuous, knowledge-based chain of value. Our integrative approach to these individual focuses facilitates the task of finding effective solutions to increase energy efficiency and boost the use of renewable energy sources.

Projects realized at the institute take advantage of interdivisional cooperation and benefit from the competences within the close network of research groups within each division. Education is a further pillar of ZAE Bayern's activities; around 25 students completed their degree-, master- and bachelor thesis or project work at ZAE Bayern in 2012.

#### COOPERATIONS

ZAE Bayern intensely promotes the practical application of scientific findings, constantly endeavoring to form cooperative partnerships with scientific and industrial organizations. Joint projects realized by the institute's divisions together with industrial partners profit from close networking and the resulting synergies. Thanks to success in raising third-party funds over several years, ZAE Bayern is not only able



tel über mehrere Jahre ermöglicht dem ZAE Bayern die Stärkung seiner Kerngebiete der Energieforschung, ein Wachstum im Personalbereich sowie Investitionen um als Gesamtinstitution in absehbarer Zeit international konkurrenzfähig zu werden. Das Institut kooperiert in besonderer Weise mit den Universitäten in Würzburg, Erlangen-Nürnberg und München (TUM). Das ZAE Bayern ist Mitglied im „ForschungsVerbund Erneuerbare Energien“ (FVEE), einer strategischen Partnerschaft außeruniversitärer Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Das ZAE Bayern ist Gründungsmitglied des Energie Campus Nürnberg (EnCN). Der EnCN ist eine Forschungs-kooperation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. und dem ZAE Bayern am Standort Nürnberg auf dem Gebiet der Energieforschung. Das ZAE Bayern ist Partner im interdisziplinären Forschungszentrum „TUM Energy“.

#### ORGANISATION

Das Institut gliedert sich in drei Abteilungen. Die Garching Abteilung „Technik für Energiesysteme und Erneuerbare Energien“ wird von dem Wissenschaftlichen Leiter, Professor Dr.-Ing. H. Spliethoff, und dem Abteilungsleiter Dr. A. Hauer geleitet. In der Abteilung werden Forschungs- und Entwicklungsthemen in den Bereichen Wärmespeicherung und –transformation und elektrochemische Wandlung und Speicherung bearbeitet. Weitere FuE-Schwerpunkte werden in den Bereichen Biomasse, Geothermie, Solarthermie gesetzt. Die Abteilung „Photovoltaik und Thermosensorik“ in Erlangen leitet Professor Dr. C. J. Brabec zusammen mit Dipl.-Ing. R. Auer. Zu den Forschungsaufgaben der Abteilung gehört die Entwicklung neuer Solarzellenkonzepte und Bauelemente auf Basis von dünnem, kristallinem Silizium mit dem Ziel der Wirkungsgradsteigerung sowie von druckbaren Solarzellen und lösungsmittelbasierten Produktionstechnologien. Verstärkter Einsatz der hoch auflösenden bildgebenden Infrarotmesstechnik (Lock-in-Thermographie) mit hoher Orts- und Zeitauflösung in der Photovoltaik komplettiert das Forschungsspektrum der Abteilung. Die Abteilung „Funktionsmaterialien der Energietechnik“ in Würzburg wird von Professor Dr. V. Dyakonov und Dr. H.-P. Ebert geleitet. FuE-Schwerpunkte werden im Bereich der Sol-Gel basierten Materialien gesetzt; dabei stehen sowohl Funktionsschichten mit integrierten Nanopartikeln als auch poröse Formkörper im Fokus der Arbeiten. Zielsetzung bei der Materialentwicklung ist die Optimierung der thermophysika-

to strengthen its core issues of energy research, but is also experiencing growth in human resources and investments, in order to become competitive in the close future as an organization. ZAE Bayern has special close ties with the universities in Munich, Würzburg and Erlangen. ZAE Bayern is a member of the FVEE - ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Renewable Energy Research Association), a strategic partnership between non-university German research institutes working in the field of renewable energy. ZAE Bayern is a founding member of the Energy Campus Nuremberg (EnCN). EnCN is a research cooperation between the Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg, the Georg-Simon-Ohm-University Nürnberg and the Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (Society for the Promotion of Applied Research) and ZAE Bayern's division in Nürnberg in the field of energy research. ZAE Bayern is a partner in the network Renewable Energies of the research initiative "TUM Energy".

#### ORGANIZATION

The institute comprises three divisions. The division in Garching, "Technology for Energy Systems and Renewable Energy", is managed by the scientific director Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff and the head of division Dr. A. Hauer. The division develops and researches heat storage and conversion as well as electrochemical conversion and storage. Further focuses of R&D are biomass as well as geothermal and solar thermal systems. The division in Erlangen, "Photovoltaics and Thermosensorics", is headed by Prof. Dr. C. J. Brabec together with acting head of division R. Auer (Dipl.-Ing.). The division's fields of research include developing solar cell concepts and components on the basis of thin, crystalline silicon, with the aim of increasing solar cell efficiency, as well as printable solar cells and solvent-based production technology. Increased usage of high (spatial and temporal) resolution infrared imaging (lock-in thermography) in the field of photovoltaics rounds off the division's spectrum of research. The Würzburg division, "Functional Materials for Energy Technology", is managed by Professor Dr. V. Dyakonov and Dr. H.-P. Ebert. The field of solgel based materials presents a focus for the division's research and development, particularly functional coatings with integrated nanoparticles and porous moulded parts. Our work in material development involves improving thermophysical, optical and energy efficiency of buildings. ZAE Bayern has its own independent administration headed by T. Pharo (Dipl.-Betriebswirt). The team is based in Würzburg and deals with human resources, control-

lischen, optischen und elektrischen Eigenschaften z. B. bei der energetischen Optimierung des Gebäudebestands. Das ZAE Bayern hat eine eigenständige Verwaltung. Unter der Führung des Verwaltungsleiters Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo bearbeitet das in Würzburg ansässige Team die Bereiche Personalwesen, Controlling, Buchhaltung und Öffentlichkeitsarbeit. Die Verwaltung arbeitet an der Schnittstelle von Vorstand, Abteilungen und externen Kooperationspartnern, darunter auch Mitgliedern. Hier wird auch die Arbeit von Vorstand, Kuratorium, Wissenschaftlichem Beirat und Trägerverein unterstützt und organisiert.

#### ORGANE DES VEREINS

Organe des ZAE Bayern sind die Mitgliederversammlung, das Kuratorium und der Wissenschaftliche Beirat. Ende 2012 hatte der Verein „Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.“ 39 Mitglieder, bestehend aus Mitgliedern von Amts wegen, natürlichen Personen, Unternehmen, Verbänden und Institutionen und Ehrenmitgliedern. Eine hohe und stabile Mitgliederzahl, auch in der Vergangenheit, ist ein Zeichen der Aktualität der Forschungsthemen und der sehr guten Qualität der Ergebnisse. Dies belegt auch die enge Partnerschaft und Geschäftsbeziehung zwischen dem ZAE Bayern und seinen Mitgliedern.

Die ordentliche Mitgliederversammlung des ZAE Bayern fand am 21. November 2012 im ZAE Bayern in Erlangen statt. Nach den Jahresberichten des Vorstandsvorsitzenden Prof. Dr. V. Dyakonov und des Kuratoriumsvorsitzenden Dr.-Ing. R. Hofer wurde dem Vorstand und dem Kuratorium für das Jahr 2012 die Entlastung erteilt. Das Kuratorium bestand 2012 aus 6 Vertretern aus den Bereichen der Forschung, der Wirtschaft und des öffentlichen Lebens. Es berät den Vorstand in allen wirtschaftlichen Belangen und steht ihm bei der Durchführung seiner Aufgaben beratend zu Seite. Der Wissenschaftliche Beirat bestand im Jahr 2012 aus 9 Vertretern der Hochschulen, außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und der Industrie. Er führt regelmäßig eine interne wissenschaftliche Evaluierung des ZAE Bayern durch.

Der Institutsvorstand besteht aus den Professoren Dr. V. Dyakonov (Würzburg, Vorsitzender), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching, stellvertretender Vorsitzender) und Dr. C. J. Brabec (Erlangen). Der Vorstand des ZAE Bayern ist für die Forschungs-, Ausbau-, Personal-, und Finanzplanung verantwortlich.

ling, accounting and public relations. The central administration team also maintains liaison between the board of directors, the divisions and external partners and members. They also support and organize the work of the board, the trustees, the scientific advisory committee and the association.

#### GOVERNING BODIES

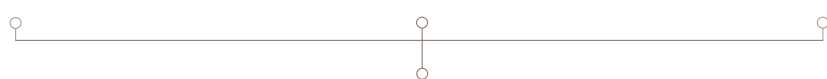
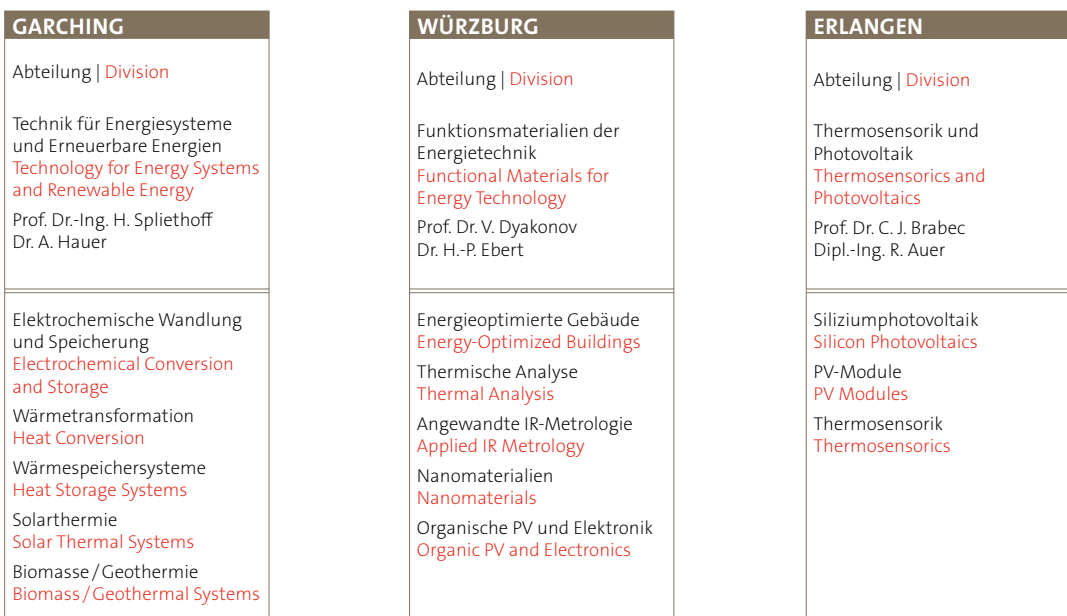
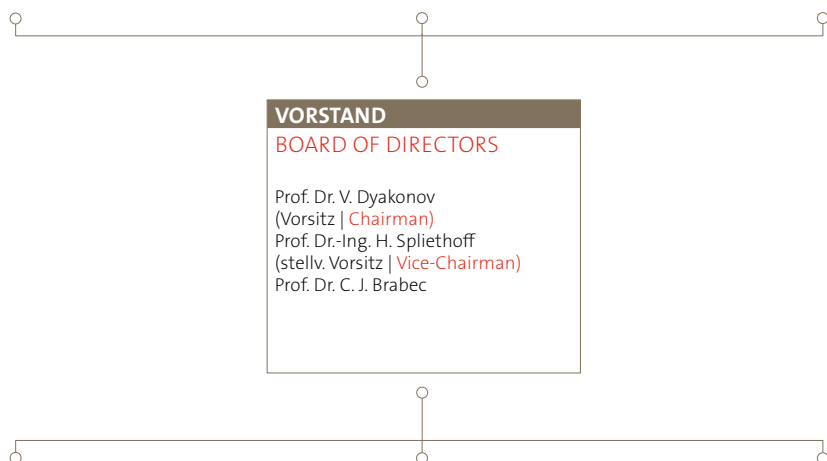
The bodies of ZAE Bayern are the general meeting, the board of trustees and the scientific advisory board. At the end of 2012, the “Bavarian Center for Applied Energy Research” registered association had 39 members consisting of members ex officio, natural persons, companies, associations/institutions and honorary members. A constantly high number of members indicates the pertinence of our fields of research and the high quality of the results. This is also confirmed by the close partnership and business relations between ZAE Bayern and its members.

ZAE Bayern’s general assembly took place the 21<sup>st</sup> November 2012 at ZAE Bayern in Erlangen. After the annual reports were presented by chairman of the board, Prof. Dr. V. Dyakonov, and chairman of the board of trustees, Dr.-Ing. R. Hofer, the board of directors’ and board of trustees’ actions in 2012 were approved. The board of trustees composes of 6 representatives from the areas of research, economy and public life. It advises the board of directors in all economic, as well as energypolicy issues and provides advice in the execution of its work. The scientific advisory board consisting of 9 representatives from universities, non-university research institutions and the industry regularly conducts internal scientific evaluations of ZAE Bayern.

The institute’s board of directors consists of the professors Dr. V. Dyakonov (Würzburg, chairman), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching, deputy chairman) and Dr. C. J. Brabec (Erlangen). The directorate of ZAE Bayern is responsible for planning research, expansion, personnel and the financing.



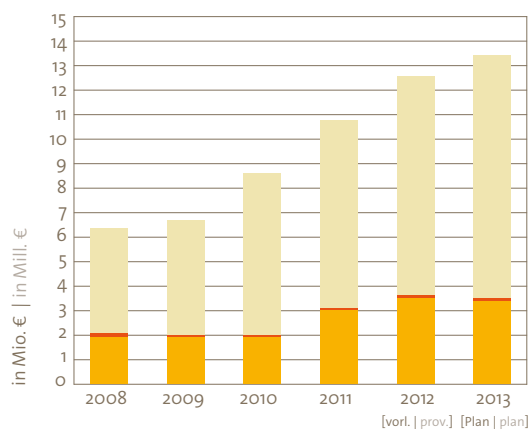




Verwaltung | Administration    Öffentlichkeitsarbeit | Public Relations    Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo, A. Matern-Lang

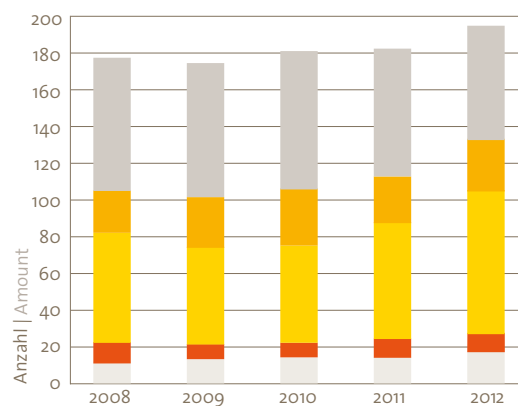
## 1.2. DAS ZAE BAYERN IN ZAHLEN

### ZAE BAYERN IN FIGURES



Entwicklung Haushalt 2008 – 2013 | Budget

■ Drittmittel | Third party funds  
■ Sonstige | Other revenues  
■ Grundfinanzierung | Basic funding



Personalentwicklung 2008 – 2012 | Staff

■ Sonstige | Other staff  
■ Verwaltung | Administration  
■ Doktoranden | Doctorate students  
■ wiss. Mitarbeiter | Scientific personnel  
■ techn. Mitarbeiter | Technical personnel

#### HAUSHALT UND FINANZEN

Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2012 auf ca. 12,6 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2006 bis 2013 weist für das Jahr 2012 eine Grundfinanzierung vom Bayerischen Wirtschaftsministerium (BayStMWIVT) in Höhe von 3,5 Mio. € aus. 9,0 Mio. € aus Drittmitteln sowie 0,1 Mio. € sonstige Einnahmen konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 7,5 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 1,5 Mio. € Industriemitteln zusammen.

Den Einnahmen stehen 6,0 Mio. € Personalausgaben, 2,3 Mio. € Sachausgaben sowie Investitionen in Höhe von 4,3 Mio. € gegenüber. Insgesamt wurden im Jahr 2012 295 Projekte mit 222 Partnern bearbeitet.

#### PERSONAL UND RÄUMLICHKEITEN

Zum Jahresende 2012 waren am ZAE Bayern 195 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Werkstofftechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 24%. 28 Doktoranden, 15 Diplom-/Masteranden und 10 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 29% der Mitarbeiter in Ausbildung.

Dem ZAE Bayern steht eine Hauptnutzfläche von 6040 m<sup>2</sup>, zur Verfügung. 2050 m<sup>2</sup> werden als Laborfläche genutzt. Die Laborflächen verteilen sich wie folgt:

<b>Garching</b>	700 m <sup>2</sup>
<b>Würzburg</b>	660 m <sup>2</sup> (davon 350 m <sup>2</sup> Technikum)
<b>Erlangen</b>	690 m <sup>2</sup>

Sämtliche Standorte des ZAE Bayern sind in eigenen Räumen untergebracht.

#### BUDGET AND FINANCES

In 2012, the institute's budget came to € 12.6 m. The development of income from 2006 to 2013 depicted in Fig. 1.2 shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology provided basic funding amounting to € 3.5 m in 2012. Approx. € 9.0 m third-party funds were raised as well as € 0.1 m other revenues. The third-party funds comprise € 7.5 m from public project funding and € 1.5 m from industrial sources.

The institute's expenditure in 2012 comprises € 6.0 m in personnel costs, € 2.3 m in material costs and € 4.3 m in investments. Research was carried out in a total of 295 projects involving 222 partners.

#### STAFF AND PREMISES

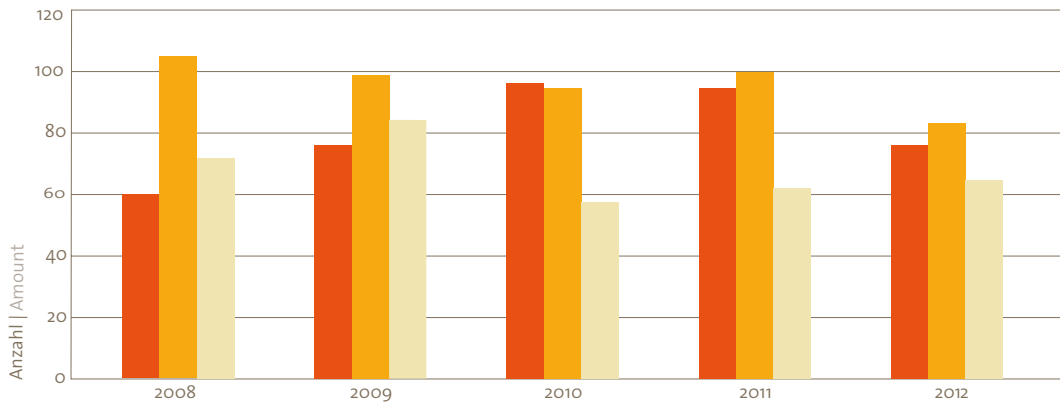
At the end of 2012, ZAE Bayern had 195 staff members. There was a rise in the number of employees due to the further increase in project volume. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering and materials science. Women made up 24% of the staff. The institute provided 28 doctorate students, 15 graduates and 10 students with the means to further their education. Students and trainees constituted 29% of the staff. ZAE Bayern has a usable floor space of 6040 m<sup>2</sup>, 2050 m<sup>2</sup> of which are laboratory areas. The laboratory areas comprise:

<b>Garching</b>	700 m <sup>2</sup>
<b>Würzburg</b>	660 m <sup>2</sup> (350 m <sup>2</sup> of which is in external premises)
<b>Erlangen</b>	690 m <sup>2</sup>

All divisions of ZAE Bayern have their own buildings.

## 1.3. DAS ZAE BAYERN ALS KOOPERATIONSPARTNER

### COOPERATION WITH ZAE BAYERN



Aufteilung der ZAE-Projektpartner nach Art und Größe | Distribution of ZAE Bayern's project partners according to the type and size

■ KMU | SMEs ■ Großunternehmen | Large enterprises ■ Institutionen | Institutions

Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung gestaltet sich besonders effizient, wo leistungsstarke Partner entlang der Wertschöpfungskette gemeinschaftliche Ziele verfolgen. Das ZAE Bayern ist deshalb auch ein gefragter nationaler und internationaler Kooperationspartner der Industrie, von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Dabei kommen den Kooperationspartnern die in vielen Bereichen über den Standard herausragenden Forschungs- und Entwicklungsressourcen des Instituts zu Nutze.

Eine wichtige Tätigkeit des ZAE Bayern ist die Kooperation mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU). Seit einigen Jahren ist vor allem eine verstärkte Zunahme der Kooperationen mit Großunternehmen und Institutionen, d. h. Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, festzustellen (siehe Abb.). Das ZAE Bayern übernimmt damit eine wichtige Brückenfunktion zwischen universitärer Forschung und industrieller Entwicklung.

Das Leistungsangebot (z. B. apparative Ausstattung) unserer Standorte finden Sie im Detail auf folgenden Internetseiten:

- **Hauptforschungsthemen:**  
[www.zae-bayern.de/hauptforschungsthemen](http://www.zae-bayern.de/hauptforschungsthemen)
- **Querschnittsthemen:**  
[www.zae-bayern.de/querschnittsthemen](http://www.zae-bayern.de/querschnittsthemen)

Application-oriented research and development is particularly efficient when competent partners follow the same goals. This is one of the reasons why ZAE Bayern is a much sought after partner for industry, universities and independent research centres within Germany and worldwide. The state-of-the-art research and development resources available to the institute are a real benefit to our cooperation partners.

An important part of our work at ZAE Bayern is cooperating with small and medium-sized enterprises (SMEs). In the last few years, however, the number of joint projects between ZAE Bayern and major enterprises and institutions, i. e. universities and independent research institutes, has also been on the increase (cf. Fig.). In this vein, ZAE Bayern serves as an important link between university research and industrial development.

Details about the metrological techniques and facilities available at each of the ZAE Bayern divisions are published on our website:

- **Major research topics:**  
[www.zae-bayern.de/hauptforschungsthemen](http://www.zae-bayern.de/hauptforschungsthemen)
- **Cross-cutting topics:**  
[www.zae-bayern.de/querschnittsthemen](http://www.zae-bayern.de/querschnittsthemen)

## 1.4. DIE ORGANE DES ZAE BAYERN

### THE GOVERNING BODIES OF ZAE BAYERN

Stand / Status:  
31.12.2012

---

#### MITGLIEDER MEMBERS

---

- Unternehmen
- Enterprises

**APROVIS Energy Systems GmbH**, Weidenbach  
**Bayerngas GmbH**, München  
**BEC-Engineering GmbH**, Ottersberg  
**Bekon Energy Technologies GmbH & Co. KG**,  
 Unterföhring  
**B + O Wohnungswirtschafts GmbH & Co. KG**,  
 München  
**E.ON Bayern AG**, Regensburg  
**Grammer Solar GmbH**, Amberg  
**Hightex GmbH**, Rimsting  
**IBC Solar AG**, Bad Staffelstein  
**Knauf Dämmstoffe GmbH**, Wadersloh-Liesborn  
**Münchner Gesellschaft für Stadterneuerung mbH**  
**(MGS)**, München  
**NETZSCH-Gerätebau GmbH**, Selb  
**Porextherm Dämmstoffe GmbH**, Kempten  
**Rauschert Solar GmbH**, Judenbach-Heinersdorf  
**SCHOTT Solar GmbH**, Alzenau  
**Würzburger Stadtwerke AG**, Würzburg  
**Stadur-Süd GmbH**, Pliezhausen  
**va-Q-tec AG**, Würzburg

- Mitglieder von Amts wegen
- Members ex officio

**Prof. Dr. V. Dyakonov**, Würzburg  
**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**, Olching  
**Prof. Dr. C. J. Brabec**, Erlangen  
**Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft,  
 Infrastruktur, Verkehr und Technologie**, München

- Natürliche Personen / Ingenieurbüros
- Natural Persons / Consulting Engineers

**Dipl.-Ing. H. Baier**, Wackersdorf  
**M. Dietrich**, Rüdenhausen  
**Dipl.-Ing. H. Kling**, Lindau  
**Dipl.-Ing. M. Portula**, Berlin

- Verbände und Institutionen
- Federations and Institutions

**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.**,  
 Berlin  
**FG SHK-Förderungsgesellschaft SHK Bayern mbH**,  
 München  
**Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-  
 Zentrum e.V. (FSKZ)**, Würzburg  
**Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.**, München  
**IHK Würzburg**, Würzburg  
**Ludwig-Bölkow-Stiftung**, Ottobrunn  
**Stadt Würzburg**, Würzburg  
**Verband der Bayerischen Elektrizitätswirtschaft e.V.**  
**(VBEW)**, München

- Ehrenmitglieder
- Honorary Members

**Prof. Dr. J. Fricke**, Gerbrunn  
**Prof. Dr.-Ing. D. Hein**, Fürstenfeldbruck  
**Prof. Dr. R. Hezel**, Pullach  
**Prof. em. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. F. Mayinger**, München  
**Prof. Dr. M. Schulz**, Weiher

---

#### VORSTAND BOARD OF DIRECTORS

---

Der Vorstand setzte sich Ende 2012  
 wie folgt zusammen:  
 At the end of 2012 the members of the board were:

**Prof. Dr. V. Dyakonov**, (Vorsitzender | Chairman),  
 Physikalisches Institut, Julius-Maximilians-Univer-  
 sität Würzburg  
**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**, Fakultät Maschinenwesen,  
 Technische Universität München  
**Prof. Dr. C. J. Brabec**, Lehrstuhl Materialien der Elekt-  
 ronik und Energietechnologie – Department für Werk-  
 stoffwissenschaften, Friedrich-Alexander-Universität  
 Erlangen-Nürnberg

**KURATORIUM****BOARD OF TRUSTEES**

**Dr.-Ing. R. Hofer** (Vorsitzender | Chairman),  
E.ON Bayern AG, Regensburg

**Ministerialrat Dr. G. Brun**, Bayerisches Staatsministerium  
für Wissenschaft, Forschung und Kunst, München

**Ministerialrat Dr.-Ing. J. Schadl**, Bayerisches Staatsmi-  
nisterium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und  
Technologie, München

**Dipl.-Ing. W. Schnell**, Trostberg

**Prof. Dr. I. Schwirtlich**, CEM Concept GmbH,  
Miltenberg

**Prof. Dr.-Ing. U. Wagner**, Forschungsstelle für Ener-  
giewirtschaft e.V., Technische Universität München,  
München

**DER WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT****SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE**

**Prof. Dr. M. Stamm**, (Vorsitzender | Chairman),  
Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Dresden

**Prof. Dr. J. Garche**, Ulm

**Prof. Dr. R. Iden**, nanid Scientific Consulting,  
Dudenhofen

**Prof. Dr.-Ing. M. Kaltschmitt**, Institut für Umwelttech-  
nik und Energiewirtschaft, Hamburg

**B. Milow**, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
e.V. (DLR), Köln

**Prof. Dr.-Ing. A. Voß**, Institut für Energiewirtschaft und  
Rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart

**Dr. F. Karg**, AVANCIS GmbH & Co.KG, München

**Prof. Dr.-Ing. G. Hausladen**, Lehrstuhl für Bauklima-  
tik und Haustechnik, Technische Universität München,  
München

**Dr.-Ing. J. Hollandt**, Physikalisch-Technische Bundes-  
anstalt Braunschweig und Berlin (PTB), Berlin





## 1.5. RÜCKBLICK REVIEW

### JUBILÄUMSFEIER „20 JAHRE ZAE BAYERN“ UND SCHLÜSSELÜBERGABE NEUBAU ERLANGEN

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) führt seit nunmehr 20 Jahren in Würzburg, Garching und Erlangen erfolgreich Forschung im Bereich der Erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz durch. Dieses Jubiläum beging das ZAE Bayern im Rahmen eines Festaktes, gemeinsam mit zahlreichen Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft am 6. Februar 2012 im Schloss der Universität Erlangen-Nürnberg. In seiner Festrede würdigte Bayerns Wirtschaftsminister M. Zeil die Arbeit des ZAE Bayern und die Bedeutung des Instituts für die bayerische Energieforschungs- und Technologielandschaft.

Vor der Jubiläumsfeier übergab der Wirtschaftsminister den Neubau in Erlangen offiziell an das ZAE Bayern. Prof. C. J. Brabec und die Mitarbeiter konnten das Gebäude bereits im Dezember 2011 beziehen. Der Minister zeigte sich erfreut, dass sowohl der Zeit- als auch der Kostenplan eingehalten wurden. Auf 3200 m<sup>2</sup> Gesamtfläche stehen den Forschern nun Büro- und Laborflächen zur Verfügung.

### ANNIVERSARY CELEBRATION “20 YEARS ZAE BAYERN” AND CEREMONIAL KEY HANDOVER

The Bavarian Center for Applied Energy Research (ZAE Bayern) has been researching successfully in Würzburg, Garching and Erlangen in the fields of renewable energies and energy efficiency for 20 years now. The institute celebrated this anniversary with a ceremony on 6<sup>th</sup> February 2012 in the castle of the university Erlangen-Nuremberg. In his speech the Bavarian Economics Minister M. Zeil welcomed the work of ZAE Bayern and its significance for the bavarian energy research- and technology landscape.

Before the anniversary celebration the Minister had officially handed over the new building in Erlangen to ZAE Bayern. Prof. C. J. Brabec and the employees already had moved into the building in December 2011. The minister appreciated that both timetable and budget plan had kept. 3.200 m<sup>2</sup> of offices and laboratories are available for the researchers now.



Abb. 1: (v.l.n.r.) Prof. C. J. Brabec, Vorstand ZAE Bayern; Prof. R. Hezel, Altvorstand ZAE Bayern; Prof. H. Spliethoff, Vorstand ZAE Bayern; Prof. J. Fricke und Ehefrau, Altvorstand ZAE Bayern; Prof. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender ZAE Bayern; Staatsminister M. Zeil (Bild © Bayern Innovativ GmbH).

Fig. 1: (f.l.t.r.) Prof. C. J. Brabec, Board of Directors of ZAE Bayern; Prof. R. Hezel, former member of Board of Directors of ZAE Bayern; Prof. H. Spliethoff, Board of Directors of ZAE Bayern; Prof. J. Fricke and wife, former member of Board of Directors of ZAE Bayern; Prof. V. Dyakonov, Chairman of Board of Directors of ZAE Bayern, State Minister M. Zeil.



Abb. 2: (v.l.n.r.) Kanzler T. Schöck, FAU Erlangen-Nürnberg, Prof. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender ZAE Bayern, J. Fischer, Architekt Neubau Erlangen, S. Balleis, OB der Stadt Erlangen, Staatsminister M. Zeil, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstand ZAE Bayern (Bild © Bayern Innovativ GmbH).

Fig. 2: Chancellor T. Schöck, FAU Erlangen-Nuremberg, Prof. V. Dyakonov, Chairman of Board of Directors of ZAE Bayern, J. Fischer, architect new building Erlangen, S. Balleis, Lord Mayor of the city of Erlangen, State Minister M. Zeil, Bavarian Ministry for Economy, Infrastructure, Transport and Technology, Prof. Dr. C. J. Brabec, Board of Directors of ZAE Bayern.



Abb. 3: MESG-Symposium im Vortragssaal des Oskar von Miller Forums.

Fig. 3: 2<sup>nd</sup> Symposium MESG in the lecture hall of the Oskar von Miller Forum.



Abb. 4: Teilnehmer des MESG-Symposiums.

Fig. 4: Participants of the 2<sup>nd</sup> Symposium MESG.

## 2. SYMPOSIUM „MEMBRANKONSTRUKTIONEN ZUR ENERGETISCHEN SANIERUNG VON GEBÄUDEN (MESG)“

Am 16. Februar 2012 veranstaltete das ZAE Bayern in Zusammenarbeit mit dem Oskar von Miller Forum, Lang Hugger Rampp GmbH Architekten und der Hightex GmbH das zweite Symposium „Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG)“. Die Veranstaltung wurde im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) geförderten und vom ZAE Bayern koordinierten, gleichnamigen Forschungsprojekts durchgeführt (MESG) und informierte über derzeit laufende und zukünftig ge-

## 2<sup>ND</sup> SYMPOSIUM “MEMBRANE CONSTRUCTIONS FOR ENERGY SAVING RENOVATIONS OF BUILDINGS (MESG)”

On 16<sup>th</sup> February 2012 ZAE Bayern organized the 2<sup>nd</sup> Symposium “Membrane Constructions for Energy saving Renovations of Buildings (MESG)” in cooperation with the Oskar von Miller Forum, Lang Hugger Rampp GmbH architects and Hightex GmbH. The event was carried out in the context of a research project with the same name, supported by the Federal Ministry of Economics (BMWi). This research project was coordinated by ZAE Bayern and informed about current and prospective activities in this thematic area. More than



plante Aktivitäten in diesem Themenfeld. Insgesamt wurde das Symposium von über 120 Teilnehmern aus den Bereichen Architektur, Industrie und Forschung besucht. Die hohe Resonanz zeigte eindrucksvoll, dass das Thema „Textiles Bauen“ zunehmend an Bedeutung gewinnt und mit hoher Intensität vor allem im Bereich der Großbauten vorangetrieben wird. Aber auch im Bereich der energetischen Sanierung besteht ein deutlich zunehmendes Interesse am Einsatz von Membrankonstruktionen. Die unter Beteiligung der Referenten und Zuhörer durchgeführte Diskussionsrunde des Symposiums offenbarte ein reges Interesse an diesen Themenstellungen.

#### GIRL'S DAY 2012

Schon zum dritten Mal in Folge beteiligte sich das ZAE Bayern am bundesweiten Mädchen Zukunftstag, dem „Girls Day 2012“. Am 26. April besuchten 13 Mädchen ab der 5. Klasse aus unterschiedlichen Schulen das ZAE Bayern um sich eine Vorstellung von der Arbeitswelt in einem Forschungszentrum zu machen. Mitarbeiterinnen aus unterschiedlichen Berufsfeldern gaben Einblick in ihren Arbeitsalltag und stellten den Mädchen damit Berufe vor, in denen Frauen eher selten vertreten sind. Am Rasterelektronenmikroskop konnten sie beispielsweise bis in den Nanometerbereich eines Seerosenblattes zoomen und fanden heraus, dass unspektakuläres Pulver eigentlich aus winzigen, hohlen Kugeln besteht. Zahlreiche weitere Messmethoden und am ZAE Bayern entwickelte Innovationen waren Gegenstand einer Schnitzeljagd, welche die Mädchen durch das gesamte Gebäude und seine Labore führte.

#### SITZUNG DES AK-THERMOPHYSIK – 3. UND 4. MAI 2012

Der Arbeitskreis Thermophysik ist eine wissenschaftliche Fachorganisation für das Arbeitsgebiet „Messung thermophysikalische Stoffeigenschaften“. Der Arbeitskreis versteht sich als Forum für Fachdiskussionen, Erfahrungsaustausch, kritische Vergleiche von Messverfahren, Organisation und Durchführung von Ringvergleichen, Vereinbarung von Kooperationen und gemeinsamen Projekten und Zertifizierung von Referenzmaterialien.

Neben der Diskussion grundsätzlicher Fragen aus dem Bereich Thermophysik hat der Praxisbezug große Bedeutung. Fachliche Schwerpunkte betreffen die Stoffeigenschaften Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, thermische

120 participants from architecture, industry and research visited the symposium. The high response impressively shows that the subject “Textile Construction” becomes increasingly important and that it is promoted with maximum intensity, especially in the area of major buildings. Also in the field of energy saving renovations there is a considerably growing interest in using membrane constructions. The panel which was carried out together with the speakers and the audience showed great interest in this issues.

#### GIRL'S DAY 2012

For the third time already, ZAE Bayern participated in the nationwide Girls' Day 2012. Thirteen girls from different schools and the 5<sup>th</sup> class onwards visited ZAE Bayern on 26<sup>th</sup> April to get an idea of the working life at a research center. Female employees of different professions gave an insight into their daily routine and presented occupations in which women normally are rare. For example, with the scanning electron microscope they zoomed in the nanoscale of a water lily leaf and found out that unspectacular powder actually consists of tiny hollow spheres. Numerous other measurement methods and innovations which are developed by ZAE Bayern were the subject of a paper chase. They led the girls through the entire building and its laboratories.



Abb. 5: Teilnehmerinnen des Girl's Day.  
Fig. 5: Participants of the Girl's Day.

#### MEETING OF THE WORKING GROUP “THERMAL PHYSICS” – 3<sup>RD</sup> AND 4<sup>TH</sup> MAY 2012

The working group “Thermal Physics” is a scientific specialized organization for the sector “measure-

Ausdehnung und Strahlungseigenschaften (Emissionsgrad). Der Arbeitskreis Thermophysik ist der Gesellschaft für Thermische Analyse e.V. (GEFTA) angegliedert und tagt einmal im Jahr und wird von Dr. H.-P. Ebert, Abteilungsleiter des ZAE Bayern in Würzburg, organisiert.

### WOCHE DER UMWELT

Rund 15.000 Interessierte besuchten am 5. und 6. Juni 2012 die „Woche der Umwelt“ im Garten des Schloss Bellevue in Berlin die bereits zum vierten Mal veranstaltet wurde. Schirmherr war Bundespräsident J. Gauck. Das ZAE Bayern und seine Partner, die Bosch-Siemens-Hausgeräte GmbH und die Chemiewerke Bad Köstritz, waren unter 500 Bewerbern ausgewählt worden und zählten damit zu den rund 200 Ausstellern. Unter dem Motto „Zeolithe als Energiespeicher“ präsentierte das ZAE Bayern das vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) geförderte Projekt „Mobile Speicher auf Sorptionsbasis“ (Förderkennzeichen 0327383B). Der in diesem Rahmen entwickelte und bereits kommerziell erhältliche Geschirrspüler mit Zeolithtrocknung wurde der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Er verbraucht im Vergleich zu herkömmlichen Geräten 20% weniger Strom.



Abb. 6: Bundespräsident J. Gauck bei der Eröffnung der Woche der Umwelt.

Fig. 6: Federal President J. Gauck at the opening of the environment week.

### TAG DER OFFENEN TÜR AM ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 30. JUNI 2012

Viele innovative energieeffiziente Baukomponenten sind in der Fassade des Institutsgebäudes integriert und konnten beim Tag der offenen Tür praxisnah erlebt werden. Gleichzeitig erhielten die Besucher ei-

ments of thermophysical substances properties”. The Working Group is a forum for technical discussions, sharing experience, critical comparisons of measurement methods, organization and implementation of ring tests, of cooperation agreements and joint projects, certification of reference materials.

Practical relevance is very important besides the discussion of fundamental thermophysical questions. Areas of specialization affect the material properties thermal conductivity, thermal diffusivity, specific heat, thermal expansion and radiative properties (emissivity). The working group is an affiliated society of the German Society for Thermal Analysis (GEFTA) and meets once a year. It is organized by Dr. H.-P. Ebert, head of division of ZAE Bayern in Würzburg.

### ENVIRONMENT WEEK

The 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> June about 15,000 visitors attendet the “Environment Week” (Woche der Umwelt) which took place in the garden of Schloss Bellevue in Berlin for the 4<sup>th</sup> time already. Patron was the Federal President J. Gauck. ZAE Bayern and their allies Bosch-Siemens-Hausgeräte GmbH and Chemiewerke Bad Köstritz were selected from 500 candidates and were part of the 200 exhibitors. The project mobile energy storage based on zeolite funded by the federal ministry for economics (BMWi, Promotional Reference 0327383B) was presented under the slogan “zeolites as energy storage”. Furthermore, the dishwasher with an integrated zeolite dryer which was developed under this project was presented to the interested public. It needs 20% less electricity compared to conventional devices.



Abb. 7: Aussteller bei der Woche der Umwelt.

