

**2013**

**TÄTIGKEITSBERICHT  
ANNUAL REPORT**

**MIT SONNE UND VERSTAND.**



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# 2013

# 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 | Executive Board**

Prof. Dr. Christoph J. Brabec (Vorsitzender | Chairman of the Board)

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov

Dr. Bernd Malkowski (Geschäftsführer | Managing Director)

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff

Stand: 31. Dezember 2013

Status: 31 December 2013

**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  
Petra Höglmeier, München

### Redaktion und Bearbeitung

Anja Matern-Lang, Dr. Christian Scherdel

### ZAE Bayern

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg

☎ +49 931 70564-0

☎ +49 931 70564-600

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

✉ [pr@zae-bayern.de](mailto:pr@zae-bayern.de)

### Konzept und Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

### Druck

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energie-  
forschung e.V. (ZAE Bayern), Würzburg, April 2014

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung, Kopie oder  
Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung.

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  
Petra Höglmeier, Munich

### Coordination and Editing

Anja Matern-Lang, Dr. Christian Scherdel

### ZAE Bayern

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg

☎ +49 931 70564-0

☎ +49 931 70564-600

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

✉ [pr@zae-bayern.de](mailto:pr@zae-bayern.de)

### Concept and Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, Munich

### Print

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

Bavarian Center for Applied Energy Research  
(ZAE Bayern), Würzburg, April 2014

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 Facts & 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 2013 . . . . .	30	1.6	Official Visitors in 2013 . . . . .	30
1.7	Ausblick . . . . .	33	1.7	Outlook . . . . .	33
<b>2.0 FORSCHUNG AM ZAE BAYERN . . . . .</b>		<b>36</b>	<b>2.0 RESEARCH AT ZAE BAYERN . . . . .</b>		<b>36</b>
2.1	Photovoltaik . . . . .	40	2.1	Photovoltaics . . . . .	40
2.2	Energiespeicher . . . . .	48	2.2	Energy Storage . . . . .	48
2.3	Energieoptimierte Gebäude . . . . .	52	2.3	Energy Optimized Buildings . . . . .	52
2.4	Energieeffiziente Prozesse . . . . .	58	2.4	Energy Efficient Processes . . . . .	58
2.5	Nanomaterialien . . . . .	64	2.5	Nanomaterials . . . . .	64
2.6	Thermophysik und -sensorik . . . . .	68	2.6	Thermophysics and Thermosensorics . . . . .	68
2.7	Systemtechnische Modellierung . . . . .	72	2.7	Systems Modelling . . . . .	72
<b>3.0 VERÖFFENTLICHUNGEN . . . . .</b>		<b>76</b>	<b>3.0 PUBLICATIONS . . . . .</b>		<b>76</b>
3.1	Vorträge und Poster . . . . .	78	3.1	Presentations and Posters . . . . .	78
3.2	Veröffentlichungen . . . . .	86	3.2	Publications . . . . .	86
3.3	Studienabschlussarbeiten und Dissertationen . . . . .	91	3.3	Degree and Doctoral Theses . . . . .	91
3.4	Patente . . . . .	93	3.4	Patents . . . . .	93
3.5	Mitarbeit in Gremien . . . . .	94	3.5	Membership in Committees . . . . .	94
3.6	Vorlesungen . . . . .	97	3.6	Lectures . . . . .	97
3.7	Sonstige . . . . .	98	3.7	Miscellaneous . . . . .	98
	Adressen und Anfahrtsskizzen . . . . .	100		Addresses and how to find us . . . . .	100

## 0.2 | VORWORT

### FOREWORD

**Christoph J. Brabec**  
 Vorstandsvorsitzender  
 Wissenschaftlicher Leiter des Bereichs  
 Erneuerbare Energien  
 Chairman of the Executive Board  
 Scientific Director of division  
 Renewable Energies



Liebe Freunde des ZAE Bayern,

2013 war das kontroverseste Jahr der Energiewende in Deutschland. Einerseits unterstützen und leben die deutschen Bürger die Energiewende mit beispiellosem Enthusiasmus, andererseits nutzten Politiker wie auch Medien die letzte Wahlkampagne um Kosten und Risiken der Umgestaltung des Energiesystems in Deutschland hochzuspielen. Beide Seiten nennen einen wesentlichen Gesichtspunkt. Die Deutsche Energie Agentur berichtete im Dezember, dass 7 von 10 Deutschen als deren persönlichen Beitrag für eine erfolgreiche Energiewende freiwillig im Haushalt Energie sparen. Energieeffizienz ist der treibende Geist für den Energiewandel. Und: Jeder kann dazu beitragen, ohne dass es eines komplexen Gesetzes- oder Anreizsystems bedarf. Trotzdem tritt die Umgestaltung des deutschen Energiesystems in die kritische Phase, in der die wichtigsten Entscheidungen zu treffen sind. Diese Entscheidungen beinhalten die Bestimmungen des EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) und auch der EWG (Europäische Wirtschaftsgemeinschaft). Die individuellen Entwicklungsziele der verschiedenen Plattformen für erneuerbare Energien müssen mit Bedacht aufeinander abgestimmt werden. Die Zukunft des Netzwerkes muss Hand in Hand mit technisch und ökonomisch durchführbaren Energiespeicherlösungen entwickelt werden und dabei die Anforderungen der Industrie und des Verkehrs berücksichtigen. 80% unseres Bruttostromverbrauchs soll bis 2050 durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Die Technologien, die benö-

Dear friends of ZAE Bayern,

2013 was the most controversial year of Germany's energy transition. On the one hand, the German population supports and lives the energy transition with unprecedented enthusiasm. On the other hand, politicians as well as media used the most recent election campaign to highlight the costs and the risks of the transformation of the German energy system. Both sides do make an essential point. Dena reported in December that seven out of 10 Germans are deliberately saving energy in the household as their very personal contribution to a successful energy turnaround. Energy efficiency is the key spirit of the energy transition – and everyone can contribute to it without the need of complex legislation or incentive systems. Nevertheless, the transformation of the German energy system does enter the critical phase with the most important decisions to be made. These decisions concern the regulation of the EEG (Erneuerbare Energien Gesetz – “Renewable Energy Sources Act”) but also of the EEC (European Economic Community). The individual development goals for the various renewable energy platforms need to be thoughtfully aligned. The future of the grid has to be designed hand in hand with technically and economically viable energy storage solutions, while respecting the requirements from industry and transportation. 80% of our gross power consumption shall be provided by renewable energies by 2050. The required technologies to meet these development goals are identified and can be made

tigt werden, um diese Entwicklungsziele erreichen zu können, sind definiert und können bereitgestellt werden: Sonne, Wind, effiziente Energiespeicher (wie gepumptes Wasser, Wasserstoff oder „power-to-gas“), „power-to-heat transformation“ und intelligente Energieversorgungssysteme sind die Stützpfiler einer erfolgreichen Wende.

Als der Deutsche Bundestag 2010 die Gesetze zur Zielsetzung einer Zukunft der Erneuerbaren Energien verabschiedete und damit die Zeit der Kernenergie beendete, herrschte in allen Parteien und Bevölkerungsschichten einstimmig Unterstützung. Heute, 2014 und 2015 - Jahre in denen wir die Weichen für die individuelle Technologieplattform stellen müssen - ist derselbe Geist wieder gefragt.

Neue Herausforderungen benötigen neue Strukturen, und das ZAE Bayern hat sich 2013 erheblich verändert. Mit der Unterstützung unserer Kuratoren und dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie ist es uns gelungen, eine flexiblere Leitungsstruktur zu errichten, welche es uns erlaubt, für die kommenden Herausforderungen besser gewappnet zu sein. Die wichtigste und offensichtlichste Veränderung ist, dass das ZAE Bayern nun einen engagierten, hauptamtlichen Geschäftsführer hat, der ebenfalls Mitglied des Vorstands ist. Es ist mir eine Freude, Herrn Dr. Bernd Malkowski vorzu-

available: solar, wind, efficient energy-storages (like pumped water, hydrogen or power to gas), power to heat transformation and smart power-supply systems are the pillars of a successful transition.

There was unanimous support in 2010 across all parties and population stratum, when the German parliament adopted legislation that set the targets for a renewable energy future and committed to the nuclear power phase-out. Now, in 2014 and 2015, when we have to execute the position of points for the individual technology platforms, the same spirit is required again.