Fig. 7: Exhibitor at the Environment Week.

nen Einblick in die aktuellen Planungsarbeiten zu dem ZAE-Neubau „Energy-Efficiency-Center“. Insbesondere für Kinder und Jugendliche wurden spannende Versuche zu Wärme und Kälte demonstriert: So wurde beispielsweise leckere Eiscreme mit ultrakaltem Flüssiggas hergestellt oder mit einer Wärmebildkamera Portraits zum Mitnehmen gemacht. Außerdem wurde ein Energieparcours veranstaltet, bei dem es kleine Preise zu gewinnen gab und die Besucher ihr Wissen prüfen konnten. Die Veranstaltung wurde im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2012 – Zukunftsprojekt ERDE durchgeführt.

#### **ZAE BAYERN UND OTTI – ANWENDERFORUM „THERMISCHE ENERGIESPEICHER“, 5. UND 6. JULI 2012**

Am 5. und 6. Juli 2012 veranstaltete das Ostbayerische Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) gemeinsam mit dem ZAE Bayern das Anwenderforum „Thermische Energiespeicher“ in Neumarkt. Unter der fachlichen Leitung von Herrn Dr. A. Hauer, Abteilungsleiter des ZAE Bayern in Garching, trafen sich rund 40 Anwender und Entwickler um über Forschungsschwerpunkte und den Stand der Technik zu diskutieren und Erfahrungen auszutauschen. Mitarbeiter des ZAE Bayern präsentierten Vorträge zu sensibler und latenter Wärmespeicherung bis hin zu thermochemischer Speicherung in Forschung und Anwendung. Erweitert wurde die Themenpalette durch Vorträge aus der Industrie über Speichermaterialien und kommerzielle Anwendungen. Auch 2013 wird das Anwenderforum „Thermische Energiespeicher“ wieder unter der Leitung des ZAE Bayern stattfinden.



*Abb. 8: Konferenzindrücke.  
Fig. 8: Impressions at the OTTI-Forum.*

#### **OPEN DAY AT ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 30<sup>TH</sup> JUNE 2012**

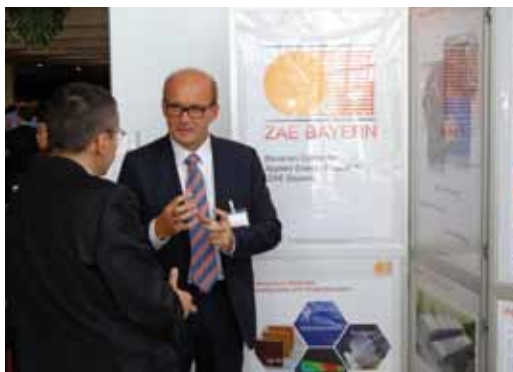
In the facade of the ZAE-building many innovative energy-efficient components are integrated. They could be seen practical in the course of the open day on 30<sup>th</sup> June. At the same time the visitors received information about the current planning work of the new ZAE-building “Energy Efficiency Center”. Especially for children and young people a lot of exciting experiments on heat and cold were demonstrated: For example delicious ice cream was produced by the means of ultra-cold liquid gas or photographs were taken with a thermal imaging camera. In addition the visitors could test their knowledge and win small prizes by taking part at an energy course which was organized. The event was carried out as part of the Science Year 2012 – Project EARTH Our Future.

#### **ZAE BAYERN AND OTTI TO USER-ORIENTED FORUM “THERMAL ENERGY STORAGE”, 5<sup>TH</sup> AND 6<sup>TH</sup> JULY 2012**

The 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> July the East-Bavarian Technology Transfer Institute (OTTI) organized, in cooperation with ZAE Bayern, the user forum “Thermal Energy Storage” in Neumarkt. The forum was led by Dr. A. Hauer, Head of Division of ZAE Bayern in Garching. About 40 users and developers met to discuss main research and to exchange experience. Employees of ZAE Bayern presented lectures about all aspects of thermal energy storage – sensible, latent and thermochemical. The program was completed by contributions from industry about storage materials and commercial applications.



*Abb. 9: Dr. A.Hauer, Abteilungsleiter Garching ZAE Bayern beim OTTI-Anwenderforum.  
Fig. 9: Dr. A.Hauer, Head of Division ZAE Bayern Garching at the OTTI-Forum.*



*Abb. 11: Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern im Gespräch bei der 3. Internationalen Konferenz OPV in Würzburg.  
Fig. 11: Prof. Dr. V. Dyakonov, Chairman of the Board of Directors of ZAE Bayern in a discussion at the 3<sup>rd</sup> International Conference OPV in Würzburg.*

*Abb. 10: Stand des ZAE Bayern, 3. Internationale Konferenz OPV in Würzburg.  
Fig. 10: Exhibition stand of ZAE Bayern, 3<sup>rd</sup> International Conference OPV in Würzburg.*

### 3. INTERNATIONALE KONFERENZ ORGANISCHE PHOTOVOLTAIK IN WÜRZBURG – 18. UND 19. SEPTEMBER 2012

Am 18. und 19. September 2012 fand zum dritten Mal die Internationale Konferenz Organische Photovoltaik in Würzburg statt. Die Tagung wurde durch das ZAE Bayern in Zusammenarbeit mit der Bayern Innovativ GmbH ausgerichtet. Unter den geladenen Rednern fanden sich ausschließlich renommierte Wissenschaftler aus dem Gebiet der Organischen Photovoltaik. Die Mehrheit der Besucher aus aller Welt waren in diesem Jahr Vertreter aus der Industrie, die sich nach den neuesten Entwicklungen erkundigten. Am Stand des ZAE Bayern konnten die Teilnehmer erste großflächig gedruckte, sowie organische Solarzellen begutachten, die auf unterschiedlichste Substrate, wie Folie aber auch Papier und Textil aufgebracht sind. Diese wurden vom ZAE Bayern mit Kooperationspartnern im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte entwickelt. Großen Zuspruch fand auch die Veranschaulichung einer konkreten OPV-Anwendung in Gestalt eines Vakuumisolationfensters, das mit farbiger Folie versehen einen Ausblick auf mögliche künftige OPV Verglasungssysteme liefern sollte.

### 3<sup>RD</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ORGANIC PHOTOVOLTAICS IN WÜRZBURG – 18<sup>TH</sup> AND 19<sup>TH</sup> SEPTEMBER 2012

On 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> September 2012 the International Conference Organic Photovoltaics was carried out for the 3<sup>rd</sup> time in Würzburg already. It was organized by ZAE Bayern in cooperation with Bayern Innovativ GmbH. The invited speakers were exclusively renowned scientists in the field of organic photovoltaics. This year the majority of the visitors from all over the world were representatives from industry who were interested in the latest developments in organic photovoltaics. Visitors to the stand of ZAE Bayern could examine first extensive printed, as well as organic solar cells which are applied to different substrates, such as film, but also to paper and textiles. They were developed by ZAE Bayern and their cooperation partners as part of various research projects. Very popular at ZAE Bayern's fair stand was the illustration of a specific OPV-application by the means of a vacuum insulation window which was laminated with colored foil. It was supposed to represent an outlook for possible future OPV glazing systems.



## TAG DER INNOVATION – FOKUS ELEKTRONIK UND ENERGIESYSTEME

Die Nürnberger Firma DIEHL Stiftung und Co. KG veranstaltete am 11. Oktober am ZAE Bayern in Erlangen einen „Tag der Innovation“ zum Thema Elektronik und Energiesysteme für Fach- und Führungskräfte. Vortragender zu aktuellen Themen des ZAE Bayern war u.a. Prof. C. J. Brabec. Die Veranstaltung wurde zusammen mit dem „Campus für wissenschaftliche Weiterbildung“ der Universität Erlangen-Nürnberg organisiert und diente dem Informationsaustausch.

## INNOVATION DAY – ELECTRONICS AND ENERGY SYSTEMS

On 11<sup>th</sup> October 2012 the company DIEHL Stiftung und Co. from Nuremberg organized an “Innovation Day” with focus on electronics and energy systems for its experts and leaders at ZAE Bayern in Erlangen. Current subjects of ZAE Bayern were presented by Prof. C. J. Brabec. The event was organized together with the “Campus for Scientific continuing Education” of the University Erlangen-Nürnberg and focused on information exchange.

## 2. KOOPERATIONSFORUM MIT FACHAUSSTELLUNG „TEXTILIEN IN BAU UND ARCHITEKTUR“

Am 15. und 16. Oktober 2012 veranstaltete Bayern Innovativ in der Festung Marienberg in Würzburg das 2. Kooperationsforum mit Fachausstellung „Textilien in Bau und Architektur“. Das ZAE Bayern, das mit meh-

## 2<sup>ND</sup> COOPERATION FORUM WITH TRADE EXHIBITION “TEXTILES IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE”

On 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> October 2012 Bayern Innovativ organized the 2<sup>nd</sup> Cooperation Forum with Trade Exhibition “Textiles in Construction and Architecture” in the Festung Marienberg in Würzburg. ZAE Bayern is engaged



Abb. 12: Teilnehmer des Kooperationsforums „Textiles Bauen“ beim Besuch der Labore des ZAE Bayern (Bild © Bayern Innovativ GmbH).  
Fig. 12: Participants of the Cooperation Forum “Textile Construction” during their visit of the laboratories of ZAE Bayern.



Abb. 13: Kooperationsforum im Auditorium der Festung Marienberg.  
Fig. 13: Cooperation Forum in the auditorium of Festung Marienberg.

renen Projekten auf diesem Gebiet aktiv ist, war als Partner dieser Veranstaltung mit einem Stand vor Ort und ebenfalls unter den Vortragenden. Das Vortragsprogramm gab einen umfangreichen Überblick über jüngste Innovationen und zukünftige Einsatzpotenziale für Textilien in Bau und Architektur. Für die Teilnehmer wurde eine Führung durch das ZAE Bayern inklusive des Neubaus (Energy Efficiency Center) angeboten. Am Kooperationsforum nahmen insgesamt rund 170 Teilnehmer und 12 Aussteller teil.

in various projects in this sector and was a partner of the event. It presented an exhibition stand and also contributed lectures. The programme of lectures gave a review of the latest innovations and prospective potential for textiles in construction and architecture. A guided tour through the whole ZAE-building (also Energy Efficiency Center) was offered to the participants. Altogether about 170 visitors and 12 exhibitors attended the cooperation forum.

### INTERNATIONALE FACHMESSE GLASSTEC – 23. BIS 26. OKTOBER 2012

Auf der internationalen Messe glasstec in Düsseldorf präsentierte das ZAE Bayern neueste Entwicklungsergebnisse aus laufenden Projekten. Highlights waren dabei das Software-Bewertungstool  $U_{win}$  mit dem sich die energetischen Auswirkungen von Fenstersanierungsmaßnahmen auch kompletter Gebäude wissenschaftlich fundiert und für den Benutzer unkompliziert berechnen lassen, sowie  $U_{glass}$  ein mobiler Sensor zur Bestimmung des Ug-Wertes von Bestandsverglasungen. Beide Entwicklungen laufen im Rahmen des Projektes „Fenstercheck“ ([www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info)), das mit Mitteln des BMWi aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wird.

### INTERNATIONAL TRADE FAIR GLASSTEC – 23<sup>RD</sup> TO 26<sup>TH</sup> OCTOBER 2012

On the international trade fair glasstec in Düsseldorf, ZAE Bayern presented latest development results of current R&D-projects. Highlights were the software tool  $U_{win}$  and a new sensor called  $U_{glass}$ . The evaluation tool  $U_{win}$  calculates the energetic performance of measures for the window refurbishment. The results are scientifically sound and the tool is easy to use even when evaluating whole buildings. The mobile measuring system  $U_{glass}$  allows the determination of the Ug-value of installed window glazing. Both developments are within the framework of the project “Fenstercheck” ([www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info)), which is funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology based on a decision of the German Bundestag.



Abb. 14: Messestand des ZAE Bayern bei der glasstec 2012.

Fig. 14: Exhibition stand of ZAE Bayern at the fair glasstec 2012.

### EINWEIHUNGSFEIER ERWEITERUNGSBAU GARCHING – 29. OKTOBER 2012

Mit einem Festakt und ca. 60 geladenen Gästen aus Politik, Forschung und Industrie weihte der Bayerische Wirtschaftsminister M. Zeil am 29. Oktober 2012 den Erweiterungsbau des ZAE Bayern in Garching feierlich ein und übergab den Schlüssel an den Wissenschaft-

### OFFICIAL OPENING CEREMONY OF THE BUILDING EXTENSION GARCHING – 29<sup>TH</sup> OCTOBER 2012

With a ceremonial act the Bavarian Minister for Economy M. Zeil inaugurated the building extension Garching the 29<sup>th</sup> October together with about 60 guests from politics, research and industry and handed over the key to the scientific director Prof. H.

lichen Leiter Prof. H. Spliethoff und den Abteilungsleiter Dr. A. Hauer. Für den Bau wurden Mittel in Höhe von 2 Mio. € vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie aus dem Konjunkturpaket II zur Verfügung gestellt. In den neuen Räumen wird im Rahmen des bayerischen Forschungsprojekts „Bayerisches Zentrum für Angewandte Energie Speicher-Technologien – ZAE-ST“ Forschung zu elektrischen und chemischen Speichern in enger Zusammenarbeit mit den Professoren A. Jossen und H. Gasteiger von der Technischen Universität München betrieben. Der Erweiterungsbau bietet insgesamt rund 1000 m<sup>2</sup> Büro- und Laborfläche.

Spliethoff and the head of division Dr. A. Hauer. For the building € 2 m from the second economic stimulus package (KP II) were funded by the Bavarian Ministry for Economy, Infrastructure, Transport and Technology. The new premises will be used for research on electrical and chemical storage technologies within the bavarian research project “Bavarian Center for Applied Energy Storage-Technologies – ZAE-ST” in close cooperation with the professors A. Jossen and H. Gasteiger from the Technische Universität München.



Abb. 15: Fassade des Neubaus in Garching.  
Fig. 15: Facade of the new building in Garching.



Abb. 16: Der bayerische Staatsminister für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie M. Zeil (Mitte) zusammen mit dem Abteilungsleiter Dr. A. Hauer (links) und dem Vorstand Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff (rechts) – beide ZAE Bayern Garching – bei der Einweihungsfeier des Erweiterungsbaus Garching.

Fig. 16: The Bavarian Minister for Economy, Infrastructure, Transport and Technology M. Zeil (middle) together with the head of division Dr. A. Hauer (left) and member of the board of directors Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff (right) – both of ZAE Bayern in Garching – at the official opening ceremony of the building extension Garching.

#### BESCHIEDÜBERGABE SMART GRID SOLAR HOF ARZBERG

8,5 Mio. € investieren der Freistaat Bayern, Industriepartner und die Europäische Union in ein Zukunftsprojekt in der Region Hochfranken. Der Bayerische Staatsminister M. Zeil kam am 12. November 2012 nach Hof um den Projektverantwortlichen den Bewilligungsbescheid zu überreichen. Neben seiner Rolle als Projektkoordinator wird das ZAE Bayern in Erlangen zusammen mit der Friedrich-Alexander-Universität vor allem an der Entwicklung der Projektbereiche Energieerzeugung durch Photovoltaik und an Speichermöglichkeiten arbeiten.

#### SMART GRID SOLAR HOF ARZBERG – PRESENTATION OF ADMINISTRATIVE DECISION

The Free State of Bavaria, partners of industry and the European Community invest € 8.5 m into a project of the future in the region of Upper Franconia. The Bavarian State Minister M. Zeil handed over the administrative decision to the persons responsible for the project the 12<sup>th</sup> November 2012 in Hof. Beside its role as coordinator of the project ZAE Bayern will work together with Friedrich-Alexander University, mainly in the project areas energy generation from photovoltaics and energy storage options.



Abb. 17: (v.l.n.r.) S. Göcking, OB der Stadt Arzberg; H. Fichtner, OB der Stadt Hof; AD T. Engel, Regierung von Oberfranken; M. Zeil, Bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstand ZAE Bayern; T. Hacker, MdL FDP-Fraktion; Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern.

Fig. 17: (f.l.t.r.) S. Göcking, Lord Mayor of the city of Arzberg; H. Fichtner, Lord Mayor of the city of Hof; AD T. Engel (German: Office Director), Government of Upper Franconia; M. Zeil, Bavarian State Minister for Economy, Infrastructure, Transport and Technology; Prof. Dr. C. J. Brabec, Board of Directors ZAE Bayern; T. Hacker, member of the State Parliament Fraction FDP; Prof. Dr. V. Dyakonov, Chairman of Board of Directors of ZAE Bayern.

#### LAND DER IDEEN – ENERGIE CAMPUS NÜRNBERG MIT ZAE BAYERN ALS GRÜNDUNGSMITGLIED AUSGEZEICHNET

Am 16. November 2012 wurde das ZAE Bayern als Gründungsmitglied des Energie Campus Nürnberg (EnCN) im bundesweit ausgetragenen Wettbewerb „365 Orte im Land der Ideen“ ausgezeichnet. In Anwesenheit des Bayerischen Staatsministers der Finanzen Dr. M. Söder wurde die Auszeichnung als „Ausgewählter Ort 2012“ überreicht. Im Energie Campus Nürnberg arbeiten die Forschungseinrichtungen Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg, die Fraunhofer-Gesellschaft mit Ihren Instituten IIS und IISB sowie das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) in einer deutschlandweit einmaligen Kooperation zusammen.

Der Wettbewerb „365 Orte im Land der Ideen“ wird seit 2006 von der Standortinitiative „Deutschland – Land der Ideen“ gemeinsam mit der Deutschen Bank durchgeführt.

#### LAND OF IDEAS – ENERGY CAMPUS NUREMBERG AWARDED TOGETHER WITH ZAE BAYERN

As founding member of Energy Campus Nuremberg (EnCN) ZAE Bayern was awarded on 16<sup>th</sup> November 2012 in the nationwide competition “365 Landmarks in the Land of Ideas”. The award “Selected Landmark 2012” was presented in the presence of the Bavarian Finance Minister Dr. M. Söder. The research institutions Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, the Fraunhofer Society with its institutions IIS and IISB, as well as the Bavarian Center for Applied Energy Research (ZAE Bayern) work together in EnCN. This cooperation is unique in Germany.

The competition “365 Landmarks in the Land of Ideas” is realized since 2006 by the initiative “Germany – Land of ideas” in cooperation with Deutsche Bank.



### ZAE BAYERN ALS “GERMAN HIGH TECH CHAMPION 2012” FÜR DAS SOLARTHERMISCHE HEIZ- UND KÜHLSYSTEM AUSGEZEICHNET

Die Fraunhofer Gesellschaft prämiert seit 2011 herausragende deutsche Forschergruppen die in der anwendungsorientierten Forschung innovative Lösungen entwickeln. Der “German High Tech Champion” wurde in diesem Jahr in der Kategorie “Green Buildings – Bâtiment durable” für energieeffiziente und umweltfreundliche Gebäude gesucht. Das Team des ZAE Bayern und sein französischer Tandempartner TECSOL aus Perpignan haben sich mit einem ganzheitlichen und hocheffizienten solarthermischen Energiesystem für die ganzjährige Klimatisierung von Gebäuden beworben und wurde als einer der Gewinner ausgezeichnet und mit 15.000 € Preisgeld prämiert. Das innovative System weist ein hohes Energieeinsparpotenzial auf, kann einen hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen flexibel nutzen und zeichnet sich unter anderem durch ein hohes Maß an Vorkonfektion aus, was ökologisch wie ökonomisch zu attraktiven Einsatzmöglichkeiten führt. Das ZAE Bayern hält mehrere Patente auf das Systemkonzept und erprobt im Moment die Praxistauglichkeit des Systems in laufenden Forschungsvorhaben. Die Preisverleihung fand am 28. November 2012 im Rahmen der Messe „POLLUTEC 2012“, Frankreichs größter Fachmesse für Energie- und Umwelttechnik, in Lyon statt.

### INTERNATIONALE KONFERENZ „NEXT GENERATION SOLAR ENERGY“

Die kristalline Siliziumtechnologie wird als erste Generation der Photovoltaik bezeichnet. Dabei ist der Weg hin zum Modul durch eine lange Wertschöpfungskette geprägt. Als zweite Generation kamen unterschiedliche Dünnschichtkonzepte auf den Markt, die

### ZAE BAYERN AWARDED AS “GERMAN HIGH TECH CHAMPION 2012” FOR SOLAR THERMAL HEATING AND COOLING SYSTEM

Since 2011 the Fraunhofer Society annually grants outstanding German research groups which develop innovative solutions in application-oriented research. This year the “German High Tech Champion” has been requested in the category “Green Buildings – Bâtiment Durable” for energy efficient and eco-friendly buildings. The team of ZAE Bayern and his French tandem partner TECSOL from Perpignan applied with a holistic and highly efficient solar thermal energy system for the year-round air-conditioning of buildings. They were honoured as one of the winners and awarded with a prize-money of € 15,000. The innovative system shows a high energy saving potential and can flexibly utilize a high proportion of renewable energy sources. In addition it excels amongst others by a high level of pre-assembly which ecologically and economically offers attractive fields of application. ZAE Bayern holds several patents on the system concept and currently is testing its practical suitability in ongoing research projects. The award ceremony took place in Lyon, in the context of “POLLUTEC2012”, the biggest fair for energy and environmental technology in France on the 28<sup>th</sup> November 2012.

### INTERNATIONAL CONFERENCE “NEXT GENERATION SOLAR ENERGY”

The crystalline Si-technology is the first generation of photovoltaics. The process to the module is affected by a long chain of value. As second generation different concepts for thin films came onto the market but they are still not able to keep up with the wafer-based

allerdings noch nicht an die Wirkungsgrade der klassischen wafer-basierten Photovoltaik herankommen. Die zukünftige, sogenannte dritte Generation der Photovoltaik soll geringe Produktionskosten und hohe Wirkungsgrade miteinander vereinen. Vor diesem Hintergrund trafen sich vom 12. bis 14. Dezember 2012 280 Teilnehmer aus 23 Ländern im Erlanger Schloss um bei der Internationalen Konferenz "Next Generation Solar Energy" über neueste Entwicklungen zu diskutieren. Organisiert wurde die Veranstaltung von Bayern Innovativ in enger Zusammenarbeit mit dem Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials, der FAU Erlangen-Nürnberg, dem Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, dem Energiecampus Nürnberg sowie dem ZAE Bayern.

photovoltaics. The future so called third-generation of photovoltaics is supposed to combine low cost production and high energy efficiency. Against this background 280 members of 23 countries met at the castle in Erlangen from 12<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> December 2012 to discuss the latest developments. The event was organized by Bayern Innovativ, the Excellence Cluster Engineering of Advanced Materials, the Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, the EnCN and ZAE Bayern.



Abb. 18: (v. l. n. r.) Romain Siré (TECSOL), Manuel Riepl (ZAE Bayern) und Martin Helm (ZAE Bayern) mit der Siegerurkunde "German High Tech Champions 2012" in Lyon.

Fig. 18: (f. l. t. r.) Romain Siré (TECSOL), Manuel Riepl (ZAE Bayern) and Martin Helm (ZAE Bayern) with the winner's certificate "German High Tech Champions 2012" in Lyon.

## 1.6. BEI UNS ZU GAST 2012

### OFFICIAL VISITORS IN 2012

#### BESUCHER IN GARCHING

Niederländische Delegation (10.10.2012)

Amerikanische Studenten der University of Texas at Austin / School of Architecture im Rahmen der Summer School 2012 (26.06.2012)

Abgeordnete der Landtagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen im Rahmen der Energie-Tour (30.07.2012)

#### VISITORS TO GARCHING

Dutch delegation (10.10.2012)

American Students of the University Texas at Austin / School of Architecture in the context of the Summer School 2012 (26.06.2012)

Representative of the State Parliament Fraction of Bündnis 90 / Die Grünen in the context of the "Energy-Tour" (30.07.2012)

Abb. 1: Amerikanische Studenten der Universität von Texas mit Mitarbeitern des ZAE Bayern.

Fig. 1: American students of the University of Texas and employees of ZAE Bayern.



Abb. 2: Dr. A. Hauer (2. v. l.) mit niederländischen Gästen.

Fig. 2: Dr. A. Hauer (2<sup>nd</sup> v. l.) and guests from The Netherlands.



Abb. 3: Abgeordnete der Landtagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen mit dem ehemaligen Abteilungsleiter des ZAE-Standortes Garching W. Schölkopf (4. v. l.).

Fig. 3: Representatives of the State Parliament Fraction of Bündnis 90/Die Grünen together with the former Head of Division of ZAE Bayern in Garching W. Schölkopf (4<sup>th</sup> f. l.).





Abb. 4: Prof. Dr. V. Dyakonov und Dr. H.-P. Ebert mit Gästen aus Malaysia.

Fig. 4: Prof. Dr. V. Dyakonov and Dr. H.-P. Ebert with guests from Malaysia.



Abb. 5: Prof. C. Qing und Prof. Dr. V. Dyakonov mit chinesischen Studenten.

Fig. 5: Prof. C. Qing and Prof. Dr. V. Dyakonov with Chinese students.

## BESUCHER IN WÜRZBURG

S. Tolle, MdL Bündnis 90 / die Grünen und Landtags-Fraktionsvorsitzende M. Bause, MdL Bündnis 90/Die Grünen (13.01.2012)

Exkursion des Oberösterreichischen Energiesparverbandes (20.01.2012)

K. Klein, MdL, stellv. Fraktionsvorsitzender der FDP im Bayerischen Landtag (09.02.2012)

Prof. W. Sorge und Studenten der Fakultät Maschinenbau der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (09.05.2012)

Dozenten und Studenten des Fachbereichs Bauphysik der Hochschule für Technik (HfT) Stuttgart (16.05.2012)

Dozenten und Studenten des Fachbereichs Gebäudetechnik und Gebäudelehre der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (24.05.2012)

Besuch einer Delegation chinesischer Studenten mit Prof. C. Qing (Bureau of International Cooperation National Natural Science Foundation of China) aus Peking (11.07.2012)

Führung für die Teilnehmer des 2. Kooperationsforums „Textilien in Bau und Architektur“ (15.10.2012)

## VISITORS TO WÜRZBURG

S. Tolle, member of the State Parliament Fraction Bündnis 90/Die Grünen and the Chair of the State Parliament Fraction “Bündnis 90/Die Grünen” M. Bause, (13.01.2012)

Excursion of the Upper-Austrian Energiesparverband (20.01.2012)

K. Klein, Vice Chair of the State Parliament Fraction of the FDP in the Bavarian State Parliament (09.02.2012)

Prof. W. Sorge and students of the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt (09.05.2012)

Lecturers and students from the Faculty of Building Physics at Stuttgart University of Applied Sciences (16.05.2012)

Lecturers and students from the Faculty of Building Services Engineering and Construction Work at the University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt (24.05.2012)

Delegation of Chinese students together with Prof. C. Qing (Bureau of International Cooperation National Nature Science Foundation of China) from Peking (11.07.2012)



Abb. 6: Teilnehmer des Kooperationsforum „Textiles Bauen“ bei der Baustellenbesichtigung des neuen Forschungs- und Demonstrationsgebäudes des ZAE Bayern in Würzburg.

Fig. 6: Participants of the Cooperation Forum “Textile Construction” while visiting the construction site of the new research- and demonstration building of ZAE Bayern in Würzburg.



Abb. 7: (v.l.n.r.) Dr. G. Reichenauer, S. Tolle, MdL, Bündnis90/Die Grünen, Dr. H.-P. Ebert und M. Bause, MdL, Bündnis90/Die Grünen.  
Fig. 7: (f.l.t.r.) Dr. G. Reichenauer, S. Tolle, MdL, Bündnis 90/Die Grünen, Dr. H.-P. Ebert and M. Bause, MdL Bündnis 90/Die Grünen.



Abb. 8: Mitglieder des Oberösterreichischen Energiesparverbandes bei der Führung durch die Labore des ZAE Bayern.  
Fig. 8: Members of the Upper Austrian Energy Saving Association at a visit of the laboratories of ZAE Bayern.



Prof. A. Haase mit Besuchern aus der französischen Partnerstadt (05.11.2012)

Besuch Malaysische Delegation (05.11.2012)

Deutsche Kälte- und Klimatagung 2012 mit technischer Besichtigung (21.11.2012)

**BESUCHER IN ERLANGEN**

Delegation von Professoren des Nagoya Institute of Technology (NITech), Japan und Prof. P. Greil, LS für Werkstoffwissenschaften, FAU Erlangen-Nürnberg (02.03.2012)

Dr. N. Martin, Geschäftsführer des Forschungsverbund Erneuerbare Energien (16.05.2012)

Participants of the 2<sup>nd</sup> Cooperation Forum “Textiles in Construction and Architecture” (15.10.2012)

Prof. A. Haase together with visitors from the French twin town (05.11.2012)

Malaysian Delegation (05.11.2012)

German Cooling- and Climate Conference 2012 including technical inspection (21.11.2012)

**VISITORS TO ERLANGEN**

Delegation of professors of the Nagoya Institute of Technology (NITech), Japan and Prof. P. Greil, Department of Material Sciences, FAU Erlangen-Nuremberg (02.03.2012)

Dr. N. Martin, Managing Director of the Renewable Energy Research Association (16.05.2012)

## 1.7. | AUSBLICK OUTLOOK

### AUSSENSTELLE DES ZAE BAYERN IN HOF WIRD EIN-GERICHTET

Im Rahmen des Projekts „Smart Grid Solar“ werden einige Mitarbeiter des ZAE Bayern bald eigene Büros beziehen. Ab 2013 werden sie in der neuen Außenstelle des ZAE Bayern im alten Gaswerk der Stadt Hof ihre Arbeit aufnehmen. Sie werden dort an Methoden und Technologien arbeiten, mit denen der erneuerbare Stromanteil am bayerischen Erzeugungsmix erhöht und nachhaltig in eine Vollversorgung überführt werden kann. Die Räume werden von den Stadtwerken Hof zu äußerst günstigen Konditionen zur Verfügung gestellt. Der geschichtsträchtige Ziegelsteinbau befindet sich auf deren Gelände am Unterkotzauer Weg 25. Die Räumlichkeiten umfassen drei moderne Büros, in welchen die insgesamt zehn Mitarbeiter untergebracht sind. Des Weiteren steht ein großzügiger Seminarraum im Stil des historischen Gebäudes zur Verfügung. Es ist geplant, die Außenstelle mit einem mobilen Labor im Innenhof der Stadtwerke Hof zu erweitern.



Abb.1: Seminarraum in der neuen Außenstelle Hof.  
Fig. 1: Seminar room in the new branch in Hof.

### ZAE BAYERN BRANCH WILL BE ESTABLISHED IN HOF

Within the project “Smart Grid Solar” some employees of ZAE Bayern will soon move into new offices. They are going to start their work in the new branch of ZAE Bayern in the old gas plant in Hof in 2013. There they will be working on methods and technologies which can increase the renewable part of electricity in the Bavarian generation mix with the aim to sustainably reach 100%. The public utility company Hof provides the rooms at extremely favourable conditions. The steeped in history brick building is situated at Unterkotzauer Weg 25. The premises comprise three modern offices which offer workplaces for 10 employees. Also a spacious seminar room is available. A mobile laboratory is planned in the courtyard of the public utility company Hof.



Abb. 2: Ziegelsteinbau der Stadtwerke Hof.  
Fig. 2: Brick stone building of public utility company Hof.

### “ENERGY STORAGE 2013” – 18. UND 19. MÄRZ 2013

Effiziente Speichertechnologien sind die entscheidende Grundlage für den Umbau unseres Energiesystems. Entsprechend groß war – mit 350 Teilnehmern aus 29 Ländern – der Andrang bei der “Energy Storage 2012”. Zentrales Thema der kommenden “Energy Storage 2013” in Düsseldorf, die von Bundesumweltminister P. Altmaier eröffnet wird, werden die Energiespeichertechnologien im Zusammenhang mit der Entwicklung der Energiewirtschaft sein. Auch 2013 wird Dr. A. Hauer

### “ENERGY STORAGE 2013” – 18<sup>TH</sup> AND 19<sup>TH</sup> MARCH 2013

Efficient energy storage solutions are crucial for the reorganization of our energy system. This is the reason why the conference and exhibition “Energy Storage 2012” was such a success with about 350 participants from 29 countries. Main topic of the coming “Energy Storage 2013” in Düsseldorf, which will be opened by the German Federal Minister of Environment P. Altmaier, will be energy storage technologies in connection with the development of energy industry. As last

vom ZAE Bayern die Veranstaltung zum Thema „Thermische Energiespeicher“ organisieren und moderieren. Das ZAE Bayern ist auch im kommenden Jahr offizieller Partner.

Mehr Informationen: [www.energy-storage-online.de](http://www.energy-storage-online.de)

year Dr. A. Hauer of ZAE Bayern will organize and present the topic “Thermal Energy Storage”. ZAE Bayern will also be an official partner in the coming year.

More information: [www.energy-storage-online.de](http://www.energy-storage-online.de)

### **EINWEIHUNGSFEIER NEUBAU WÜRZBURG – FERTIGSTELLUNG UND SCHLÜSSELÜBERGABE 21. JUNI 2013**

Im feierlichen Rahmen wird am 21. Juni 2013 das neue Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg mit zahlreichen geladenen Gästen aus Politik, Wissenschaft und Industrie eingeweiht.

### **INAUGURATION CEREMONY FOR NEW BUILDING IN WÜRZBURG – COMPLETION AND HANDOVER OF KEYS – 21<sup>ST</sup> JUNE 2013**

On 21<sup>st</sup> June 2013 the new Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg will solemnly be inaugurated together with numerous guests from politics, science and industry.

### **TAG DER OFFENEN TÜR AM ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 3. OKTOBER 2013**

Beim Tag der offenen Tür haben interessierte Besucher die Möglichkeit das neue Forschungs- und Demonstrationsgebäude des ZAE Bayern in Würzburg zu besichtigen. Es werden Führungen angeboten und die eingesetzten neuartigen Energieeffizienztechnologien erläutert.

### **OPEN DAY AT ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 3<sup>RD</sup> OCTOBER**

Interested visitors will get the opportunity to visit the new research and demonstration building of ZAE Bayern in Würzburg. Guided tours will be offered and the installed innovative energy efficiency technologies will be explained.

### **23. MITGLIEDERVERSAMMLUNG DES ZAE BAYERN**

Die 23. Mitgliederversammlung des ZAE Bayern findet am 20. November 2013 am ZAE-Standort Garching statt.

### **ZAE BAYERN'S 23<sup>RD</sup> GENERAL ASSEMBLY**

ZAE Bayern's 23<sup>rd</sup> General Assembly will be held at ZAE Bayern's division in Garching on 20<sup>th</sup> November 2013.



Abb. 3: Dr. A. Hauer, ZAE Bayern bei der „Energy Storage 2012“  
Fig. 3: Dr. A. Hauer, ZAE Bayern at the “Energy Storage 2012”.



Abb. 4: Dr. N. Röttgen, Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bei der „Energy Storage 2012“.  
Abb. 4: Dr. N. Röttgen, Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety at the “Energy Storage 2012”.







PHOTOVOLTAIK  
PHOTOVOLTAICS

ENERGIESPEICHER  
ENERGY STORAGE

ZAE BAYERN

ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE  
ENERGY OPTIMIZED BUILDINGS

ENERGIEEFFIZIENTE PROZESSE  
ENERGY EFFICIENT PROCESSES



NANOMATERIALIEN  
NANOMATERIALS

SYSTEMTECHNISCHE MODELLIERUNG  
SYSTEMS MODELLING

THERMOPHYSIK UND -SENSORIK  
THERMOPHYSICS AND THERMOSENSORICS

## 2.0. | **FORSCHUNG AM ZAE BAYERN** RESEARCH AT ZAE BAYERN

## 2.0. FORSCHUNG AM ZAE BAYERN

### RESEARCH AT ZAE BAYERN

Unser Energiesystem in seiner Gesamtheit stellt eine sehr komplexe Struktur mit unterschiedlich stark vernetzten Komponenten bezüglich der Energiebereitstellung, -speicherung, -transport und -verwendung dar. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt gerade in den interdisziplinär und abteilungsübergreifend vernetzten Arbeitsgruppen, welche die Forschung von den Grundlagen bis hin zur Anwendung konsequent betreiben. Eine solch ungewöhnliche Breite resultiert aus der traditionellen Kooperation mit den benachbarten Hochschulen sowie Industrie – einerseits bei der Durchführung eher grundlagenorientierter DFG-, EU-, und BMBF-Projekte, andererseits bei den konkreten BMWi-geförderten Umsetzungsprojekten, wie DEENIF, oder dem vom BayStMWIVT unterstützten Projekt „Smart Grid Solar“. Die Kernthemen des ZAE Bayern zeichnen sich durch eine hohe gesellschaftliche Relevanz insbesondere in Hinblick auf die anstehende Energiewende aus. Dabei sind Erneuerbare Energien, rationelle Energienutzung (Energieeffizienz) und die Speicherung von Energie unabdingbar für eine erfolgreiche „Wende“.

Das Institut zählt in seinen Themenfeldern zu den Innovationstreibern und erfährt seit Jahren eine hohe nationale und internationale Anerkennung. Dabei ergänzen sich Wissenschaftler des ZAE Bayern aus verschiedenen Disziplinen (z. B. Physik, Chemie, Maschinenbau, Informatik, Geologie) über die drei Standorte Garching, Würzburg und Erlangen hinweg. Die Stärke des ZAE Bayern liegt einerseits im Wissen um die Funktionsweise von neuen Materialien und Einzelkomponenten und andererseits in der Systembetrachtung. Beides zusammen ermöglicht die Optimierung auf verschiedenen Betrachtungsebenen und erschließt neue Synergien in Forschung und Entwicklung.

Forschungskreativität und -qualität äußern sich auf vielfältige Weise. Ein Landesinstitut wie das ZAE Bayern, mit einem traditionell relativ hohen Anteil von Drittmitteln, welche bei öffentlichen Förderinstituten ausschließlich im mehrstufigen Begutachtungsverfahren vergeben werden, beweist damit seine Forschungsstärke. Bei anwendungsorientierter Forschung andererseits lassen sich Kreativität und Innovationsfähigkeit z. B. mit Patentschriften demonstrieren. Die internationale Sichtbarkeit eines Forschungsinstituts sowie seine wissenschaftliche Innovationskraft werden jedoch meist anhand wissenschaftlicher Publikationen in internationalen Topfachzeitschriften bewertet. Die statistische Analyse, z. B. durch Web of Science, belegen, dass das ZAE Bayern in seiner Kategorie an-

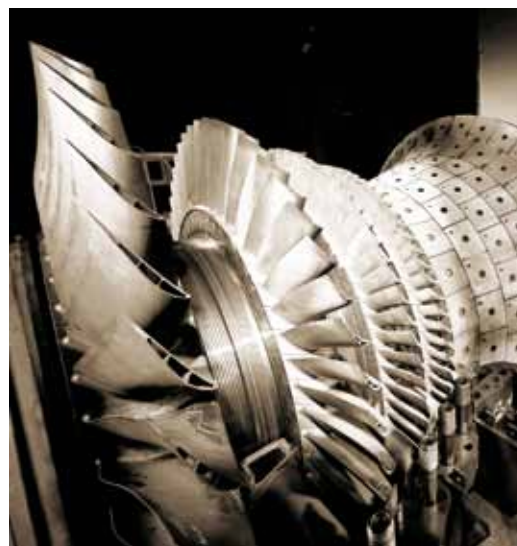
Our energy system as an entity is a very complex structure with different strongly cross-linked components concerning production, storage, transport and use of energy. The research strength of ZAE Bayern lies in its interdisciplinary and inter-divisional cross-linked research groups, which cover research from the basics up to the application. Such an unusual width results from the established cooperation with adjacent universities and industry. On the one hand rather basic research projects from DFG, EU and BMBF and on the other hand as well demonstration projects funded by BMWi (e. g. DEENIF) and “Smart Grid Solar” (funded by BayStMWIVT) are performed. ZAE Bayern’s core issues have a high social significance, especially with regard to the turnaround in energy policy. Hereby Renewable Energy, energy efficiency and energy storage are indispensable for a successful “change”.

For years the institute counts to the driving forces behind innovation for its topics and is experiencing a high national and international approval. Thereby scientists from various disciplines (e. g. physics, chemistry, mechanical engineering, computer science, geology) complement each other over our three divisions in Garching, Würzburg and Erlangen. On the one hand ZAE Bayern’s strength lies in the know-how about functionality of single components and on the other hand in viewing the whole systems. Both together allows optimization at different levels and opens up new synergies in research and development.

Creativity and quality of research can be shown multifarious. State institutes like ZAE Bayern, which have traditional high amount of third party funds, thus indicate its successful research activity, because third party funds are exclusively assigned by public funding institutions in multistep evaluation processes. In the field of applied research, creativity and innovation are demonstrated as well e. g. by patents. However, more often scientific performance is judged according to publications in international leading journals. A statistical analysis (e. g. at Web of Science) allocates ZAE Bayern’s top position in its category of applied science research institutes. In chapter 3.0., publications in reviewed journals as well as active participation of employees at international conferences by talks and scientific posters, are listed. Memberships in expert committees (e. g. International Energy Agency IEA, DIN and national expert committees) complete the cooperation with the worldwide scientific community. In the broader publicity, science and research are often considered to be very

wendungsorientierter Institute eine Spitzenstellung innehat. Eine Übersicht über Veröffentlichungen in begutachteten Fachzeitschriften sowie die aktive Teilnahme von Mitarbeitern an internationalen und nationalen Konferenzen in Form von Fachvorträgen und wissenschaftlichen Postern im vergangenen Jahr finden Sie in Kapitel 3.0. Die Mitarbeit in Expertengremien (z. B. Internationale Energieagentur, IEA, DIN-Ausschüsse, nationale Expertenarbeitskreise) runden den wissenschaftlichen Austausch mit der weltweiten Forschergemeinschaft ab. In der breiteren Öffentlichkeit werden Wissenschaft und Forschung jedoch oft als sehr abstrakt wahrgenommen. Um dem zu begegnen, finden Sie im folgenden Kapitel einen Überblick zu aktuellen Forschungsaktivitäten unseres Instituts.

abstract. In order to counter this, the following chapter gives an overview of current research activities of our institute.



## 2.1.



## PHOTOVOLTAIK

### PHOTOVOLTAICS

„BEIM PROJEKT SMART GRID SOLAR IN HOF / ARZBERG IST SO ZIEMLICH ALLES ANDERS ALS BEI ANDEREN SMART GRID PROJEKTEN. WIR SIND NUR AM 400 V NETZ UND SCHAUEN IN DIE ERZEUGER REIN, BETRACHTEN ZWISCHENSPEICHERSTATIONEN UND KÜMMERN UNS AUF SOFTWAREEBENE UM EIN GROSSES RECHENMODELL.“

(Prof. Dr. C.J. Brabec)

In der Photovoltaik (PV) nimmt Deutschland sowohl in der Forschung als auch in der Produktion von Bauelementen eine Spitzenstellung ein. Um diese Technologie für die Zukunft wettbewerbsfähig zur fossilen Stromerzeugung zu machen, ist eine rasche und stetige Kostenreduktion bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung notwendig. Das Arbeitsspektrum beinhaltet die Entwicklung eigener Konzepte und Herstellprozesse für Solarzellen auf Basis von dünnem Silicium (Si-PV) und organischen Halbleitern (OPV). Zudem werden neuartige bildgebende Verfahren zur Charakterisierung von Solarzellen und Modulen (z. B. IR-Thermographie, Elektrolumineszenz, EL) entwickelt und angewendet. Ein Prüflabor für PV-Module mit Indoor-Testständen sowie einem Outdoor-Testgelände stehen zur Verfügung. Ein Labor für drucktechnisch hergestellte Solarzellen (OPV, CIS, Si) im Rahmen des Projektes „Solarfabrik der Zukunft“ befindet sich im Aufbau.

Die Forschung am ZAE Bayern im Bereich der OPV zeichnet sich durch einen hohen Grad an Interdisziplinarität und eine enge Vernetzung mit Industriefirmen und Forschungseinrichtungen aus. Die Forschungslaboratorien in Würzburg (Untersuchung optischer und elektrischer Eigenschaften von Absorbermaterialien und Bauelementen) und Erlangen (Technologie- und Materialentwicklung, Defektanalyse, Zelldesign und Lebensdauer) liefern wissenschaftliche und technologische Beiträge. Die größten Herausforderungen sind die Entwicklung neuer Materialien mit Effizienzen von über 10% und die Erhöhung der Lebensdauer auf mehr als 10 Jahre.

Ein hohes Potential für Kostensenkungen haben Solarzellen aus dünnem, kristallinem Silicium auf einem beliebigen Trägersubstrat. Diese Technologie verbindet die hohe Effizienz der Dickschichttechnologien mit den Kostenvorteilen der Dünnschichttechnik. Bei der Herstellung von Solarzellen mit diesen dünnen Si-Schichten hat das ZAE Bayern Effizienzen von 11,1% erreicht. Mittelfristig werden Wirkungsgrade von bis zu 20% für diese Technologie angestrebt. Dazu braucht es kontinuierliche Verbesserungen in der Substratanpassung, der Elektrodenleitfähigkeit, der Oberflächen und Grenzflächenpassivierung sowie des Zelldesigns.

Germany holds a leading role in photovoltaics (PV) in research as well as in the production of components. To make this technology competitive to fossil power generation, a rapid and consistent cost reduction as well as an increase of efficiency will be necessary. The working spectrum includes the development of concepts and production processes for solar cells based on thin silicon (Si-PV) and organic semiconductors (OPV). Moreover new imaging procedures for characterization of solar cells and modules (e.g. IR-thermography, electroluminescence, EL) are investigated and applied. An indoor measuring facility as well as an outdoor testing area for PV-modules is available. Another laboratory for printed solar cells is going to be built up in the framework of the project “Solarfactory of the future”.

At ZAE Bayern the research in the field of OPV distinguishes itself by a high degree of interdisciplinarity and a tight network with companies and research centers. The research laboratories in Würzburg (research of optical and electrical properties of absorber materials and building elements) and Erlangen (technology and material development, defect analyses, cell design and lifespan) provide scientific and technological contributions. The biggest challenges are the development of new materials with efficiencies over 10% and extending the lifetime to more than 10 years.

Solar cells made from thin, crystalline silicon applied on low-cost carrier substrate, have a high potential for cost reduction. This technology combines the high efficiency of the thick-film technique with the cost benefits of the thin-film technology. For the production of solar cells with these thin Si films, ZAE Bayern has achieved efficiencies of 11.1%. In the middle-term, efficiency values of 20% are aspired. For this, a continuous improvement of the substrate adaptation, the electrode conductivity, the surface passivation and boundary surface passivation as well as the cell design is required.

The development of non-destructive imaging characterization methods of cells and modules is very important. Especially for thin-film solar cells (OPV and CIS),



Abb. 1: Startender Mess-Helikopter vor Erlanger ZAE-Gebäude.  
Fig. 1: Launching helicopter in front of the ZAE building in Erlangen.



Abb. 2: PV-Module auf dem Dach des ZAE Gebäudes in Erlangen.  
Fig. 2: PV modules on the roof of the ZAE building in Erlangen.

Die Entwicklung zerstörungsfreier bildgebender Charakterisierungsverfahren von Zellen und Modulen ist extrem wichtig. Insbesondere für Dünnschichtszellen (OPV und CIS) wurden und werden neue Technologien wie die Lock-in Thermographie, Elektrolumineszenz und Photolumineszenz zur Defektanalyse entwickelt und angewendet. Ein Prüflabor für PV Module wird zurzeit nach DIN EN 17025 akkreditiert und ein Außenmessstand steht für Langzeittests insbesondere von Dünnschichtmodulen zur Verfügung. Verglichen mit herkömmlicher Thermographie hat Lock-in Thermographie den Vorteil einer höheren thermischen Auflösung, d. h. die Fähigkeit, wesentlich kleinere Temperaturunterschiede zu detektieren. Bei der Illuminated-Lock-in-Thermographie (ILIT) wird das Solarmodul mit Licht bestrahlt und die durch Thermalisierungs- und Rekombinationseffekte hervorgerufene Erwärmung mit einer Infrarotkamera ortsaufgelöst aufgenommen. Zwei wichtige Vorteile von ILIT sind, dass es sowohl ein zerstörungsfreies als auch ein kontaktfreies Messverfahren ist. Daher ist ILIT eine sehr vielversprechende Methode für die Qualitätskontrolle, insbesondere in frühen Phasen des Herstellungsprozesses. Als nächstes sollen die Messeinrichtungen des ZAE Bayerns verbessert werden, um kurze Messzeiten zu ermöglichen. Des Weiteren wird an einem Testverfahren gearbeitet, das anhand einer ILIT Aufnahme die Leistung von PV-Modulen bestimmen kann.

new technologies like lock-in thermography, electroluminescence and photoluminescence for the defect analysis are being developed. A testing laboratory for PV modules is currently being accredited to DIN EN 17025. Furthermore an outdoor test facility in particular for thin-film solar cells is available. Compared to conventional thermography, the lock-in-thermography shows a higher resolution, i.e. the ability to measure smaller temperature differences. For the illuminated-lock-in-thermography (ILIT) the solar module is irradiated with light and the rise of temperature as a result of thermalisation and recombination effects is space-resolved recorded by an IR-camera. Two important advantages of ILIT are that the measurements are non-destructive and contactless. Therefore ILIT is a very promising method for quality-control, particularly for the early stages of the production process. As next step the measuring devices at ZAE Bayern shall be improved to allow short measurement times. Furthermore, a test method is investigated that can determine the performance of PV modules based on ILIT-measurements.

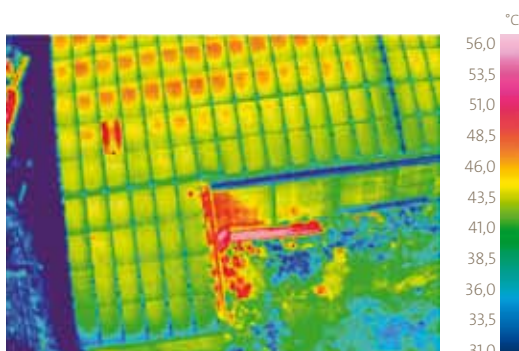


Abb. 3: IR-Luftbildaufnahme mittels Helikopter zur Defekterkennung von PV-Modulen.  
Fig. 3: IR aerial image for the detection of defects of PV modules - shoot by helicopter.





## VERBESSERTE SCHICHTEIGENSCHAFTEN FÜR KRISTALLINE SILIZIUM-DÜNNSCICHTSOLARZELLEN

### OPTIMIZED LAYER PROPERTIES FOR CRYSTALLINE SILICON THIN-FILM SOLAR CELLS

#### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Thomas Kunz**  
Gruppenleiter,  
Siliziumphotovoltaik  
Group Manager,  
Silicon Photovoltaics

#### Abteilung | Division

Thermosensorik und Photovoltaik  
Thermosensorics and Photovoltaics

+49 9131/93 98-155  
kunz@zae.uni-erlangen.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 0325031B)

#### Kooperationspartner | Partners

Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

Dünne kristalline Siliziumfilme auf kostengünstigen Substraten wie z. B. Glas oder Keramik haben für die Herstellung von Solarzellen potentielle Kostenvorteile gegenüber den zurzeit überwiegenden Solarzellen aus Si-Wafern. Aufwändige Prozessschritte wie z. B. das Züchten der Massivkristalle und Sägen der Wafer werden vermieden. Ein Wirkungsgrad von bis zu 19,1% wurde bereits für eine kristalline Silizium-Dünnschichttechnologie demonstriert [1], d. h. das Potential ist deutlich höher als bei amorphen Dünnschichtsolarellen. Ausschlaggebend für die Erzielung eines hohen Wirkungsgrades ist die Entwicklung geeigneter Siliziumschichten, deren kristalline Realstruktur nur wenige Defekte enthält, die zur Rekombination angeregter Ladungsträger führen.

Nachdem die Siliziumschichten mittels chemischer Gasphasenabscheidung (chemical vapor deposition; CVD) auf das Substrat abgeschieden werden, sind die Schichten mikrokristallin. Die entsprechenden Korngrenzen bewirken eine hohe Rekombinationsrate der angeregten Ladungsträger. Am ZAE Bayern wird deshalb ein Rekristallisationsprozess mittels Zonenschmelzen (ZMR) entwickelt (Abb. 1). Nach dem sequentiellen Schmelzen und Rekristallisieren der Schicht sind Kristallkörner deutlich größer und der Einfluss der Korngrößen somit drastisch reduziert.

Die Kornstruktur der beim Zonenschmelzen erhaltenen Schichten wurde mittels Elektronen-Rückstreuung (electron backscattering diffraction; EBSD) ermittelt. Um zusätzlich die rekombinative Wirkung der gefundenen Kristalldefekte zu ermitteln, wurde außerdem der mittels Elektronenstrahl induzierte Photostrom (electron beam induced current; EBIC) gemessen. Die Messungen zeigen, dass es sich bei den nach der ZMR noch verbleibenden Korngrenzen fast ausschließlich um Zwillingskorngrenzen handelt. Diese Zwillingsgrenzen sind im Gegensatz zu anderen Korngrenzen nicht elektrisch aktiv und führen somit nicht zur Rekombination der angeregten Ladungsträger [2, 3] (Abb. 2).

Entscheidend für die Erzielung der gezeigten Zwillingsstruktur ist die Einstellung eines Wachstumsregimes in der Kristallebene (110). Bei herkömmlicher Rekristallisation insbesondere auf SiO<sub>2</sub>-Basisschichten wird ein (100) Regime erhalten. In diesem Fall sind Zwillingsgrenzen sehr selten. Stattdessen bilden sich sehr viele Kleinwinkelkorngrenzen, die ebenfalls rekombinationsaktiv sind. Im Falle des (110) Regimes, das wir auf SiC-Basisschichten erhalten haben, wurden da-

Thin crystalline films on low-cost substrates such as e. g. glass or ceramics have potential cost advantages for the manufacturing compared to the currently prevailing cells from silicon wafers. Costly process steps such as growth of bulk crystals and sawing of wafers are avoided. Conversion efficiencies of up to 19.1% have already been demonstrated for crystalline thin-film technology, i. e. the efficiency potential is much higher as compared to amorphous thin-film solar cells. Essential for obtaining a high efficiency is the development of suitable silicon layers with a crystalline real structure containing only few recombination-active defects.

After deposition of silicon layers by chemical vapor deposition (CVD) on the substrate, the resulting layers are microcrystalline. The corresponding grain boundaries cause a high recombination rate of excited charge carriers. Therefore at ZAE Bayern a recrystallization process by zone melting (ZMR) is being developed (Fig. 1). After sequential melting and recrystallization of the layer, the crystal grains are significantly larger, thus the influence of the grain boundaries is strongly reduced.

The grain structure of the obtained layers was investigated by electron backscattering diffraction (EBSD). To find out the recombinative effect of the obtained crystal defects, the study is combined with electron beam induced current (EBIC) measurements. The measurements show that the remaining grain boundaries are mostly the twin boundary type after ZMR. Contrary to other grain boundaries, these twin boundaries are not electrically active, thus they do not enhance the recombination of excited charge carriers [2, 3] (Fig. 2).

Essential for obtaining the shown twin structure is the achievement of a crystal face (110) growth regime. In case of conventional recrystallization, particularly on SiO<sub>2</sub>-base layers, a (100) growth regime is obtained. In this case twin boundaries are rare. Instead many recombination active subgrain boundaries are obtained. Contrarily, in case of the described (110) regime, which we have obtained on SiC-base, subgrain boundaries are rarely found (Fig. 3). It is expected that by these novel silicon layers much better thin-film solar cells can be produced.

gegen kaum Kleinwinkelkorngrenzen gefunden (Abb. 3). Zu erwarten ist, dass mit den neu entwickelten Siliziumschichten deutlich bessere Dünnschichtszell hergestellt werden können.

T. Kunz

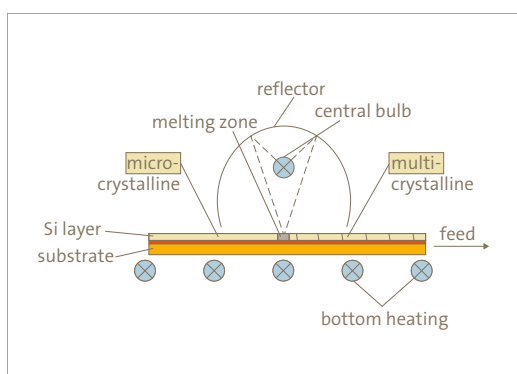


Abb. 1: Prinzipskizze einer Zonenschmelzrekristallisation mit Infrarot-Lampenheizern. Die Schmelzzone wird durch eine linienfokussierte IR-Lampe erzeugt. Zusätzliche Grundheizer wärmen das Substrat vor.

Fig. 1: Principle of a zone melting recrystallization by infrared lamp heater. The melt zone is created by a line-focussed IR-lamp. Additional heaters pre-heat the substrate.

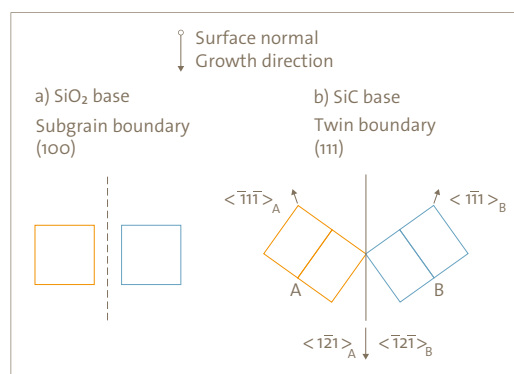


Abb. 3: Verschiedene Wachstumsregime und dominierende Defekte bei Si-Schichten mittels Zonenschmelzen (ZMR): a) Auf  $\text{SiO}_2$  Basisschichten mit Kristallebene (100) Regime b) Auf SiC Basisschichten mit (110) Regime [3].

Fig. 3: Various growth regimes and dominating defects for Si-layers by zone melting (ZMR): a) On  $\text{SiO}_2$ -base layers with crystal face (100) regime. b) On SiC base layers with (110) regime [3].

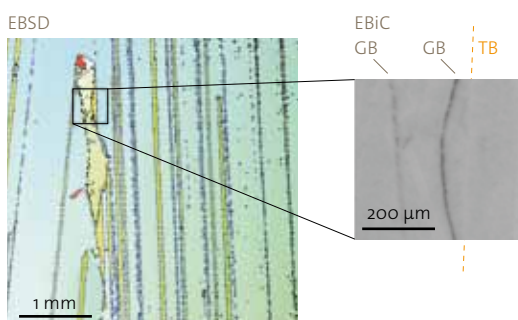


Abb. 2: EBSD Mapping (electron backscattering diffraction) der Schichtoberfläche zeigt viele Zwillings- (twin boundaries; TB) und wenige andere Korngrenzen (grain boundaries; GB). Von dem markierten Ausschnitt zeigt ein EBIC Mapping (electron beam induced current) erhöhte Rekombination an den (Nichtzwillings-) Korngrenzen, wogegen Zwillingsgrenzen im EBIC nicht sichtbar sind [2, 3].

Fig. 2: EBSD mapping (electron backscattering diffraction) of the layer surface shows many twin (TB) and few other boundaries (GB). Within the marked section an EBIC mapping (electron beam induced current) reveals enhanced recombination at (non-twin-) boundaries, whereas twin boundaries are not visible by EBIC [2, 3].

#### Literatur | References

[1] J.H. Petermann, D. Zielke, J. Schmidt, F. Haase, E. Garralaga Rojas, R. Brendel, Prog. Photovoltaics Res. Appl. 20(1) (2011) 1–5

[2] T. Kunz, M.T. Hessmann, R. Auer, A. Bochmann, S. Christiansen, C.J. Brabec, J. Crystal Growth 357 (2012) 20–24

[3] T. Kunz, M.T. Hessmann, A. Riecke, R. Auer, A. Bochmann, S. Christiansen, C.J. Brabec, EBSD and EBIC investigation of thin-film silicon recrystallized by zone melting on SiC base layer, 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, 17.–21.09.2012, Frankfurt (Germany)



## DIE „SOLARFABRIK DER ZUKUNFT“

### THE “SOLARFACTORY OF THE FUTURE”

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. Richard Auer**

Abteilungsleiter | Head of Division

#### Abteilung | Division

Thermosensorik und Photovoltaik  
Thermosensorics and Photovoltaics

+49 9131/93 98-100

auer@zae.uni-erlangen.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Verkehr, Infrastruktur  
und Technologie (FKZ 20-3043.5),  
Initiative „Aufbruch Bayern“,  
„Strukturprogramm Nürnberg-Fürth“,  
Stadt Nürnberg,  
Metropolregion Nürnberg

#### Kooperationspartner | Partners

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg,  
Georg-Simon-Ohm-Hochschule  
Nürnberg,  
Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Schaltungen (IIS),  
Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Systeme und  
Bauelementetechnologie (IISB),  
Fraunhofer-Institut für  
Bauphysik (IBP)

Am „Energie Campus Nürnberg“ (EnCN) werden die Kompetenzen aus sechs Forschungseinrichtungen und der Industrie in zehn Forschungsbereichen vereint ([www.encn.de](http://www.encn.de)). So werden neue Konzepte sowie Technologien zu Solarenergie, Transport, Speicherung, Verteilung, Nutzung, Modellierung und Simulation von Energiesystemen entwickelt. Zudem stehen Akzeptanz, Design und Wirtschaftlichkeit im Fokus. Der Aufbau des EnCN wird mit 50 Millionen € für einen Zeitraum von 5 Jahren durch die Bayerische Staatsregierung gefördert.

Das ZAE Bayern koordiniert dabei das Projekt „Solarfabrik der Zukunft“. Zusammen mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft werden verschiedenste Photovoltaiktechnologien entwickelt, um mittels Druck- bzw. Beschichtungsverfahren Solarmodule herzustellen. Darüber hinaus werden materialtechnische Grundlagen zur nachhaltigen Entwicklung der Technologien und Produktionsprozesse erarbeitet.

Die gemeinsame Nutzung von neuen Schlüsseltechnologien wie Düsenbeschichtung und Tintenstrahldruck, Laser zur Modulstrukturierung und Öfen zur thermischen Nachbehandlung, ist von großem Vorteil in der Prozessentwicklung. Es erlaubt erstmals die Verfolgung unterschiedlicher wissenschaftlicher Ansätze für Solarzellen mit hohem Wirkungsgradpotential unter Beibehaltung kostengünstiger Massenfertigungstechnologien. Neben akademischen Fragestellungen sollen im Technikum auch in Zusammenarbeit mit der Industrie praxisrelevante Fragen geklärt werden.

Die Materialforschung im Bereich organischer Photovoltaik (OPV) fokussiert sich auf das Design kleiner organischer Moleküle, Elektronendonatoren/-akzeptoren, Chromophoren und Additiven. Diese sollen bezüglich Prozessierbarkeit in Lösungsmitteln für die OPV untersucht werden, wobei primär stabile Syntheserouten für diese Materialien im Fokus stehen. Neu entwickelte Syntheseverfahren sind vielversprechend und die Materialien zeigen eine gute Löslichkeit in üblichen Lösungsmitteln. Der nächste Schritt ist die Materialaufskalierung. Druck- und Beschichtungstechniken (Sheet-to-Sheet-Prozesse) für die Herstellung von OPV-Proben wurden im Labormaßstab evaluiert und Prozessparameter optimiert. Die aktive Schicht der Solarzellen konnte erfolgreich hergestellt und zu einer Fläche 10x20 cm<sup>2</sup> aufskaliert werden. Zurzeit in der Evaluierungsphase ist die Entwicklung nicht-halogenen Lösungsmitteln für organische Halbleiter. Bei gedruckten CIS-Solarzellen liegt der Schwerpunkt auf

The “Energy Campus Nürnberg” (EnCN) combines the expertise of six research facilities and industry in ten research areas ([www.encn.de](http://www.encn.de)). New concepts and technologies for solar energy, transport, storage, distribution, usage, modeling, and simulation of energy systems will be developed. Also acceptance, design and economy will be considered. The installation of the EnCN is funded for a time period of five years with € 50 m by the Bavarian government.

ZAE Bayern coordinates the project “Solarfactory of the Future”. Together with partners from industry and science, material systems for different photovoltaic technologies will be developed to manufacture solar modules by printing and coating techniques. Moreover fundamental expertise regarding materials and technical aspects are gathered here as a basis for sustainable development of technologies and production processes.

A big advantage in process development is the joint use of new key technologies like slot-die coaters, ink jet printers, laser for the patterning of solar modules and furnaces for thermal treatment. This enables for the first time to pursue different scientific approaches for solar cells with high efficiency potential whilst keeping cost effective mass manufacturing technologies. In addition to academical investigations, the technical center will clear up real-life related topics in cooperation with industry.

The material research in the field of organic photovoltaics (OPV) focuses on the design of small organic molecules, electron donors and acceptors, chromophores and additives. These should be investigated with respect to solution-processability for OPV, with the main interest in the development of a robust synthesis route. New synthesis routes are promising and the materials show a good solubility in common solvents. Material up-scaling will be carried out as a next step. Printing and coating techniques (sheet-to-sheet) have been evaluated in lab scale manufacturing by optimizing process parameters. Active solar cell layers could be successfully coated and up-scaled to an active layer size of 10x20 cm<sup>2</sup>. Currently in the evaluation phase is the development of non-halogenated solvents for organic semiconductors. The development of printed CIS solar cells focuses on the utilization of nanoparticles for the formation of the absorber layer. An increased homogeneity of the absorber layer compared to layers prepared by vacuum techniques can be achieved by an improved initial mixing of the precursors.

dem Einsatz von Nanopartikeln zur Bildung der Absorberschicht. Durch eine bessere anfängliche Durchmischung der Prekursoren soll eine im Vergleich zu vakuumtechnisch hergestellten Schichten höhere Homogenität der Absorberschichten erreicht werden.

Zu druckbarer Silizium-Photovoltaik wird für die Absorberschichten eine Route via Siliziumverbindungen verfolgt, die in Lösungsmitteln zu Schichten verarbeitet werden können. Durch geeignete Nachbehandlungsschritte werden die Silanverbindungen zunächst vernetzt und schließlich kristallisiert. Die Qualität der Si-Schichten wird durch die Nachbehandlung für deren Einsatz in Solarzellen optimiert.

Mit dem Forschungsbereich optischer Konverter wird ein Thema bearbeitet, das für alle PV-Technologien von hoher Relevanz ist. Hier werden Schichten entwickelt, die ungenutzte Spektralbereiche des Sonnenlichts zu für Solarzellen nutzbare Strahlung konvertieren.

The approach for printing silicon solar cells is following the preparation of the absorber layer by using silicon compounds which are processed into layers in solution. Carrying out suitable post processing steps, the silicon compounds are cross-linked firstly and finally crystallized. The quality of the silicon layers is optimized by post processing for their application in solar cells.

The research field of optical converters is a topic which is of high relevance for all PV technologies. Here layers are developed which convert incident light in such a way that originally unutilized spectral ranges of sunlight can be used by solar cells.

M. Voigt, E. Stern, R. Auer

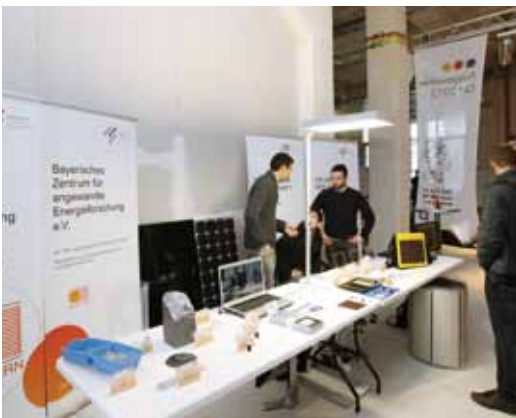


Abb. 1: Ausstellungsstand des ZAE Bayern zum EnCN-Projekt „Solarfabrik der Zukunft“ im Rahmen der Preisverleihung zum „Ausgewählten Ort 2012“ im Land der Ideen am 16.11.2012 (© EnCN/Kurt Fuchs).

Fig. 1: Exhibition booth of ZAE Bayern of the EnCN-project “Solarfactory of the Future” at the price giving ceremony „Ausgewählter Ort 2012“ in the „Land der Ideen“, 16. November 2012 (© EnCN/Kurt Fuchs).

Roll-to-Roll Single Head Coater

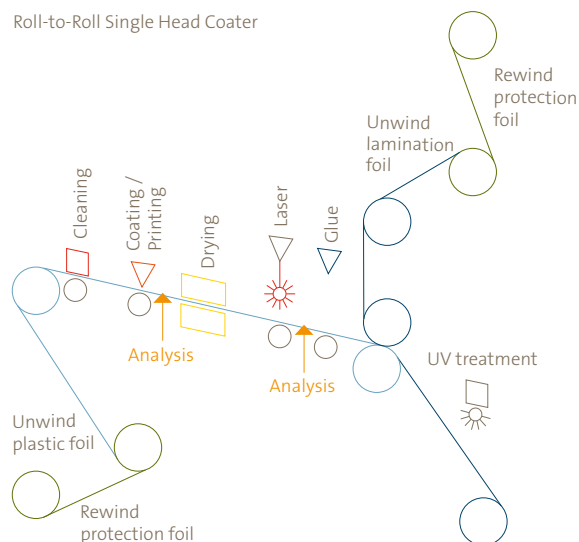


Abb. 2: Konzept der Rolle-zu-Rolle Beschichtungsanlage.

Fig. 2: Sketch of the roll-to-roll coater.



# GEBÄUDEINTEGRIERTE ORGANISCHE PHOTOVOLTAIK

## BUILDING INTEGRATED ORGANIC PHOTOVOLTAICS

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Andreas Baumann**  
Organische PV und Elektronik,  
Organic PV and Electronics

### Abteilung | Division

Funktionsmaterialien der  
Energietechnik  
Functional Materials for Energy  
Technology

☎ 49 931/705 64-342  
✉ andreas.baumann@  
zae.uni-wuerzburg.de

### Fördermittelgeber | Funding

Eigenforschung

Das ZAE Bayern forscht neben der herkömmlichen Si-basierten Photovoltaik seit etwa 10 Jahren auch auf dem Gebiet der organischen Photovoltaik (OPV) und verfügt über eine große Expertise in den Bereichen großflächiger Halbleiterbeschichtung und Zellenprozessierung, Verständnis von Alterungsprozessen, grundlegender Charakterisierung elektrischer und optischer Kenngrößen organischer Solarzellen, sowie der Devicesimulation. Damit gehört das ZAE Bayern zu den weltweit namhaften und ausgewiesenen Forschungsgruppen auf dem Gebiet der OPV.

Zur Reduktion des Energieverbrauchs und damit der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudebestand werden energieeffiziente Systeme benötigt. Im Zeitalter der Energiewende wird eine dezentrale Stromgewinnung immer wichtiger. Der Strom lässt sich direkt vor Ort nutzen, ohne über weite Strecken transportiert werden zu müssen. Zur Realisierung zukünftiger Niedrigstenergiegebäude kann die gebäudeintegrierte Photovoltaik eine wesentliche Komponente sein. Diese Technologie vereint unter ästhetischen und technischen Gesichtspunkten die Funktionen Strombereitstellung, Sonnenschutz und Witterungsschutz. Bisherige gebäudeintegrierte PV-Systeme beschränken sich überwiegend auf anorganische Halbleitermaterialien, welche hohe Herstellungskosten und eine merkliche Abnahme des Wirkungsgrades bei diffusen und schwachen Lichtverhältnissen sowie bei höheren Temperaturen aufweisen. Zudem besteht ein hoher Wärmedurchgang bei Anwendung als Fassadenelement.

Neben dem Ziel energieeffiziente Neubauten zu realisieren steht dabei u. a. auch die Sanierung von Altbauten im Fokus. Im Gegensatz zu anorganischen PV-Systemen (Si, CIS, CIGS) nimmt der Wirkungsgrad organischer Solarzellen bei steigenden Temperaturen oft zunächst zu, so dass sich eine Erwärmung der OPV-Schicht, wie sie an Gebäudefassaden üblich ist, nicht nachteilig auf die Effizienz auswirkt. Die Vorteile der OPV im Gegensatz zur anorganischen PV für die Gebäudeintegration sind im Detail:

- variable Semitransparenz der OPV-Schichten
- effiziente Funktionsweise auch bei diffusen und schwachen Lichtverhältnissen
- Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades bei höheren Temperaturen und
- geringe Herstellungskosten

Gerade in den Bereichen Leichtbau und Verglasung werden der OPV große Marktchancen zugesprochen.

Besides the conventional silicon based photovoltaics, since 10 years the research activities of ZAE Bayern focus also on organic photovoltaics (OPV). Thereby a great know-how is available in terms of large area printing of semiconducting materials, fundamental characterisation of electrical and optical parameters of OPV as well as device simulation. Thus ZAE Bayern belongs to the world wide renowned research groups in the field of OPV.

For a reduction of the energy consumption of buildings and its CO<sub>2</sub> emissions, energy efficient systems are required. In the era of „Energiewende“ (turnaround in energy policy), a decentralised power production becomes more and more important. Electrical power can be used directly on site without being transported over long distances. To realize nearly zero energy buildings, the building integrated PV can be a substantial component. This technology combines, in terms of aesthetic and technical aspects, the role of electrical power supply, sun shading and weather protection. Up to now, mainly inorganic PV systems show high production costs and a sensible decrease in power conversion efficiency at low light levels as well as with increasing temperature. Furthermore, a strong heat transfer exists when it is used as a facade element.

Besides the goal to realize new energy efficient buildings, major efforts are made to renovate old buildings. In contrast to inorganic PV systems (Si, CIS, CIGS), the power conversion efficiency of organic solar cells first increases with increasing temperature. Thus, the heating of OPV layer, which usually occurs at building facades, is even beneficial for the efficiency of the building component. The advantages of the organic photovoltaics are in detail:

- variable semi-transparency of the OPV active layer
- decent operation even at low and diffuse light conditions
- increase in the power conversion efficiency with increasing temperature and
- low production costs

Especially in the fields of lightweight construction and glazing a huge market potential is expected for the OPV. Amongst others, ZAE Bayern aims to integrate OPV in glazing with adjustable semi-transparency. Here it is necessary to provide the long-term stability considering also the optical and thermal physical parameters of the respective building component. Thereby, a universal approach will be pursued in order



Das ZAE Bayern verfolgt u. a. den Ansatz von in Verglasungen integrierter OPV mit einstellbarer Semitransparenz. Hierbei muss die geforderte Langzeitstabilität unter Einhaltung der für Gebäudeanwendungen benötigten optischen und thermophysikalischen Kennwerte eingehalten werden. Dabei wird ein universeller Systemansatz beschritten, der eine Vielzahl von Anwendung adressiert, um ein maximales Anwendungspotential zu erzielen. So lassen sich organische Solarzellen beispielsweise in Verglasungen integrieren, die sowohl in sonnenabgewandten Gebäudeteilen, als auch im Innenbereich von Gebäuden Verwendung finden können. Das ZAE Bayern generiert dabei Synergien hinsichtlich Energieoptimierung bzw. Energieeffizienz im Gebäudebereich und der Photovoltaik.

Ein ideales Forschungsobjekt für die gebäudeintegrierte PV wird das neue Forschungs- und Demonstrationsgebäude „Energy Efficiency Center (EEC)“ des ZAE Bayern in Würzburg darstellen. Dort sollen innovative Gebäudekomponenten, u. a. auch die OPV-Verglasung, umgesetzt und direkt vor Ort im Betrieb getestet werden.

to maximise the number of possible applications. As an example, OPV can be integrated in glazing, which are turned away from the sun or even used indoor. Therefore ZAE Bayern generates synergies in the field of energy-optimised buildings with its photovoltaics research.

An ideal research platform for the building integrated PV will be the new research and demonstration building (“Energy Efficiency Center”, EEC) of ZAE Bayern in Würzburg. Innovative building components, e.g. the OPV glazing, will be demonstrated and tested under operation on site.

A. Baumann, H.P. Ebert,  
V. Dyakonov



Abb. 1: Farblich getönte Fensterscheibe als zukünftige OPV-Verglasung.

Fig. 1: Color toned window as a perspective for future OPV glazing.



Abb. 2: Systemstudie zur Integration von OPV-Verglasung im neuen Demonstrationsgebäude in Würzburg (© Lang Hugger Rampp).

Fig. 2: Vision of an integrated OPV glazing in the new demonstration building in Würzburg. (© Lang Hugger Rampp).

## 2.2.



## ENERGIESPEICHER

### ENERGY STORAGE

„MOBILE SORPTIONSSPEICHER KÖNNEN EINE TECHNISCHE ALTERNATIVE ZUR WÄRMEVERSORGUNG SEIN... OB SIE AUCH EINE ÖKONOMISCHE ALTERNATIVE SEIN KÖNNEN ERMITTELN WIR AKTUELL“

(DIPL.-ING. E. LÄVEMANN)

Energiespeicher können einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und der Integration Erneuerbarer Energien leisten. Am ZAE Bayern werden überwiegend thermische, aber auch elektrische und elektrochemische Energiespeicher untersucht. Wärme- und Kältespeicher sind im Gebäudebereich unverzichtbare Komponenten eines effizienten Energiesystems. Im Industriesektor ist eines der wichtigen Themen die Nutzung industrieller Abwärme durch Speicherung.

Am ZAE Bayern sind Speicher sensibler Wärme, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher Gegenstand von Forschung und Entwicklung. Alle Forschungsbereiche werden von grundlegenden Fragestellungen, z.B. nach den theoretischen Grenzen der Speicherkapazität oder der Materialentwicklung, bis zu Fragen der Produktentwicklung oder Systemintegration behandelt. Sensible Wärmespeicher werden vor allem bzgl. der Verbesserung der Wärmedämmung und den damit verbundenen Eigenschaften im System untersucht. Latentwärmespeicher werden hauptsächlich auf Salzhydrat-Basis entwickelt, aber auch Fragen zu innovativen Materialkonzepten und der Einbringung ins Gebäude werden bearbeitet. Bei thermochemischer Speicherung stehen vor allem Sorptionsprozesse im Fokus. Im Bereich elektrochemischer Energiespeicher konzentrieren sich die Aktivitäten auf Supercaps und Redox-Flow-Batterien.

In Zusammenhang mit Wärmespeicherung ist die langjährige Erfahrung des ZAE Bayern auf dem Gebiet der Wärmetransformation durch Sorptionswärmepumpen und -kältemaschinen zu erwähnen (siehe Kapitel „Energieeffiziente Prozesse“). Diese Technik erweitert deutlich die möglichen Anwendungsbereiche der Speichersysteme durch die Anpassung der benötigten Temperaturniveaus.

National hat sich das ZAE Bayern durch eine Reihe von Forschungsvorhaben auf dem Gebiet thermischer Energiespeicherung einen Namen gemacht. International ist das ZAE Bayern durch seine Expertise bei der Energiespeicherung anerkannt. Dies drückt sich durch eine starke Präsenz in verschiedenen Gremien der Internationalen Energieagentur IEA aus.

Energy storages can contribute decisively to the increase of energy efficiency and the integration of renewable energies. At ZAE Bayern predominantly thermal storages but also electrical and electrochemical energy storages are investigated. In the building sector heat and cold storages are essential components of an efficient energy system. In the industrial sector the focus is on the application of thermal energy storages for the use of industrial waste-heat.

At ZAE Bayern sensible heat storages, latent heat storages and thermochemical storages are subject of research and development. All areas of research are subject of fundamental questions, e.g. concerning the theoretical limits of storage capacity or of material development, including questions of product development or system integration. For sensible heat storage the improvement of thermal insulation and related properties in the system is mainly investigated. Latent heat storages are developed mainly based on salt hydrates but the research also handles questions on innovative material concepts and the integration into the building. In the field of thermochemical storage, mainly sorption processes are in the focus. In the area of electrical and electrochemical energy storages the activities concentrate on supercaps and redox-flow batteries.