New challenges require novel structures, and ZAE Bayern has changed significantly in 2013. With the support from our curators and the State Ministry for Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology, we managed to install a much more flexible executive structure, allowing to better address the upcoming challenges. As the most significant and visible change, ZAE Bayern now has a dedicated full time chief executive officer, who also is member of the executive board. It is my pleasure to introduce Dr. Bernd Malkowski, who joined ZAE Bayern as full time CEO in fall 2013. Dr. Malkowski has a long time industrial background in renewable energies and we are excited to welcome him as an expert and as a colleague.



stellen. Herr Malkowski ist seit Herbst 2013 hauptberuflich für das ZAE Bayern tätig. Er hat langjährige Erfahrung in der Industrie im Bereich Erneuerbare Energie und wir freuen uns, ihn als Experten und Kollegen willkommen zu heißen.

Unser größtes Bauprojekt konnte in diesem Jahr erfolgreich abgeschlossen werden. Das neue Forschungsgebäude in Würzburg wurde im Sommer 2013 vom Bayerischen Wirtschaftsminister Martin Zeil, der 2012 bereits die Forschungsgebäude in Erlangen und Garching eröffnet hatte, offiziell eingeweiht. Das Gebäude in Würzburg ist gleichzeitig unsere richtungsweisende „Demonstration von Energieeffizienz und der Einsatz erneuerbarer Energieträger am Neubau eines innovativen Forschungsgebäudes – DEENIF“, ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiiertes Forschungsprojekt. Alle drei Bauprojekte wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert. Wir möchten dem Ministerium und insbesondere Herrn MR Schneyer, der das ZAE Bayern seit vielen Jahren unermüdlich unterstützt, unseren Dank aussprechen.

In diesem Jahr konnten weitere Langzeit-Infrastrukturprojekte beendet werden. Die Forschungslabore des EnCN wurden in Nürnberg „Auf AEG“ eröffnet und die Übernahme sowie der weitere Aufbau der „Solarfabrik der Zukunft“ beim EnCN dauert derzeit noch an.

Our major infrastructure efforts came to a happy end this year. The new research building in Würzburg was officially opened in summer 2013 by the Bavarian Minister for Economic Affairs Martin Zeil, who already had opened the research buildings in Erlangen and Garching in 2012. The building in Würzburg is in parallel our beacon research “Demonstration of Energy Efficiency and the Application of Renewable Energy Sources on the New Innovative Research Building – DEENIF”, a BMBF initiated research project. All three building projects were supported by the Bavarian Ministry for Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology, and we want to express our gratitude towards the ministry and especially to MR Schneyer, who unrestingly has been supporting ZAE Bayern for many years now.

Further long time infrastructure projects could be finalized this year. The EnCN research labs were opened in Nürnberg „Auf AEG“, and the transfer and further build-up of the „Solarfactory of the Future“ at the EnCN site are ongoing.

Science, applied energy research and renewable energy development are the passion of ZAE Bayern and its employees. The former federal minister for environment, Dr. Peter Altmaier, recognized ZAE Bayern as one of the pioneers of the energy transition, and I want to express my sincere gratitude to our colleagues and employees for their reliable commitment and their fantastic work.

Wissenschaft, angewandte Energieforschung und die Entwicklung erneuerbarer Energie sind die Leidenschaft des ZAE Bayern und seiner Mitarbeiter. Der ehemalige Bundesminister für Umwelt, Dr. Peter Altmaier, erkannte das ZAE Bayern als einen der Pioniere der Energiewende, und ich möchte unseren Kollegen und Mitarbeitern meinen aufrichtigen Dank für ihr zuverlässiges Engagement und ihre fantastische Arbeit aussprechen.

Mein herzlichstes Dankeschön geht an unser Kuratorium und unseren Wissenschaftlichen Beirat für deren langjähriges Engagement zum Wohle des ZAE Bayern. Der Vorsitzende des Kuratoriums, Herr Dr.-Ing. Roland Hofer, und der Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats, Herr Prof. Dr. Manfred Stamm, halfen uns auf professionellste und angenehmste Weise durch die Veränderungen und Herausforderungen des Jahres 2013 hindurch.

Wir blicken mit Spannung auf 2014. Der Freistaat Bayern hat eine neue Regierung und sämtliche Bereiche der Energieforschung wurden im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie gebündelt. Wir wünschen Staatsministerin Ilse Aigner für die zukünftigen Herausforderungen alles Gute und freuen uns darauf, unsere gemeinsamen Bestrebungen zum Erreichen einer erfolgreichen Energiewende noch zu verbessern.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen unseres Tätigkeitsberichts. Wir alle freuen uns auf Ihre kritischen Fragen und Vorschläge. Denn dies ist die beste Möglichkeit, Ihrem Interesse Ausdruck zu verleihen.

Christoph J. Brabec

7. Januar 2014

My sincere appreciation goes to our board of trustees and the scientific advisory committee for their long time engagement for the good of ZAE Bayern. Dr.-Ing. Roland Hofer, head of the board of trustees, and Prof. Dr. Manfred Stamm, head of the scientific advisory committee, helped us through the changes and challenges of 2013 in the most professional and pleasant way.

We are looking towards 2014 with excitement. The state of Bavaria has a new government, and research on energy across all disciplines became centered in the Bavarian State Ministry for Economic Affairs and Media, Energy and Technology. We wish State Minister Ilse Aigner all the best for the future challenges and are looking forward to enhancing our joint efforts for a successful energy transition.

I hope you enjoy reading our annual report. We are all looking forward to your critique, questions as well as suggestions, since this is the best way to express your interest.

Christoph J. Brabec

7<sup>th</sup> January 2014





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



**Dr. B. Malkowski**  
Geschäftsführer  
Managing 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 sowie der Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten, die für die Energieforschung bedeutsam sind. Der Verein unterhält ein wissenschaftliches Forschungsinstitut mit den Hauptstandorten Würzburg, Erlangen und Garching, an welchen rund 200 Wissenschaftler, technische Mitarbeiter, 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. Das ZAE Bayern forscht unter anderem auf den Gebieten:



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 main locations in Würzburg, Erlangen and Garching, employing about 200 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. ZAE Bayern performs research in many fields including



Photovoltaics



Energy Storage



Energy Optimised Buildings



Energy Efficient Processes



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



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



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



**Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo**  
Bereichsleiter Zentrale Verwaltung  
Head of Central Administration

und befasst sich mit den Querschnittsthemen:



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. Zahlreiche 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 des ZAE. Rund 29 Diplomanden, Master- und Bacheloranden sowie Praktikanten fertigten im Jahre 2013 ihre Diplom-, Master-, Bachelor- bzw. Projektarbeiten in den ZAE-Laboratorien an.

#### KOOPERATIONEN

Das ZAE Bayern fördert die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Zu diesem Zweck strebt es Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und der Industrie an. Verbundprojekte, die gemeinsam mit industriellen Partnern durchgeführt werden, profitieren von der engen Vernetzung und den hieraus resultierenden Synergieeffekten. Eine erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln ermöglicht dem ZAE Bayern die Stärkung seiner Aktivitäten im Bereich der Energieforschung, ein Wachstum im Personalbereich

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 29 graduates, master and bachelor students and interns completed their degree, master and bachelor theses or project work at ZAE Bayern in 2013.

#### COOPERATIONS

ZAE Bayern 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, ZAE Bayern is not only able to strengthen its activities of energy research, but is also experiencing growth in human

sowie Investitionen in technische Geräte, um sich auch auf nationaler und auf internationaler Ebene stärker zu positionieren. 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. Ferner ist das ZAE Bayern Gründungsmitglied des Energie Campus Nürnberg (EnCN). Der EnCN ist eine auf dem Gebiet der Energieforschung aktive Forschungs-kooperation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, der TH Nürnberg, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und des ZAE Bayern am Standort Nürnberg. Das ZAE Bayern ist außerdem Partner in der interdisziplinären Forschungsinitiative TUM.Energy.