The longstanding experience of ZAE Bayern in the field of heat transformation via sorption heat pumps and sorption chillers should be mentioned in the context of heat storage (see chapter “Energy Efficient Processes”). This significantly broadens the possible applications of the storage systems by adapting the required temperature level.

ZAE Bayern has gained a good national reputation through a number of research projects in the field of thermal energy storage. Internationally ZAE Bayern is recognized because of its expertise on energy storage. This is also expressed in the strong presence in diverse boards and committees of the International Energy Agency IEA.



Abb. 1: Speichermedium der Redox-Flow-Batterie: Vanadium-Elektrolyt in seinen vier verschiedenen Oxidationsstufen.

Fig. 1: Storage medium of the redox flow battery: vanadium electrolyte in its four different oxidation states.

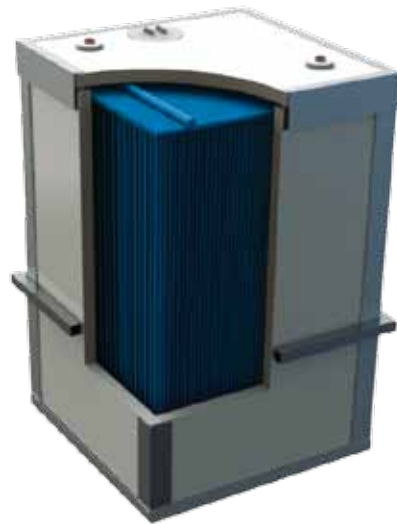


Abb. 2: Niedertemperaturwärmespeicher mit Kapillarrohr-Wärmeübertrager.

Fig. 2: Low temperature latent heat storage with capillary tube heat exchanger.



Abb. 3: Mobiler Zeolith-Speicher unterwegs (© MVA Hamm Betreiber GmbH).

Fig. 3: Mobile Zeolite storage on the road (© MVA Hamm Betreiber GmbH).



Abb. 4: Installation des optimierten 3. Prototypen eines vakuum-superisolierten (VSI)-Heißwasserspeichers mit 6,5 m<sup>3</sup> Volumen und patentiertem Schichtenlader am ZAE Bayern in Garching. Die Wärmeverluste sind um den Faktor 5 niedriger als bei den besten konventionellen Speichern.

Fig. 4: Installation of the optimized third prototype of a vacuum super insulated (VSI) hot water storage device with a volume of 6.5 m<sup>3</sup> and a patented stratification device at ZAE Bayern in Garching. The heat losses are reduced to one-fifth compared to the best conventionally insulated storages.



# MOBILE SORPTIONSSPEICHER ZUR NUTZUNG INDUSTRIELLER ABWÄRME

## MOBILE SORPTIONS STORAGE FOR INDUSTRIAL WASTE HEAT

### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. Eberhard Lävemann**  
Senior Scientist,  
Wärmespeichersysteme  
Senior Scientist,  
Heat Storage Systems

### Abteilung | Division

Technik für Energiesysteme  
und Erneuerbare Energien  
Technology for Energy Systems  
and Renewable Energy

+49 89 / 329 442 -18

laevemann@muc.zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie (FKZ 0327383B)

### Kooperationspartner | Partners

Hoffmeier Industrieanlagen GmbH  
& Co KG,  
MHB Hamm Betriebsführungsge-  
sellschaft mbH,  
Jäckering Mühlen und Nahrungsmittel-  
werke GmbH

Abwärme aus Industrieprozessen wird oft bei hohen Temperaturen und mit großen Leistungen an die Umgebung abgegeben, da sie am Standort zum anfallenden Zeitpunkt nicht genutzt werden kann. Mobile Sorptionswärmespeicher sind eine Option, diese thermischen Energien nutzbar zu machen. Das ZAE Bayern ist dabei an der Entwicklung eines mobilen Sorptionswärmespeichers beteiligt, sowie dazu eine Demonstrationsanlage zu errichten und zu betreiben.

Der Speicher wurde als Zeolith-Festbettschüttung konstruiert. Beim Laden wird er von heißer Luft durchströmt. Dabei wird Wasserdampf aus dem Zeolith ausgetrieben. Beim Entladen strömt ein feuchter Luftstrom in den Speicher, wobei Wasserdampf aus der Luft am Zeolith adsorbiert. Die freiwerdende Adsorptionswärme heizt die Luft auf, die ihre Wärme wiederum an einen Nutzprozess abgibt. Der Speicher selbst wird auf einem Sattelaufleger transportiert.

Für die Demonstrationsanlage wurden zwei Speicher von der Firma Hoffmeier Industrieanlagen angefertigt. Die Wärme wird bei einer Temperatur von 135°C von der Müllverbrennungsanlage in Hamm geliefert und in einem ca. 5 km entfernten Trocknungsprozess der Firma Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke bei einer Temperatur von ca. 160°C genutzt. Die Standorte wurden mit Stationen zum Laden und Entladen des Speichers ausgerüstet. Dies sind lufttechnische Anlagen, bestehend aus Ventilatoren, Filtern und Wärmeübertragern. Abb. 1 zeigt das Andocken des mobilen Sorptionsspeichers an die Ladestation. Die Inbetriebnahme der Anlagen startete in 2012, der Regelbetrieb soll im ersten Quartal 2013 erfolgen.

In die Berechnung der Wirtschaftlichkeit des Wärmetransportes mit mobilen Speichern gehen zahlreiche Parameter ein [1]. Die Anzahl der Speicherzyklen pro Jahr ist idealerweise größer als 200. Die Entfernung zwischen Lade und Entladestation sollte nicht deutlich über 10 km liegen. Die umgesetzte Energie pro Transport ist vorzugsweise hoch. Diese hängt stark von der Ladetemperatur ab.

Abb. 2 zeigt den simulierten zeitlichen Verlauf der Lufttemperatur am Austritt des Zeolith-Speichers beim Laden für Lufttemperatur (Ladetemperaturen) von 135, 180 und 250°C. Hohe Ladetemperaturen führen zu hohen Ladeleistungen und kurzen Ladezeiten. Eine Ladetemperatur von 135°C ist grenzwertig niedrig, da bereits nach der Hälfte der Zeit die Temperatur am Austritt ansteigt. Damit wird die aktuelle Ladelei-

Industrial processes often release heat at high temperatures and high power to the environment since it cannot be used in time or location. Mobile sorption storages can be an option to use this energy. ZAE Bayern is taking part in developing mobile sorption heat storage. Also a demonstration plant shall be built and operated.

The storage has been designed as a zeolite fixed bed. Hot air is blown through the storage during charging and water vapor is desorbed from the zeolite. During discharging humid air is blown through the storage and water vapor is adsorbed. The heat of adsorption heats the air, which can be used in a subsequent industrial process. The storage itself is transported on a semi-trailer.

Two storages have been manufactured for the demonstration plant by „Hoffmeier Industrieanlagen GmbH“ enterprise. The heat is delivered by a waste incineration plant in Hamm at a temperature of 135°C and is transported to an industrial drying process at „Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke“ enterprise in about 5 km distance where it is released at a temperature of 160°C. Both locations have been equipped with stations for charging respectively discharging the storage. These stations are air handling units with fans, filters and heat exchangers. Fig. 1 shows the docking of the storage to the charging station. The plant has been set into operation in 2012 and shall start normal operation in the first quarter of 2013.

The economics of mobile sorption storages depend on many parameters [1]. The number of cycles per year should be larger than 200 and the distance between the stations not exceed 10 km significantly. The energy capacity of the storage is preferably high and strongly depends on the charging temperature.

Fig. 2 shows the simulated air outlet temperature of the storage as a function of time during desorption (charging) for air inlet temperatures (charging temperatures) of 135, 180 and 250°C. High charging temperatures lead to a high charging capacity and short charging cycles. A charging temperature of 135°C is quite low. The outlet air temperature starts to rise after half of the cycle time. Thus, the charging capacity decreases and the charging cycle time increases. The simulated data will not be achieved in praxis.

Fig. 3 shows the simulated air outlet temperature of the storage as a function of time during adsorption



tung kleiner und der Ladevorgang dauert länger. Die simulierten Daten werden in der Praxis nicht erreicht.

Den zeitlichen Verlauf der Lufttemperatur am Austritt des Speichers beim Entladen zeigt Abb. 3 für die zuvor dargestellten Ladevorgänge. Die unterschiedlichen Ladetemperaturen spiegeln sich bei der Entladung in den Temperaturniveaus, in den abgelieferten Energien und den Entladeleistungen wider. Die Entladezeit wird dagegen kaum von der Ladetemperatur beeinflusst. Aus logistischen Gründen ist es vorteilhaft, wenn Lade- und Entladezeiten gleich sind.

(discharging) for the three charging conditions discussed. The different charging temperatures show impact on discharging temperature level, discharging power output and energy capacity. However, the duration of the discharging cycle is not influenced significantly. It is advantageous to have similar charging and discharging durations for logistic reasons.

#### Literatur | References

[1] A. Hauer, E. Lävemann, A. Krönauer, Nutzung von Abwärme durch mobile Sorptionsspeicher, Abschlussbericht zum BMWI Forschungsvorhaben, FKZ 0327383A, 2009

E. Lävemann, A. Krönauer



Abb. 1: Mobiler Sorptionswärmespeicher an der Ladestation (© MHB Hamm Betriebsgesellschaft).  
Fig. 1: Mobile sorption storage docking to the charging station (© MHB Hamm Betriebsgesellschaft).

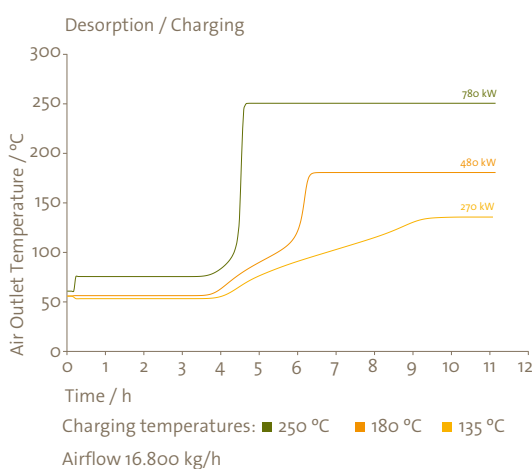


Abb. 2: Simulation der Desorption (Laden) für ein idealisiertes Festbett mit Zeolith M13X.

Fig 2: Simulation of the desorption cycle (charging) of an idealized Zeolite M13X fixed bed.

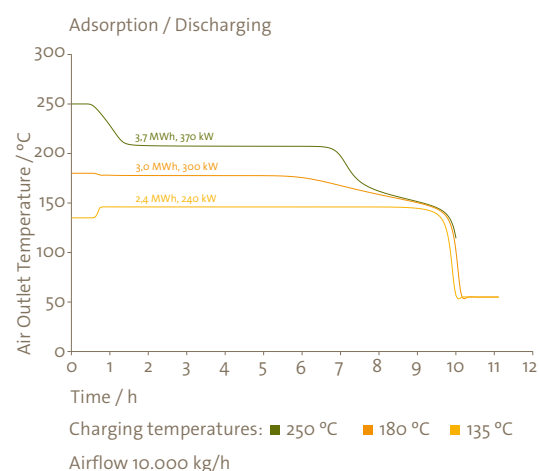


Abb. 3: Simulation der Adsorption (Entladen) für ein idealisiertes Festbett mit Zeolith M13X.

Fig. 3: Simulation of the adsorption cycle (discharging) of an idealized Zeolite M13X fixed bed.



## 2.3.



## ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE

### ENERGY OPTIMIZED BUILDINGS

„DASS VAKUUM GUT DÄMMT, WEISS MAN SPÄTESTENS SEIT ERFINDUNG DER THERMOSKANNE.“

(DR. H. WEINLÄDER ÜBER VIG UND VIP IM GEBÄUDEBEREICH)

Im Bereich Energieoptimierte Gebäude entwickelt das ZAE Bayern energiesparende Konzepte und zukunftsweisende Technologien für energieeffiziente Gebäude, wie z. B. Vakuumisoliertglas oder textile Architektur. Diese innovativen Technologien werden am ZAE Bayern über den gesamten Entwicklungsprozess vom Labormuster bis hin zum fertigen Produkt charakterisiert und optimiert sowie im Rahmen von Demonstrationsprojekten im Bestand oder als Neubauten messtechnisch evaluiert (Monitoring). In diesen Gebäudekonzepten wird das Zusammenwirken von Gebäudegeometrie, effizienter Gebäudehülle, Versorgungstechnik, Tageslichtnutzung und Verschattung sowie weiterer innovativer Komponenten betrachtet und Synergien optimiert, um so CO<sub>2</sub>-arme, hochkomfortable Gebäude zu erstellen.

Besondere Expertise in diesem Themenbereich besitzt das ZAE Bayern bei der Entwicklung und thermischen Charakterisierung von Latentwärmespeichermaterialien (PCM) sowie im Bereich evakuierter Dämmsysteme. Das ZAE Bayern begleitete wissenschaftlich die Gründung der RAL-Gütegemeinschaft PCM und ist ein anerkanntes Prüfinstitut für die Erfassung der thermophysikalischen Eigenschaften dieser Materialien.

Weiterhin organisiert das ZAE Bayern regelmäßig Tagungen, die der interessierten Öffentlichkeit den aktuellen Entwicklungsstand in diesen hochaktuellen Forschungsbereichen nahebringen (z. B. PCM-Symposium 2009, MESG-Symposien zur textilen Architektur 2010 und 2012).

Die Aktivitäten sind in den nationalen Forschungsförderschwerpunkt des BMWi „Energieoptimiertes Bauen (EnOB)“ eingegliedert.

In the area of energy optimized buildings ZAE Bayern is developing energy saving concepts and forward-looking technologies for energy efficient buildings, like e.g. vacuum insulation glass or textile architecture. During the entire development process, from the laboratory stage to the final product, these innovative technologies are characterized and optimized at ZAE Bayern. They are finally monitored in the framework of demonstration projects on existing buildings or new constructions. In these building concepts the interaction between building geometry, efficient building shells, supply engineering, daylighting and shading, as well as further innovative components are looked at. Furthermore, synergies are optimized in order to build highly comfortable edifices with low CO<sub>2</sub> emissions.

In this area ZAE Bayern has particular expertise concerning development and thermal characterization of latent heat storage materials (phase change materials, PCM) as well as in the field of evacuated insulation systems. ZAE Bayern scientifically accompanied the founding of the RAL-Gütegemeinschaft PCM and is an approved testing institute for the measurement of thermophysical properties of these materials.

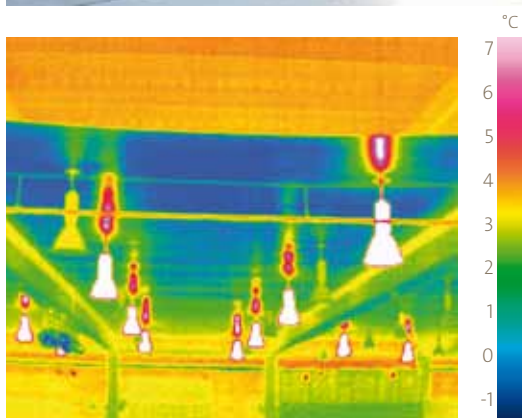
In regular intervals, ZAE Bayern organizes conferences to inform the public about the latest developments in these highly innovative fields of research (e.g. PCM-Symposium 2009, MESG-Symposia on textile architecture 2010 and 2012).

The activities are integrated in the national research funding program of the BMWi “Energy Optimized Buildings (EnOB)“.



Abb. 1: Installation des Membrandaches auf dem neuen Forschungsgebäude des ZAE Bayern in Würzburg.

Fig. 1: Installation of a membrane construction on the roof of the new ZAE building in Würzburg.

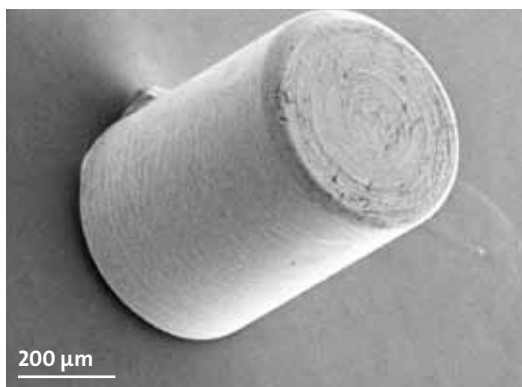


links: Abb. 2: Verringerung von Kühl- und Energiebedarf der Eissporthalle in Landsberg am Lech durch abgehängte Deckenkonstruktion mit low-e Membran (Thermographieaufnahme).

left: Fig. 2: Reduction of cooling and energy demand of the ice rink in Landsberg am Lech by suspended sealing construction with low-e membrane (thermal image).

rechts: Abb. 3: Transluzente Dachkonstruktion zur natürlichen Raumbeleuchtung bestehend aus Membrandach (hier noch nicht installiert) mit darunter liegender Aerogelverglasung.

right: Fig. 3: Translucent roof for natural illumination: membrane construction (not installed yet) with aerogel glazing.



links: Abb. 4: REM-Aufnahme einer Stütze für Vakuumisolierverglasung - verhindert ein Kollabieren der Verglasung durch den Luftdruck.

left: Fig. 4: SEM-image of a spacer for vacuum insulation glass – avoids collapse of the glazing by the air pressure.



rechts: Abb. 5: Erstarrtes Latentwärmespeichermaterial (PCM) unter dem Mikroskop.

right: Fig. 5: Crystallized latent heat storage material (PCM) under the microscope.



# WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT- MESSGERÄT FÜR BESTANDSFENSTER

## HEAT TRANSFER COEFFICIENT GAUGE FOR EXISTING WINDOWS

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Helmut Weinläder**  
Gruppenleiter,  
Energieoptimierte Gebäude  
Group Manager,  
Energy-Optimized Buildings

### Abteilung | Division

Funktionsmaterialien der  
Energietechnik  
Functional Materials for Energy  
Technology

+49 931 / 705 64 - 348  
weinlaeder@  
zae.uni-wuerzburg.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie (FKZ 0327654K)

### Kooperationspartner | Partners

Energy Glas GmbH  
Veka AG  
Walter Sticking GmbH  
Roto Frank Bauelemente GmbH  
Tremco illbruck GmbH & Co. KG  
Kurz & Fischer GmbH  
Netzsch-Gerätebau GmbH  
Hochschule für Technik Stuttgart

Fenster sind ein energiesensitiver Teil der Gebäudehülle. Die energetische Bewertung von Fenstern bei der Planung einer Sanierung gestaltet sich jedoch oft schwierig. In vielen Fällen stehen nur ungenügende Informationen zu Verglasung und Rahmen zur Verfügung. Diesem Thema widmet sich das vom BMWi geförderte Projekt „Entwicklung eines neuartigen Bewertungstools zur Bestimmung des Energieeinsparpotenzials von Fenstern bei Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Verglasung, Rahmen und Anschlüssen“ oder kurz „Fenstercheck“. Mit dem dort entwickelten Bewertungstool  $U_{w,in}$  lassen sich Bestandsfenster sehr einfach, aber dennoch hinreichend genau energetisch bewerten. Es können Einzel Fenster bis hin zum kompletten Gebäude erfasst und sogar die Einbausituation (z. B. Dichtungen) bewertet werden. Für den Fall, dass keine Verglasungsdaten vorliegen, wurde am ZAE Bayern ein  $U_g$ -Wert-Messgerät (Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $U_g$ ) entwickelt, mit dem die thermischen Eigenschaften vor Ort bestimmt werden können (Abb. 1). Das Messgerät mit dem Namen  $U_{glass}$  besteht aus zwei Hälften, die auf die Innen- und Außenseite der Verglasung aufgesetzt werden. Mittels Saugnapfen haften die Sensorhälften selbständig auf den Scheibenoberflächen. Anschließend prüft das Gerät, ob eine ausreichende Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite vorliegt. Ist dies der Fall, beginnt die Messung rein passiv. Wenn nicht, wird eine Seite der Verglasung aktiv aufgeheizt (Abb. 2) und die Temperaturantwort auf der anderen Seite gemessen. Aus dem dynamischen Verlauf der Scheibenoberflächentemperaturen bestimmt die Analysesoftware anschließend den Wärmedurchgang der Verglasung und gibt den  $U_g$ -Wert als Ergebnis aus. Dieser wird dabei auf Standardbedingungen umgerechnet. Der  $U_g$ -Wert-Sensor deckt einen Messbereich von  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bis  $4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ab und ist damit für nahezu alle am Markt und im Bestand üblichen Zwei- und Dreifachisoliertgläser geeignet. Neben Fassadenverglasungen ist der Sensor auch zur Vermessung von geneigten Verglasungen (z. B. Dachfenster) geeignet.

Ein erster Prototyp des Sensors wurde von der Firma Netzsch hergestellt und am ZAE Bayern getestet. Einen Überblick der erreichten Messgenauigkeit zeigt Abb. 3. Dort ist der mit dem Prototyp gemessene  $U_g$ -Wert von Testverglasungen im Vergleich zu deren bekanntem  $U_g$ -Wert aufgetragen. Der farbige Bereich zeigt die Messgenauigkeit, die im Projekt angestrebt wurde. Anschließende Feldtests des Sensors verliefen ebenfalls positiv.

Windows are an energy-sensitive part of the building envelope. However, the energy rating of windows is often difficult when planning a renovation. In many cases, insufficient information about glazing and frames are available. Dedicated to this topic is the BMWi funded project “Development of a new assessment tool to determine the energy savings potential of windows during renovation, including glazing, frames, and connections” or just “window check”. The developed evaluation tool  $U_{w,in}$  allows to assess simply and accurately the energetic performance of existing windows. Single windows up to complete buildings can be captured and even the installation situation (e.g. seals) can be assessed. If no data of the glazing are available, ZAE Bayern developed an  $U_g$ -value measuring device (heat transfer coefficient of the glazing  $U_g$ ), that allows to determine the thermal properties on-site (Fig. 1). The measuring device with the name  $U_{glass}$  consists of two halves which are placed on the inside and outside of the glazing. Suction cups adhere the sensor halves to the glass surfaces. Then the unit checks whether a sufficient temperature difference between inside and outside is present. If the temperature difference is large enough, a purely passive measurement starts. If not, one side of the glazing is actively heated (Fig. 2) and the temperature response is detected on the other side. The analysis software determines the heat transfer of the glazing from the dynamic profile of the glass surface temperatures and outputs the  $U_g$ -value as a result, which is thereby converted to standard conditions. The  $U_g$ -value sensor covers a measuring range of  $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  to  $4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  and is thus suitable for nearly all existing glazing on the market (double and triple glazing). In addition to facade glazing, the sensor is also suitable for the characterization of inclined glass (e.g. roof windows).

A first prototype of the sensor was manufactured by Netzsch and tested at ZAE Bayern. An overview of the achieved measurement accuracy is shown in Fig. 3. There, the measured  $U_g$ -value from the prototype gauge is compared with the known  $U_g$ -value of the test glazing. The colored area shows the aimed measurement accuracy within the project. Subsequent field tests of the sensor passed also successfully.

With the sensor  $U_{glass}$ , a measurement device is for the first time available, that allows to determine the thermal insulation value of glazing on-site within minutes. Due to the high-grade measurement technique, the determined  $U_g$ -values are additionally highly precise. Thanks to the active heating option, the sensor

Mit dem  $U_{\text{glass}}$ -Sensor steht erstmals ein Messgerät zur Verfügung, mit dem der Wärmedämmwert von Verglasungen vor Ort innerhalb weniger Minuten bestimmt werden kann. Aufgrund der hochwertigen Messtechnik weisen die gemessenen  $U_g$ -Werte zudem eine hohe Genauigkeit auf. Dank der aktiven Heizmöglichkeit kann der Sensor unabhängig von vorliegenden Temperaturen eingesetzt werden, man ist also nicht wie bei ähnlichen Geräten darauf angewiesen, auf kalte Messtage zu warten.

Der Sensor wird von der Firma Netzsch als Produkt umgesetzt und soll Ende 2013 erhältlich sein.

can be used independently of the present temperatures. So you are not reliant on waiting for cold days like for similar devices.

H. Weindl

The sensor is implemented by Netzsch enterprises as a product and should be available until the end of 2013.



Abb. 1: Messgerät zur Bestimmung des  $U_g$ -Wertes von Bestandsverglasungen.

Fig. 1: Measuring device for determining the  $U_g$ -value of existing glazing.

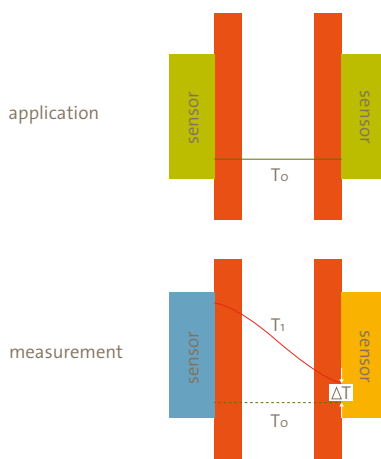


Abb. 2: Messprinzip des  $U_g$ -Wert Sensors. Falls keine ausreichende Temperaturdifferenz vorhanden ist wird eine Seite aktiv geheizt.

Fig. 2: Measurement principle of the  $U_g$ -sensor. If no sufficient temperature difference is present, one glass side is actively heated.

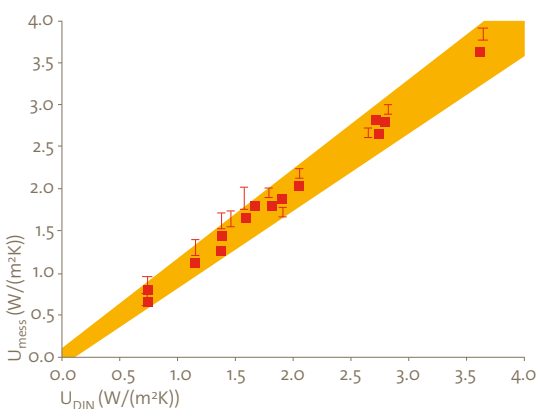


Abb. 3: Übersicht der Messwerte des  $U_{\text{glass}}$ -Prototyps im Vergleich zu Normwerten. Die Messwerte zeigen die Ergebnisse für unterschiedlichste Verglasungsaufbauten. Der farbige Bereich repräsentiert die im Projekt geforderte Messgenauigkeit.

Fig. 3: Overview of the determined  $U_g$ -values of the  $U_{\text{glass}}$  prototype compared to reference values. The data show the results for different glazing constructions. The colored area represents the required accuracy in the project.

## 2.4.



## ENERGIEEFFIZIENTE PROZESSE

## ENERGY EFFICIENT PROCESSES

„BEI EFFIZIENTEN KRAFT-WÄRME-KÄLTE-SYSTEMEN BRAUCHT ES SCHON DEN ZWEITEN HAUPTSATZ DER THERMODYNAMIK, UM DEN VORWURF DER SCHARLATANERIE ABZUWENDEN.“

(PROF. DR. C. SCHWEIGLER)

Die Forschungsarbeiten im Themenfeld „Energieeffiziente Prozesse“ befassen sich mit der Bereitstellung von Wärme und Kälte sowie der Transformation von Wärme, d. h. der Anpassung des Temperaturniveaus durch Wärmepumpen und Kältemaschinen für Gebäude und industrielle Prozesse. Dabei soll vor allem erneuerbare Wärme oder Abwärme nutzbar gemacht werden.

Für eine verbesserte Bereitstellung von Wärme und Kälte wird am ZAE Bayern seit vielen Jahren an energieeffizienten Verbrennungsprozessen von Biomasse, der Optimierung solarthermischer Kollektoren sowie thermisch angetriebenen Wärmepumpen und Kältemaschinen für Raumheizung und -kühlung geforscht. Im Bereich industrieller Anwendungen steht an erster Stelle die Nutzung von Abwärme. Diese kann in Strom umgewandelt, durch Wärmetransformation wieder als Prozesswärme auf einem höheren Temperaturniveau bereit gestellt oder in Kombination mit thermischen Energiespeichern durch Wärme- bzw. Kälte-transport zu externen Verbrauchern transportiert werden. Besonders interessant erscheinen diese Strategien bei energieintensiven Industriezweigen wie z. B. der Prozessindustrie von Zement, Glas und Metall.

Für die Entwicklung energieeffizienter Prozesse verfügt das ZAE Bayern über eine vielfältige Expertise: Erfahrene Wissenschaftler aus den Gebieten Biomasse, Solarthermie und Geothermie sowie Materialforscher arbeiten mit Experten für Wärmetransformation und Energiespeicher zusammen. Deren technologische Fortschritte werden von Spezialisten im Bereich Energiekonzepte und Systemtechnische Modellierung zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Unterstützt wird das ZAE Bayern darüber hinaus von den kooperierenden Lehrstühlen an bayerischen Universitäten, z. B. bei Fragen der Kraftwerkstechnik. In den letzten Jahren hat das ZAE Bayern in zahlreichen Industrieprojekten die hohe Relevanz seiner Forschung für die praktische Umsetzung unter Beweis gestellt.

The domain “Energy Efficient Processes” covers the technical provision of heat and cold and the conversion of heat. Conversion of heat and transformation to useful temperatures is accomplished by heat pumps and chillers, utilizing waste heat or heat from renewable sources for heating and cooling purposes in buildings and industrial processes.

ZAE Bayern has been active for many years in research and development of biomass combustion processes, solar thermal collectors as well as thermally driven sorption heat pumps and chillers for building climate control. For industrial applications the focus is set on power generation and the reuse of waste heat by means of heat transformation to elevated temperature levels. In addition, thermal energy storages may be applied for exporting useful heat or cooling energy to external users. Highest impact is to be expected for energy-intensive industry sectors, like cement, metal or glass processing industry.

ZAE Bayern has a wide expertise in the field of “Energy Efficient Processes”. Experienced scientists from the research fields “biomass”, “solar thermal energy”, and “geothermal energy” meet material researchers as well as experts in “heat conversion” and “energy storage”. The results from these disciplines are brought together by experts in “Systems Modelling” where knowledge about single components is aggregated to a complex description of their mutual interaction during dynamic operation of the energy system. The close connection and collaboration with related chairs at Bavarian universities offer support in continuative questions (e. g. power plant technology). The practical relevance of the research work has been proven by a number of successful projects with partners from various industry branches.





Abb. 2: Versuchsaufbau über 2 Stockwerke zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit von Erdwärmesonden-Systemproben. Bei der Versuchsdurchführung können auch Frost-Tau-Wechsel durchgeführt werden.

Fig. 2: Experimental setup (2 levels high) for the measurement of the hydraulic conductivity of system specimen with vertical bore-hole heat exchangers. During the testing also frosting/thawing cycles can be performed.



Abb. 1: Zwei-/einstufige Wasser/LiBr-Absorptionskältemaschine (links) und gasmotorisches Blockheizkraftwerk (rechts) für hocheffiziente Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Die Dimensionen der Anlage im Industriepark in Nabern sind beachtlich (mit freundlicher Genehmigung der Danpower GmbH).

Fig. 1: Double-effect/Single-effect water/LiBr absorption chiller (left) and gas-driven cogeneration unit (right) for highly efficient tri-generation. Note the remarkable dimensions of the construction in the industrial area in Nabern (by courtesy of Danpower GmbH).

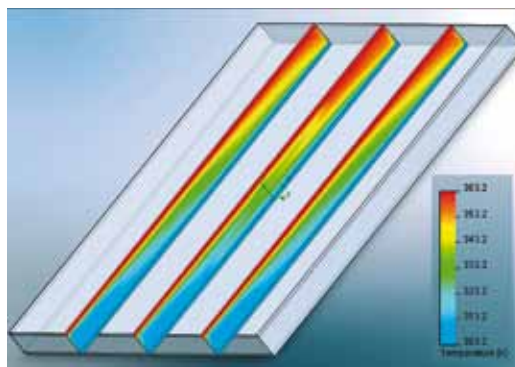


Abb. 3: Entwicklung eines hocheffizienten solarthermischen Kollektors: Konvektionssimulation einer um 45° geneigten Luftschicht. Die Deckplatte wird auf 363,2 K, die Bodenplatte auf 303,2 K konstanter Temperatur gehalten. An den Wandflächen bildet sich ein lineares Temperaturprofil aus.

Fig. 3: Development of a highly efficient solar collector: Convection simulation of an air layer inclined by 45°. The cover plate is heated to a constant temperature of 363.2 K, the base plate is kept at 303.2 K. At the walls a linear temperature profile forms.



# NEUARTIGE RÜCKSEITIGE WÄRMEDÄMMUNG FÜR FLACHKOLLEKTOREN

## NEW THERMAL INSULATIONS FOR SOLAR FLAT PLATE COLLECTORS

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Thomas Beikircher**  
Senior Scientist, Solarthermie  
Senior Scientist, Solar Thermal  
Systems

### Abteilung | Division

Technik für Energiesysteme  
und Erneuerbare Energien  
Technology for Energy Systems  
and Renewable Energy

+49 89/329 442-30  
beikircher@muc.zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 0325987A)

### Kooperationspartner | Partners

Vaillant Deutschland GmbH &  
Co. KG

Solarthermische Flachkollektoren nutzen zur rückseitigen Wärmedämmung meist Mineralwolle mit 40–60 mm Dicke oder vergleichbare Dämmstoffe, die im trockenen Zustand Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,03 und 0,06 W/mK aufweisen. Allerdings nehmen diese Dämmungen während des Betriebs Wasserdampf aus der Umgebungsluft auf, wodurch die Wärmeleitfähigkeit selbst bei kleinen Feuchteanteilen, mit steigender Temperatur drastisch erhöht wird [1]. Zugleich können Scheibenbeschlag und Korrosion im Kollektor auftreten. Bei den Herstellern besteht zudem der Wunsch, die Bauhöhe von Kollektoren bei identischer oder besserer Dämmwirkung zu verringern, um Vorteile bei Kosten, Transport und architektonischer Integration zu erzielen.

Das ZAE Bayern entwickelt deshalb eine Vakuumsuperisolation (VSI) sowie eine rückseitige Foliendämmung für Flachkollektoren. Hierzu werden analytische Berechnungen sowie CFD-Simulationen unterschiedlicher Kollektoraufbauten durchgeführt (Abb. 1). Anschließend erfolgen Tests der als geeignet identifizierten Konfigurationen im Labor sowie auf dem Freiluftteststand in Echtgröße.

Zusätzlich wird ein Laborteststand aufgebaut, auf dem die bisher kaum untersuchte umgekehrte Konvektion („warme Platte oben“) und deren Unterdrückung in Echtgrößen-Sonnenkollektoren wissenschaftlich untersucht werden. Grundlage der Foliendämmung ist, dass Luft aufgrund ihrer Viskosität und Wandhaftung in Kammern begrenzter Ausdehnung ruht. In Kombination mit Begrenzungsflächen niedrigen Emissionsgrads wird damit eine gute Dämmwirkung erreicht.

Ein zwischen Absorber und Rückwand mit Aluminiumfolie ausgestatteter Prototyp (40 mm rückseitige Bauhöhe) erzielte im Praxistest (30–60° Neigung) dieselben Wirkungsgrade wie das etablierte Konzept mit (trockener) Mineralwolldämmung. Bezüglich der Aufhängung von Absorber und Folie wurden neuartige Konzepte erfolgreich erprobt.

Für die VSI-Dämmung erfolgten umfangreiche Literaturrecherchen zu geeigneten Pulver- und Hüllmaterialien sowie zur Fügetechnik. In Vorexperimenten im Labor wurden die druckabhängige Wärmeleitfähigkeit, das Evakuier- und Feuchteverhalten sowie die Struktur des als geeignet identifizierten Perlitpulvers untersucht. Danach erfolgte die Fertigung eines Echtgrößenkollektors (2 x 1 x 0,08 m<sup>3</sup>) mit 40 mm rückseitiger VSI-Dämmung (Abb. 2).

Today, solar flat plate collectors are insulated at the rear side with 40–60 mm rock wool or a comparable conventional insulation, whose thermal conductivities at dry conditions amount to 0.03–0.06 W/mK. During collector operation, these insulations absorb water steam from the ambient, resulting in drastically higher thermal conductivities, even at small moisture loads and especially at elevated temperatures [1]. This effect also causes fogging and corrosion in the collector. Simultaneously, the manufacturers aim to reduce the total collector height without losing thermal efficiency, to realize advantages in costs, transport and architectural integration.

ZAE Bayern develops a new rear side vacuum super insulation (VSI) and foil insulation for the casing of flat plate solar collectors. Analytical calculations, but also numerical CFD-simulations have been performed for different collector geometries (Fig. 1). Configurations, which are theoretically identified to be advantageous, have been tested in small scale at the laboratory as well as in real size at the outdoor test facility.

Additionally, a setup is under construction to experimentally study the rarely investigated reverse convection (“hot plate on top“) and its suppression in real scale solar collectors. Here, the foil-insulation uses the fact that air due to its viscosity, is completely resting not only at the walls but also inside the closed chambers, if dimensions are appropriate small. Together with a low emissivity of the confining walls, a high insulation is achieved.

Real-size experiments at different collector slopes (30–60°) showed that a prototype equipped with an aluminium-foil between absorber and casing (40 mm distance) is comparable in efficiency to a series collector with dry rock wool insulation. For the mounting of the absorber and the foil, new concepts have been successfully proved.

In the field of VSI-insulation, literature has been extensively studied regarding powder and envelope materials as well as joining technology. Pressure dependent thermal conductivity, the structure and the evacuation of the advantageous perlite powder were performed by small scale laboratory experiments. Subsequently a real size prototype (2 x 1 x 0.08 m<sup>3</sup>) was built up with a 40 mm rear side VSI-insulation (Fig. 2).

At 0.1 mbar of the VSI-insulation and a temperature up to 120 K above ambient conditions the first prototype

Bei 0,1 mbar Druck der VSI-Dämmung und einem Temperaturbereich bis 120 K über Umgebungstemperatur im Freien zeigte bereits dieser erste Prototyp (Abb. 3) etwas bessere Wirkungsgrade als ein mit (trockener) Mineralwolle gedämmter Serienkollektor, obwohl Leckrate und Materialstärke der Perliteinhüllung aus VA-Stahl noch zu hoch sind. Das Optimierungspotenzial liegt in einer Verringerung der rückseitigen Verluste auf ein Drittel und soll durch eine dünnwandigere Hüllkonstruktion mit entsprechender Fügetechnik realisiert werden. Ein optimierter VSI-gedämmter Kollektor kann, in Kombination mit einer Verlustminimierung nach vorne, zur solaren Prozesswärmeerzeugung bis 150°C eingesetzt werden.

(Fig. 3) slightly exceeded the established (dry) rock wool insulated series collector in efficiency at the outdoor experiment. However, the thickness and leakage rate of the stainless steel envelope was still too high. With a VSI-insulation, the rear side losses can be reduced to one third, which should be realized by a steel envelope with lower material thickness and an adapted joining technology. A VSI-insulated collector optimized also with respect to the front side losses can be used to produce solar process heat up to 150°C.

T. Beikircher

#### Literatur | References

[1] F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, Int. J. Heat Mass Transfer, 51 (2008) 539–552

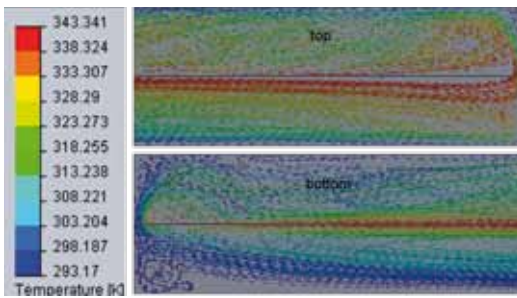


Abb. 1: CFD-Simulation der Konvektion im oberen (top) und unteren Teil (bottom) eines um 45° angestellten Flachkollektors ohne Mineralwolldämmung. Der Absorber (70 °C) ist schwarz gezeichnet, zwischen Seitenwand (20 °C) und Absorber sind 5 mm Luftspalt. Der Abstand vom Absorber zur Glasscheibe (20 °C) und Rückwand (20 °C) beträgt je 40 mm.

Fig. 1: CFD-simulation of the convection at the top and bottom part of a solar flat plate collector without rock wool insulation (tilted by 45° to the horizontal). The absorber (black, 70 °C) has a distance of 5 mm to the side walls (20 °C) and 40 mm to the glass cover (20 °C) and the rear casing (20 °C), respectively.



Abb. 2: Fertigung der vakuumdichten VA-Wanne des VSI-Prototypkollektors in einer Laserschweißanlage (© applicationstechnology GmbH & Co. KG).

Fig. 2: Laser welding of the vacuum tight stainless steel casing of the VSI-prototype collector (© applicationstechnology GmbH & Co. KG).



Abb. 3: Vermessung des Prototypen mit rückseitiger VSI-Dämmung (rechts) gegen den (bis auf die Rückseite) baugleichen Serienkollektor mit Mineralwolldämmung (links) auf dem Freiluftteststand des ZAE Bayern.

Fig. 3: Characterization of the VSI-prototype (right) and the – aside from the rear side – identically constructed series collector with rock wool (left) at the outdoor test facility of ZAE Bayern.





## ABSORPTIONSKÄLTEMASCHINE AUF BASIS KOMPAKTER PLATTENWÄRMETAUSCHER

### ABSORPTION CHILLER BASED ON COMPACT PLATE EXCHANGER

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. (FH) Stefan Natzer**  
Wärmetransformation  
Heat Conversion

#### Abteilung | Division

Technik für Energiesysteme  
und Erneuerbare Energien  
Technology for Energy Systems  
and Renewable Energy

+49 89 / 329 442 - 32  
natzer@muc.zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie (FKZ 0327875A)

#### Kooperationspartner | Partners

TTZ - Thermotechnik Zeesen GmbH  
& Co. KG

Geschlossene Systeme mit Flüssigsorption bieten ein hohes Potential zur effizienten Energienutzung. Möglich ist der Einsatz als Wärmepumpe, Kältemaschine oder Wärmetransformator [1]. Einsatzmöglichkeiten hierbei sind z.B. die Nutzung industrieller Abwärme, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung oder solare Klimatisierung. Für die Raumklimatisierung im Wohnbereich – insbesondere bei Ein- und Mehrfamilienhäusern – werden Kältemaschinen im kleinen Leistungsbereich benötigt.

Absorptionskältemaschinen im Leistungsbereich von 3 bis 5 kW Kälteleistung sind mit der üblichen Herstellungsvariante als Rohrbündelwärmetauscher wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig zu Kompressionskältemaschinen identischer Leistungsklasse. Darum sind neue Konzepte hinsichtlich der Wärmetauscher nötig. Die gewünschte Kompaktheit der Geräte erfordert überdies neue Ansätze. Um diese Ziele, also Wirtschaftlichkeit und Kompaktheit zu erreichen, werden am ZAE Bayern Platten- anstelle der üblichen Rohrbündelwärmetauscher verwendet.

Für die Ausführung des Austreibers gibt es dabei die Möglichkeit des Rieselfilms sowie des überfluteten Austreibers. Beim überfluteten Austreiber spielt die Überflutungshöhe eine entscheidende Rolle. Bei einer vollständigen Überdeckung des Wärmeübertragers mit Lösung ist eine komplette Benetzung sichergestellt. Allerdings hat hier die hydrostatische Flüssigkeitssäule über dem unteren Teil des Wärmetauschers auch den größten negativen Einfluss. Mit zunehmender Lösungshöhe und damit zunehmendem lokalen Druck erhöht sich die Gleichgewichtstemperatur der auszutreibenden Lösung. Die treibende Temperaturdifferenz ( $\Delta T$ ) für den Austreiberbetrieb und damit die umgesetzte Leistung verringert sich [2]. Andererseits ist bei einer geringeren Füllhöhe mit weniger aktiver Wärmetauscherfläche ebenfalls von einer Leistungsverminderung auszugehen. Allerdings kann hierbei der Effekt auftreten, dass beim Blasensieden der obere nicht überflutete Teil des Wärmetauschers mit Lösung durch die aufsteigenden Blasen benetzt und somit ebenfalls aktiv wird. Im untersuchten Bereich wird also ein Leistungsmaximum bei einer bestimmten Anfangsüberdeckung erwartet. Dieses ist abhängig von der gesamten anliegenden Temperaturdifferenz  $\Delta T$  (Abb. 1).

Der überflutete Austreiber als Plattenwärmetauscher benötigt für seine Funktionsweise allerdings eine deutlich höhere Übertemperatur  $\Delta T$  im Vergleich zum Rieselfilm bzw. zum überfluteten Rohrbündel (Abb. 2).

Closed sorption systems offer high potential to improve energy efficiency. These systems can be operated as heat pump, chiller or heat transformer [1]. Applications are utilization of industrial waste heat, tri-generation or solar cooling. For room air conditioning in the living area – especially for single- and multifamily houses – chillers of low capacity are required.

Absorption chillers in the output range from 3 to 5 kW of cooling capacity with tube heat exchangers are not economically competitive to compression chillers of the same capacity. Therefore, new concepts in terms of the heat exchangers are necessary. Moreover, the desired compactness of the devices demands new approaches. To achieve the goals of economic feasibility and compactness, plate heat exchangers are used at ZAE Bayern instead of the common tube heat exchangers.

The desorber can be implemented either as falling film or as flooded desorber. In a flooded desorber, the flooding height is crucial. Through a complete coverage of the heat exchanger with solution a complete wetting is ensured. But in this case, the hydrostatic column of liquid above the lower part of the heat exchanger has also the most negative impact. With an increasing solution height the local pressure increases which leads to an increase of the equilibrium temperature. The driving temperature difference ( $\Delta T$ ) for the desorber process and thus the implemented power decreases [2]. On the other side, a lower fill level is resulting in a less active heat exchanger surface and thus also resulting in a power reduction. However, in this case, an effect may occur that the boiling solution covers the upper non-flooded part of the heat exchanger by the rising bubbles, thus activating the surface. In the range studied, a maximum power output for a given initial coverage is expected. This depends on the total applied driving temperature difference  $\Delta T$  (Fig. 1).

For the operation, a flooded desorber designed as a plate heat exchanger needs a significantly higher  $\Delta T$  compared to a falling film or flooded tube, respectively (Fig. 2). As a result of these measurements the variant of falling film is favored.

Going on, wetting experiments were performed on falling film heat exchangers with different structures. From this knowledge gained, a heat exchanger prototype could be produced and characterized. Fig. 3 shows the results achieved during operation as des-

Resultierend aus diesen Ergebnissen wird die Variante des Rieselfilms favorisiert.

Weitergehend wurden Benetzungsuntersuchungen an Rieselfilmwärmetauschern mit verschiedenen Strukturen durchgeführt. Aus den gewonnenen Erkenntnissen konnte ein Prototyp eines Wärmetauschers gefertigt und vermessen werden. Abb. 3 zeigt die Ergebnisse, die beim Betrieb Austreiber – Absorber erzielt werden. Weitere Ziele sind die Optimierung der Wärmetauscher sowie der Bau einer vollständigen Absorptionskältemaschine mit einer Kälteleistung von 5 kW aus Plattenwärmetauschern.

orber – absorber. Further aims are the optimization of the heat exchangers as well as the construction of a complete absorption chiller with a cooling capacity of 5 kW by using plate heat exchangers.

S. Natzer

#### Literatur | References

- [1] R. Radermacher, K.E. Herold, S.A. Klein, Absorption Chillers and Heat Pumps, CRC Press, Boca Raton, 1996, ISBN: 0-8493-9427-9  
 [2] E. Estiot, Behältersieden von wässriger Lithiumbromidlösung, Dissertation, Technische Universität München, 2009

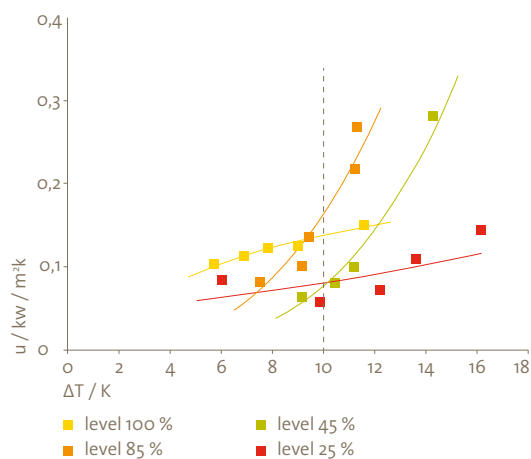


Abb. 1: U-Wert über treibender Temperaturdifferenz bei verschiedenen Überflutungshöhen.

Fig. 1: U-value over driving temperature difference at various flooded levels.

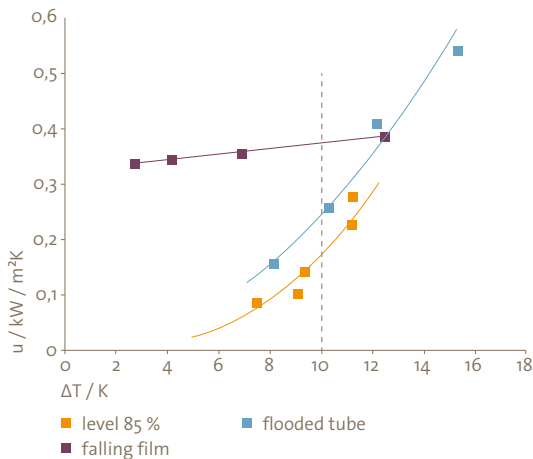


Abb. 2: Vergleich der U-Werte verschiedener Wärmetauscherkonzepte bei unterschiedlichen  $\Delta T$ .

Fig. 2: Comparison of the U-values of different heat exchangers at various  $\Delta T$ .

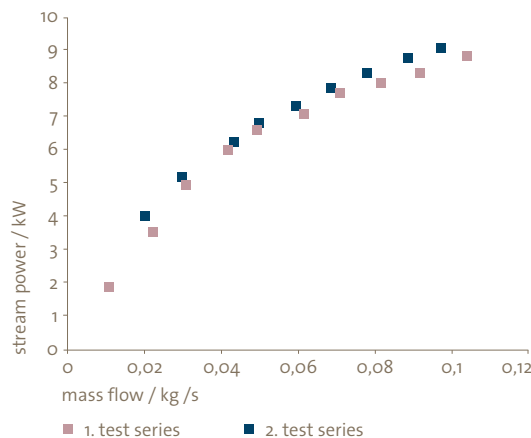


Abb. 3: Umgesetzte Dampfleistung über dem Lösungsmassenstrom für zwei Messreihen.

Fig. 3: Transposed steam power over the solution mass flow for two test series.



## 2.5.



## NANOMATERIALIEN

### NANOMATERIALS

„EINE OPTIMALE WÄRMEDÄMMUNG KANN NUR MIT NANOPORÖSEN MATERIALIEN ERREICHT WERDEN, DA SICH DER GASWÄRMETRANSPORT AUF NANO- UND MAKROSKALA GRUNDLEGENDE UNTERSCHIEDET.“

(DR. G. REICHENAUER)



Abb. 1: Keramikartige nanoporöse Hybridgele bestehend aus organisch-anorganischen Komponenten und daraus abgeleitete infrarot-getrübte Aerogele (schwarze Scheibchen). Die Aerogele weisen eine gute mechanische Stabilität auf.

Fig. 1: Nanoporous hybrid gels consisting of organic-inorganic components with ceramic behavior. Black disks are subsequently derived infrared opacified aerogels. All aerogels show good mechanical properties.

Welche neuartigen physikalischen Effekte ergeben sich aus der Nanoskaligkeit von Partikeln oder Poren? Wie kann man Materialien mit entsprechenden physikalischen Eigenschaften gezielt synthetisieren und welche Größen sind dabei die wesentlichen Kontrollparameter? Lassen sich die neuen Werkstoffe für eine spezifische Anwendung wirtschaftlich umsetzen? Welche Nanoeffekte können gezielt für die Charakterisierung genutzt und wo müssen etablierte Messverfahren angepasst werden um Artefakte, die speziell aufgrund von Nanoeffekten auftreten, vermeiden?

Diese Fragestellungen stehen im Bereich Nanomaterialien im Fokus der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Die Erkenntnisse werden dann in anwendungsorientierten Arbeiten mit anderen Gruppen des ZAE Bayern oder externen Partnern gezielt eingesetzt, um Funktionsmaterialien für den Bereich der Energietechnik zu entwickeln. Beispiele hierfür sind Werkstoffe für thermische und elektrische Energiespeicher oder als Wärmedämmkomponenten.

Bei der Materialsynthese liegt der Schwerpunkt auf Nanomaterialien, die über ein Sol-Gel-Verfahren her-



Abb. 2: Optisch schaltbares Nanomaterial (durch Einstellung der relativen Feuchte). Links im transparenten Zustand, rechts im opaken, stark streuenden Zustand.

Fig. 2: Optical switching nanomaterial by adjusting the relative humidity. Left: completely transparent and right: in the highly scattering state (opaque).

What kind of novel physical effects result from nano-sized particles or pores? How can materials, providing related physical properties, be synthesized and which quantities are hereby the control parameters? Can the materials be economically transferred for a specific application? Which nano effects can be used for characterization and where have established methods to be adjusted to avoid artifacts due to nano effects?

R&D in the field of nanomaterials is especially focusing on answering these questions. The knowledge developed is then specifically used in application-oriented work with other groups at ZAE Bayern or external partners for the development of functional materials for energy technology. Examples for applications are components for electrical or thermal energy storage as well as thermal insulation components.

Material synthesis is focusing on the preparation of nanomaterials via the sol-gel process. This approach provides the basis for composites that allow the integration of multiple functionalities in one material. At the same time e.g. fiber reinforced composites allow to simplify process steps and ease the handling during application.

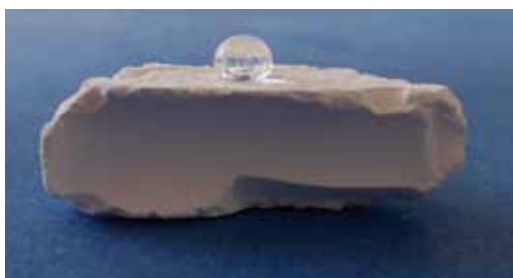


Abb. 3: Wassertropfen auf hydrophobem Silica-Xerogel. Die wasserabweisenden Eigenschaften werden mittels chemischer Funktionalisierung der inneren Oberfläche (mehrere hundert  $m^2/g$ ) erzeugt.

Fig. 3: Water droplet on a hydrophobic silica xerogel. The water repellent properties are derived from chemical functionalisation of the inner surface (several hundred  $m^2/g$ ).

Abb. 4: Nanoporöse Materialien können während der Charakterisierung mit Gassorption ihr Volumen ändern und somit das Ergebnis z. B. bezüglich Porengröße beeinflussen. Zur Quantifizierung des Effekts wird ein am ZAE Bayern entwickelter Probenhalter zur Erfassung der Längenänderung verwendet (hier Adsorption von Stickstoff bei 77 K).

Fig. 4: Nanoporous materials can change their volume during characterization with gas sorption and thus influence the results e.g. concerning the pore size. To quantify the effect, a sample holder (developed by ZAE Bayern) is used to detect the length change during adsorption (here nitrogen at 77 K).

gestellt werden. Diese bilden die Basis für Komposite, die eine Integration mehrerer Funktionalitäten in einem Material erlauben. Gleichzeitig lassen sich z. B. über die mechanische Verstärkung von Kompositen (z. B. mit Fasern), Prozessschritte vereinfachen und die Handhabung in der Anwendung deutlich verbessern.

Begleitend werden im Forschungsthema Nanomaterialien Charakterisierungsverfahren entwickelt, die auf die neuen Materialtypen zugeschnitten sind und damit artefaktfreie Kenngrößen liefern. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Methoden, die gleichzeitig mehrere chemische und physikalische Eigenschaften erfassen können oder sich einsetzen lassen um Prozessschritte zu verfolgen (in-situ Messmethoden). Zu nennen sind hier beispielsweise die in-situ Bestimmung der Produktzusammensetzung bei thermisch induzierten Reaktionen (z. B. chemical vapour deposition oder Pyrolyse) mit schneller Gaschromatographie und Massenspektrometrie oder das Monitoring des Sol-Gel Übergangs. Neu etabliert wurden in den letzten Jahren auch in-situ optische und dilatometrische Messmethoden während der Ad- und Desorption von Gasen und Dämpfen.

In addition, characterization methods are being developed, which are designed for the new types of materials thus providing artifact free material parameters. Particularly interesting are methods which can simultaneously capture several physical properties or can be applied to monitor process steps (in-situ measuring techniques). Examples are for instance the determination of the product composition during thermally induced reactions (chemical vapor deposition or pyrolysis) with fast gas chromatography and mass spectrometry or the monitoring of the sol-gel transition. Recently, in-situ optical and in-situ dilatometric experimental techniques during gas or vapor adsorption analysis have been established.



# KERAMIKARTIGE NANOPORÖSE HYBRID-MATERIALIEN

## CERAMIC-LIKE NANOPOROUS HYBRID MATERIALS

### Ansprechpartner | Contact

#### Dr. Gudrun Reichanauer

Gruppenleiterin,  
Nanomaterialien  
Group Manager,  
Nanomaterials

### Abteilung | Division

Funktionsmaterialien der  
Energietechnik  
Functional Materials for Energy  
Technology

+49 931/705 64-328

reichenauer@  
zae.uni-wuerzburg.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie (FKZ 0327847C)

### Kooperationspartner | Partners

Bosch und Siemens Hausgeräte  
GmbH (BSH)  
Evonik Industries GmbH

Silica Aerogele sind faszinierende Materialien, die hohe Nanoporosität und Transparenz miteinander verknüpfen (Abb. 3). Mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda \approx 0,013 \text{ W/mK}$  (Dichte  $100 \text{ kg/m}^3$ ) könnten sie das Dämmmaterial der nächsten Generation schlechthin sein. Nachteilig sind aber ihre hohe Sprödigkeit und geringe mechanische Stabilität. Soll ein Silica Aerogel zudem als Dämmmaterial für mittlere Temperaturen (bis ca.  $600^\circ\text{C}$ ) geeignet sein, wird noch ein Infrarot-Trübungsmittel benötigt, um den Strahlungswärmetransport effektiv zu unterdrücken.

Das ZAE Bayern hat zielgerichtet einen neuen Typ aerogelartiger Dämmmaterialien entwickelt, der eine geringe Wärmeleitfähigkeit auch bei mittleren Temperaturen mit guten mechanischen Eigenschaften verbindet. Diese Kombination erlaubt es, das Material nicht nur als reine Zusatz-Wärmedämmkomponente einzusetzen. Es ist vielmehr tragend, formstabil und kann damit auch konstruktive Funktionen übernehmen. Dabei sind die Oberflächen nahezu reflektierend glatt, ähnlich einer hochwertigen Keramik (Abb. 2).

Das neuartige Material wird über einen Sol-Gel Prozess hergestellt. Allerdings sind sowohl eine anorganische (Silica) als auch eine organische Komponente beteiligt. Die beiden Phasen entstehen aus einer Lösung, die ein Alkoxysilan (TEOS) und ein bifunktionales, organisch modifiziertes Alkoxysilan enthält. Die organische Komponente ist dabei quasi ein langer Abstandhalter zwischen zwei Alkoxysilanen (Abb. 1). Die Analyse des resultierenden Gelnetzwerks zeigt ein nanoporöses Gerüst, das anorganische (Silica) und organikreiche Phasen enthält, die auf molekularer Ebene verteilt sind. Es entstehen keine größeren Inhomogenitäten, weder in der chemischen Zusammensetzung noch in der Struktur der Gele. Dieses „Hybrid-Gel“ lässt sich sowohl mit einem vorkonditionierten organisch modifizierten Silan als auch in einer Eintopfsynthese herstellen, bei der beide Komponenten direkt in die Startlösung eingebracht werden (Prozessschritte siehe Abb. 4).

Das entstandene Gel kann unter Umgebungsbedingungen konvektiv getrocknet werden und zeigt danach ein homogenes opakes oder transparentes Erscheinungsbild (abhängig von der Konzentration des organisch-modifizierten Silans in der Ausgangslösung, Abb. 2). Die organische Komponente zersetzt sich bei Temperaturen über  $250^\circ\text{C}$ , kann aber durch Karbonisierung in eine feinverteilte Kohlenstoffkomponente überführt werden, welche die Infrarottrübung in-situ bereitstellt (erforderlich für höhere Einsatztempe-

Silica aerogels are fascinating materials combining a high nanoporosity and optical transparency (Fig. 3). With a thermal conductivity  $\lambda \approx 0.013 \text{ W/mK}$  (density  $100 \text{ kg/m}^3$ ) they could easily be the next generation insulation material per se. However, disadvantageous are their high brittleness and low mechanical stability. If a silica aerogel is to be applied as insulation at medium temperatures (up to  $600^\circ\text{C}$ ) an IR-opacifying component is required to effectively reduce the radiative heat transport.

ZAE Bayern purposefully developed a new type of an aerogel like insulation material that combines a low thermal conductivity even at medium temperatures with good mechanical properties. This combination allows applying the material not only as a pure add-on component. It is rather supporting, dimensionally stable and can therefore also take over constructive functions. Its surfaces are almost reflecting smooth, similar to those of a high quality ceramic (Fig. 2).

The new material is synthesized via a sol-gel process. However, both an inorganic (silica) as well as an organic component are involved. The two phases are formed from a solution containing an alkoxy silane (TEOS) and a bifunctional, organically modified alkoxy silane. The organic component is a long spacer-type functionality between two alkoxy silanes (Fig. 1). The analysis of the resulting gel network shows a nanoporous structure which contains inorganic (silica) and organic phases, that are distributed on a molecular level. There are no major inhomogeneities neither in the chemical composition nor in the structure of the gels. This “hybrid gel” can be produced in both, using a preconditioned organically modified silane or in a one-pot synthesis, where both components are introduced directly into the starting solution (process steps, see Fig. 4).

The resulting gel can be dried convectively at ambient conditions and then shows a homogeneous opaque or transparent appearance (depending on the concentration of organically modified silane in the starting solution, Fig. 2). The organic component is decomposed at temperatures above about  $250^\circ\text{C}$ , but can be converted by carbonization into a finely divided carbon component, which provides the in-situ infrared opacity (required for higher operating temperatures). The carbonization becomes visible with the pronounced gray coloring of the material (Fig. 4). Alternatively, the hybrid material may be calcined; hereby, at temperatures of about  $600^\circ\text{C}$ , also a compaction of the material is observed. A detailed analysis of the calcination

aturen). Visuell ist der Karbonisierungsschritt anhand der deutlichen Graufärbung zu verfolgen (Abb. 4). Alternativ ist auch eine Kalzinierung des Hybrid-Materials möglich, die bei Temperaturen von 600°C allerdings auch zu einer Verdichtung des Materials führt. Eine detaillierte Analyse der Kalzinierung zeigt, dass die organische Komponente weder als reine Beschichtung der inneren Oberfläche noch als Spacer zwischen den Silica-Partikeln vorliegt.

Mit der neuen Syntheseroute sind staubfreie, sehr gut bearbeitbare Dämmmaterialien herstellbar (Dichte ca. 200 kg/m<sup>3</sup>;  $\lambda$ : 0,025 W/mK bei Raumtemperatur und 0,030 W/mK bei 180°C). Diese Werte sind zwar nicht rekordverdächtig und entsprechen etwa denen kommerziell verfügbarer, geschlossen poriger organischer Schäume. Allerdings zeichnet sich das keramikartige Hybridgel durch die besondere Kombination seiner Eigenschaften aus: geringe Wärmeleitfähigkeit auch bei erhöhten Temperaturen sowie gute mechanische Stabilität.

shows that the organic component is neither present as a pure coating of the inner surface nor as a spacer between silica particles.

The new route allows synthesis of dust free, easily processible insulation materials (density of about 200 kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda$ : 0.025 W/mK at room temperature and 0.030 W/mK at 180°C). These values are not record-breaking, and correspond approximately to those of commercially available, closed porous organic foams. However, the ceramic-like, hybrid gel based material is characterized by a particular combination of properties: low thermal conductivity even at high temperatures and good mechanical stability.

G. Reichenauer, T. Noisser

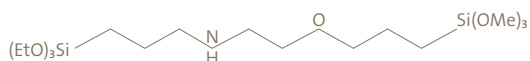


Abb. 1: Schematische Darstellung des verwendeten bifunktionalen organisch modifizierten Alkoxysilans.

Fig. 1: Schematic representation of the used bifunctional organically modified alkoxy silane.



Abb. 2: Keramikartige Hybrid-Aerogele mit hoher Nanoposität bilden eine ideale Kombination guter mechanischer und thermischer Eigenschaften.

Fig. 2: Ceramic-like hybrid aerogels high nanoporosity provide an ideal combination of good mechanical and thermal properties.



Abb. 3: Ein Bruchstück eines klassischen, überkritisch getrockneten Silica-Aerogels mit projiziertem ZAE BAYERN Schriftzug.

Fig. 3: A fragment of a classical, supercritically dried silica aerogel with projected ZAE BAYERN lettering.

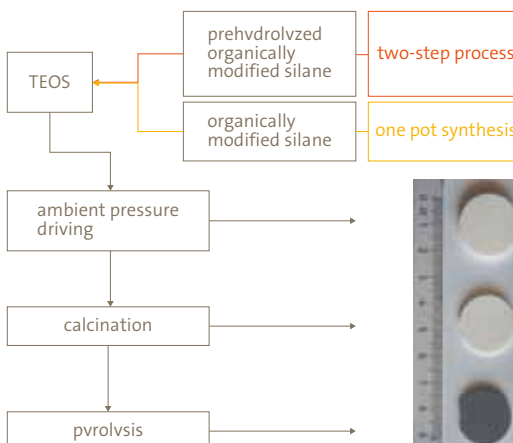


Abb. 4: Prozessschritte zur Herstellung keramikartiger Hybrid-Materialien über einen Sol-Gel Prozess. Der getrocknete Formkörper kann kalzinieren werden, um die organischen Bestandteile zu entfernen oder durch Karbonisierung in ein IR-getriebenes Dämmmaterial überführt werden.

Fig. 4: Process steps for preparing ceramic-like hybrid materials by using a sol-gel process. The dried body can either be calcined to remove the organic components or be carbonized to convert it into an IR-opacified insulation.

2.6.



## THERMOPHYSIK UND -SENSORIK

### THERMOPHYSICS AND THERMOSENSORICS

„DIE ERWEITERUNG DER METROLOGISCHEN KOMPETENZ ZUM ERFASSEN THERMISCHER KENNGRÖSSEN IM HOCHTEMPERATURBEREICH VERSCHAFFT DEM ZAE BAYERN EIN ALLEINSTELLUNGSMERKMAL IN DEUTSCHLAND.“

(DR. J. MANARA)

Der Bereich Thermophysik und -sensorik des ZAE Bayern beschäftigt sich mit der zuverlässigen Charakterisierung und der umfassenden Beschreibung thermophysikalischer Materialgrößen im Gebiet der Energieforschung. Dabei wird mit der Entwicklung von innovativen Messverfahren und bildgebenden Analysemethoden zur Erfassung der relevanten Materialparameter in einem weiten Bereich sowie von physikalischen Modellen zur Beschreibung des Wärme-, Strahlungs- und Stofftransports in diesen Materialien der gesamte Bereich von der Grundlagenforschung bis hin zur anwendungsnahen Forschung abgedeckt. Dies ermöglicht die Entwicklung neuartiger Materialien, Komponenten und Systeme für den Einsatz bei extremen Bedingungen (z. B. hohe Temperaturen oder Drücke).

Die umfangreiche Expertise des ZAE Bayerns ermöglicht die Beschreibung und Analyse komplexer Wärmetransportvorgänge in heterogenen Stoffsystemen (Thermische Analyse), die Modellierung und Charakterisierung des Wärmetransports durch Wärmestrahlung (Angewandte IR-Metrologie), sowie die qualitative und quantitative Erfassung von thermischen Prozessen und deren bildlicher Darstellung (Thermosensorik). Die experimentelle Ausstattung und das theoretische Know-how ermöglichen eine enge Kooperation mit den anderen Forschungsthemen des ZAE Bayern bei der Entwicklung neuer Materialsysteme mit herausragenden thermophysikalischen Eigenschaften, welche einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz liefern.

Darüber hinaus ist das ZAE Bayern in der nationalen und internationalen thermophysikalischen Forschergemeinschaft vernetzt und organisiert. Dazu zählen beispielsweise der Arbeitskreis Thermophysik, Teilnahme und Ausrichtung von Tagungen zum Austausch themenbezogener Informationen, sowie Ringvergleiche zur Validierung von Messverfahren.

Im Zuge laufender Aktivitäten und Projekte wird unter anderem an einer Erweiterung der metrologischen Expertise zur thermischen und infrarot-optischen Charakterisierung neuer Materialien durch eine Ausdehnung des zugänglichen Temperatur- und Druckbereichs gearbeitet.

The subject area Thermophysics and Thermosensorics of ZAE Bayern engages in reliable characterization and comprehensive modeling of thermophysical properties of materials in the field of energy research. The development of innovative measurement techniques and image-guided analytical methods for determining the relevant material parameters as well as the development of physical models for describing the heat, mass and radiative transfer covers the whole range from basic research to applied research. This permits the design of novel materials, components and systems for the usage in extreme environments (e. g. high temperatures and pressures).

The extensive expertise of this field of research enables the description and analysis of complex heat transfer processes in heterogeneous systems (Thermal Analysis), the modeling and characterization of the heat transfer via thermal radiation (Applied IR-Metrology) and the visualization of thermal processes by imaging techniques for quantitative and qualitative acquisition (Thermosensorics). The experimental equipment and the theoretical know-how allows a close interaction with other fields of research of ZAE Bayern in order to develop new material systems with outstanding thermophysical properties which make a significant contribution to an increase of the energy efficiency in various applications.

Furthermore ZAE Bayern is cross-linked in the national and international thermophysical community and organizes conferences for an effective exchange of relevant information as well as round robin tests for validating the developed measurement techniques. These activities are partially initiated and managed by ZAE Bayern.

Within the current activities and projects this field of research works, amongst others, on the extension of the metrological expertise for thermal and infrared-optical characterization of new materials by expanding the accessible temperature and pressure range.



Abb. 1: CAD-Zeichnung einer steuer- und regelbaren Konstruktion zur infrarot-optischen Charakterisierung im Hochtemperaturbereich.

Fig. 1: CAD-drawing of an adjustable and controllable construction for performing infrared-optical characterization at high temperatures.

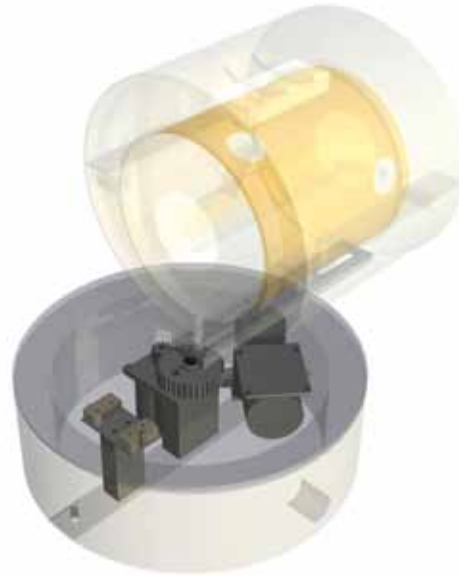


Abb. 2: Nahaufnahme einer Heizvorrichtung zur Bestimmung der Wärmeabstrahlung bei hohen Temperaturen.

Fig. 2: Close-up view of a heating element for determining the emission of thermal radiation at high temperatures.



Abb. 3: Hot Box Apparatur zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von Fassadenelementen und Wärmedämmsystemen. Dieses Messverfahren ist auch für inhomogene Proben (z. B. komplettes Fenster aus Verglasung plus Rahmen; Türen mit Rahmen) geeignet.

Fig. 3: Hot box apparatus to precisely determine the thermal transmittance (U-value) of facade elements and insulation systems. The hot box is also suitable for measurements on inhomogeneous samples (e. g. entire windows with glazing and frame; doors with frame).



Abb. 4: FTIR-Spektrometer mit Emissionsgrad-Messanlage (Eigenentwicklung ZAE Bayern) zur Ermittlung infrarot-optischer Eigenschaften bei hohen Temperaturen (bis 1.600°C).

Fig. 4: FTIR-spectrometer with emittance measurement apparatus (constructed by ZAE Bayern) for determining infrared-optical properties at high temperatures (up to 1,600°C).





## THERMOPHYSIKALISCHE CHARAKTERISIERUNG UND OPTIMIERUNG VON MATERIALSYSTEMEN FÜR HOCHTEMPERATURANWENDUNGEN

### THERMOPHYSICAL CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF MATERIALS AND SYSTEMS FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS

#### Ansprechpartner | Contact

##### Dr. Jochen Manara

Gruppenleiter,  
Angewandte IR-Metrologie  
Group Manager,  
Applied IR-Metrology

##### Dipl.-Phys. Stephan Vidi

Gruppenleiter,  
Thermische Analyse  
Group Manager,  
Thermal Analysis

#### Abteilung | Division

Funktionsmaterialien der  
Energietechnik  
Functional Materials for Energy  
Technology

##### Dr. Jochen Manara

+49 931/705 64-346

jochen.manara@  
zae.uni-wuerzburg.de

##### Dipl.-Phys. Stephan Vidi

+49 931/705 64-350

stephan.vidi@  
zae.uni-wuerzburg.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Europäische Union  
(FKZ 217257; FKZ 314061)

#### Kooperationspartner | Partners

STAR-GATE: 16 Partner aus 6 Ländern  
HiTeMS: 14 Partner (darunter 10 me-  
tologische Staatsinstitute)

Der Themenbereich Thermophysik und -sensorik beschäftigt sich mit der umfassenden, zuverlässigen Charakterisierung thermophysikalischer Stoffgrößen, die für die Energieforschung relevant sind. Ein Schwerpunkt stellt dabei die Entwicklung innovativer Messverfahren bei hohen Temperaturen dar, die sowohl physikalisch als auch für Anwendungen interessant sind. Ein Beispiel für eine konkrete Aufgabenstellung ist die Erhöhung der Energieeffizienz in der Kraftwerkstechnik bei Gasturbinen, welche durch die am ZAE Bayern verfügbare Expertise maßgeblich unterstützt wird.

Der Wirkungsgrad stationärer Gas- und Flugzeugturbinen nimmt mit zunehmender Heißgastemperatur zu. Dies führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs und damit verbunden zu einer Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Für die Steigerung der Konversionseffizienz durch höhere Betriebstemperaturen werden in den kritischen Bereichen monolithische, vorwiegend metallische Komponenten vermehrt durch leistungsfähigere Keramik oder Metall-Keramik-Verbunde und Keramik-Verbundwerkstoffe (faserverstärkte Keramik) ersetzt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Schaufelmaterialien durch keramische Wärmedämmschichten (englisch: thermal barrier coatings, TBCs) zu schützen, welche den auftretenden hohen Temperaturen standhalten und den Wärmeeintrag auf das Substrat verringern.

Für diese Hochtemperaturanwendungen ist die Kenntnis der thermophysikalischen Materialeigenschaften, wie z.B. Emissionsgrad, Temperaturleitfähigkeit und spezifische Wärme von entscheidender Bedeutung. Diese Größen können mit den am ZAE Bayern entwickelten Apparaturen in einem weiten Temperaturbereich mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Im Rahmen des STAR-GATE-Projektes (Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines) wird die vorhandene Messtechnik beispielsweise zur Bestimmung der thermophysikalischen Größen von keramischen Wärmedämmschichten in Gasturbinen bis zu Temperaturen von 1.600°C eingesetzt. Dies geschieht unter anderem mit der Zielsetzung die Oberflächentemperaturen im Betrieb zuverlässig berührungslos erfassen zu können, um dadurch eine Optimierung sowohl der eingesetzten Materialien als auch des gesamten Prozesses zu ermöglichen.

Dabei soll die Heißgastemperatur in stationären Gasturbinen (Abb. 1) sowie Flugzeugturbinen deutlich erhöht werden, um – wie bereits erwähnt – den

The field of research Thermophysics and Thermosensors deals with the comprehensive and reliable characterization of thermophysical properties which are relevant for energy research. One focus lies on the development of innovative measurement techniques at high temperatures which is interesting from a physical viewpoint as well as for applications. One Example is the enhancement of the energy efficiency of gas turbines which are used in power plants. This topic is essentially supported by the expertise which is available at ZAE Bayern.

The efficiency of stationary gas turbines and jet engines increases with increasing temperature of the hot gas. This leads to a reduction of the energy consumption and accordingly to a decline of the CO<sub>2</sub>-emission. For escalating the efficiency by higher operating temperatures ceramics, metal-ceramic-compounds and fiber-reinforced ceramics are used increasingly instead of monolithic metallic components. Alternatively the turbine plates are protected by thermal barrier coatings (TBCs) based on ceramic materials which withstand the arising high temperatures and which decrease the heat input into the substrate.

The knowledge of the thermophysical properties (such as emittance, thermal diffusivity and specific heat) is of essential importance for these high temperature applications. These values can be quantified in a wide temperature range with a high accuracy using the apparatus developed at ZAE Bayern.

The existing measurement setup is used to determine the thermophysical properties of thermal barrier coatings up to temperature of 1,600°C within the STAR-GATE-project (Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines). One aim is the contactless measurement of the surface temperature of TBCs during the operation of the gas turbine in order to optimize the installed materials as well as the whole process.

Within the research the temperature of the hot gas shall be increased significantly in stationary gas turbines (Fig. 1) as well as in jet engines in order to increase the efficiency factor and subsequently to decrease the emission of pollutants. This requires the development of novel high-temperature resistant materials which has to be enabled by new measurement techniques for the high temperature range. Therefore new characterization techniques are necessary. In the HiTeMS-project (High temperature metrology for in-

Wirkungsgrad der Turbinen zu steigern sowie die Schadstoffemissionen zu reduzieren. Dies erfordert die Entwicklung neuer hochtemperaturstabiler Materialsysteme, welche messtechnisch begleitet werden müssen. Dazu sind neue Messverfahren im Hochtemperaturbereich notwendig. Im HiTeMS-Projekt (High temperature metrology for industrial applications) wird daher die apparative Ausstattung des ZAE Bayern erweitert, um Messungen auch bis zu 3.000°C durchführen zu können.

Zur Validierung der am ZAE Bayern entwickelten und eingesetzten Messverfahren im Hochtemperaturbereich erfolgt regelmäßig die Teilnahme an und die Organisation von Ringvergleichen (Abb. 2 und 3) mit anderen Instituten, darunter auch metrologische Staatsinstitute, wie z. B. die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Berlin.

Abb. 1: Blick auf eine stationäre Gasturbine ohne Gehäuse  
(© Siemens AG).

Fig. 1: Picture of a stationary gas turbine without casing  
(© Siemens AG).

industrial applications), the experimental equipment of ZAE Bayern will be extended to enable measurements at temperatures up to 3,000°C.

Round robin tests (Fig. 2 and 3) with other institutes are regularly organized and attended in order to validate the measurement procedures developed and deployed at ZAE Bayern. Among these institutes are also national metrological institutes such as the Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Berlin.

F. Hemberger, S. Vidi,  
M. Rydzek,  
M. Arduini-Schuster,  
J. Manara

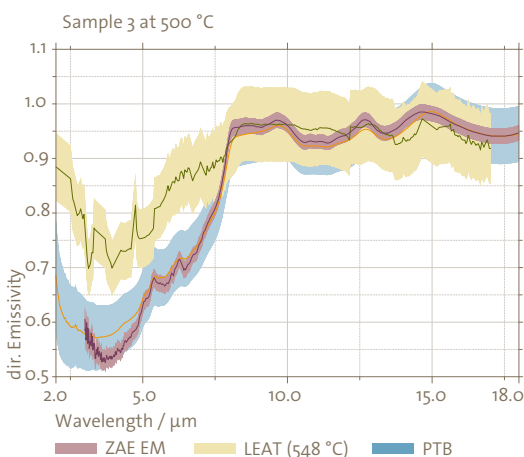


Abb. 2: Emissionsgrad eines hoch emittierenden Lacks bei einer Temperatur von 500 °C in Abhängigkeit der Wellenlänge. Ringvergleich ZAE Bayern, Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) und Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik der Ruhr-Universität Bochum (LEAT) (© PTB).