#### ORGANISATION

Das Institut gliedert sich in drei wissenschaftliche Bereiche und die Zentralverwaltung. Der Bereich „Energiespeicherung“ in Garching wird von dem wissenschaftlichen Leiter Professor Dr.-Ing. H. Spliethoff und dem Bereichsleiter Dr. A. Hauer geleitet. Dort werden Forschungs- und Entwicklungsthemen auf den Gebieten Wärmespeicherung und -transformation, elektrochemische Wandlung und Speicherung sowie Systemanalyse bearbeitet. Weitere FuE-Schwerpunkte werden in den Bereichen Biomasse, Geothermie und Solarthermie gesetzt. Den Bereich „Erneuerbare Energien“ in Erlangen leitet Professor Dr. C. J. Brabec zusammen mit Dipl.-Ing. R. Auer. Zu den Forschungsaufgaben dort gehört die Entwicklung neuer Solarzellenkonzepte und Bauelemente auf Basis von dünnem, kristallinem Silizium sowie von druckbaren Solarzellen und lösungsmittelbasierten Produktionstechnologien. Die Entwicklung und Nutzung bildgebender Infrarotmesstechnik mit hoher Orts- und Zeitauflösung für die Photovoltaik sowie die Forschung auf dem Gebiet intelligenter Stromnetze komplettieren das Forschungsspektrum des Bereiches. Der Bereich „Energieeffizienz“ in Würzburg wird von Professor Dr. V. Dyakonov und Dr. H.-P. Ebert geleitet. FuE-Schwerpunkte werden unter anderem auf dem Gebiet 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 thermophysikalischen, optischen und elektrischen Eigenschaften z. B. bei der energetischen Optimierung des Gebäudebestands. Das ZAE Bayern hat eine eigenständige Zentrale Verwaltung.

resources and investments in technical equipment, in order to increase its national and international competitiveness. ZAE Bayern has special close ties with the universities in Munich (TUM), 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 Energie Campus Nürnberg (Energy Campus Nürnberg) (EnCN). EnCN is a research cooperation between the Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg, the TH 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. Furthermore, ZAE Bayern is a partner in the network Renewable Energies of the research initiative "TUM.Energy".

#### ORGANIZATION

The institute comprises three scientific divisions and the central administration. The division "Energy Storage" in Garching 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 "Renewable Energies" in Erlangen is headed by Prof. Dr. C. J. Brabec together with the head of division R. Auer (Dipl.-Ing.). The fields of research include developing solar cell concepts and components on the basis of thin, crystalline silicon, as well as printable solar cells and solvent-based production technology. Development and usage of high (spatial and temporal) resolution infrared imaging for photovoltaics, as well as research on smart grids rounds off the division's spectrum of research. The division "Energy Efficiency" in Würzburg is managed by Professor Dr. V. Dyakonov and Dr. H.-P. Ebert. The field of sol-gel-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's central administration is headed by, T. Pharo (Dipl.-Betriebswirt). The team is based in Würzburg and deals with human resources, controlling, accounting and public relations. The central administration team also maintains liaison between the executive board, the scientific divisions

Unter der Führung des Bereichsleiters Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo bearbeitet das in Würzburg ansässige Team die Themengebiete Personalwesen, Controlling, Buchhaltung und Öffentlichkeitsarbeit. Die Verwaltung arbeitet an der Schnittstelle von ZAE-Vorstand, den wissenschaftlichen Bereichen des ZAE und externen Kooperationspartnern. Von der Zentralen Verwaltung wird auch die Arbeit von Vorstand, Kuratorium, Wissenschaftlichem Beirat und Trägerverein unterstützt und organisiert. Seit September 2013 ist Herr Dr. B. Malkowski als hauptamtlicher Geschäftsführer und Mitglied des Vorstandes des ZAE Bayern tätig.

#### ORGANE DES VEREINS

Organe des ZAE Bayern sind die Mitgliederversammlung, das Kuratorium und der Wissenschaftliche Beirat. Ende 2013 hatte der Verein „Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.“ 37 Mitglieder, bestehend aus Mitgliedern von Amts wegen, natürlichen Personen, Unternehmen, Verbänden und Institutionen sowie 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 belegten auch die engen Partnerschaften und Geschäftsbeziehungen zwischen dem ZAE Bayern und seinen Mitgliedern.

Die ordentliche Mitgliederversammlung des ZAE Bayern fand am 20. November 2013 im ZAE Bayern in Garching 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 zum 31.12.2013 aus 5 Vertretern aus den Bereichen der Forschung, der Wirtschaft und des öffentlichen Lebens. Es berät den Vorstand in allen dessen wirtschaftlichen Belangen und steht ihm bei der Durchführung seiner Aufgaben beratend zu Seite. Der Wissenschaftliche Beirat (Vorsitz: Prof. Dr. M. Stamm) bestand im Jahr 2013 aus 8 Vertretern der Hochschulen, außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und der Industrie. Er führt regelmäßig eine interne wissenschaftliche Evaluierung des ZAE Bayern durch.

Der Institutsvorstand bestand zum 31.12.2013 aus den Professoren Dr. C. J. Brabec (Erlangen, Vorsitzender), Dr. V. Dyakonov (Würzburg), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching) und dem Geschäftsführer Dr. B. Malkowski. Der Vorstand des ZAE Bayern ist unter anderem für die Forschungs-, Ausbau-, Personal- und Finanzplanung verantwortlich.

and external partners. They also support and organize the work of the executive board, the scientific divisions, the executive board of trustees, the scientific advisory committee and the association. Since September 2013 Dr. B. Malkowski has joined ZAE Bayern as full time CEO and member of the board.

#### GOVERNING BODIES

The bodies of ZAE Bayern are the general assembly, the board of trustees and the scientific advisory committee. At the end of 2013, the “Bavarian Center for Applied Energy Research” registered association had 36 members consisting of members ex officio, natural persons, companies, associations/institutions as well as 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.

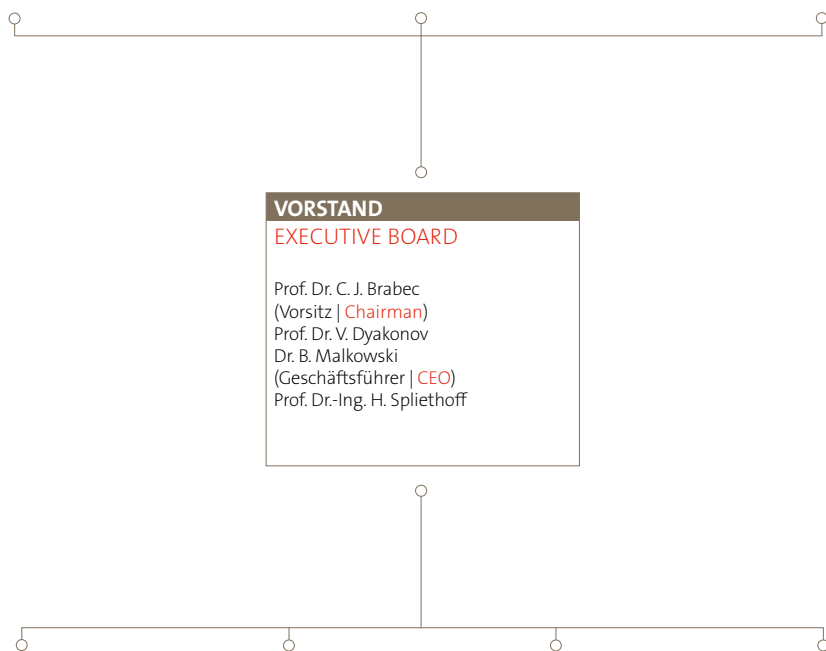
ZAE Bayern’s general assembly took place the 20<sup>th</sup> November 2013 at ZAE Bayern in Garching. After the annual reports were presented by chairman of the executive board, Prof. Dr. V. Dyakonov, and chairman of the board of trustees, Dr.-Ing. R. Hofer, the executive board’s and board of trustees’ actions in 2013 were approved. The board of trustees composes of 5 representatives as of 31<sup>st</sup> December 2013 from the areas of research, economy and public life. It executive board of directors in all economic, as well as energy-policy issues and provides advice in the execution of its work. The scientific advisory committee consisted of 8 representatives from universities, non-university research institutions and the industry by the end of 2013. It regularly conducts internal scientific evaluations of ZAE Bayern.

As of 31<sup>st</sup> December 2013 the institute’s executive board consisted of the professors Dr. C. J. Brabec (Erlangen, chairman), Dr. V. Dyakonov (Würzburg), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching) and CEO Dr. B. Malkowski. The executive board of ZAE Bayern is responsible especially for planning research, expansion, personnel and the financing.