Fig. 2: Emittance of a highly emitting paint at a temperature of 500°C as a function of the wavelength. Round robin test of ZAE Bayern, Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) and Department of Energy Plant Technology of the Ruhr university Bochum (LEAT) (© PTB).

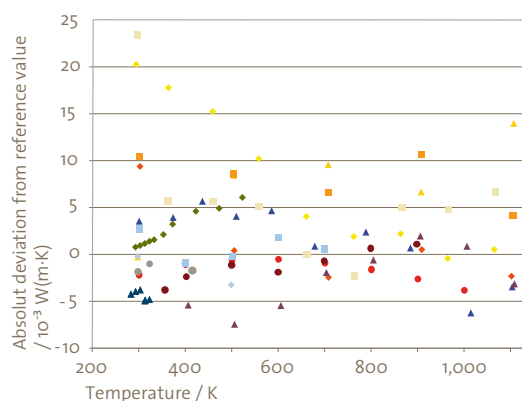


Abb. 3: Streuung der an verschiedenen Instituten ermittelten Wärmeleitfähigkeit von Kalziumsilikat mit dynamischen bzw. stationären Messmethoden.

Fig. 3: Distribution of the thermal conductivity of calcium silicate which has been measured at different institutes by dynamic and stationary methods.



# BILDGEBENDE CHARAKTERISIERUNG VON DÜNNSCHICHT-PV-MODULEN

## IMAGING CHARACTERIZATION OF THIN FILM PV-MODULES

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Claudia Buerhop-Lutz**  
Gruppenleiterin, Thermosensorik  
Group Manager, Thermosensorics

### Abteilung | Division

Thermosensorik und Photovoltaik  
Thermosensorics and Photovoltaics

+49 9131/93 98-177

buerhop@zae.uni-erlangen.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 0325149A)

### Kooperationspartner | Partners

Manz CIGS Technology GmbH  
Institut für Energie- und  
Klimaforschung (IEK-5 Photovoltaik;  
Forschungszentrum Jülich)

Die jährliche, weltweite Produktion von PV-Modulen ist von 2 MW (1975) auf über 24 GW im Jahr 2010 gestiegen [1]. Dieser Trend wird sich in den nächsten Jahren vermutlich fortsetzen [2]. PV-Module können jedoch Defekte aufweisen, welche entweder während der Produktion, dem Transport, der Installation oder des Betriebs entstehen. Im Allgemeinen reduzieren diese Defekte die Modulleistung. Dementsprechend sind Qualitätskontrollmethoden ein immer wichtiger werdendes Werkzeug in der Produktion aber auch für Qualitätsanalysen im Bestand.

In den letzten Jahren wurde am ZAE Bayern stark an bildgebender Infrarotthermografie (IR) geforscht, welche zur Defekterkennung und zur Klassifizierung identifizierter Defekte insbesondere mit Hinblick auf ihren Einfluss auf die Modulleistung genutzt wird. Eine spezielle, hochsensible IR-Methode ist ILIT, bei der die PV-Probe mit gepulstem Licht angeregt wird. Eine elektrische Kontaktierung ist hier nicht erforderlich. ILIT eignet sich daher prinzipiell sehr gut zur In-Line Qualitätskontrolle [3]. Ungepulste IR-Messungen werden verstärkt im Freien angewendet [4].

Angeregt durch vielversprechende ILIT-Messungen an Test-PV-Modulen (30x30 cm<sup>2</sup>) wurde ein IR-Labormessstand für kommerzielle Module aufgebaut. Abb. 1 zeigt ein PV-Modul in kommerzieller Größe (120x60 cm<sup>2</sup>, Bildauflösung 2 mm/px). Ein größerer, hell leuchtender Defekt ist mittig zu erkennen (weißer Pfeil), der durch Unregelmäßigkeiten an Strukturierungslinien (Kratzer auf dem Glassubstrat) hervorgerufen wird. Außerdem zeigt sich, dass alle kleinen Shunts (helle Pünktchen) auch bei dieser groben Auflösung zu erkennen sind. Um solche lokalen Hot-Spots zu erkennen, benötigt man also bei der In-Line Kontrolle keine extrem hohen örtlichen Auflösungen (wird bei In-Line-Verfahren nur durch Einsatz mehrerer IR-Kameras oder durch zeitintensive Rasterung der Probe erreicht).

Um den Einfluss von Defekten auf die Leistungseigenschaften theoretisch zu untersuchen, wurden elektrische Simulationen (LTSpice) durchgeführt. Es zeigte sich, dass gleichartige Defekte (Größe und elektrischer Widerstand identisch) in Abhängigkeit ihrer Position innerhalb einer Zelle eine unterschiedliche Dissipationsleistung hervorrufen (Abb. 2). Defekte nahe der P1 Linie zeigen dabei die stärkste Dissipation, was einen negativen Einfluss auf die Performance des Moduls hat. Die starke Dissipation liegt darin, dass Defekte nahe von P1 auch freie Elektronen der Nachbarzelle an-

The annual production of PV-modules has steadily increased in the last decades from 2 MW (1975) to over 24 GW in 2010 [1]. It is believed that this trend will continue for the next years [2]. However, PV-modules may have defects which are either induced during production, transport, installation or operation of the PV-system. These defects generally reduce the performance of the PV-system. Accordingly, methods for quality control have become a more and more important tool during production but also for after-sales quality analyses.

Within the last years one focus of research at ZAE Bayern was the research on IR-imaging methods for PV-quality control, which are used for defect localization and to classify the identified defects especially in terms of the influence of the defects on the PV-module power. ILIT (illuminated infrared lock-in thermography) is a highly sensitive method for defect characterization and uses pulsed light for excitation of the PV-modules. No electrical contacting is required and therefore, ILIT is an appealing tool for in-line quality control [3]. Continuously excited IR-measurements have been increasingly applied for outdoor measurements [4].

After successful implementation of an ILIT setup for measuring test PV-modules (30x30 cm<sup>2</sup>), a large scale setup for commercial PV modules was realized. Fig. 1 displays a real-size thin film PV-module (120x60 cm<sup>2</sup>, image resolution 2 mm/px). A large defect was identified (white arrow). The defect stems from a scratch on the glass substrate which resulted in locally increased shunt current. Furthermore, smaller shunts (less bright, small dots) were found on the sample. Compared with an image with higher spatial resolution (inset, 0.6 mm/px) all small shunts could also be identified. Accordingly, there is no need for high spatially resolved images for in-line quality control to localize these small hot spots (which are only achievable for in-line processes by multiple IR-cameras or by time-consuming scanning of the cells).

Electric simulations (LTSpice) were performed to theoretically investigate the influence of different defects on the performance of the PV-module. The same type of defect (identical size and resistance) showed different power dissipation depending on the position of the defect (Fig. 2). Defects close to P1 patterning line showed the strongest power dissipation, which is generally detrimental to the performance of the module. An explanation for this is that defects close to the P1 line may attract free electrons from the neighboring

ziehen können. Diese Ergebnisse lieferten einen wichtigen Hinweis auf die Art, wie ILIT Bilder ausgewertet werden können, um von einem IR-Bild auf die maximale elektrische Leistung ( $P_{mpp}$ ) des PV-Moduls zu schließen [5].

Um den lokalen Einfluss einzelner Defekte zu bestimmen, wurden Test-Module mit 67 serienverschalteten Zellen eingehender untersucht. Es wurde nacheinander jeweils nur eine Zelle beleuchtet und die restlichen Zellen mit einer Maske abgedeckt. Für jede Zelle erfolgte die Messung des ILIT Signals als auch der Leerlaufspannung ( $V_{oc}$ ) der Zelle. Dabei zeigte sich, dass ein erhöhtes IR-Signal des Defektes mit einem Einbruch des  $V_{oc}$  einhergeht, vor allem für leichte bis mittlere Defekte (Abb. 3, rote Linie). Zusammenfassend sind ILIT-Messungen mit entsprechender Bildverarbeitung ein vielversprechender Ansatz zur Verbesserung der Qualitätskontrolle und -analyse von PV-Modulen.

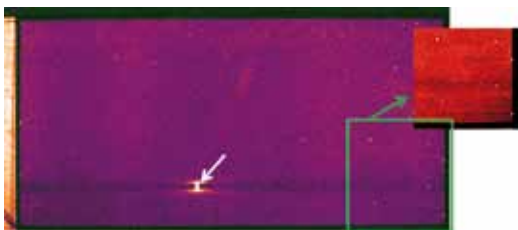


Abb. 1: ILIT-Aufnahme eines Dünnschichtmoduls mit markantem, hell leuchtendem Defekt (Pfeil) und einer Detailaufnahme der rechten unteren Ecke. Auch bei der Großaufnahme sind alle Defekte sichtbar.  
Fig. 1: ILIT-image of a thin film module of an outstanding bright region (white arrow) and a close up image with higher spatial resolution. Small hot spots are also visible with the low spatial image.

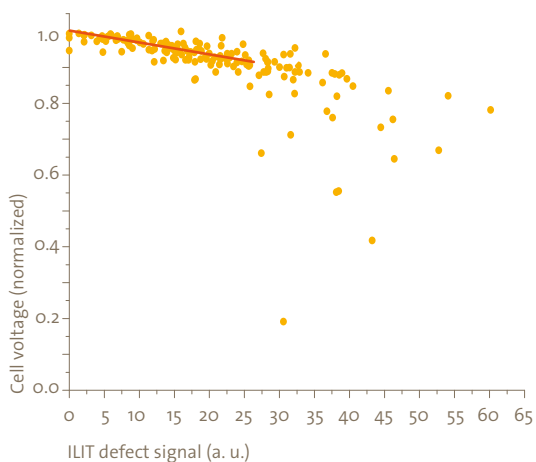


Abb. 3: Gemessene normierte Zellspannung aufgetragen gegen das ausgewertete ILIT-Defektsignal.  
Fig. 3: Measured open circuit cell voltage ( $V_{oc}$ ) plotted versus the analyzed ILIT-defect signal.

cell. The result of the computer simulations gave a guideline how to interpret ILIT-images in order to calculate the maximal electrical power output ( $P_{mpp}$ ) of a PV-module [5].

To characterize the defect's influence on a cell, test modules (with 67 cells connected in series) were thoroughly investigated. The open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of each single cell was measured by placing an opaque mask over the other cells. This allowed illumination of only a single cell. An ILIT-image was taken for the whole sample besides recording the cell  $V_{oc}$ . The results show that with an increase of the ILIT defect signal the  $V_{oc}$  decreases for most defects (Fig. 3, red line). Only for very severe defects this relation does not hold true. In summary, ILIT-characterization with appropriate data processing is a promising approach to improve quality control and analysis of PV-modules.

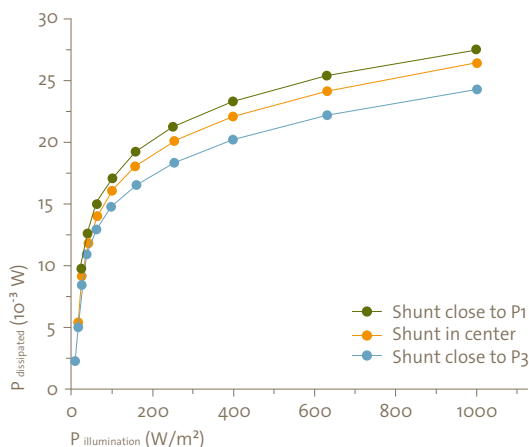
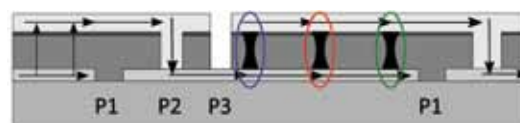


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Dünnschichtmoduls (Pfeile symbolisieren den elektrischen Fluss) mit den Strukturierungslinien P1, P2 und P3 sowie eines Defekts an 3 verschiedenen Positionen: nahe P1, mittig und nahe P3. Die Simulation der elektrisch dissipierten Leistung zeigt, dass bei P1-nahen Defekten mehr Energie abgegeben wird als bei P3-nahen Defekten.

Fig. 2: Top: scheme of a thin film module (black arrows symbolize the electric current) with three patterning lines (P1, P2, P3) and defects at 3 different positions. Bottom: Electric simulations show that the dissipated power depends on the shunt position (highest power dissipation for shunts close to P1).

C. Buerhop-Lutz, A. Vetter

#### Literatur | References

- [1] "World Solar Photovoltaics Production, 1975-2010", Earth Policy Institute (EPI), 2011
- [2] "PV Demand Database – Quarterly – Q3'11", IMS Research, 2011
- [3] J. Isenberg, J. Appl. Phys., 95(9) (2004) 5200–5209
- [4] C. Buerhop, D. Schlegel, M. Niess et al., Solar Energy Mater. Solar Cells, 107 (2012) 154–164
- [5] A. Vetter et al., Lock-in thermography as a tool for quality control of photovoltaic modules, Energy Sci. Eng., submitted



## 2.7.



## SYSTEMTECHNISCHE MODELLIERUNG

### SYSTEMS MODELLING

„BEI DER HOHEN EFFIZIENZ VON SYSTEMMODELLEN FÜR VORHERSAGEN UND DIE OPTIMIERUNG VON DESIGN UND BETRIEBSVERHALTEN SOLLTE NIE VERGESSEN WERDEN, DASS DEN GRÖSSTEN ANTEIL AM ERFOLG NICHT DIE SOFTWARE, SONDERN DER BEARBEITENDE WISSENSCHAFTLER BEITRÄGT.“

(DR. J.M. KUCKELKORN)

Für die Identifizierung von Energieeinsparungspotentialen hat neben der Optimierung und Effizienzsteigerung einzelner Komponenten vor allem deren Zusammenwirken in zunehmend komplexeren Energiesystemen eine entscheidende Bedeutung. Deshalb reicht das Anwendungsspektrum der systemtechnischen Modellierung am ZAE Bayern von der Analyse einzelner Prozesse und Komponenten bis hin zur ganzheitlichen Untersuchung energietechnischer Systeme. Durch die breite Wissensbasis am ZAE Bayern zu Physik, Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung und deren Anwendung zum Beispiel in den Bereichen Energiespeicherung, Gebäude, Photovoltaik und Wärmetransformation, können fundierte Komponentenmodelle erstellt und zu einem Gesamtsystem zusammenggeführt werden. Hierbei kann auf ein breites Spektrum an Simulationssoftware zugegriffen werden (z. B. TRNSYS, Matlab/Simulink, ANSYS CFX).

Grundlage jeder systemtechnischen Betrachtung ist das Verständnis der physikalischen Prozesse, der unterschiedlichen Einflussfaktoren, des dynamischen Verhaltens und der gegenseitigen Beeinflussung einzelner Komponenten in Systemen. Je nach Anwendungsfall besteht die Möglichkeit, die entwickelten Modelle anhand von Messdaten aus Experimenten und anwendungsorientierten Systeminstallationen zu validieren und anzupassen. Die Modelle können also für theoretische Fragestellungen und Anwendungen adaptiert werden.

Die Anwendung der so erstellten Modelle dient dem tieferen Verständnis der physikalischen Vorgänge und kann dadurch einen wichtigen Beitrag bei der Entwicklung von Komponenten leisten. Zudem wird hinsichtlich einer zukünftigen Vermarktung eine energetische und ökonomische Optimierung ermöglicht. Durch die Abbildung unterschiedlicher Randbedingungen in den Modellen lassen sich Energiesysteme bewerten, die sich bezogen auf verschiedene Bedarfsprofile aus dem Einsatzfall oder der Klimazone ergeben können. Auch für bereits bestehende oder in Planung befindliche Energiesysteme können anhand von Jahressimulationen Optimierungspotentiale in Hinsicht auf Regelungsstrategien oder Neuinvestitionen abgeleitet werden.

The optimization and increase of efficiency of single components and their interaction in complex energy systems play a major role in the context of the identification of energy saving potential. Hence, the range of applications for the modelling of systems at ZAE Bayern covers single processes and system components as well as the analysis of the overall energy system and its dynamic performance. ZAE Bayern's wide knowledge base in applied physics, thermodynamics, heat and mass transfer as well as the application of these fields for energy storage, buildings, photovoltaics and heat conversion allow for the development of numerical models of the components and their interaction in complete systems. A large number of simulation tools are used therefore (e.g. TRNSYS, Matlab/Simulink, ANSYS CFX).

The understanding of the physical processes, the various factors of interdependency and the dynamic performance of the system are required. The developed numerical models are validated and adapted using monitoring data results of test facilities and applied pilot systems. Thus the models can be used for the analysis of theoretical as well as practical and application-orientated questions.

By means of the models and the numerical dynamic calculations a more detailed comprehension of the regarded physical processes and thus an increase of the quality in the design process of innovative components and systems can be achieved. As a consequence an optimized energetic and economic performance helps to improve the prospects of a future commercialization of the systems. The models offer the possibility to implement different boundary conditions and facilitate the assessment of the energy systems under various performance scenarios (e.g. different climate zone, variable load demand). The models can also be used to detect potentials of improvement and optimisation of existing and operated systems especially during the design phase. An adaptation of the control strategy or the check of the reasonability of reinvesting are – among many others – two possible promising applications of the models.

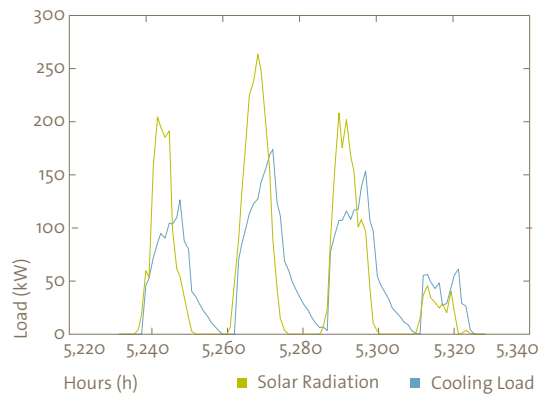
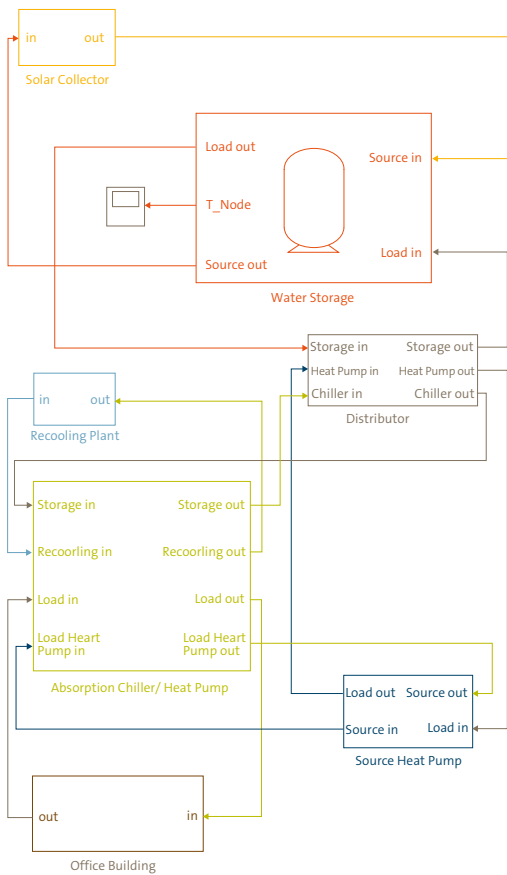


Abb. 1: Links: Simulationsmodell eines solar unterstützten Energiesystems mit integrierter Absorptionskältemaschine/-wärmepumpe (AKM/AWP) zur ganzjährigen Klimatisierung eines Bürogebäudes. Rechts: Verlauf von Kühlbedarf und solarer Einstrahlung auf die Solaranlage (oben) sowie Verlauf der simulierten solaren Deckung des Kühlbedarfs (unten) vom 07.–10. August.

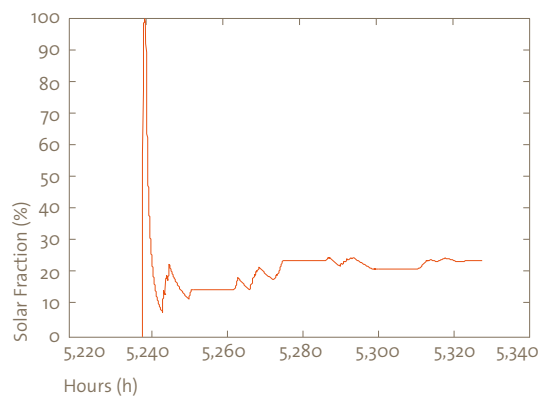


Fig. 1: simulation model of a solar assisted energy system with integrated absorption chiller/heat pump for all year climatization of an office building. Right: office building cooling load and solar radiation on the solar field (top) as well as simulated cooling load solar fraction (bottom) during August 07<sup>th</sup>–10<sup>th</sup>.

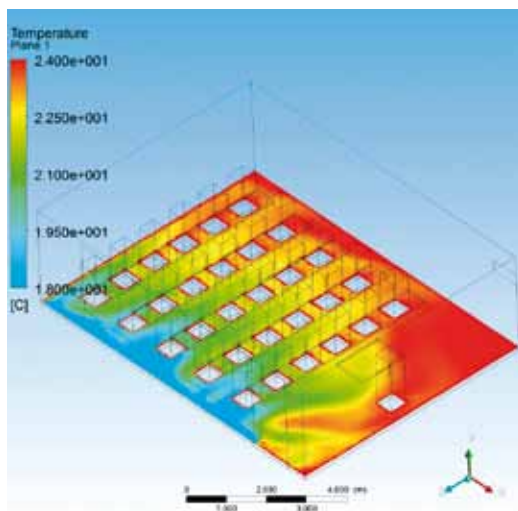


Abb. 2: Simulation (ANSYS CFX) des Lüftungssystems eines Klassenraums im Sommer. Zur Optimierung der Lüftungsanlage und des Raumkomforts wurden verschiedene Luftwechselraten und Eintrittstemperaturen untersucht. Gezeigt sind die Auswirkung von kühlen Eintrittstemperaturen im Bereich 10 cm über dem Boden.

Fig. 2: Simulation (ANSYS CFX) of the ventilation system in a classroom at summer. For optimization of the ventilation system and the room comfort different flow rates and inlet temperatures were calculated. The influence of cool inlet temperatures at 10 cm above the floor is shown.

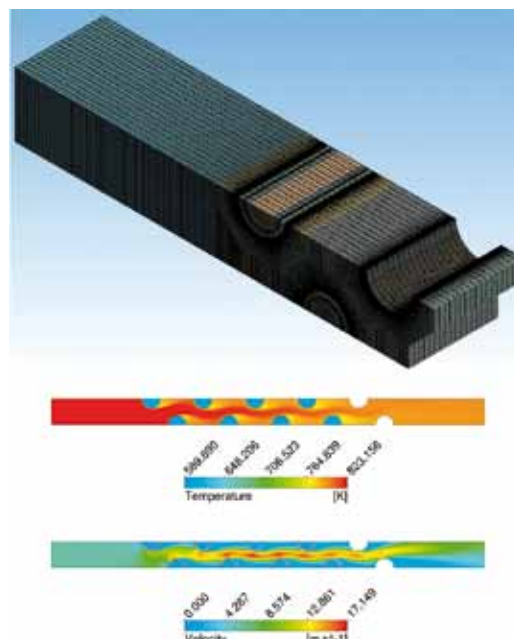


Abb. 3: Simulation (ANSYS CFX) eines mit Thermoöl betriebenen Abgaswärmeübertragers. Unter Verwendung eines optimierten Netzes wurden repräsentative Ergebnisse für den gesamten Wärmeübertrager zu Auslegungszwecken berechnet. Die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung des Heißgasstroms am Eintritt des Wärmeübertragers zeigt eine erhöhte Turbulenz und einen besseren Wärmeübergang.

Fig. 3: Simulation (ANSYS CFX) of a thermal oil-driven exhaust gas heat exchanger. Applying an optimized grid, representative results for the complete heat exchanger could be calculated for the dimensioning. The velocity and temperature distribution at the gas inlet of the heat exchanger shows a higher turbulence and a better heat transfer.



## JAHRESNUTZUNGSRADE UND GESAMTEMISSIONEN VON PELLETHEIZUNGEN – SIMULATION UND EXPERIMENT

### ANNUAL EFFICIENCIES AND TOTAL ANNUAL EMISSIONS OF WOOD PELLET BOILERS – SIMULATION AND EXPERIMENT

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. Robert Kunde**  
Senior Scientist,  
Biomasse / Geothermie  
Senior Scientist,  
Biomass / Geothermal Systems

#### Abteilung | Division

Technik für Energiesysteme und  
Erneuerbare Energien  
Technology for Energy Systems and  
Renewable Energy

+49 89 / 329 442 - 27  
kunde@muc.zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 03KB026)

Zur Optimierung der energetischen Biomassennutzung werden Holzpellet-Zentralheizungsanlagen an einem Laborprüfstand untersucht, die im Bestand Jahresnutzungsgrade um etwa 70 % bis 75 % aufweisen [1, 2]. Dabei wird das gesamte Heizungssystem und nicht nur der Heizkessel selbst betrachtet. Anhand realistischer Lastgänge untersuchte das ZAE Bayern zwei unterschiedliche Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen (Pellet-KFA), einer Unterschub- und einer Fallschachtfeuerung, jeweils mit und ohne Pufferspeicher sowie den Einfluss der Kesseldimensionierung auf den Jahresnutzungsgrad. Aus den Ergebnissen können Aussagen zu Energieeffizienz und Emissionsverhalten abgeleitet werden.

Mit einer dynamischen TRNSYS-Simulation wurden Lastgang und Jahresheizwärmebedarf eines üblichen Bestands-Einfamilienhauses ermittelt. Durch Addition des Wärmebedarfs für die Brauchwarmwasserbereitstellung ergibt sich der Jahreslastgang für den Gesamtwärmebedarf. Nach DIN EN 12831 ist zur Deckung dieses Wärmebedarfs ein Kessel mit 15-kW Leistung ausreichend. Das zugrundeliegende meteorologische Testreferenzjahr musste in charakteristische Typtage nach VDI 4655 [3] eingeteilt und der Jahreslastgang dadurch in charakteristische Typtag-Lastgänge überführt werden.

Für diese charakteristischen Typtage wurde die Betriebsweise der Pellet-KFA am Versuchsstand untersucht. Für jeden Typtag erfolgten kontinuierliche Emissionsmessungen für Gesamtstaub und Kohlenmonoxid sowie die Ermittlung des Tages-Gesamtabgasvolumens. Der Nutzungsgrad konnte anhand der erzeugten Nutzwärme in Bezug auf die Brennstoff- und elektrische Hilfsenergie bestimmt werden. Durch eine nutzwärme- und typtaghäufigkeitsgewichtete Summation ergibt sich der Jahresnutzungsgrad. Die Jahresemissionen wurden dann aus den Typtag-Gesamtemissionen und der Häufigkeit der verschiedenen Typtage abgeleitet.

Ein 15-kW Kessel wurde als überdimensioniert eingestuft, da der maximale Leistungsbedarf geringer ist als die Kesselnennleistung. Die Untersuchungen mit gezielter Über- und Unterdimensionierung zeigen, dass der Betrieb bei ineffizienter Teillast den größten Einfluss auf die Gesamteffizienz der Anlage hat. Die thermischen Verluste eines handelsüblichen Pufferspeichers (abhängig von Speichertemperaturniveau und Ladestrategie) führen trotz verbessertem Kesselwirkungsgrad insgesamt zu einem geringfügig niedrige-

To optimize biomass for energy, wood pellet boilers, which reach annual efficiencies around 70 % to 75 % on-site [1, 2], are investigated on a laboratory test rig. Hereby, the whole heating system is taken into account, instead of the boiler on its own. Realistic load profiles were evaluated by ZAE Bayern on two different wood pellet small-scale furnaces. One being a underfeed stoker, the other a drop shaft firing. Both variations are characterized each with and without buffer storage. Also the influence of the dimension of the boiler on the annual efficiency is investigated. Conclusions on energy efficiency and emissions characteristics can be drawn from the results.

The load profile and the annual space heating demand of a usual on-site single family house were determined by a dynamic TRNSYS-simulation. The load profile of the total annual heat demand was calculated by addition of the heat demand for domestic hot water generation. According to DIN EN 12831 a 15-kW-boiler is able to cover this heat demand. The meteorological test reference year was separated into characteristic type-days according to VDI 4655 [3] and subsequently the annual load profile was transformed into characteristic type-day load profiles.

The working characteristics of the pellet boilers were investigated on the laboratory test rig for those characteristic type-days. Continuous emission measurements on particulate matter and carbon monoxide were carried out and the total flue gas volume per day was determined. The efficiency could be determined by dividing the useful heat by the fuel energy and the auxiliary electrical energy. The annual efficiency results then from a weighted summation taking the useful heat and the frequency of the type-days into account. Thus, the total annual emissions are derived from the total type-day emissions and the frequency of the different type-days.

A 15-kW-boiler was rated as oversized because the maximum power demand is lower than the boiler nominal power. The tests with systematic over- and under-sizing show the important influence of inefficient part load operation on the total efficiency of the heating system. Thermal losses of a commercial buffer storage (depending on storage temperature and charging strategy) cause a slightly lower annual efficiency despite improved boiler efficiency. The results of the on-site studies [1] can be explained very well with the derived correlation between annual efficiency and sizing.

ren Jahresnutzungsgrad. Der ermittelte Zusammenhang von Jahresnutzungsgrad und Dimensionierung passt gut zu den Ergebnissen der Felduntersuchungen [1].

Die Jahresgesamtemissionen der untersuchten Kessel weisen deutliche Unterschiede auf, die auf Konstruktion und Regelung zurückzuführen sind. Durch den Betrieb der Kessel mit einem Pufferspeicher können emissionsintensive Teillastbetriebszustände signifikant reduziert und die Emissionen dadurch halbiert werden.

Significant differences of the total annual emissions of the investigated boilers are related to the boiler construction and control. By operating the boiler with a buffer storage, high emission part load operation modes can be reduced significantly and subsequently emissions can be halved.

R. Kunde, M. Adeili,  
J. Kuckelkorn

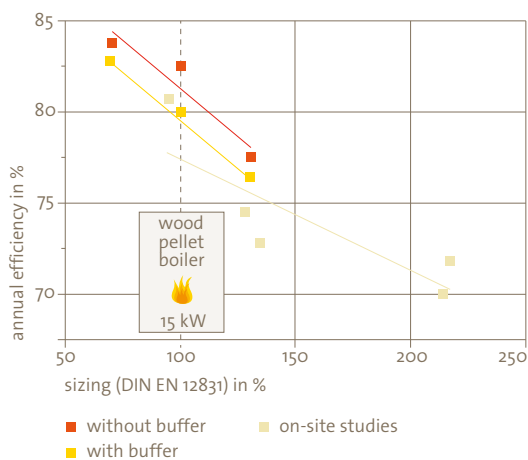


Abb. 1: Simulierter Jahresnutzungsgrad in Abhängigkeit von Dimensionierung und Pufferspeicher. Vergleich mit Ergebnissen aus den Felduntersuchungen.

Fig. 1: Simulated annual efficiency depending on sizing and buffer storage. The data is compared with on-site studies.

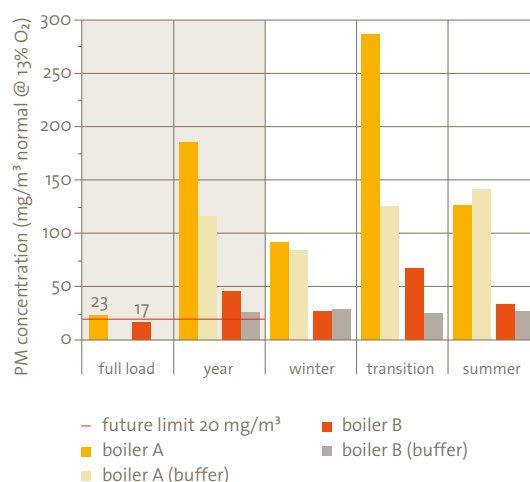


Abb. 2: Ergebnisse der Staubemissionsmessungen.

Fig. 2: Results of particulate matter emission measurements.

#### Literatur | References

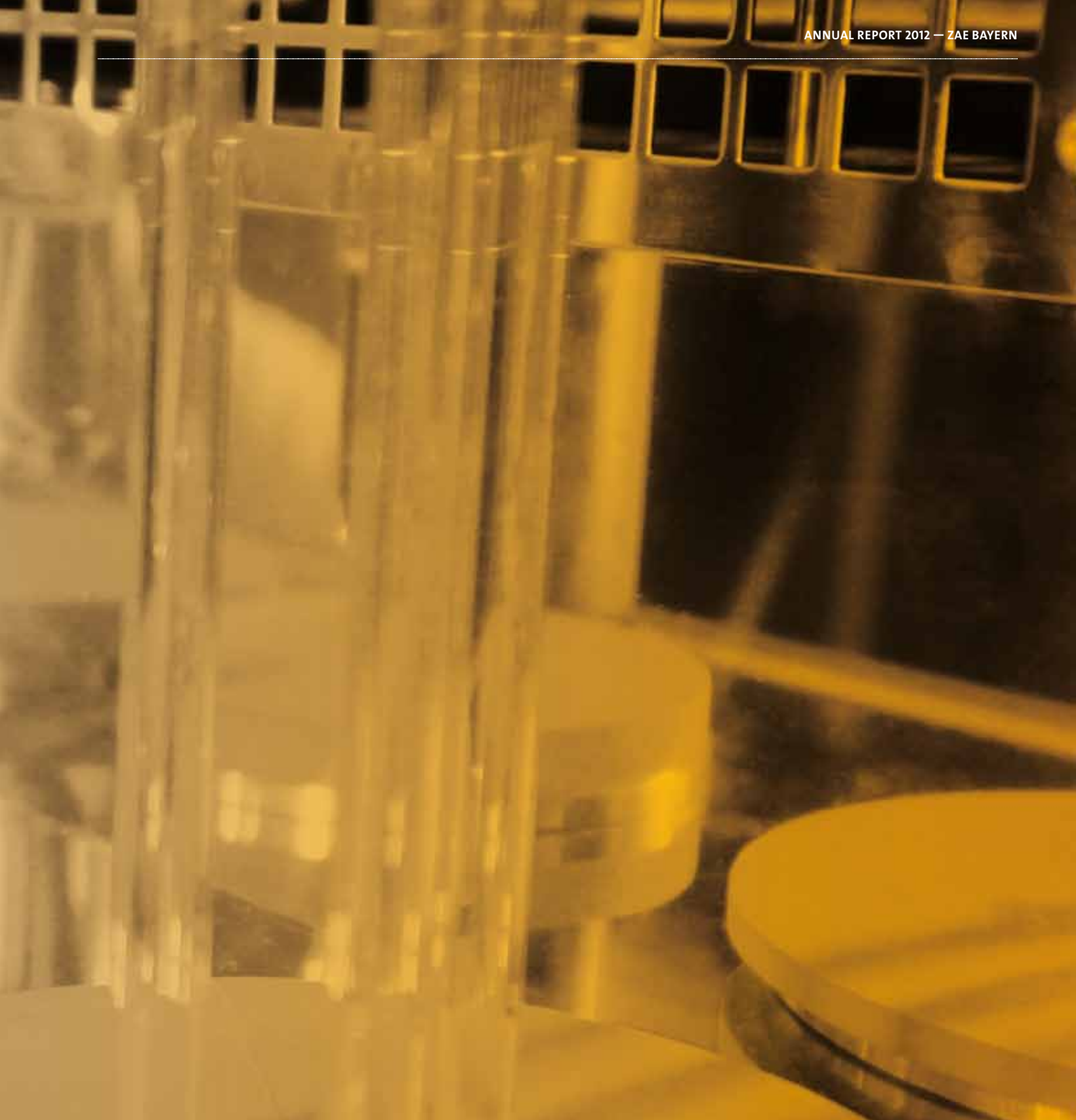
[1] R. Kunde, F. Volz, M. Gaderer, H. Spliethoff, BWK 1–2 (2009) 58–66

[2] C. Schraube, T. Jung, C. Mabilat, Feldversuche mit kleinen Pelletkesseln – Untersuchung der Jahresnutzungsgrade, Konferenzbeitrag IBC Leipzig (2011)

[3] VDI-Richtlinie 4655. Verein Deutscher Ingenieure (2008). Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen







3.0. | **VERÖFFENTLICHUNGEN**  
PUBLICATIONS

## 3.1. | VORTRÄGE UND POSTER

### PRESENTATIONS AND POSTERS

#### 3.1.1.

##### Eingeladene Plenarvorträge Plenary Invited Lectures

##### A. Bayer, **Energy storage for hybrid systems based on renewable energies**, AHK-

Geschäftsreiseprogramm Erneuerbare Energien – Made in Germany, Tampere, Finland, 04.–06.06.2012

##### C.J. Brabec, **Fundamentals and Applications of ternary solar cell composites**,

EMRS Spring Meeting 2012, Straßburg, France, 14.–18.05.2012

##### C.J. Brabec, **Assessing the potential of innovation in photovoltaics**,

Annual Innovation workshop between FAU and Diehl, Erlangen, Germany, 04.10.2012

##### C.J. Brabec, **Designing functionality from solution**,

EAM Summerschool, Bad Staffelstein, Germany, 28.–30.06.2012

##### C.J. Brabec, **Formulation and production aspects of organic solar cells**,

Annual CNRS Meeting, Paris, France, 11.09.2012

##### C.J. Brabec, **Gedruckte Halbleiter für die Energieerzeugung**,

Department of Physics, Erlangen, Germany, 09.01.2012

##### C.J. Brabec, **Imaging the degradation of solar cells**,

5<sup>th</sup> International Summit on OPV Stability (ISOS 5), Eindhoven, Netherlands, 06.–07.12.2012

##### C.J. Brabec, **Lifetime aspects of organic solar cells**,

IMEC seminar, Leuven, Belgium, 01.06.2012

##### C.J. Brabec, **Next generation printed Photovoltaics**,

MRC colloquium ETH Zürich, Zürich, Switzerland, 17.10.2012

##### C.J. Brabec, **Organic and hybrid near-IR sensitization**,

SolTec Conference, Hameln, Germany, 07.–09.09.2012

##### C.J. Brabec, **Organic Solar Cells – are 20 years of lifetime realistic?**

EMPA Workshop „Durability of Thin Film Solar Cells“, Dübendorf, Switzerland, 04.04.2012

##### C.J. Brabec, **Organic solar cells – Is grid**

**connected operation realistic?** 8<sup>th</sup> Plastic Electronics Conference, Dresden, Germany, 09.–11.10.2012

##### C.J. Brabec, **Plastiksolarzellen: kostengünstige, dezentrale und mobile Erzeugung von erneuerbarem Strom**,

Erlanger-Bayreuther Kunststofftage, Erlangen, Germany, 11.–12.10.2012

##### C.J. Brabec, **Printed Photovoltaics – materials, processes, challenges and visions**,

National Research Council (NRC), Ottawa, Canada, 03.12.2012

##### C.J. Brabec, **Printed transparent electrodes for PV applications**,

Materials Science Engineering (MSE 2012), Darmstadt, Germany, 25.–27.09.2012

##### C. Brandt, **Abwärme zu Strom veredeln**,

IHK Fachveranstaltung Abwärme – Energie gleich mehrfach nutzen, Ingolstadt, Germany, 09.02.2012

##### C. Deibel, J. Lorrmann, V. Dyakonov, **Impact of trap assisted recombination of the performance of the polymer-fullerene solar cells**,

5<sup>th</sup> International Symposium “Technologies for Polymer Electronics” (TPE 12), Rudolstadt, Germany, 22.–24.05.2012

##### V. Dyakonov, **Application of Electron Paramagnetic Resonance to Study Fundamental Processes in Organic Photovoltaic Materials and Devices**,

EUROMAR 2012 – Magnetic Resonance Conference, Dublin, Ireland, 01.–05.07.2012

##### V. Dyakonov, **Charge Transfer States and Triplet Excitons in Organic Bulk-Heterojunction Solar Cells**,

The Sino-German Symposium on Organic Photovoltaic Materials and Organic Solar Cells, Chengdu, China, 27.–30.5.2012

##### V. Dyakonov, **Fundamental Processes in Organic Solar Cells**,

Academy of Sciences of the Republic Uzbekistan – Institute of Polymer Chemistry and Physics, Tashkent, Uzbekistan, 19.10.2012

##### V. Dyakonov, **Fundamentals of Carbon Based Organic Photovoltaics**,

Workshop on Nano-Carbon Optics: Focus on Carbon Photovoltaics, Niederstetten, Germany, 25.–28.09.2012

##### V. Dyakonov, **Nanoscale Phase-Separated Molecular Bulk-Heterojunctions For Photovoltaic Energy Conversion**,

NATO Advances Research Workshop “Recent Trends in Energy Security: Special focus on low-dimensional functional materials”, Tashkent, Uzbekistan, 15.–19.10.2012

##### V. Dyakonov, **Photovoltaics based on Organic Semiconductors**,

41<sup>st</sup> International School and Conference on Physics of Semiconductors, Krynica-Zdrój, Poland, 08.–15.06.2012

##### V. Dyakonov, **Triplet States in Nanostructured Polymer Solar Cells: a hurdle for efficiency and stability or a source of energy?**,

2<sup>nd</sup> German-Russian Conference on Fundamentals and Applications of Nanoscience, Berlin, Germany, 19.–21.05.2012

##### V. Dyakonov, **Triplets and charge transfer states in high-efficiency OPV materials and devices**,

Photovoltaik-Tag NRW, Duisburg, Germany, 27.06.2012

##### H.P. Ebert, **Bestandsgebäude im Fokus moderner Baumaterialien und Bauelemente**,

Karlsruher Fenster- und Fassaden-Kongress „Fenster im Bestand und im Fokus der Energiewende“, Karlsruhe, Germany, 10.–11.02.2012

##### H.P. Ebert, **Energieeffiziente Gebäude der Zukunft**,

Bayerische Akademie der Wissenschaften Rundgespräch „Die Zukunft der Energieversorgung“, München, Germany, 24.–25.01.2012

##### H.P. Ebert, **Energieoptimierte Gebäude der Zukunft**,

FVEE Jahrestagung 2012, Berlin, Germany, 16.–17.10.2012

##### H.P. Ebert, **Innovative Komponenten für energieeffiziente Gebäude**,

EnOB-Sommerakademie, Karlsruhe, Germany, 15.–25.09.2012

H.P. Ebert, **The Energy Efficiency Center: Interdisciplinary R&D for energy optimized buildings**, International Conference on Building Performance (icbp 2012), Berlin, Germany, 29.–30.10.2012

A. Hauer, **Advanced Thermal Energy Storage for Solarthermal Applications**, International Conference on Solar heating and Cooling for buildings and Industry (SHC 2012), San Francisco, USA, 09.–11.07.2012

A. Hauer, **Aktuelle Forschungsaktivitäten und weltweite Trends zu Speichertechnologien**, VDI-Fachkonferenz Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung, Ludwigsburg, Germany, 23.–24.10.2012

A. Hauer, **Aktuelle Forschungsaktivitäten und weltweite Trends zu Speichertechnologien**, VDI-Forum 2012 – Neue Aspekte und Perspektiven thermischer Energiespeicher, Linz, Austria, 22.11.2012

A. Hauer, **Cold Supply and Storage by Open Sorption Systems**, TUM CREATE Centre for Electromobility, Singapore, Singapore, 26.11.2012

A. Hauer, **Energy storage for the integration of renewable electricity**, IPHE Workshop “Hydrogen – A competitive energy storage medium for large scale integration of renewable electricity”, Sevilla, Spain, 15.–16.11.2012

A. Hauer, **Heat Pumps and Thermal Energy Storage**, Chillventa 2012 (Internationale Fachmesse für Kälte, Raumluft, Wärmepumpen) – IEA HPP Symposium, Nürnberg, Germany, 08.10.2012

A. Hauer, **Innovative Wärmespeicher**, IFAT 2012 – ITAD-Gemeinschaftsstand, München, Germany, 07.–11.05.2012

A. Hauer, **Integration Erneuerbarer Energien durch dezentrale Energiespeicher**, Round Table “Cluster Energietechnik Bayern meets Topsektor Energie Niederlande”, München, Germany, 10.10.2012

A. Hauer, **Latentwärme- und Sorptionspeicher – Stand der Forschung und aktuelle Anwendungsbeispiele**, 5. Energietechnisches Symposium „Energiespeicher für Nichtwohngebäude“, Dresden, Germany, 23.03.2012

A. Hauer, **Thermal Storage Technologies**, Energy Storage 2012 – International Summit for the Storage of Renewable Energies, Düsseldorf, Germany, 13.–14.03.2012

A. Hauer, **Thermische Energiespeicher zur Integration Erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz**, Fachkonferenz „Energiespeicher für Deutschland“, Süddeutscher Verlag, Düsseldorf, Germany, 11.–12.06.2012

U. Heinemann, **Neue Materialien und Systeme für die energieeffiziente Gebäudehülle**, Mainova Energy Talk, Frankfurt am Main, Germany, 06.11.12

J.M. Kuckelkorn, **Betriebsoptimierung und Evaluierung zur Qualitätssicherung der geplanten Energieeffizienz von Gebäuden**, 18. Internationale Sommerakademie der DBU „Energiewende zwischen Klimaschutz und Atomausstieg – Lösungen in die Umsetzung tragen“, Ostritz, Germany, 24.–29.06.2012

J.M. Kuckelkorn, **Untersuchung zur Widerstandsfähigkeit von Geothermiebaustoffen bei Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung, – Bestimmung des kf-Wertes und Alterung von Erdwärmesonden-Systemen in einem Großversuchsstand** Aktuelles zum Thema „Oberflächennahe Geothermie“ – Fortbildungsverband Boden und Altlasten Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany, 20.09.12

D. Laing, A. Hauer, R. Tamme, W. Platzer, P. Schossig, A. Wörner, **Thermische Energiespeicher: neueste Entwicklungen und Anwendungen**, FVEE Jahrestagung 2012, Berlin, Germany, 16.–17.10.2012

J. Manara, **Infrarot-aktive Oberflächen im Bereich der textilen Architektur zur verbesserten Temperaturregulierung**, 2. Kooperationsforum Textilien in Bau und Architektur, Würzburg, Germany, 16.10.2012

J. Manara, **Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden**, 2. Symposium Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG), München, Germany, 16.02.2012

J. Pflaum, **Crystalline molecular semiconductors as photo-active material in thin film organic solar cells**, Kick-off Workshop of the Solar Technologies Go Hybrid Network, München, Germany, 18.–19.10.2012

J. Pflaum, **Studies of the exciton diffusion length in long-range ordered molecular semiconductors**, Symposium on Quantum Modeling of Organic Optoelectronic Devices, Bordeaux, France, 07.–08.11.2012

J. Rauh, S. Neugebauer, V. Dyakonov, C. Deibel, **Electronic trap states in organic polymer-fullerene solar cells**, 5<sup>th</sup> International Symposium “Technologies for Polymer Electronics” (TPE 12), Rudolstadt, Germany, 22.–24.05.2012

G. Reichenauer, **Erhöhung der Energieeffizienz durch Einsatz nanoporöser Materialien – von den Grundlagen zur Anwendung**, Seminar der Montanuniversität Leoben, Leoben, Belgium, 18.04.2012

S. Vidi, **Thermische Charakterisierung von Kunststoffen – Charakterisierung von Wärmetransportmechanismen**, Innovative zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZFP) für moderne Kunststoffe, Würzburg, Germany, 20.–21.11.2012

---

### 3.1.2.

#### Fachvorträge Contributed Talks

---

C. Balzer, L. Weigold, D. Mohite, N. Leventis, G. Reichenauer, **Characterization of Mesoporous Solids by Gas Sorption Analysis Combined with in-situ Dilatometry**, 6<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials (CPM-6) Delray, Beach, USA, 30.04.–02.05.2012

- A. Bayer, **Thermodynamik der thermischen Energiespeicherung – Thermodynamische Möglichkeiten und Grenzen**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- T. Beikircher, **Superisolierter H<sub>2</sub>O-Langzeit-Wärmespeicher mit neuartigem Schichten-lader für hohe solare Deckungsgrade**, Gleisdorf SOLAR 2012, Gleisdorf, Austria, 12.–14.09.2012
- C.J. Brabec, **Fundamentals and application of near-IR sensitization**, MRS Fall Meeting, Boston, USA, 25.–30.11.2012
- C. Brandt, **Steigerung der Energieeffizienz durch Abwärmenutzung aus energieintensiven Industrieprozessen**, VDEH-Fachunterausschuss Elektrostahlbetriebe, Legelshurst, Germany, 14.11.2012
- C. Buerhop, **Bildgebende Verfahren in der Photovoltaik: Thermographie und Elektrolumineszenz für Innen- und Außenanwendungen**, Cluster-Treff Bayern Innovativ: „Zerstörungsfreie Testmethoden in der Photovoltaik“, Erlangen, Germany, 21.03.2012
- C. Buerhop, F. Fecher, J. Adams, C.J. Brabec, **Lock-in Thermographie an Dünnschichtmodulen**, OTTI Anwenderforum Grundlagen Dünnschicht-PV, Bad Staffelstein, Germany, 27.–28.02.2012
- K. Cvecek, M. Zimmermann, T. Frick, M. Heßmann, T. Kunz, M. Schmidt, **Laserstrahlschweißen von dünnen Siliziumfolien**, 15. LEF 2012 – Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik, Fürth, Germany, 28.–29.02.2012
- C. Deibel, D. Rauh, J. Lorrman, V. Dyakonov, **Delayed nongeminate recombination processes in organic bulk heterojunction solar cells**, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA, 09.–13.04.2012
- M. Demharter, **Neue Entwicklungen im Bereich kleiner und mittlerer Speicher mit Superisolation**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- P. Desclaux, M. Rzepka, E. Stern, M. Woiton, U. Stimming, R. Hempelmann, **Direct Conversion of Carbon in a High Temperature Fuel Cell Using Ceria as Catalyst**, International Workshop on Electrocatalysis, Saarbrücken, Germany, 25.–27.03.2012
- H. Fink, **Advanced Electrodes for Vanadium Flow Batteries**, Internatinal Flow Battery Forum (IFBF 2012), München, Germany, 26.–27.06.2012
- H. Fink, **Investigations on new electrode materials for vanadium redox flow batteries**, Gesellschaft Deutscher Chemiker – ELECTROCHEMISTRY 2012, München, Germany, 17.–19.09.2012
- F. Fischer, A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Open adsorption systems for thermal energy storage applications**, BLOWKK Workshop 2012, Dortmund, Germany, 26.09.2012
- A. Foertig, M. Gluecker, A. Wagenpfahl, C. Deibel, V. Dyakonov, **Morphology triggered impact of charge carrier recombination on the current – voltage response of organic solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- B. Gieseking, B. Jäck, E. Preis, S. Jung, M. Förster, V. Dyakonov, et al. **Excitation Dynamics in Donor-Acceptor Copolymers**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- N.H. Hansen, C. Wunderlich, J. Pflaum, **Organic Field-Effect Transistor Operation With Different Gatings**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- P. Hennemann, E. Günther, S. Hiebler, **Experimental study on poly-ethylene glycols to investigate their potential as phase change materials**, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage, Lleida, Spain, 16.–18.05.2012
- S. Hiebler, **Speichersysteme und geeignete Anwendungen mit PCM**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- U. Hoyer, **Die Hellkennlinienmessung: Sonne und Sonnensimulatoren**, Cluster-Treff Bayern Innovativ: „Zerstörungsfreie Testmethoden in der Photovoltaik“, Erlangen, Germany, 21.03.2012
- J. Kern, C. Deibel, V. Dyakonov, **Field Dependence Of Charge Carrier Generation In Conjugated Polymer-Fullerene Solar Cells**, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM 2012), Atlanta, USA, 08.–13.07.2012
- J. Kern, C. Grünewald, C. Deibel, V. Dyakonov, **Field dependence of charge carrier generation in MDMO-PPV based organic solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- H. Kraus, S. Väh, A. Sperlich, C. Deibel, V. Dyakonov, **Studies of Electron Back Transfer and Triplet Exciton Formation in High-Efficiency Conjugated Polymer – Fullerene Blends by Optically Detected Magnetic Resonance**, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA, 09.–13.04.2012
- H. Kraus, V. Dyakonov, et al. **Triplet States in Single Walled Carbon Nanotubes**, Workshop on Nano-Carbon Optics: Focus on Carbon Photovoltaics, Niederstetten, Germany, 25.–28.09.2012
- A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Abwärmenutzung durch mobile Sorptionspeicher**, VDI Fachkonferenz Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung, Ludwigsburg, Germany, 23.10.2012
- A. Krönauer, **Mobiler Wärmespeicher**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- J.M. Kuckelkorn, **Methodik und Ergebnisse zur hydraulischen Durchlässigkeit von Verfüllbaustoffen bei Erdwärmesonden – Bestimmung des kf-Wertes und Alterung von Erdwärmesondensystemen in einem Groß-**

- versuchsstand**, 3. VDI-Fachkonferenz Wärmepumpen – Umweltwärme effizient nutzen, Düsseldorf, Germany, 19.–20.06.2012
- R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers Under Realistic Loads**, 12. Industrieforum Holzpellets, Berlin, Germany, 09.–10.10.2012
- R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers Under Realistic Loads**, 4. Statuskonferenz Förderprogramm Optimierung der energetischen Biomassenutzung (BMU), Berlin, Germany, 05.–06.11.2012
- R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, **Bestimmung realistischer Jahresnutzungsgrade und tatsächlicher Jahresgesamtemissionen von Pelletheizungsanlagen am Prüfstand**, 16. Arbeitskreis Holzfeuerung, Straubing, Germany, 23.05.2012
- A. Laskowsky, P. Thiem, S. Cung, M. Woiton, M. Heyder, **Cellular ceramics from demixing processes – interactions between substrates and preceramic polymer coating systems**, Cellular Materials (CELLMAT 2012), Dresden, Germany, 07.–09.11.2012
- E. Lävemann, **Energiespeicherung in flüssigen Sorbenzien**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- J. Lorrmann, J. Gorenflot, C. Deibel, V. Dyakonov, **Modelling charge carrier dynamics in disordered semiconducting materials**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- H. Mehling, E. Günther, **Enthalpy and temperature of the phase change solid-liquid – An analysis of data of the elements by macroscopic thermodynamics**, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012
- M. Mingebach, C. Deibel, V. Dyakonov, **Built-in potential and validity of Mott-Schottky analysis in organic bulk heterojunction solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- D. Nanova, S. Beck, M. Alt, T. Glaser, A. Pucci, J. Pflaum et al. **Phase separation in ternary charge-transfer-complexes**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- M. Nothaft, S. Höhla, F. Jelezko, J. Pflaum, J. Wrachtrup, **Single Molecule Electroluminescence**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- C. Rathgeber, M. Himpel, S. Hiebler, **A new T-history calorimeter for phase change materials in the temperature range 50°C to 200°C**, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012
- C. Rathgeber, **Phasen-Wechsel-Materialien**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- J. Rauh, S. Neugebauer, C. Deibel, V. Dyakonov, **Electronic trap states in organic polymer-fullerene solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- M. Reuß, **Kühlen und Klimatisieren mit Oberflächennaher Geothermie**, OTTI Fachforum Effiziente Kälte und Klimatechnik in Gewerbe und Industrie, Regensburg, Germany, 01.–02.02.2012
- M. Reuß, **Richtlinie VDI 4640 – Thermische Nutzung des Untergrundes**, 3. VDI-Fachkonferenz Wärmepumpen – Umweltwärme effizient nutzen, Düsseldorf, Germany, 19.–20.06.2012
- M. Reuß, **Wärmespeicher in solaren Anwendungen**, OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, Germany, 05.–06.07.2012
- M. Riepl, F. Loistl, R. Gurtner, M. Helm, C. Schweigler, **Operational Performance Results of an Innovative Solar Thermal Cooling and Heating Plant**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2012), San Francisco, USA, 09.–11.07.2012
- M. Riepl, E. Lävemann, **Solarthermisch gestützte Luftkonditionierung und Raumklimatisierung**, OTTI-Fachforum „Lüftungsanlagen planen und effizient betreiben“, Regensburg, Germany, 14.–15.11.2012
- M. Ruf, J. Lorrmann, C. Deibel, V. Dyakonov, **Time and Spatially Resolved 1D-MonteCarlo Simulations on Charge Transport**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- M. Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Newly Designed Apparatus for Measuring the Angular Dependent Surface Emittance in a Wide Wavelength Range and at Elevated Temperatures up to 1400°C**, 6<sup>th</sup> European Thermal Sciences Conference, Poitiers, France, 04.–07.09.2012
- M. Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Optimized Apparatus for Measuring the Angular Dependent Surface Emittance at Elevated Temperatures up to 1400°C**, 18<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, 24.–29.06.2012
- M. Schormayer, S. Braxmeier, G. Reichenauer, **Transport of ideal and condensable gases in meso- and macroporous materials as well as samples with additional microporosity**, XVI. POROTEC Workshop – Transport in porous media, Bad Soden, Germany, 13.–14.11.2012
- A. Sperlich, J. Römer, H. Kraus, C. Deibel, V. Dyakonov, **Charge Transfer in Polymer:PC60BM:PC70BM triple Blends: Which Fullerene gets the Electron?** DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012
- L. Staudacher, F. Buttinger, W. Dallmayer, W. Schölkopf, **Großanlagentechnik – Große Solaranlagen im Mehrgeschosswohnungsbereich**, 22. Symposium Thermische Solarenergie – Einsteigerseminar Solarthermie, Bad Staffelstein, Germany, 08.–11.05.2012
- A. Steindamm, M. Brendel, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Blocking Layer Influence on Diindenoperylene Based Photovoltaic Devices**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012



E. Stern, M. Heyder, P. Desclaux, M. Rzepka, **Development of Cu/GDC-anodes for direct carbon fuel cells**, 10<sup>th</sup> International Symposium on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (10<sup>th</sup> CMCEE), Dresden, Germany, 20.–23.05.2012

K. Swimm, H.P. Ebert, G. Reichenauer, **Gaseous thermal transport in open porous materials from vacuum to 10 Mpa**, XVI. POROTEC Workshop – Transport in porous media, Bad Soden, Germany, 13.–14.11.2012

M. Voigt, **Die Solarfabrik der Zukunft: Optimierung und Upscaling der Dünnschicht-Solarzellenherstellung vom Labormaßstab zur industriellen Serienanfertigung**, FMP Workshop, Erlangen, Germany, 09.–10.10.2012

M. Voigt, **Solar production for the Future: the route from sheet-to-sheet to inline manufacturing**, International Laser and Coating Symposium (ILACOS 2012), Dresden, Germany, 17.–18.10.2012

S. Walter, M. Mingeback, C. Deibel, V. Dyakonov, **Field- and Temperature Dependence of charge Photogeneration in Organic Bulk Heterojunction Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Weber, V. Lorrmann, G. Reichenauer, J. Pflaum, **ASAXS Measurements as a Powerful Technique for Structural Investigation of MnO<sub>2</sub>-Carbon Hybrid Supercapacitor Electrodes**, 222. Meeting of the Electrochemical Society, Honolulu, USA, 07.–12.10.2012

M. Woiton, M. Heyder, A. Laskowsky, E. Stern, M. Scheffler, C.J. Brabec, **Porous Coatings for Complex 3D-Structures Formed by Self-Assembly**, 36<sup>th</sup> International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (ICACC12), Daytona Beach, USA, 22.–27.01.2012

N. Wolf, M. Rydzek, D. Gerstenlauer, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Low temperature processing of redispersed ITO nanoparticle coatings**, 9<sup>th</sup> International Conference on Coating on Glass and Plastics (ICCG), Breda, Netherlands, 24.–28.06.2012

N. Wolf, D. Gerstenlauer, J. Manara, **Modeling the spectral reflectances of miscellaneous ITO coatings by using only the Drude theory**, 6<sup>th</sup> European Thermal Sciences Conference, Poitiers, France, 04.–07.09.2012

M. Zeymer, R. Schneider, P. Heidecke, F. Volz, R. Egeler, **Bundmessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung**, 4. Statuskonferenz Förderprogramm Optimierung der energetischen Biomassennutzung (BMU), Berlin, Germany, 05.–06.11.2012

A. Zusan, A. Baumann, C. Deibel, V. Dyakonov, **Charge transport and recombination dynamics in low-bandgap polymer-fullerene solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

---

### 3.1.3.

#### Poster

#### Posters

---

A. Baumann, J. Lorrmann, A. Zusan, D. Rauh, C. Deibel, V. Dyakonov, **A new approach to probe the mobility and lifetime of photogenerated charge carriers in organic solar cells under operating conditions**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Buerhop, R. Weißmann, H. Scheuerpflug, R. Auer, C.J. Brabec, **Quality Control of PV-Modules in the Field Using a Remote-Controlled Drone with an Infrared Camera**, 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt am Main, Germany, 17.–21.09.2012

H. Fink, M. Rzepka, M. Wiener, G. Reichenauer, U. Stimming, **Carbon Composite Electrodes for Redox Flow Batteries**, CARBON 2012, Krakow, Poland, 17.–22.06.2012

F. Fuchs, G. Astakhov, A. Soltamova, P. Baranov, V. Dyakonov, **Spatially-resolved photoluminescence of silicon vacancy centers in SiC**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

B. Giesecking, B. Jack, E. Preis, S. Jung, M. Forster, V. Dyakonov et al. **Excitation dynamics in donor-acceptor copolymers**, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA, 09.–13.04.2012

M. Gluecker, A. Foertig, C. Deibel, V. Dyakonov, **Transient resolved recombination measurements in organic bulk hetero junction solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Grünewald, J. Kern, J. Gorenflot, C. Deibel, V. Dyakonov, **Recombination of excited species in organic photovoltaic material systems studied by field dependent transient absorption**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

S. Hein, J. Rauh, V. Dyakonov, **Investigation of recombination processes in organic solar cells using a differential photocurrent method**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

M.T. Heßmann, T. Kunz, K. Cvecek, A. Bochmann, S. Christiansen, R. Auer, C.J. Brabec, **Welding of monocrystalline silicon by various laser beam geometries**, 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt am Main, Germany, 17.–21.09.2012

F. Hüwe, M. Schmidunser, J. Pflaum, **Influence of charge carrier density and dimensionality on transport properties of (DCNQI-d6)2Cu radical anion salts**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

A. Keckeisen, C. Weber, V. Lorrmann, G. Reichenauer, J. Pflaum, **Dilatation measurements of porous carbon electrodes during charging**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

J. Kern, S. Schwab, C. Deibel, V. Dyakonov, **Field dependence of charge carrier generation in polymer-fullerene solar cells**, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA, 09.–13.04.2012

F. Klinker, H. Weindlader, H. Mehling, S. Weismann, D. Büttner, H.-P. Ebert, E. Lävemann et al. **Heating and cooling using a combination**

of several TES technologies in the new R&D building of the ZAE Bayern in Würzburg, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

P. Knauf, U. Hoyer, A. Linsenmeyer, A. Schultze, R. Auer, C.J. Brabec et al. **Spektral- und Alterungsverhalten von Dünnschichtmodulen im Vergleich und ihr Einfluss auf den Energieertrag**, 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 29.02.–02.03.2012

V. Kolb, N. Tarakina, J. Manara, A. Guerrero-Martínez, J. Pflaum, **Influence of metal nanoparticles on the optical properties of molecular thin films**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobility Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers Under Realistic Loads**, 20<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition (EBCE), Milan, Italy, 18.–22.06.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers Under Realistic Loads**, FVEE Jahrestagung, Berlin, Germany, 16.–17.10.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers Under Realistic Loads**, 4. Statuskonferenz Förderprogramm Optimierung der energetischen Biomassennutzung (BMU), Berlin, Germany, 05.–06.11.2012

T. Kunz, M.T. Hessmann, A. Riecke, R. Auer, A. Bochmann, S. Christiansen, C.J. Brabec, **EBS and EBIC investigation of thin-film silicon recrystallized by zone melting on SiC base layer**, 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt am Main, Germany, 17.–21.09.2012

T. Kunz, R. Auer, C.J. Brabec, G. Nauditt, R. Weiß, **Herstellung kristalliner Silicium-Dünnschicht-Solarzellen auf biologisch abgeleiteten Substraten (HELIOS)**, BMU-Wissenschaftstage Photovoltaik, Berlin, Germany, 27.–28.11.2012

J. Manara, J. Hauck, M. Arduini-Schuster, **Infrared properties of thermochromic perovskite manganites for switching the emission of thermal radiation**, 6<sup>th</sup> European Thermal Sciences Conference, Poitiers, France, 04.–07.09.2012

J. Manara, M. Rydzek, M. Arduini-Schuster, **Infrarot-aktive Oberflächen im Bereich der textilen Architektur zur verbesserten Temperaturregulierung**, 2. Kooperationsforum Textilien in Bau und Architektur, Würzburg, Germany, 16.10.2012

J. Manara, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, **Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden**, 2. Symposium Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (MESG), München, Germany, 16.02.2012

B. Müller, B. Gieseking, C. Deibel, V. Dyakonov, **Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy of PTB7/PCBM Blend Systems**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

D. Riedel, A. Sperlich, H. Kraus, F. Fuchs, A.A. Soltamova, V. Dyakonov et al. **Light-induced electron spin resonance (LESr) studies of silicon vacancy centers in 6H-SiC**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Impact of residual adsorbate on small angle scattering data – recommendations for the characterization of microporous materials**, 6<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials (CPM-6), Delray Beach, USA, 30.04.–02.05.2012

T. Schmeiler, M. Zellmeier, J. Pflaum, **Growth and characterization of sublimation grown 9,10-diphenylanthracene single crystals**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

M. Schormayer, S. Braxmeier, G. Reichenauer **Transport of ideal and condensable gases in meso- and macroporous materials as well as samples with additional microporosity**, XVI. POROTEC Workshop – Transport in porous media, Bad Soden, Germany, 13.–14.11.2012

A. Sperlich, H. Kraus, S. Váth, V. Dyakonov, **Charge Transfer States and Triplet Excitons in Organic Photovoltaics Probed by Electron Spin Resonance**, Workshop on Nano-Carbon Optics: Focus on Carbon Photovoltaics, Niederstetten, Germany, 25.–28.09.2012

L. Staudacher, M. Reuß, **CO<sub>2</sub>-Thermosiphon – Borehole Heat Exchanger**, 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

A. Steindamm, M. Brendel, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Impact of an intermediate molecular blocking layer on the performance of DIP/C60 bilayer cells: Exciton blocking vs. metal penetration**, DFG Schwerpunktprogramm 1355 Doktoranden Workshop, Würzburg, Germany, 18.09.2012

B. Stender, M. Nothaft, J. Wrachtrup, J. Pflaum, **Comparing the device performance of organic light-emitting diodes processed from solution**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

K. Swimm, H.P. Ebert, G. Reichenauer, **Gaseous thermal transport in open porous materials from vacuum to 10 Mpa**, XVI. POROTEC Workshop – Transport in porous media, Bad Soden, Germany, 13.–14.11.2012

A.K. Topczak, A. Steindamm, M. Brendel, P. Schütz, J. Pflaum, **Characteristics of the excitonic processes in molecular donor/acceptor bilayers**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

A. Vollmer, R. Ovsyannikov, M. Gorgoi, S. Krause, J. Pflaum, T. Schmeiler et al. **Two dimensional band structure mapping of organic single crystals using the new generation electron energy analyzer ARTOF**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Weber, V. Lorrmann, G. Reichenauer, J. Pflaum, **Variations in backbone morphology of MnO<sub>x</sub> infiltrated carbon xerogels**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 25.–30.03.2012

C. Weber, V. Lorrmann, M. Wiener, G. Reichenauer, J. Pflaum, **Variations of meso- and macrostructure in carbon xerogels and its effect on electroless MnO<sub>2</sub> deposition for electrochemical charge storage applications**, CARBON 2012, Krakow, Poland, 17.–22.06.2012

M. Wiener, C. Balzer, G. Reichenauer, **Impact of High Temperature Treatment on the Microstructure and the Thermal Properties of Synthetic Porous Carbons**, CARBON 2012, Krakow, Poland, 17.–22.06.2012

M. Wiener, G. Reichenauer, **Microstructure of porous carbons annealed at temperatures up to 2,000°C analyzed by complementary characterization methods**, 6<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials (CPM-6), Delray Beach, USA, 30.04.–02.05.2012

N. Wolf, T. Stubhan, J. Manara, C.J. Brabec, V. Dyakonov, **Controlling the Electronic Interface Properties in Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunction Solar Cells**, DFG Schwerpunktprogramm 1355 Doktoranden Workshop, Würzburg, Germany, 18.09.2012

### 3.1.4.

**Kolloquien, Seminare, Foren ...**  
**Colloquia, Seminars, Forums ...**

V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination and Transport in Organic Photovoltaic Materials and Devices**, Physikalisches Kolloquium, Lomonosov Universität, Moscow, Russia 19.12.2012

V. Dyakonov, **Charge Transfer and Triplet States in High Efficiency OPV Materials and Devices**, TU Eindhoven – Department of Applied Physics, Eindhoven, The Netherlands, 11.12.2012

V. Dyakonov, **Energieversorgung neu gedacht**, 9. Wirtschaftsforum Mainfranken, Iphoven, Germany, 20.03.2012

V. Dyakonov, **Energieversorgung neu gedacht**, Vortrag Rotary Club, Würzburg, Germany, 24.01.2012

V. Dyakonov, **Schwerpunkte der Energieforschung**, VBI Landesversammlung, Würzburg, Germany, 04.05.2012

V. Dyakonov, **Schwerpunkte der Energieforschung**, WVV-Führungstagung, Velburg-Lengenfeld, Germany, 22.05.2012

H.P. Ebert, **Vorstellung des Energy Efficiency Center**, Informationsveranstaltung des Bund Naturschutz in Bayern e.V., Würzburg, Germany, 24.11.2012

H. Fink, **Redox-Flow-Batterien: Technik, Chancen und Einsatzgebiete**, Industrie und Handelskammer München: „Stromspeicher – heute erzeugen, morgen verbrauchen“, München, Germany, 27.09.2012

S. Hiebler, **Calibration of DSC equipment**, DSC workshop – Side Event Innostock 2012, Lleida, Spain, 15.05.2012

J.M. Kuckelkorn, **Monitoring und Betrieb des Neubaus der Fach- und Berufsoberschule Erding**, Lehrerfachkonferenz der FOS BOS Erding, Erding, Germany, 12.09.2012

J.M. Kuckelkorn, **Untersuchung von EWS-Verfüllbaustoffen zur hydraulischen Durchlässigkeit und bei Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung**, VDZ-Workshop, Garching, Germany, 11.12.2012

H. Mehling, **Introduction: Basics on Calorimetry of DSC and specificities of PCM analysis**, DSC workshop, Lleida, Spain, 15.05.2012

M. Reuß, **Entwicklungen der Erneuerbaren Energien**, Fortbildungsveranstaltung der Landesbaudirektion Nordbayern „Energieeffizienz und Neuerungen in der Anlagentechnik“, Nürnberg, Germany, 11.06.2012

M. Reuß, **Ground Source Heat Pumps and Underground Storage – Status and Perspectives in Germany and Europe**, Annual meeting for Studying group of the Ground Thermal Energy and Heat Pump System in Heat Pump & thermal Storage Center of Japan, Kita-Kyushu City, Japan, 24.02.2012

M. Reuß, **Solar District Heating in Germany**, 6<sup>th</sup> Mikkeli International Industrial Coating Seminar (MIICS 2012), Mikkeli, Finland, 14.–17.03.2012

M. Reuß, **Thermische Energiespeicherung**, Sitzung des VDI GEU Lenkungskreises am KIT, Karlsruhe, Germany, 06.03.2012

M. Reuß, **Thermische Energiespeicherung für große Solarsysteme**, Fachforum „Große thermische Solaranlagen“, München, Germany, 27.03.2012

M. Reuß, **Zukünftige Entwicklung Erneuerbarer Energien**, Vortragsveranstaltung des Kreisbildungswerkes Freising, Fahrenzhäuser, Germany, 24.04.2012

## 3.2. | VERÖFFENTLICHUNGEN

### PUBLICATIONS

#### 3.2.1.

##### Referierte Veröffentlichungen Peer-Reviewed Publications

C. Alkan, E. Günther, S. Hiebler, M. Himpel, **Complexing blends of polyacrylic acid-polyethylene glycol and poly(ethylene-co-acrylic acid)-polyethylene glycol as shape stabilized phase change materials**, *Energy Convers. Manag.*, 64, 2012, 364-370

C. Alkan, E. Günther, S. Hiebler, O.F. Ensari, D. Kahraman, **Polyethylene glycol-sugar composites as shape stabilized phase change materials for thermal energy storage**, *Polym. Compos.*, 33 (10), 2012, 1728-1736

C. Alkan, E. Günther, S. Hiebler, O.F. Ensari, D. Kahraman, **Polyurethanes as solid-solid phase change materials for thermal energy storage**, *Sol. Energy*, 86 (6), 2012, 1761-1769

T. Ameri, J. Min, N. Li, F. Machui, D. Baran, M. Forster, K.J. Schottler, D. Dolfen, U. Scherf, C.J. Brabec, **Performance Enhancement of the P3HT/PCBM Solar Cells through NIR Sensitization Using a Small-Bandgap Polymer**, *Adv. Energy Mater.*, 2 (10), 2012, 1198-1202

J. Bachmann, C. Buerhop-Lutz, R. Steim, P. Schilinsky, J.A. Hauch, E. Zeira, C.J. Brabec, **Highly sensitive non-contact shunt detection of organic photovoltaic modules**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 101, 2012, 176-179

D. Baran, A. Balan, T. Stubhan, T. Ameri, L. Toppare, C.J. Brabec, **Photovoltaic properties of benzotriazole containing alternating donor-acceptor copolymers: Effect of alkyl chain length**, *Synth. Metals*, 162 (23), 2012, 2047-2051

A. Baumann, J. Lorrmann, D. Rauh, C. Deibel, V. Dyakonov, **A New Approach for Probing the Mobility and Lifetime of Photogenerated Charge Carriers in Organic Solar Cells Under Real Operating Conditions**, *Adv. Mater.*, 24 (32), 2012, 4381-4386

J. Behrends, A. Sperlich, A. Schnegg, T. Biskup, C. Teutloff, K. Lips, V. Dyakonov, R. Bittl, **Direct detection of photoinduced charge transfer complexes in polymer fullerene blends**, *Phys. Rev. B*, 85 (12), 2012, 125206

C.J. Brabec, P. Lane, Z.H. Kafafi, **Guest Editorial: Special Section on Organic Photovoltaics**, *J. Photon. Energy*, 2, 2012, 021099

C. Buerhop, D. Schlegel, M. Nieß, C. Voder-mayer, R. Weißmann, C.J. Brabec, **Reliability of IR-imaging of PV-plants under operating conditions**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 107, 2012, 154-164

A. Foertig, A. Wagenpfahl, T. Gerbich, D. Cheyng, V. Dyakonov, C. Deibel, **Nongeminate Recombination in Planar and Bulk Heterojunction Organic Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 2 (12), 2012, 1483-1489

A. Foertig, J. Rauh, V. Dyakonov, C. Deibel, **Shockley equation parameters of P3HT:PCBM solar cells determined by transient techniques**, *Phys. Rev. B*, 86 (11), 2012, 115302

B. Gieseking, B. Jäck, E. Preis, S. Jung, M. Forster, U. Scherf, C. Deibel, V. Dyakonov, **Excitation Dynamics in Low Band Gap Donor-Acceptor Copolymers and Blends**, *Adv. Energy Mater.*, 2 (12), 2012, 1477-1482

M. Gluecker, A. Foertig, V. Dyakonov, C. Deibel, **Impact of nongeminate recombination on the performance of pristine and annealed P3HT:PCBM solar cells**, *Phys. Status Solidi (RRL)*, 6 (8), 2012, 337-339

J. Gorenflot, A. Sperlich, A. Baumann, D. Rauh, A. Vasilev, C. Li, M. Baumgarten, C. Deibel, V. Dyakonov, **Detailed study of N,N'-(diisopropylphenyl)-terrylene-3,4:11,12-bis(dicarboximide) as electron acceptor for solar cells application**, *Synth. Metals*, 161 (23-24), 2012, 2669-2676

T. Kunz, M.T. Hessmann, R. Auer, A. Bochmann, S. Christiansen, C.J. Brabec, **Grain structure of thin-film silicon by zone melting recrystallization on SiC base layer**, *J. Cryst. Growth*, 357, 2012, 20-24

T.T. Larsen-Olsen, F. Machui, B. Lechene, S. Berny, D. Angmo, R. Sondergaard, N. Blouin, W. Mitchell, S. Tierney, T. Cull, P. Tiwana, F. Meyer, M. Carrasco-Orozco, A. Scheel, W. Lo-venich, R. de Bettignies, C.J. Brabec, F.C. Krebs,

**Round-Robin Studies as a Method for Testing and Validating High-Efficiency ITO-Free Polymer Solar Cells Based on Roll-to-Roll-Coated Highly Conductive and Transparent Flexible Substrates**, *Adv. Energy Mater.*, 2 (9), 2012, 1091-1094

N. Li, T. Stubhan, N.A. Luechinger, S.C. Halim, G.J. Matt, T. Ameri, C.J. Brabec, **Inverted structure organic photovoltaic devices employing a low temperature solution processed WO<sub>3</sub> anode buffer layer**, *Org. Electr.*, 13 (11), 2012, 2479-2484

V. Lorrmann, G. Reichenauer, C. Weber, J. Pflaum, **Electrochemical double layer charging of ultramicroporous carbon xerogel in aqueous electrolytes**, *Electrochim. Acta*, 86, 2012, 232-240

F. Machui, S. Langner, X. Zhu, S. Abbott, C.J. Brabec, **Determination of the P3HT:PCBM solubility parameters via a binary solvent gradient method: Impact of solubility on the photovoltaic performance**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 100, 2012, 138-146

F. Machui, S. Rathgeber, N. Li, T. Ameri, C.J. Brabec, **Influence of a ternary donor material on the morphology of a P3HT:PCBM blend for organic photovoltaic devices**, *J. Mater. Chem.*, 22 (31), 2012, 15570-15577

M. Mansueto, S. Sauer, M. Butschies, M. Kaller, A. Baro, R. Woerner, N.H. Hansen, G. Tovar, J. Pflaum, S. Laschatt, **Triphenylene Silanes for Direct Surface Anchoring in Binary Mixed Self-Assembled Monolayers**, *Langmuir*, 28 (22), 2012, 8399-8407

V.V. Matylytsky, P. Kubis, C.J. Brabec, J. Aus Der Au, **High Q femtoREGEN™ UC laser systems for industrial microprocessing applications**, *Proc. SPIE*, 8247, 2012, 82470H

M. Mayerhofer, P. Mitsakis, X.M. Meng, W. de Jong, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Influence of pressure, temperature and steam on tar and gas in allothermal fluidized bed gasification**, *Fuel*, 99, 2012, 204-209