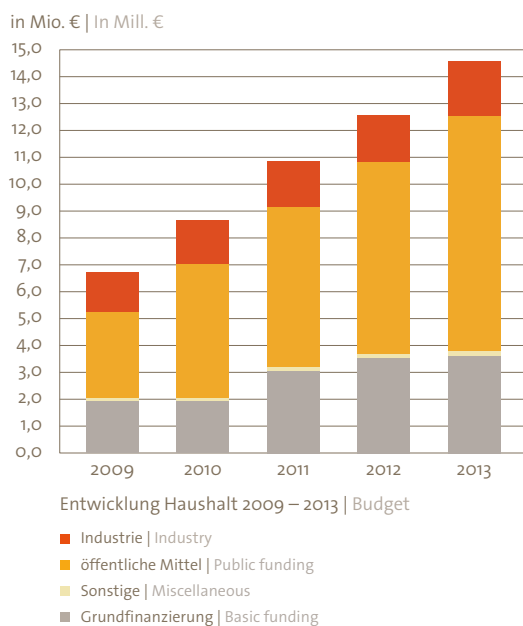
<p><b>MITGLIEDERVERSAMMLUNG</b> GENERAL ASSEMBLY</p> <p>Mitglieder: Industrieunternehmen, Verbände, natürliche Personen, Mitglieder von Amts wegen und Ehrenmitglieder Members from industrial enterprises and associations as well as natural persons, members ex officio and honorary members</p>	<p><b>KURATORIUM</b> BOARD OF TRUSTEES</p> <p>Kuratoren aus Wirtschaft, Wissenschaft und Ministerien Trustees from industry, science and ministries</p>	<p><b>WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT</b> SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE</p> <p>Beiräte aus Industrie und Wissenschaft Advisors from industry and science</p>
---	---	--



ENERGIESPEICHERUNG	ENERGIEEFFIZIENZ	ERNEUERBARE ENERGIEN	ZENTRALE VERWALTUNG
<p><b>ENERGY STORAGE</b></p> <p>Standort   Location Garching Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff Dr. A. Hauer</p>	<p><b>ENERGY EFFICIENCY</b></p> <p>Standort   Location Würzburg Prof. Dr. V. Dyakonov Dr. H.-P. Ebert</p>	<p><b>RENEWABLE ENERGIES</b></p> <p>Standorte   Locations Erlangen, Nürnberg, Hof Prof. Dr. C. J. Brabec Dipl.-Ing. R. Auer</p>	<p><b>CENTRAL ADMINISTRATION</b></p> <p>Standort   Location Würzburg Dipl.-Betriebsw. (FH) T. Pharo</p>
<p>Systementwicklung Systems Engineering</p> <p>Solarthermie und Geothermie Solar Thermal and Geothermal</p> <p>Thermische Energiespeicher Thermal Energy Storage</p> <p>Elektrochemische Energiespeicher Electrochemical Energy Storage</p> <p>Wärmetransformation Heat Conversion</p>	<p>Angewandte IR-Metrologie Applied IR Metrology</p> <p>Energieoptimierte Gebäude Energy-Optimised Buildings</p> <p>Nanomaterialien Nanomaterials</p> <p>Organische PV und Elektronik Organic PV and Electronics</p> <p>Thermische Analyse Thermal Analysis</p>	<p>Solarfabrik der Zukunft Solar Fab of the Future</p> <p>PV-Systeme PV Systems</p> <p>Bildgebende Verfahren und Thermosensorik Imaging and Thermosensorics</p> <p>Smart Grids Smart Grids</p>	<p>Zentrale Verwaltung und Öffentlichkeitsarbeit Central Administration and Public Relations</p>

## 1.2 DAS ZAE BAYERN IN ZAHLEN

### ZAE BAYERN IN FACTS & FIGURES



#### HAUSHALT UND FINANZEN

Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2013 auf ca. 14,6 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2009 bis 2013 weist für das Jahr 2013 eine Grundfinanzierung vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (BayStMWI) in Höhe von 3,6 Mio. € aus. 10,9 Mio. € aus Drittmitteln sowie 0,1 Mio. € sonstige Einnahmen konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 8,8 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 2,1 Mio. € Industriemitteln zusammen.

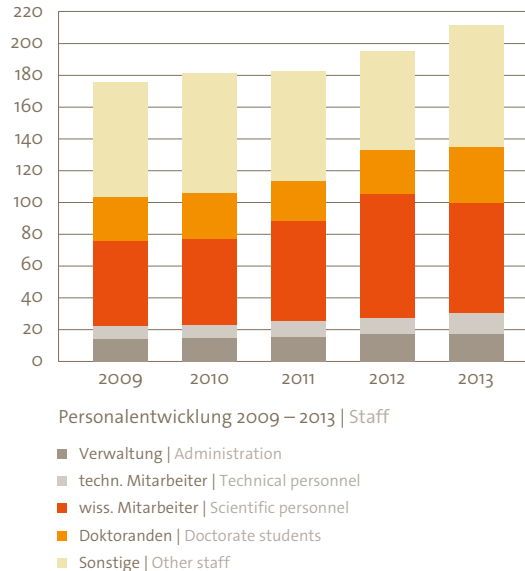
Den Einnahmen stehen 6,8 Mio. € Personalausgaben, 2,6 Mio. € Sachausgaben sowie Investitionen in Höhe von 5,2 Mio. € gegenüber. Insgesamt wurden im Jahr 2013 256 Projekte mit 250 Partnern bearbeitet.

#### PERSONAL UND RÄUMLICHKEITEN

Zum Jahresende 2013 waren am ZAE Bayern 211 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Werkstofftechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 26 %. 35 Doktoranden, 18 Diplomanden und 11 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 31 % der Mitarbeiter in Ausbildung.

Dem ZAE Bayern steht eine Hauptnutzfläche von ca. 6000 m<sup>2</sup> zur Verfügung, wovon etwa die Hälfte als Laborfläche genutzt wird.

Anzahl | Amount



#### BUDGET AND FINANCES

In 2013, the institute's budget came to € 14.6 m. The development of income from 2009 to 2013 depicted in Fig. 1.2 shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology provided basic funding amounting to € 3.6 m in 2013. Approx. € 10.9 m third-party funds were raised as well as € 0.1 m other revenues. The third-party funds comprise € 8.8 m from public project funding and € 2.1 m from industrial sources.

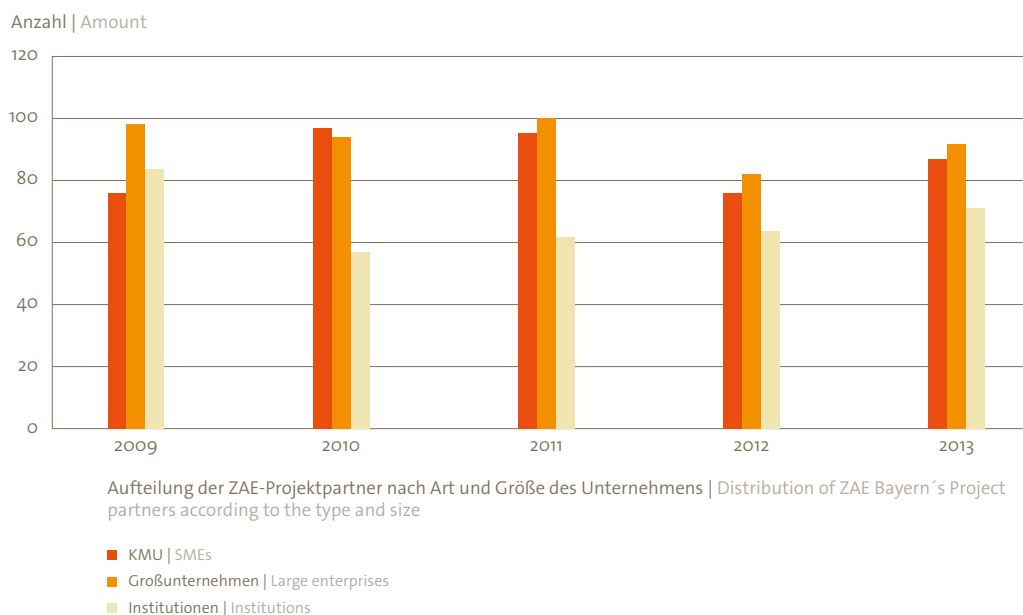
The institute's expenditure in 2013 comprises € 6.8 m in personnel costs, € 2.6 m in material costs and € 5.2 m in investments. Research was carried out in a total of 256 projects involving 250 partners.

#### STAFF AND PREMISES

At the end of 2013, ZAE Bayern had 211 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 26 % of the staff. The institute provided 35 doctorate students, 18 graduands and 11 students with the means to further their education. Students and trainees constituted 31 % of the staff. ZAE Bayern has a usable floor space of ca. 6000 m<sup>2</sup>. About half of it is used as laboratory area.

## 1.3 DAS ZAE BAYERN ALS KOOPERATIONSPARTNER

### COOPERATION WITH ZAE BAYERN



Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung gestaltet sich besonders effizient, wenn 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 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 Bereiche finden Sie 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 the 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 increased (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/en/hauptforschungsthemen](http://www.zae-bayern.de/en/hauptforschungsthemen)
- **Cross-cutting issues:**  
[www.zae-bayern.de/en/cross-cutting-issues](http://www.zae-bayern.de/en/cross-cutting-issues)

## 1.4 DIE ORGANE DES ZAE BAYERN

### THE GOVERNING BODIES OF ZAE BAYERN

Stand / Status:  
31.12.2013

---

#### MITGLIEDER MEMBERS

---

- Unternehmen
- Enterprises

**APROVIS Energy Systems GmbH**, Weidenbach  
**Bayerngas GmbH**, München  
**BEC-Engineering GmbH**, Ottersberg  
**Bayernwerk AG**, Regensburg  
**Hightex GmbH**, Rimsting  
**IBC Solar AG**, 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. Ch. J. Brabec**, Erlangen  
**Prof. Dr. V. Dyakonov**, Würzburg  
**Dr. B. Malkowski**, Würzburg  
**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**, Olching  
**Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie**, München

- Natürliche Personen / Ingenieurbüros
- Natural Persons / Consulting Engineers

**M. Dietrich**, Rüdtenhausen  
**Dipl.-Ing. H. Kling**, Lindau  
**Dipl.-Ing. M. Portula**, Berlin

- Verbände und Institutionen
- Federations and Institutions

**CO<sub>2</sub> Initiative**, Markt Schwaben  
**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.**, München  
**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-Schweinfurt**, 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 EXECUTIVE BOARD

---

Der Vorstand setzte sich Ende 2013 wie folgt zusammen:  
 At the end of 2013 the members of the board were:

**Prof. Dr. C. J. Brabec**,  
**(Vorsitzender | Chairman)**,  
 Lehrstuhl Materialien der Elektronik und Energietechnologie – Department für Werkstoffwissenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
**Prof. Dr. V. Dyakonov**,  
 Lehrstuhl für Experimentelle Physik VI (Energieforschung) - Fakultät für Physik und Astronomie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
**Dr. B. Malkowski**, ZAE Bayern Würzburg  
**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**,  
 Lehrstuhl für Energiesysteme - Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München

---

**KURATORIUM**  
 BOARD OF TRUSTEES
 

---

**Dr.-Ing. R. Hofer** (Vorsitzender | Chairman),  
 Bayernwerk AG, Regensburg

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

**Prof. Dr. R. Hellinger**, Siemens AG, Erlangen

**Ministerialrat Dr.-Ing. J. Schadl**, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, München

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

---

**DER WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT**  
 SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE
 

---

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

**Prof. Dr. J. Garcke**, Ulm

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

**Prof. Dr.-Ing. M. Kaltschmitt**, Institut für Umwelttechnik  
 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

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



## 1.5 | RÜCKBLICK REVIEW

### ENERGY STORAGE – INTERNATIONAL SUMMIT FOR THE STORAGE OF RENEWABLE ENERGIES 2013

Am 18. und 19. März 2013 fand die zweitägige Konferenzmesse „Energy Storage – International Summit for the Storage of Renewable Energies“ in Düsseldorf statt. Mit mehr als 530 Teilnehmern aus 33 Ländern, unter ihnen auch Bundesumweltminister P. Altmaier, zählt diese Veranstaltung zu den bedeutendsten der Branche. Ziel war es, Experten aus Wissenschaft, Industrie und Politik zusammenzubringen, um praxisnahe und wirtschaftlich sinnvolle Speicherlösungen für erneuerbare Energien voranzutreiben. Begleitet wurde die Konferenz von einer Fachausstellung mit 45 Ausstellern, unter denen sich auch das ZAE Bayern präsentierte. Des Weiteren war das ZAE Bayern im Programmausschuss vertreten und für das Thema „Thermische Energiespeicherung“ verantwortlich.

### ENERGY STORAGE - INTERNATIONAL SUMMIT FOR THE STORAGE OF RENEWABLE ENERGIES 2013

On 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> March 2013 the fair “Energy Storage – International Summit for the Storage of Renewable Energies“ was carried out in Düsseldorf. With over 530 participants from 33 countries, amongst them the Federal Minister for the Environment P. Altmaier, this event is one of the most important of the sector. The objective is to bring together experts from research, industry and politics to advance practical and economical energy storage solutions for the integration of renewable energies. The conference was accompanied by a trade exhibition with 45 stands where ZAE Bayern also was involved. Furthermore the institute was represented in the programme committee and also responsible for the topic “Thermal Energy Storage”.

Abb. 1: Stand des ZAE Bayern auf der Energy Storage 2013

Fig. 1: Exhibition stand of ZAE Bayern at the fair Energy Storage 2013



### KONFERENZ ENERGIE INNOVATIV – FORSCHUNG UND INNOVATIONEN FÜR DEN ENERGIEUMSTIEG

Als Partner der Konferenz, die am 18. April 2013 in Nürnberg stattfand, informierte das ZAE Bayern Wirtschaft und Wissenschaft über seine Aktivitäten zur Unterstützung des Energieumstiegs. Herr Prof. C. J. Brabec, Vorstand des ZAE Bayern, stellte in seinem Vortrag aktuelle Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Photovoltaik vor. Unter anderem wird das Ziel verfolgt, durch das Auftragen von photoaktiven Schichten auf Folien mit

### KONFERENZ ENERGIE INNOVATIV (ENERGY INNOVATIVE CONFERENCE) – RESEARCH AND INNOVATION FOR THE ENERGY TRANSITION

This conference took place on 18<sup>th</sup> April 2013 in Nürnberg. ZAE Bayern was involved as a partner and informed visitors from industry and science about its activities to support the energy change. In his lecture Prof. C. J. Brabec, member of the executive board of ZAE Bayern, presented the latest developments in the field of photovoltaics. The aim is to reduce production

unterschiedlichen Drucktechniken die Herstellungskosten im Bereich der Photovoltaik deutlich zu senken. Auch in der begleitenden Ausstellung konnten sich die rund 800 Teilnehmer über die neuesten Entwicklungen im Bereich der Energieversorgung informieren.

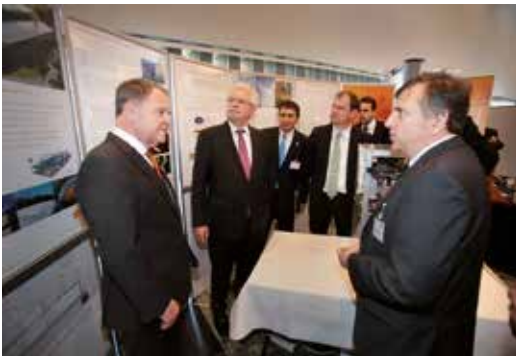


Abb. 2: Bayerns Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst W. Heubisch (1.v.l.), Bayerns Staatsminister für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie M. Zeil (2.v.l.) und Bereichsleiter Dr. H.-P. Ebert, ZAE Bayern (1.v.r.) am Informationsstand des ZAE Bayern bei der Konferenz "Energie Innovativ" (© Bayern Innovativ GmbH/Thomas Geiger)

Fig. 2: Bavarian State Minister of Science, Research and Art W. Heubisch (1<sup>st</sup> f.l.), Bavarian State Minister of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology M. Zeil (2<sup>nd</sup> f.l.) and head of division Dr. H.-P. Ebert of ZAE Bayern (1<sup>st</sup> f.r.) at the information stand of ZAE Bayern at the Energie Innovativ (Energy Innovative Conference) (© Bayern Innovativ GmbH/Thomas Geiger)

#### FEIERLICHE ERÖFFNUNG DES REGELBETRIEBS EINES MOBILEN SORPTIONSWÄRMESPEICHERS

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekts entwickelte das ZAE Bayern gemeinsam mit seinen Verbundpartnern Hoffmeier Industrieanlagen und MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft einen mobilen Sorptionswärmespeicher. Der Wärmespeicher wurde am 17. Mai 2013 vom Oberbürgermeister der Stadt Hamm, Herrn T. Hunsteger-Petermann, in Anwesenheit von Vertretern des Fördermittelgebers, von Honoratioren und Interessenten aus den Städten Hamm und Dortmund, sowie der lokalen Presse feierlich enthüllt und in den Regelbetrieb überführt. Der Speicher wird mit Wärme aus der Müllverbrennungsanlage Hamm geladen und transportiert sie zur Firma Jäckering Nahrungsmittel und Mühlenwerke in ca. 8 km Entfernung, wo sie einen industriellen Trocknungsprozess unterstützt.

costs significantly with different printing techniques by applying photoactive layers on films. Around 800 participants gained information about the latest developments in the field of energy supply. ZAE Bayern also attended the additional trade exhibition.



Abb. 3: (v.l.n.r.) ZAE-Bereichsleiter Dr. H.-P. Ebert, Bayerns Staatsminister für Wissenschaft, Forschung und Kunst W. Heubisch, Bayerns Staatsminister für Wirtschaft und Infrastruktur, Verkehr und Technologie M. Zeil, ZAE-Bereichsleiter Dr. A. Hauer

Fig. 3: (f.l.t.r.) ZAE head of division Dr. H.-P. Ebert, Bavarian State Minister of Science, Research and Art W. Heubisch, Bavarian State Minister of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology M. Zeil, ZAE head of division Dr. A. Hauer

#### GRAND OPENING OF THE REGULAR OPERATION OF A MOBILE SORPTION HEAT STORAGE

Funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Technology ZAE Bayern and its partners Hoffmeier Industrieanlagen and MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft developed a mobile sorption heat storage. Its regular operation was inaugurated on 17<sup>th</sup> May 2013 by the Lord Mayor of the city of Hamm Mr. T. Hunsteger-Petermann in the presence of representatives of the funding institution, notabilities and interested parties from the cities of Hamm and Dortmund as well as the local press. The mobile storage is charged by the heat of a waste incineration plant in Hamm and transports it to the company Jäckering Nahrungsmittel und Mühlenwerke which is about 8 km apart. There it supports an industrial drying process.





Abb. 4: Oberbürgermeister T. Hunsteger-Petermann enthüllt den mobilen Sorptionswärmespeicher in Anwesenheit von Honoratioren und Interessenten (© MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft).

Fig. 4: Lord Mayor T. Hunsteger-Petermann unveils the Mobile Sorption Heat Storage in presence of notabilities and interested parties (© MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft).

#### ERÖFFNUNG DES ENERGY EFFICIENCY CENTERS DES ZAE BAYERN IN WÜRZBURG

Am 21. Juni 2013 eröffnete das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) nach einer Bauzeit von nur 2 ½ Jahren sein hochinnovatives Forschungs- und Demonstrationsgebäude, das Energieeffizienzzentrum (Energy Efficiency Center, EEC). Das EEC bündelt und demonstriert eine Vielzahl von neuen Energieeffizienztechnologien. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr, Infrastruktur und Technologie (StMWiVT) geförderte und von namhaften Industriepartnern finanziell unterstützte Projekt avanciert durch die Vielzahl der eingesetzten innovativen Gebäudekomponenten zu einem internationalen Leuchtturmprojekt. Zur Eröffnungsfeier richteten Herr Staatsminister M. Zeil vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr, Infrastruktur und Technologie, Herr Prof. Dr. D. Mager aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und der Oberbürgermeister der Stadt Würzburg G. Rosenthal Grußworte an die ca. 300 hochrangigen Gäste aus Politik, Wirtschaft und Forschung.

#### OPENING OF ENERGY EFFICIENCY CENTER OF ZAE BAYERN IN WÜRZBURG

After a construction period of only 2 ½ years ZAE Bayern opened its highly innovative research and demonstration building Energy Efficiency Center (EEC), on 21<sup>st</sup> June 2013. The EEC pools and shows a multitude of new energy efficiency technologies. The project was funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Technology (BMWi) as well as by the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology (StMWiVT) and was also financially supported by renowned industry partners. Due to many integrated innovative building components it proceeded to become a flagship project. The Bavarian State Minister of Economic Affairs, Infrastructure, Transport and Technology M. Zeil, Prof. D. Mager from the Federal Ministry of Economic Affairs and Technology and the Lord Mayor of the city of Würzburg G. Rosenthal held the greeting speeches in front of around 300 high-ranking guests from politics, industry and research.



#### WORKSHOP: ZERSTÖRUNGSFREIE TESTMETHODEN IN DER PHOTOVOLTAIK

Die Qualitätssicherung ist für den erfolgreichen Einsatz neuer Technologien zur regenerativen Energieversorgung von großer Bedeutung. Insbesondere im Bereich der Photovoltaik werden bildgebende, zerstörungsfreie Verfahren immer wichtiger. Am 9. Juli 2013 haben sich Wissenschaftler und Sachverständige aus ganz Deutschland auf Einladung des ZAE Bayern in Erlangen zum Gedankenaustausch getroffen. Zentrale Punkte der Vorträge waren neue Entwicklungen in der orts aufgelösten Elektrolumineszenztechnik (EL), der Infrarot-Thermographie sowie der Kennlinienmessung mit Hilfe von LED-Sonnensimulatoren. Es wurden sowohl Methoden für den Labor- als auch für den Freiland Einsatz vorgestellt. Im Anschluss an die Vorträge wurde das neue Prüflabor besichtigt.

#### GOLDMEDAILLE BEIM MATERIALICA DESIGN + TECHNOLOGIE AWARD 2013

Forscher des ZAE Bayern haben in Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Erlangen-Nürnberg und des Energie Campus Nürnberg erstmals ein vollständig gedrucktes, semitransparentes organisches Solarmodul entwickelt, das durch den Einsatz flexibler Substrate neue Anwendungsgebiete auf gebogenen Flächen eröffnet. Das Produkt wurde am 15. Oktober 2013 mit einer Goldmedaille im Rahmen der Fachmesse Materialica in München ausgezeichnet. Auf der Fachmesse für Werkstoffanwendungen, Oberflächen und Product Engineering werden in jedem Jahr Innovationen ausgezeichnet, die Design und Technologiekompetenz gleichermaßen in den Vordergrund stellen.



#### NON-DESTRUCTIVE TEST METHODS IN PHOTOVOLTAICS

Quality management is highly significant for the successful application of new technologies for renewable energy supply. Especially in photovoltaics, non-destructive imaging processes are becoming increasingly important. On 9<sup>th</sup> July 2013 scientists and experts from all over Germany met at ZAE Bayern in Erlangen to exchange ideas. Key aspects of the presentations were new developments in the technologies of spatially resolved electroluminescence (EL) and infrared thermography as well as IV-measurement by means of LED solar simulators. Methods for both laboratory and outdoor were presented. The meeting was followed by a visit of the new test laboratory.

#### GOLD MEDAL AT MATERIALICA DESIGN + TECHNOLOGY AWARD 2013

In cooperation with colleagues from University of Erlangen-Nürnberg and Energie Campus Nürnberg (EnCN), scientists of ZAE Bayern developed a fully printed, semi-transparent organic solar module. Due to the use of flexible substrates, the device opens up new areas of application on curved surfaces. During the trade fair Materialica the module was awarded a gold medal on 15<sup>th</sup> October 2013. Every year innovative products that equally emphasize design and technological skills are rewarded at this trade fair for material applications, surface and product engineering.

*Abb. 5: Links: (v.l.n.r.) Schlüsselübergabe – G. Rosenthal, Oberbürgermeister der Stadt Würzburg, M. Zeil, Bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Prof. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender ZAE Bayern, Prof. D. Mager, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie*

*Fig. 5: Left: (f.l.t.r.) Hand over of keys - G. Rosenthal, Lord Mayor of the city of Würzburg, State Minister M. Zeil, Bavarian Ministry for Economy, Infrastructure, Transport and Technology, Prof. Dr. V. Dyakonov, chairman of the executive board ZAE Bayern, Prof. D. Mager, Federal Ministry of Economic Affairs and Technology*

*Abb. 6: Rechts: Staatsminister M. Zeil bei der Begrüßungsrede zur Eröffnung des EEC*

*Fig. 6: Right: State Minister M. Zeil welcomes the visitors of the opening ceremony of EEC*



*Abb. 6: Beim Materialica Design + Technologie Award 2013 mit Gold ausgezeichnet: Vollständig gedrucktes, semitransparentes organisches Solarmodul*

*Fig. 6: Gold medal at the Materialica Design + Technology Award 2013: fully printed, semi-transparent organic solar module.*

## DIE LANGE NACHT DER WISSENSCHAFTEN

Als am 19. Oktober 2013 das ZAE Bayern in Erlangen im Rahmen der 6. Langen Nacht der Wissenschaften seine Pforten öffnete, ließ der Besucheransturm nicht lange auf sich warten. Rund 500 Interessierte drängten sich in den Gängen des Labortraktes, um einen Blick in die sonst der Öffentlichkeit nicht zugängliche Forschungseinrichtung zu werfen. Neben informativen Schautafeln, die Aufbauten, Maschinen und sonstige Laboreinrichtungen erklärten, nutzten die Besucher vor allem die Gelegenheit, sich in persönlichen Gesprächen mit den Wissenschaftlern vor Ort erklären zu lassen, was sie schon immer über Photovoltaik wissen wollten. Gerade das Zusammentreffen von interessierten Laien und Fachleuten sorgte für angeregte Diskussionen und ein lockeres Gesprächsklima, das den Abend auch bei den ZAE-Mitarbeitern zu einem Highlight werden ließ. Wer sich nicht an echte Wissenschaftler herantraute, hatte im Seminarraum die Gelegenheit, sich im Rahmen einer Filmvorführung die Grundlagen der PV-Technologie von der „Maus“ erklären zu lassen.

## LONG NIGHT OF SCIENCES

A large number of visitors took the opportunity to visit ZAE Bayern in Erlangen on 19<sup>th</sup> October 2013 at the "6<sup>th</sup> Long Night of Sciences". About 500 interested people packed into the corridors of the laboratories to take a look at the research institution which normally is not open to the public. In addition to informative displays which explain the installations, machines and other laboratory equipment, the visitors had the chance to meet and talk to scientists to ask them what they always wanted to know about photovoltaics. Especially the combination of interested laymen and experts ensured a lively discussion and a relaxed atmosphere which made the evening a highlight also for the employees. Those visitors who did not want to talk to the scientists personally had the opportunity to receive the basic information about PV technology by a film presentation by Mouse TV.



Abb. 6: Besucher der Labore des ZAE Bayern in Erlangen bei der 6. Langen Nacht der Wissenschaften

Fig. 6: Visitors of the laboratories of ZAE Bayern in Erlangen at the 6<sup>th</sup> Long night of Sciences



Abb. 7: Ausdrucksvolle Demonstration zur IR-Inspektion von PV-Modulen mit dem Oktokopter (sonst nur bei Tageslicht im Einsatz) bei der Langen Nacht der Wissenschaften

Fig. 7: Expressive demonstration concerning the IR inspection of PV modules by the means of the octocopter (normally only used in daylight) at the Long Night of Sciences

#### JAPANISCHE WIRTSCHAFTSDELEGATION – INFORMATIONSTOUR

Am 24. Oktober 2013 besuchten japanische Entscheidungsträger und Multiplikatoren aus Forschung, Wirtschaft und Administration das ZAE Bayern in Würzburg. Dort wurden den Teilnehmern der Informationsreise zum Thema Energieeffizienz in Gebäuden die neuesten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vorgestellt. Ziel der im Rahmen der Exportinitiative Energieeffizienz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) initiierten Informationsreise nach Deutschland war, die Teilnehmer speziell für das Thema Dämmung zu sensibilisieren.

#### JAPANESE BUSINESS DELEGATION – FAMILIARISATION TRIP

On 24<sup>th</sup> October 2013 Japanese decision makers and knowledge multipliers from research, industry and administration visited ZAE Bayern in Würzburg. As part of this fam trip about energy efficiency in buildings, the participants received information concerning the latest research and development work. The trip was initiated by the Federal Ministry of Economic Affairs and Technology (BMWi) in the context of the Exportinitiative Energieeffizienz (Energy Efficiency Export Initiative). The aim was to draw the participants' attention on building insulation.

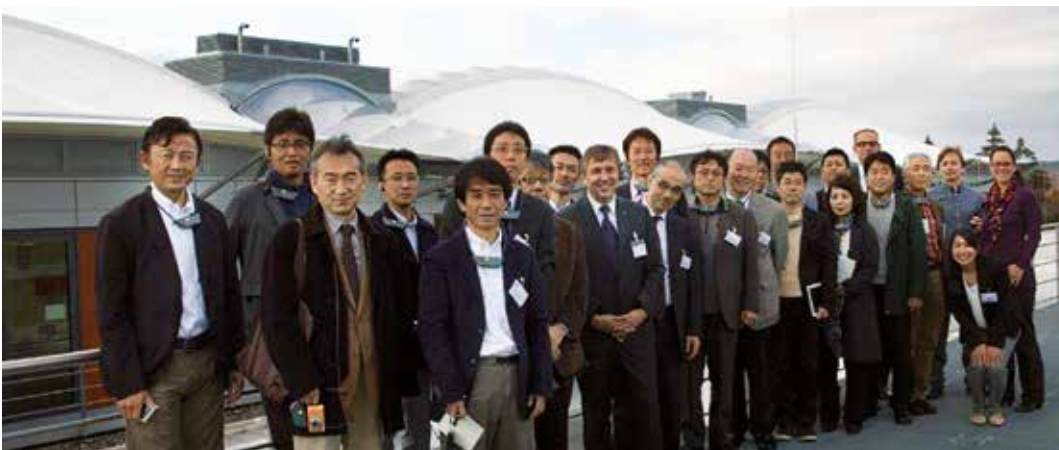


Abb. 8: Wirtschaftsdelegation aus Japan bei der Führung durch das Energy Efficiency Center des ZAE Bayern

Fig. 8: Japanese business delegation during their guided tour through Energy Efficiency Center of ZAE Bayern

Abb. 9: Dr. A. Hauer (3.v.l.) und M. Riepl (2.v.r.) mit der Delegation der Industrie- und Handelskammer der Republik Côte d'Ivoire

Fig. 9: Dr. A. Hauer (3<sup>rd</sup>f.l.) and M. Riepl (2<sup>nd</sup>r.) with a delegation of the Chamber of Industry and Commerce from the Republic Côte d'Ivoire



#### DELEGATION AUS DER REPUBLIK CÔTE D'IVOIRE

Eine Delegation der Industrie- und Handelskammer aus der Republik Côte d'Ivoire besuchte am 29. November 2013 im Rahmen einer vom Bayerischen Wirtschaftsministerium initiierten Bayerischen Woche das ZAE Bayern in Garching. Die Delegierten zeigten starkes Interesse an den Themen Energiespeicherung sowie regenerative Heizung und Kühlung.

#### NEUES FACHBUCH „WÄRMESPEICHER“

2013 erschien das BINE-Fachbuch „Wärmespeicher“ in seiner 5. vollständig überarbeiteten Auflage. Die Autoren, Dr. A. Hauer, Dr. S. Hiebler und M. Reuss, arbeiten seit vielen Jahren mit thermischen Energiespeichern am ZAE Bayern in Garching. Das Buch stellt die verschiedenen Speichertechnologien vor und bietet Planern, Beratern und der Immobilienwirtschaft einen Überblick über unterschiedliche Speichermedien, -typen und -größen sowie die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern. Auf diesen Gebieten konnte das ZAE Bayern hohe wissenschaftliche Kompetenz in der angewandten Forschung aufbauen. Durch dieses Buch trägt das ZAE dazu bei, seine Erfahrung einem größeren Interessentenkreis zugänglich zu machen. Mit knapp 1.000 verkauften Exemplaren im ersten Jahr ist das Fachbuch momentan der erfolgreichste Titel des BINE Informationsdienstes. Es kann im Internet unter [www.baufachinformationen.de](http://www.baufachinformationen.de) bezogen werden.

#### DELEGATION FROM THE REPUBLIC CÔTE D'IVOIRE

On 29<sup>th</sup> November 2013 a delegation of the Chamber of Industry and Commerce from the Republic Côte d'Ivoire visited ZAE Bayern in Garching. This trip was initiated by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology in the context of a Bavarian week. The delegates were mostly interested in energy storage as well as in renewable heating and cooling.

#### NEW TEXT BOOK "ENERGY STORAGE"

2013 the BINE text book "Wärmespeicher" (Energy Storage Systems) was published in its 5<sup>th</sup> completely revised edition. The authors Dr. A. Hauer, Dr. S. Hiebler and M. Reuss have been working with thermal heat storages for many years at ZAE Bayern in Garching. The book presents the different storage technologies and offers an overview of different storage media, types and sizes, long-term and high-temperature storages as well as the efficiency of heat storages to planners, consultants and the real estate industry. ZAE Bayern has gained an extraordinary scientific expertise in applied research in these fields and was able to combine this with the task to communicate its experience. With little less than 1.000 sold copies, the book "Wärmespeicher" actually is the most popular book of BINE information service. It can be ordered under [www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de) and is available in German only.



Abb. 10: BINE-Fachbuch „Wärmespeicher“  
Fig. 10: BINE text book "Wärmespeicher"

## HIGH-TECH ÖKOSOLARPARK NORD

Im Dezember 2013 wurde auf Anregung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz unter Beteiligung des Energie Campus Nürnberg ein Konzept für einen High-Tech Ökosolarpark im Nürnberger Norden erstellt. Das ZAE Bayern war für die technische Konzeption der PV-Komponenten verantwortlich. Der Solarpark soll unter Berücksichtigung des ökologischen, pädagogischen und technischen Konzeptes am Flughafen Nürnberg mit High-Tech Exponaten und einer Photovoltaik-Freiflächenanlage ausgestattet werden. In einem Besucherpavillon und entlang eines Solarpfades mit sogenannten Solargärten werden neueste Entwicklungen im Bereich Photovoltaik und Speicher interessierten Personen, insbesondere Schülergruppen, nähergebracht.

## HIGH TECH ECOLOGICAL SOLAR PARK

On the suggestion of the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection and in participation of Energie Campus Nürnberg (EnCN), a concept for a high-tech ecological solar park in the north of Nürnberg was developed in December 2013. ZAE Bayern was responsible for the technical conception of the PV components. Now the solar park is supposed to be equipped with high-tech exhibits and a PV power plant considering the ecological, educational and technical concept at the Airport Nürnberg. In a visitor pavillon and by the means of a solar path with so-called solar gardens, the latest developments in the field of photovoltaics and storage will be presented to interested persons, especially to groups of students.



Abb. 11: Bundesumweltminister P. Altmaier mit Dr. M. Voigt vom ZAE Bayern in der Solarfabrik der Zukunft im EnCN in Nürnberg  
Fig. 11: Federal Minister of the Environment and Consumer Protection P. Altmaier and Dr. M. Voigt of ZAE Bayern in Solar Fab of the Future at EnCN in Nürnberg

## 1.6 BEI UNS ZU GAST 2013

### OFFICIAL VISITORS IN 2013

#### BESUCHER IN GARCHING

Abordnung der Regierung von Oberbayern (16.04.2013)

Studenten der Hochschule Ingolstadt (15.05.2013)

Gastwissenschaftler Dr. J. Quinnell, University of Minnesota, USA (07/2012 bis 07/2013)

Delegation aus Slowenien mit dem Generalkonsul der Republik Slowenien Herrn M. Vrevc und dem Staatssekretär im Ministerium für auswärtige Angelegenheiten der Republik Slowenien Herrn I. Senčar (20.06.2013)

Chinesische Regierungsdelegation (24.07.2013)

Gastwissenschaftlerin L. Miró, Universidad de Lleida, Spanien (06/2013 bis 09/2013)

Delegation von der Republik Côte d´Ivoire (29.11.2013)

Gastwissenschaftler E. Ostermann, University of Ljubljana, Slowenien (11/2013 bis 03/2014)

#### VISITORS TO GARCHING

Delegation of the District Government of Upper Bavaria (16/04/2013)

Students of Ingolstadt University of Applied Sciences (15/05/2013)

Guest scientist Dr. J. Quinnell, University of Minnesota, USA (07/2012 to 07/2013)

Delegation from Slovenia with the Consul General of Republic of Slovenia Mr. M. Vrevc and State Secretary of the Ministry of Foreign Affairs of Republic of Slovenia Mr. I. Senčar (20/06/2013)

Chinese government delegation (24/07/2013)

Guest scientist L. Miró, University of Lleida, Spain (06/2013 to 09/2013)

Delegation of Republic Côte d´Ivoire (29/11/2013)

Guest scientist E. Ostermann, University of Ljubljana, Slovenia (11/2013 to 03/2014)

*Abb 1: I. Senčar, Staatssekretär Ministerium für auswärtige Angelegenheiten der Republik Slowenien und M. Vrevc, Generalkonsul der Republik Slowenien im Gespräch mit Dr. A. Hauer, ZAE-Bereichsleiter Garching*

*Fig. 1: I. Senčar, state secretary Ministry of Foreign Affairs Republic Slovenia and M. Vrevc, consul general of Republic Slovenia in conversation with Dr. A. Hauer, head of division of ZAE Garching*





**Abb. 2:** Besucher der Würzburger Partnerstadt Rochester mit Dr. H.-P. Ebert (links) und Prof. Dr. V. Dyakonov (rechts)

*Fig. 2:* Visitors from Würzburg's twin town Rochester together with Dr. H.-P. Ebert (left) and Prof. Dr. V. Dyakonov (right)



**links: Abb. 3:** Prof. Dr. V. Dyakonov und Bundesumweltminister P. Altmaier

*left: Fig. 3:* Prof. Dr. V. Dyakonov and Federal Environment Minister P. Altmaier



**rechts: Abb. 4:** Teilnehmer der IHK Herbstsitzung bei der Führung durch das Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg

*right: Fig. 4:* Participants of the autumn meeting of the Chamber of Industry and Commerce Würzburg-Schweinfurt during the guided tour through Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg



**Abb. 5:** Delegation aus Hong Kong vor dem Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg zusammen mit Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern und Dr. H.-P. Ebert, Bereichsleiter Energieeffizienz

*Fig. 5:* Delegation from Hong Kong in front of the Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg together with Prof. Dr. V. Dyakonov, chairman of the board of directors of ZAE Bayern and Dr. H.-P. Ebert, head of Energy Efficiency division of ZAE Bayern



**BESUCHER IN WÜRZBURG**

Dozenten und Studenten des Fachbereichs Bauphysik der Hochschule für Technik Stuttgart (08.05.2013)

Studenten der Hochschule Rosenheim (16.05.2013)

Botschafter der Republik Irland Herr D. Mulhall (28.05.2013)

Delegation der Partei Bündnis 90/Die Grünen des Kreisverbandes Würzburg-Land (05.07.2013)

Deutsch-Taiwanische Schülergruppe des Gymnasiums Rottbach (11.07.2013)

Schülergruppe des Deutschhaus Gymnasiums Würzburg (18.07.2013)

Bundesumweltminister P. Altmaier (04.09.2013)

Besucher aus der Würzburger Partnerstadt Rochester (27.09.2013)

Delegation aus Hong Kong (07.10.2013)

Herbstsitzung der IHK Würzburg-Schweinfurt (14.10.2013)

Dozenten und Studenten der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (16.10.2013)

1. Energiedialog Mainfranken mit Besichtigung (25.11.2013)

1. High Performance Insulation Workshop (27./28.11.2013)

Trinationale Begegnung mit SchülerInnen aus Frankreich, Polen und Deutschland (11.12.2013)

**BESUCHER IN ERLANGEN**

Delegation vom Shanghai Institute of Ceramics und Chinese Academy of Sciences (24.05.2013)

Besuch Bundesminister P. Altmaier bei der Solarfabrik der Zukunft (am EnCN) (06.09.2013)

Delegation der Universität Salamanca (19.11.2013)

**VISITORS TO WÜRZBURG**

Lecturers and students of the Faculty of Building Physics at Stuttgart University of Applied Sciences (08/05/2013)

Students of University of Applied Sciences in Rosenheim (16/05/2013)

Ambassador of Ireland, Mr. D. Mulhall (28/05/2013)

Delegation of Bündnis 90/Die Grünen of the rural district chapter Würzburg (05/07/2013)

German-Taiwanese group of students of Gymnasium Rottbach (11/07/2013)

Students of Deutschhaus Gymnasium Würzburg (18/07/2013)

Federal Environment Minister P. Altmaier (04/09/2013)

Visitors from Rochester, twin town of Würzburg (27/09/2013)

Delegation from Hong Kong (07/10/2013)

Autumn Meeting of the Chamber of Industry and Commerce Würzburg-Schweinfurt (14/10/2013)

Lecturers and students from the Faculty of Architecture and Construction Engineering at University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt (16/10/2013)

1<sup>st</sup> Energy Dialogue Mainfranken with guided tour (25/11/2013)

1<sup>st</sup> High Performance Insulation Workshop (27./28.11.2013)

Trinational meeting with students from France, OPoland and Germany (11/12/2013)

**VISITORS TO ERLANGEN**

Delegation from Shanghai Institute of Ceramics and Chinese Academy of Sciences (24/05/2013)

Federal Environment Minister P. Altmaier at (Solarfabrik der Zukunft) (Solar Fab of the Future) (at EnCN) (06/09/2013)

Delegation of University of Salamanca (19/11/2013)

## 1.7 | AUSBLICK OUTLOOK

### NETZWERK „INNOVATIVE PHOTOVOLTAIK FÜR ZUKÜNFTIGE MÄRKTE“

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie koordiniert das ZAE das Netzwerk „Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte“ (PV-ZUM). Dieses Netzwerk wurde im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand etabliert und soll kleinen und mittleren Unternehmen aus der PV-Branche sowie aus angrenzenden Wirtschaftssektoren helfen, durch öffentlich geförderte Projekte innovative Lösungen für die Photovoltaik von morgen zu erarbeiten, um ihre Positionierung auf dem wettbewerbsintensiven Gebiet der Photovoltaik nachhaltig zu verbessern. Die Netzwerkpartner der ersten Stunde sind Firmen aus dem Bereichen Modulherstellung, Softwareentwicklung