- M. Mingeback, S. Walter, V. Dyakonov, C. Deibel, **Direct and charge transfer state mediated photogeneration in polymer-fullerene bulk heterojunction solar cells**, Appl. Phys. Lett., 100 (19), 2012, 193302
- S. Neugebauer, J. Rauh, C. Deibel, V. Dyakonov, **Investigation of electronic trap states in organic photovoltaic materials by current-based deep level transient spectroscopy**, Appl. Phys. Lett., 100 (26), 2012, 263304
- M. Nothaft, A. Hohla, F. Jelezko, N. Fruhauf, J. Pflaum, J. Wrachtrup, **Electrically driven photon antibunching from a single molecule at room temperature**, Nat. Commun., 3, 2012, 628
- M. Nothaft, S. Hohla, F. Jelezko, J. Pflaum, J. Wrachtrup, **Single molecule electrical excitation**, Phys. Status Solidi B, 249 (4), 2012, 653-660
- M. Nothaft, S. Hohla, F. Jelezko, J. Pflaum, J. Wrachtrup, **The role of oxygen-induced processes on the emission characteristics of single molecule emitters**, Phys. Status Solidi B, 249 (4), 2012, 661-665
- D. Rauh, C. Deibel, V. Dyakonov, **Charge Density Dependent Nongeminate Recombination in Organic Bulk Heterojunction Solar Cells**, Adv. Funct. Mater., 22 (16), 2012, 3371-3377
- D. Riedel, F. Fuchs, H. Kraus, S. Vãth, A. Sperlich, V. Dyakonov, A.A. Soltamova, P.G. Baranov, V.A. Ilyin, G.V. Astakhov, **Resonant addressing and manipulation of silicon vacancy qubits in silicon carbide**, Phys. Rev. Lett., 109 (22), 2012, 226402
- M. Riepl, F. Loistl, R. Gurtner, M. Helm, C. Schweigler, **Operational Performance Results of an Innovative Solar Thermal Cooling and Heating Plant**, Energy Procedia, 30, 2012, 974–985
- M. Rydzek, M. Reidinger, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Low-Emitting Surfaces Prepared by Applying Transparent Aluminum-doped Zinc Oxide Coatings via a Sol-Gel Process**, Thin Solid Films, 520 (12), 2012, 4114-4118
- M. Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Newly Designed Apparatus for Measuring the Angular Dependent Surface Emittance in a Wide Wavelength Range and at Elevated Temperatures up to 1,400°C**, J. Phys. Conf. Ser., 395, 2012, 012152
- C. Scherdel, R. Gayer, G. Reichenauer, **Porous organic and carbon xerogels derived from alkaline aqueous phenol-formaldehyde solutions**, J. Porous Mater., 19, 2012, 351-360
- C. Scherdel, G. Reichenauer, **The impact of residual adsorbate on the characterization of microporous carbons with small angle scattering**, Carbon, 50 (8), 2012, 3074-3082
- V. Settels, W.L. Liu, J. Pflaum, R.F. Fink, B. Engels, **Comparison of the electronic structure of different perylene-based dye-aggregates**, J. Comput. Chem., 33 (18), 2012, 1544-1553
- A. Steindamm, M. Brendel, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Thickness dependent effects of an intermediate molecular blocking layer on the optoelectronic characteristics of organic bilayer photovoltaic cells**, Appl. Phys. Lett., 101 (14), 2012, 143302
- T. Stubhan, J. Krantz, N. Li, F. Guo, I. Litzov, M. Steidl, M. Richter, G.J. Matt, C.J. Brabec, **High fill factor polymer solar cells comprising a transparent, low temperature solution processed doped metal oxide/metal nanowire composite electrode**, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 107, 2012, 248-251
- T. Stubhan, N. Li, N.A. Luechinger, S.C. Halim, G.J. Matt, C.J. Brabec, **High fill factor polymer solar cells incorporating a low temperature solution processed WO<sub>3</sub> hole extraction layer**, Adv. Energy Mater., 2 (12), 2012, 1433-1438
- T. Stubhan, M. Salinas, A. Ebel, F.C. Krebs, A. Hirsch, M. Halik, C.J. Brabec, **Increasing the fill factor of inverted P3HT:PCBM solar cells through surface modification of Al-doped ZnO<sub>2</sub> via phosphonic acid-anchored C60 SAMs**, Adv. Energy Mater., 2 (5), 2012, 532-535
- A. Vollmer, R. Ovsyannikov, M. Gorgoi, S. Krause, M. Oehzelt, A. Lindblad, N. Mårtensson, S. Svensson, P. Karlsson, M. Lundvuist, T. Schmeiler, J. Pflaum, N. Koch, **Two dimensional band structure mapping of organic single crystals using the new generation electron energy analyzer ARTOF**, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 185 (3-4), 2012, 55-60
- J. Wagner, M. Gruber, A. Wilke, Y. Tanaka, K. Topczak, A. Steindamm, U. Hörmann, A. Opitz, Y. Nakayama, H. Ishii, J. Pflaum, N. Koch, W. Brütting, **Identification of different origins for s-shaped current voltage characteristics in planar heterojunction organic solar cells**, J. Appl. Phys., 111 (5), 2012, 54509
- H.Q. Wang, N. Li, N.S. Guldal, C.J. Brabec, **Nanocrystal V2O5 thin film as hole-extraction layer in normal architecture organic solar cells**, Org. Electr., 13 (12), 2012, 3014-3021
- H.Q. Wang, T. Stubhan, A. Osvet, I. Litzov, C.J. Brabec, **Up-conversion semiconducting MoO<sub>3</sub>:Yb/Er nanocomposites as buffer layer in organic solar cells**, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 105, 2012, 196-201
- N. Wolf, D. Gerstenlauer, J. Manara, **Modeling the spectral reflectances of miscellaneous ITO coatings by using only the Drude theory**, J. Phys. Conf. Ser., 395, 2012, 012064
- M. Zeller, V. Lorrmann, G. Reichenauer, M. Wiener, J. Pflaum, **Relationship between structural properties and electrochemical characteristics of carbon aerogel electrochemical double-layer electrodes in aqueous and organic electrolytes**, Adv. Energy Mater., 2 (5), 2012, 598-605

---

### 3.2.2.

#### Bücher, Manuskripte Books, Manuscripts

---

- C. Deibel, A. Baumann, V. Dyakonov, **Photogeneration and Recombination in Polymer Solar Cells**, in: Physics of Organic Semiconductors, Eds: W. Brütting, C. Adachi, Wiley-VCH, Berlin, 2012, 575-602, ISBN 978-3-52741-053-8



H.P. Ebert, **Energieeffiziente Gebäude der Zukunft**, in: Rundgespräche der Kommission für Ökologie Bd. 41 - Die Zukunft der Energieversorgung, Eds: F. Pfeil, Pfeil-Verlag, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 2012, 73-78, ISBN 978-3-89937-150-5

R. Göb, K. Lurz, U. Heinemann **Accelerated lifetime testing of thermal insulation elements**, in: *Frontiers in Statistical Quality Control 10*, Eds: H.J. Lenz, W. Schmid, P.T. Wilrich, Physica Verlag, Heidelberg, 2012, 319-337, ISBN 978-3-79082-845-0

W. Lang, J. Cremers, A. Beck, J. Manara, **New envelopes for old buildings – the potential of using membrane systems for the thermal retrofitting of existing buildings**, *Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems*, Eds: A. Strauss, D. Frangopol, K. Bergmeister, CRC Press, Boca Raton, 2012, 1737-1744, ISBN 978-0-41562-126-7

G. Reichenauer, **Aerogels: Porous Sol-Gel Derived Solids for Applications in Energy Technology**, in: *Nanotechnology and Energy: Science, Promises and Limits*, Eds: J. Lambauer, U. Fahl, A. Voss, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2012, 90-114, ISBN 978-9-81431-081-9

### 3.2.3.

#### Referierte Tagungsbandbeiträge Conference Papers

C. Buerhop, R. Weißmann, H. Scheuerpflug, R. Auer, C.J. Brabec, **Quality Control of PV-Modules in the Field Using a Remote-Controlled Drone with an Infrared Camera**, Proc. 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt, Germany, 17.–21.09.2012, p. 3370-3373

K. Cvecek, M. Zimmermann, U. Urmoneit, T. Frick, M.T. Heßmann, T. Kunz, **Thermisches Prozessieren dünner Siliziumsubstrate für die solare Energieerzeugung**, 15. LEF 2012 – Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik, Fürth, Germany, 28.–29.02.2012, p.91-101

P. Hennemann, E. Günther, S. Hiebler, **Experimental study on poly-ethylene glycols to investigate their potential as phase change materials**, Proc. 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

M.T. Heßmann, T. Kunz, K. Cvecek, A. Bochmann, S. Christiansen, R. Auer, C.J. Brabec, **Welding of monocrystalline silicon by various laser beam geometries**, Proc. 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt, Germany, 17.–21.09.2012, p. 2450-2452

P. Knauf, U. Hoyer, A. Linsenmeyer, A. Schultze, S. Heim, J. Stauner, O. Weiß, R. Auer, C.J. Brabec, **Spektral- und Alterungsverhalten von Dünnschichtmodulen im Vergleich und ihr Einfluss auf den Energieertrag**, 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 29.02.–02.03.2012, p. 378-382

A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, Proc. 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

T. Kunz, M.T. Hessmann, A. Riecke, R. Auer, A. Bochmann, S. Christiansen, C.J. Brabec, **EBS and EBIC investigation of thin-film silicon recrystallized by zone melting on SiC base layer**, Proc. 27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2012), Frankfurt, Germany, 17.–21.09.2012, p. 2438-2440

C. Rathgeber, M. Himpel, S. Hiebler, **A new T-history calorimeter for phase change materials in the temperature range 50°C to 200°C**, Proc. 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

M. Riepl, F. Loistl, R. Gurtner, M. Helm, C. Schweigler, **Operational Performance Results of an Innovative Solar Thermal Cooling and Heating Plant**, Proc. International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2012), San Francisco, USA, 09.–11.07.2012

L. Staudacher, M. Reuß, **CO<sub>2</sub>-Thermosiphon - Borehole Heat Exchanger**, Proc. 12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012), Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

### 3.2.4.

#### Sonstige Veröffentlichungen Miscellaneous Publications

M. Börner, T. Noisser, G. Reichenauer, C. Scherdel, **Hybrid Xerogels Derived from Epoxy Coated Stöber Particles**, HasyLab Annual Report 2011

C. Brandt, J.M. Kuckelkorn, **Steigerung der Energieeffizienz durch Verstromung von Abwärme aus energieintensiven Industrieprozessen – ORCmetall**, Schlussbericht zum BMBF-Projekt 01LY0909B, ZAE Bayern, Garching, 2012

C. Buerhop, D. Schlegel, C. Vodermayr, M. Nieß, **Controle de qualidade utilizando termografia infravermelha**, Eletricidade Moderna, Julho, 2012, 186–191

C. Buerhop, J. Adams, F. Fecher, C.J. Brabec, **Lock-in-Thermographie an Dünnschichtmodulen**, *Elektropraktiker (ep)*, 7-8, 2012, 37–41

H.P. Ebert, H.M. Henning, D. Schmidt, **Energieoptimierte Gebäude der Zukunft – Beispiele interdisziplinärer Forschung und Entwicklung**, Tagungsband FVEE Jahrestagung 2012, Berlin, 16.–17.10.2012

A. Hauer, M. Specht, M. Sterner, **Energiespeicher als Schlüsselemente im künftigen Energiesystem**, *energietechnologie aktuell*, IWW Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen, 3/2012

C. Jacobsen, C. Hutter, H.P. Kirchmann, H. König, J.M. Kuckelkorn, W. Wild, **Neubau der FOS/BOS in Erding - Nachhaltiges Passivhaus mit niedrigem Primärenergiebedarf**, *tab - Das Fachmagazin der TGA-Branche*, Bauverlag BV, Gütersloh, (3) 2012, 38-45

J.M. Kuckelkorn, **Betriebsoptimierung und Evaluierung zur Qualitätssicherung der geplanten Energieeffizienz von Gebäuden**, Tagungsband, 18. Internationale Sommerakademie der DBU, Ostritz, 24.–29.06.2012

J.M. Kuckelkorn, M. Reuß, **Hydraulische Systemdichtheit und Frostbeständigkeit von Erdwärmesonden**, bbr – Sonderheft Geothermie, wvgw, Bonn, 2012, 6-13

J.M. Kuckelkorn, **Methodik und Ergebnisse zur hydraulischen Durchlässigkeit von Verfüllbaustoffen bei Erdwärmesonden – Bestimmung des kf-Wertes und Alterung von Erdwärmesonden-Systemen in einem Großversuchsstand**, Tagungsband 3. VDI-Fachkonferenz Wärmepumpen, Düsseldorf, 19.–20.06.2012

J.M. Kuckelkorn, **Untersuchung zur Widerstandsfähigkeit von Geothermiebaustoffen bei Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung - Bestimmung des kf-Wertes und Alterung von Erdwärmesonden-Systemen in einem Großversuchsstand**, Tagungsband Aktuelles zum Thema „Oberflächennahe Geothermie“ – Fortbildungsverband Boden und Altlasten Baden-Württemberg, Stuttgart, 20.09.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers under Realistic Loads**, Tagungsband 12. Industrieforum Holzpellets, Berlin, 09.–10.10.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, M. Gaderer, **Annual Efficiency of Small Scale Wood Pellet Boilers under Realistic Loads**, Tagungsband 4. Statuskonferenz Förderprogramm Optimierung der energetischen Biomassenutzung, Berlin, 05.–06.11.2012

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, **Bestimmung realistischer Jahresnutzungsgrade und tatsächlicher Jahresgesamtemissionen von Pelletheizungsanlagen am Prüfstand**, 16. Arbeitskreis Holzfeuerung, Straubing, 23.05.2012

J. Lang, U. Heinemann, **Vakuumdämmung auf dem Prüfstand**, EnOB Projekt-Visitenkarte, [www.enob.info/de/neue-technologien/projekt/details/vakuumbaemmung-auf-dem-pruefstand](http://www.enob.info/de/neue-technologien/projekt/details/vakuumbaemmung-auf-dem-pruefstand)

J. Manara, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, A. Beck, K. Puchta, T. Rampp et al., **Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden – MESH**, Schlussbericht BMWi-Projekts 0327240G-P

M. Münter, J. Manara, J. Cremers, A. Beck, W. Jensch, W. Lang, J. Staedtler, H. Klöpfer, B. Strieder, **Lightweight envelopes for old buildings: Textile membranes offer new opportunities for the energy-based refurbishment of existing buildings**, BINE Informationsdienst, Projektinfo 08/2012, ISSN 0937-8367

M. Reuß, J.M. Kuckelkorn, M. Pröll, M. Biank et al., **Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden und Erdreichkollektoren**, Schlussbericht zum BMWi-Projekt 0327453A, ZAE Bayern, Garching, 2012

M. Reuß, **Richtlinie VDI 4640 - Thermische Nutzung des Untergrundes**, Tagungsband 3. VDI-Fachkonferenz Wärmepumpen, Düsseldorf, 19.–20.06.2012

M. Reuß, **Wärmespeicher in solaren Anwendungen**, Tagungsband OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt, 2012

M. Rydzek, J. Manara, K. Schindler, C. Wolf, T. Kaup, M. Boos et al., **Entwicklung von Wärmedämmsystemkomponenten und -oberflächen auf der Basis nanostrukturierter Materialien – Nano-Lambda**, Schlussbericht zum BMBF-Projekt 03X0071A-D

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Structural Evolution of Silica Gels during Drying**, Hasylab Annual Report 2011

L. Staudacher, F. Buttinger, W. Dallmayer, W. Schölkopf, **Großanlagentechnik – Große Solaranlagen im Mehrgeschosswohnungsbereich**, 22. Symposium Thermische Solarenergie – Einsteigerseminar Solarthermie, Bad Staffelstein, 08.–11.05.2012

F. Volz, **Bundesmessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung**, Schlussbericht zum BMU-Projekt 03KB17, ZAE Bayern, Garching, 2012

C. Weber, C. Scherdel, V. Lorrmann, G. Reichenauer, J. Pflaum, **ASAXS Investigation of Carbon-Manganese Oxide Hybrid Supercapacitor Electrodes**, Hasylab Annual Report 2011

M. Zeymer, R. Schneider, P. Heidecke, F. Volz, R. Egeler, **Bundesmessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung**, Tagungsband 4. Statuskonferenz Förderprogramm Optimierung der energetischen Biomassenutzung, Berlin, 05.–06.11.2012

## 3.3. STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN

### DEGREE AND DOCTORAL THESIS

#### 3.3.1.

##### Studienabschlussarbeiten Degree Thesis

M. Baumgärtner, **Modifikation der gravimetrischen Staubmessungen nach VDI 2066 für lange Messzeiträume**, Hochschule München Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik, 03/2012, Diplom

S. Besold, **Bestimmung und Simulation von Defektwerten ausgehend von elektrischen und infraroptischen bildgebenden Messverfahren an organischen Solarzellen und -modulen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 09/2012, Bachelor

M. Betz, **Entwicklung und Erprobung von Schichtladesystemen für große Solarspeicher im Modellmaßstab**, TU München, Maschinenwesen, 03/2012, Bachelor

J. Cordero-Munoz, **Development of Green Formulations for Large Area Coating of Polymer Solar Cells**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 11/2012, Master

T. Dang, **Untersuchungen zu verschiedenen Auslegungsvarianten für Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen hinsichtlich Energieeffizienz und Emissionsverhalten**, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, Umwelttechnik/Erneuerbare Energien, 08/2012, Diplom

M. Ehrl, **Herstellung und Untersuchung verschiedener YSZ/CGO/CuO-Anoden für den Einsatz in einer Direkt-Kohlenstoff-Brennstoffzelle**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 07/2012, Bachelor

T. Engl, **Optimierung der Zusammensetzung und der Porenstruktur von Anoden zur Umsetzung von Kohlenstoff in einer Direct-Carbon-Solid-Oxide-Fuel-Cell**, Universität Kassel, Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik (INA), 05/2012, Master

D. Galli, **Laser processing of crystalline silicon solar cells**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 12/2012, Diplom

V. Graf, **Inbetriebnahme eines innovativen Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssystems**, Hochschule Amberg-Weiden, Maschinenbau/Umwelttechnik, 08/2012, Master

F. Greipel, **Analyse der Langzeitstabilität verschiedener Dünnschicht-Photovoltaiktechnologien**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 10/2012, Bachelor

T. Gschnaidtner, **Simulation, energetische und wirtschaftliche Auswertung der Integrationsmöglichkeit eines Vakuum-superisolierten Speichers in Heiz- und Warmwassersysteme**, TU München, Maschinenwesen, 11/2012, Bachelor

O. Hartmann, **Optimierung eines Röntgenfluoreszenzaufbaus**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 08/2012, Bachelor

F. Hüwe, **Growth and Characterization of Radical Anion Salt Single Crystals**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 01/2012, Diplom

A. Keckeisen, **Dilatationseffekte von Kohlenstoffelektroden bei Ladevorgängen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2012, Diplom

B. Kern, **Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Untersuchung der adiabaten Absorption an thermisch getriebenen Kältemaschinen**, Hochschule Coburg, Angewandte Naturwissenschaften, 11/2012, Diplom

P. Knauf, **Vergleich gängiger Photovoltaik-Dünnschichttechnologien**, Hochschule Amberg Weiden, Erneuerbare Energien, 01/2012, Bachelor

V. Kolb, **Metallische Nanostrukturen für plasmonische Anwendungen in organischen Dünnschicht Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 07/2012, Diplom

E. König, **Aufbau und Erprobung von Messverfahren für Photovoltaikmodule an einem Sonnensimulator auf Leuchtdioden-Basis**, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät Maschinenbau, 08/2012, Bachelor

F. Loistl, **Energetische Analyse und Optimierung des Betriebs eines solarthermisch-unterstützten Energiesystems zur Gebäudeklimatisierung**, Hochschule München, Energie- und Gebäudetechnik, 01/2012, Master

Q. Meder, **Weiterentwicklung eines Teststandes zur Zellcharakterisierung von Vanadium-Durchflussbatterien**, Hochschule München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 03/2012, Bachelor

F. Menhart, **Untersuchung der Wärme-Stoffübertragung bei der Absorption eines Kältemittels in einem Lösungsfilm**, TU München, Physik, 06/2012, Diplom

M. Merscher, **Sorptionsversuche an Zeolithen zur Evaluierung eines neuartigen mobilen Wärmespeichers**, Fachhochschule Aachen, Maschinenbau und Mechatronik, 11/2012, Bachelor

A. Perez-Romero, **Elektrische FEM-Simulation von Shunts in Dünnschichtmodulen zur Untersuchung der Performance**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 11/2012, Bachelor

A. Pilot, **Entwicklung transparenter Polyethylenfolien mit streuenden und absorbierenden Pigmenten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 05/2012, Bachelor

A. Sarwanidi, **Funktionsschichten auf Metalloxid-Basis mit optimierten infrarot-optischen und elektronischen Eigenschaften**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2012, Master

J. Schiel, **Methode zur Bestimmung des Parallelwiderstands defektbehafteter CIGS-Solarzellen mit ILIT**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 11/2012, Bachelor

C. Schirmer, **Untersuchung des Einflusses der Brennstoffeigenschaften auf die Betriebscharakteristik einer Direkt-Kohlenstoff Brennstoffzelle**, TU Berlin, Prozesswissenschaften, 10/2012, Master

N. Schüler, **Optimierung eines thermoölbetriebenen Rohrbündel-Wärmeübertragers im Abgas eines Elektro-Lichtbogen mittels CFD**, TU München, Maschinenwesen, 11/2012, Diplom

G. Stein, **Laser Frequency Stabilization on Sodium Hyperfine Transitions**, Universität Stuttgart, 3. Physikalisches Institut, 11/2012, Bachelor

G. Streib, **Entwicklung eines Flachkollektors mit Vakuumsuperisolation**, TU München, Maschinenwesen, 07/2012, Diplom

T. Ahmad, **Characterization of biologically derived substrates for thin film crystalline solar cells**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Informatik, 12/2012, Diplom

M. Unterreitmeier, **Latentwärmespeicher unterstützte trockenere Rückkühlung solarer Kühlsysteme mit Absorptionskälte**, Hochschule München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 05/2012, Bachelor

T. Weis, **Nanopartikuläre Suspensionen zur Präparation transparenter, leitfähiger Funktionsschichten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 10/2012, Bachelor

C. Wunderlich, **Investigation of excitonic transport by means of organic thin-film transistors**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 09/2012, Diplom

L. Yan, **Experimentelle Optimierung neuartiger Plattenwärmetauscher als Hauptkomponenten einer Absorptionskälteanlage**, Hochschule München, Energie- und Gebäudetechnik, 09/2012, Bachelor

M. Zellmeier, **Zucht und Charakterisierung organischer Einkristalle**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 08/2012, Diplom

B. Zöller, **Thermisch induzierter Gastransport in porösen Materialien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 07/2012, Diplom

---

### 3.3.2.

#### Dissertationen

#### Doctoral Thesis

---

P. Desclaux, **Untersuchung des katalytischen Einflusses von Ceroxid auf die Direktverstromung von Kohlenstoff in einem SOFC-System**, Universität des Saarlandes, Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften, 10/2012

M. Liedtke, **Spektroskopische Untersuchung neuartiger Fullerenakzeptoren für organische Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 04/2012

M. Rydzek, **Infrarot-optische, elektrische und strukturelle Charakteristika spektralselektiver Funktionsschichten auf der Basis dotierter Metalloxide**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2012

## 3.4. | PATENTE

### PATENTS

M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, M. Greb, C. Grimm, J. Manara, Q. Nguyen, M. Rydzek, **Polystyrene rigid foam with coated aluminum-containing pigments, process for producing it and its use**, DE 102010025927A1 + EP 02402389A3

R. Auer, V. Gazuz, T. Kunz, **Herstellung eines Halbleiter-Bauelements durch Laser-unterstütztes Bonden**, DE 102011015283A1 + WO 2012130392A1

Gebrauchsmuster, **Absorberhalterung mit temperaturunabhängiger Konvektionsunterdrückung für rückseitig foliengedämmte Sonnenkollektoren**, DE 202011109063U1

K. Hagel, M. Helm, S. Hiebler, M. Himpel, C. Schweigler, **Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes eines Latentwärmespeichers und Latentwärmespeicher mit einer derartigen Ladezustandsanzeige**, DE 102011003441A1 + EP 02482021A2

G. Reichenauer, C. Scherdel, M. Wiener, S. Braxmeier, H. Fink, **Groß- und offenporiges C/C-Komposit mit hoher innerer Oberfläche, sowie Verfahren zur Herstellung desselben und dessen Anwendung**, DE 102010033380A1 + WO 2012051973A1

M. Wiener, G. Reichenauer, **Mechanisch stabile, nanoporöse Formkörper**, Verfahren zu ihrer Herstellung sowie deren Verwendung, DE 102010033379A1

T. Wildhage, S. Braxmeier, G. Reichenauer, C. Balzer, **Vorrichtung zur Bestimmung der In-Situ-Längenänderung bei Gasadsorption**, DE 102010027414A1



## 3.5. MITARBEIT IN GREMIEN

### MEMBERSHIP IN COMMITTEES

---

#### R. Auer

---

Mitglied Fachausschuss, **Sachverständigenwesen Photovoltaik (PV) und Photovoltaische Anlagentechnik (PVAT)**, IHK Mittelfranken

---

#### Prof. Dr. C.J. Brabec

---

Co-Organizer and Co-Chair, **27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (27. EU PVSEC)**, Frankfurt, Germany, 17.–21.09.2012

Co-Chair and Organizer, **3<sup>rd</sup> International Conference on Organic Photovoltaics**, Würzburg, Germany, 19.09.2012

Chair Advisory Board der Zeitschrift, **Advanced Energy Materials**, Wiley VCH

Gutachter, **Austrian Science Fund (FWF), German Research Foundation (DFG), the Baden-Württemberg Stiftung**

Editorial Board der Zeitschrift, **Emerging Materials Research**, ice publishing

Principal Investigator, **Energie Campus Nürnberg (EnCN)**

Member Scientific Advisory Committee, **Energy Center Netherlands (ECN)**, Petten, The Netherlands

Principal Investigator, **Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“**, Erlangen

Editorial Board der Online-Zeitschrift, **Future Photovoltaics**, Mazik Media

Mitglied, **Graduate School in Advanced Optical Technologies (SOAT)**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Member Scientific Evaluation Committee, **Holst Center**, Eindhoven, The Netherlands

Editorial Board der Zeitschrift, **Journal of Photonics for Energy**, SPIE

Session organizer, **MRS Fall Meeting 2012**, Boston, USA, 25.–30.11.2012

Editorial Board der Zeitschrift, **Progress in Photovoltaics**, Wiley VCH

---

#### Dr. C. Buerhop

---

Stellvertretende Vorsitzende, **Instandhaltung von PV-Anlagen, Thermographie, VDI-GPL** Fachausschuß

---

#### Prof. Dr. V. Dyakonov

---

Co-chair and Organizer, **3<sup>rd</sup> International Conference on Organic Photovoltaics**, Würzburg, Germany, 19.09.2012

International Advisory Committee, **5<sup>th</sup> International Symposium “Technologies for Polymer Electronics” (TPE 12)**, Rudolstadt, Germany, 22.–24.05.2012

Mitglied des Beirats, **Bayerischer Cluster „Energietechnik“**, Nürnberg

Mitglied des Kuratoriums, **Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoffzentrum**, Würzburg

Mitglied im Vorstand, **Physikalisches Institut**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

---

#### Dr. H.-P. Ebert

---

Gutachterliche Tätigkeit, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Europäische Union (EU), United States Department of Agriculture**

Mitglied International Organizing Committee, **European Conference on Thermophysical Properties (ECTP)**

Mitglied, **Fachforum „Erneuerbare Energien“ der Region Mainfranken**

Mitglied des Programmkomitees, **FVEE-Jahrestagung „Forschung für das Zeitalter der Erneuerbaren Energien“**, Berlin

Mitglied, **IHK Industrie-, Technologie- und Forschungsausschuss**

Vorsitz, **Lenkungsausschuss Arbeitskreis Thermophysik**, Gesellschaft für thermische Analyse e.V. (GEFTA)

Mitglied, **Prüfungsausschuss Physiklaboranten der IHK Würzburg-Schweinfurt**

---

#### Prof. Dr. J. Fricke

---

Sprecher, **Cluster Energietechnik**

---

#### Dr. A. Hauer

---

Member of the Scientific Committee, **12<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage (Innostock 2012)**, Lleida, Spain, 16.–18.05.2012

Member of the Scientific Committee, **3<sup>rd</sup> International Conference on Energy Process Engineering „Transition to Renewable Energy Systems“**, Frankfurt am Main, Germany, 03.–06.06.2013

Session Chair, **ACHEMA 2012 – Congress, Energy Storage, Transport and Use: Thermal Energy Storage**, Frankfurt am Main, Germany, 19.06.2012

Member of the Conference Committee, **Energy Storage 2013 – International Summit for the Storage of Renewable Energies**, Düsseldorf, Germany, 13.–14.03.2012

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement „Energy Conservation Through Energy Storage ECES“**, Annex 24 “Compact Thermal Energy Storages – Material Development and System Integration”

Fachliche Leitung, **OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher**, Neumarkt, Germany, 05.07.2012

Fachliche Leitung, **VDI-Fachkonferenz „Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung“**, Ludwigsburg, Germany, 23.–24.10.2012

**Dr. U. Heinemann**

Scientific Committee, **11<sup>th</sup> International Vacuum Insulation Symposium**, Dübendorf, Switzerland, 19.–20.09.2013

**M. Helm**

Workpackage Leader, **IEA SHC Task 48: Quality Assurance and Support Measures for Solar Cooling**

**R. Kunde**

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 6012 Blatt 2.1: Regenerative/dezentrale Energiesysteme für Gebäude – Thermische Systeme; Biomasse-Feuerungsanlagen**, Düsseldorf

**Dr. J. Manara**

Mitglied, **Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 2.51 „Angewandte Strahlungsthermometrie“**

**Dr. H. Mehling**

Vertreter des ZAE Bayerns, **Gütegemeinschaft PCM e.V.**

Mitglied, **Richtlinienausschuss VDI 2164 „Latentspeichersysteme in der Gebäudetechnik“**

**Prof. Dr. J. Pflaum**

Co-Chair and Organizer, **3<sup>rd</sup> International Conference on Organic Photovoltaics**, Würzburg, Germany, 19.09.2012

Member of the Programm Committee, **8<sup>th</sup> International Conference on Organic Electronics (ICOE 2012)** Tarragona, Spain, 25.–27.06.2012

Gutachterliche Tätigkeit, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Alexander von Humboldt Stiftung, Carl-Zeiss-Stiftung, BW-Stiftung**

Mitglied im Vorstand, **Physikalisches Institut, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**C. Rathgeber**

Expert Annex 25, **IEA - ECES IA- Annex 25: Surplus Heat Management using Advanced TES for CO<sub>2</sub> Mitigation**

**Dr. G. Reichenauer**

Mitglied, **Arbeitskreis Kohlenstoff**

Mitglied, **DIN-Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik“**

**M. Reuß**

Wissenschaftliche Leitung und Programmstellung, **3. VDI-Fachkonferenz „Wärmepumpen – Umweltwärme effizient nutzen“**, Düsseldorf, 19.–20.06.2012

Mitglied Koordinierungsgruppe, **Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU)**

German Delegate und Operating Agent, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement „Energy Conservation Through Energy Storage ECES“**, Annex 21 „Thermal Response Test“

Obmann und Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss der VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrunds“**

**M. Riepl**

Expert Task 48, **IEA SHC Task 48: Quality Assurance and Support Measures for Solar Cooling**

**Prof. Dr. C. Schweigler**

Wissenschaftliche Leitung und Programmstellung, **3. VDI-Fachkonferenz „Wärmepumpen – Umweltwärme effizient nutzen“**, Düsseldorf, 19.–20.06.2012

**Prof. Dr. H. Spliethoff**

Mitglied, **Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung e. V. (DVV)**, Essen

Mitglied, **Fachausschuss Energieverfahrenstechnik der GVC**, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC)

Mitglied, **Gutachtertätigkeit bei der EU und diversen Forschungseinrichtungen**

Vice President, **International Flame Research Foundation (IFRF)**, Italy

Jurymitglied, **M-Regeneration**, Förderpreis der Stadtwerke München

Mitglied, **The Combustion Institute**, Deutsche Sektion Göttingen

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss (VDI 3925)**

Mitglied, **Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik (VEU)**, Duisburg

Mitglied, **Wissenschaftlicher Beirat der VGB (Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber)**

**Dr. H. Weinläder**

Mitglied, **Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V.**

Mitglied, **Fachverband Transparente Wärmedämmung**

**S. Weismann**

Vertreter des ZAE Bayerns, **IBPSA-Germany, Regional affiliate of the International Building Performance Simulation Association**

## 3.6 | **VORLESUNGEN** LECTURES

C.J. Brabec, J. Zaumseil, **Devices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2012

C.J. Brabec, **Grundlagen 2 Materialien der Elektronik und Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2012

C.J. Brabec, **Grundlagen Werkstoffe der Elektronik und Energietechnik 1**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2011/12, WS 2012/13

C.J. Brabec, M. Bickermann, E. Meißner, S. Christiansen, **Kern-/Nebenfachseminar I-MEET**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2011/12, WS 2012/13

C.J. Brabec, P. Wellmann, M. Batentschuk, **Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Energietechnik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2011/12, WS 2012/13

C.J. Brabec, H. Egelhaaf, M. Halik, **Photo Physics**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

C.J. Brabec, **Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2012

C.J. Brabec, C. Pflaum, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

C.J. Brabec, K. Hertel, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2012

C.J. Brabec, **Thin Film Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

V. Dyakonov, J. Pflaum, **Mechanisch-thermische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, WS 2012/13

V. Dyakonov, H.P. Ebert, J. Manara, H. Mehling, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2012

V. Dyakonov, **Opto-elektronische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2012

V. Dyakonov, V. Drach, **Physikalisches Praktikum zur Physikalischen Technologie der Materialsynthese**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, WS 2012/13

V. Dyakonov, J. Fricke, J. Pflaum, **Seminar über Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, SS 2012, WS 2012/13

V. Dyakonov, **Seminar: Spektroskopie organischer Halbleiter**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, SS 2012, WS 2012/13

J. Fricke, A. Förtig, **Einführung in die Energietechnik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, WS 2012/13

J. Fricke, **Seminar: Spezielle Fragen der Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2011/12, SS 2012, WS 2012/13

A. Hauer, M. Reuß, **Ring-Vorlesung Thermische Energiespeicher**, TU München, SS 2012

R. Kunde, J.M. Kuckelkorn, **Ausgewählte Themen der Gebäudetechnik**, Hochschule München, SS 2012

J. Manara, **Physikalische Grundlagen im Bereich der Medizintechnik**, Krankenpflegeschule an der Klinik Kitzinger Land, WS 2012

H. Mehling, **Einführung in den Einsatz von Latentwärmespeichern in Gebäuden**, Hochschule München, SS 2012

H. Mehling, **Einführung in den Einsatz von Latentwärmespeichern in Gebäuden**, Hochschule Augsburg, SS 2012

J. Pflaum, A. Schöll, W. Winter, **Hauptseminar - Grundlagen der Experimentellen und Theoretischen Physik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13

J. Pflaum, M. Bode, K. Fauth, M. Sing, **Oberseminar Nanostrukturtechnik (Fortgeschrittene Themen der Nanowissenschaften)**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2012

J. Pflaum, M. Bode, K. Fauth, M. Sing, **Oberseminar Physik (Fortgeschrittene Themen der Experimentellen Physik)**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2012

J. Pflaum, **Organische Halbleiter**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2012

H. Spliethoff, **Energiesysteme I**, TU München, WS 2012/13

H. Spliethoff, **Energiesysteme II**, TU München, SS 2012

## 3.7. | SONSTIGES MISCELLANEOUS

T. Beikircher, Auszeichnung, „**Bester Vortrag der Konferenz“ Gleisdorf Solar 2012**, Vortrag „Superisolierter H<sub>2</sub>O-Langzeit-Wärmespeicher mit neuartigem Schichtenlader für hohe solare Deckungsgrade“, 13.09.2012

C. Buerhop, Messestand, **Intersolar Messe München**, München, 13.–15.06.2012

H. Fink, M. Rzepka, F. Herzog, Fernsehbeitrag, **Bayerische Forscher entwickeln neue Wärme- und Stromspeicher**, SAT1 Bayern am 28.12.2012

A. Hauer, A. Krönauer, W. Dallmayer, Aussteller, **„Woche der Umwelt“ – Energieeffizienzsteigerung durch Adsorptionsprozesse**, Der Bundespräsident und die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Berlin, 05.–06.06.2012

A. Hauer, A. Krönauer, 1. Expertenworkshop, **Energieeffiziente Hausgeräte in der Energieversorgung der Zukunft – Potenziale und Hemmnisse in der Kommunikation verteilter Energiespeicher in einem intelligenten Netz**, BMWi / PTJ, Bonn, 22.03.2012

A. Hauer, A. Krönauer, 2. Expertenworkshop, **Energieeffiziente Hausgeräte in der Energieversorgung der Zukunft – Potenziale und Hemmnisse in der Kommunikation verteilter Energiespeicher in einem intelligenten Netz**, BMWi / PTJ, Garching, 22.10.2012

A. Hauer, Task-Definition Workshop, **Integration of Renewable Energies by distributed Energy Storage Systems**, IEA, Paris, 18.–19.09.2012

A. Hauer, M. Riepl, BMU Expertengespräch, **Solare Klimatisierung**, Berlin, 06.11.2012

U. Heinemann, Zuarbeit, **Dokumentation – Fassadendämmung mit Vakuum-Isolationspaneelen bei Baudenkmal der „Neuen Sachlichkeit“ in Frankfurt am Main**, Energie-Referat Frankfurt

U. Heinemann, Zuarbeit, **Michael Vogel: Mollig warm**, Physik Journal 11 (2012) Nr. 3.

U. Hoyer, Messestand, **Cluster Energietechnik Bayern Innovativ – Cluster Treff „Langzeitbetrieb von PV-Anlagen“**, München, 17.07.2012

C. Jacobsen, J.M. Kuckelkorn, Exkursion, **„Passivhausneubau FOS BOS Erding“ für den Masterstudiengang ClimaDesign**, Lehrstuhl Bauklimatik und Haustechnik, TU München, Erding, 12.07.2012

J.M. Kuckelkorn, R. Kunde, M. Radspieler et al., **Sustainable Architecture and Design – Summer School 2012**, Forschungsschwerpunkte des ZAE Bayern, Garching, 26.06.2012

R. Kunde, Jury, **Biomasseseminar**, TU München, SS 2012

E. Lävemann et al., Präsentation, **Mobiler Wärmespeicher**, Messe IFAT, München, 07.–11.05.2012

E. Lävemann, Open Space Moderation, **Wärme- und Kältespeicher**, Netzwerk-Dialog SÜD, IHK München, 24.05.2012

M. Reuß, Presseworkshop der TUM, **Das ZAE Bayern und die Arbeiten der Solarthermiegruppe**, Garching, 24.01.2012

# ADRESSEN

## ADDRESSES

Sitz des Vereins (VR 1386) | Registered Office

ZAE Bayern  
Am Galgenberg 87, 97074 Würzburg, Germany

+49 931/705 64 - 0

+49 931/705 64 - 600

info@zae.uni-wuerzburg.de

### Abteilung | Division

Technik für Energiesysteme  
und Erneuerbare Energien  
Technology for Energy Systems  
and Renewable Energy

Walther-Meißner-Str. 6  
85748 Garching  
Germany

+49 89 / 32 94 42 - 0

+49 89 / 32 94 42 - 12

info1@muc.zae-bayern.de







Abteilung | Division

Funktionsmaterialien der  
Energietechnik  
Functional Materials for  
Energy Technology

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg  
Germany

+49 931/7 05 64 - 0  
+49 931/7 05 64 - 600

info2@zae.uni-wuerzburg.de



Abteilung | Division

Thermosensorik und Photovoltaik  
Thermosensors and Photovoltaics

Haberstraße 2a  
91058 Erlangen  
Germany

+49 91 31/ 93 98 - 100  
+49 91 31/ 93 98 - 199

info3@zae.uni-erlangen.de





**MIT SONNE UND VERSTAND.**



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung





**ZAE BAYERN**

**Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung**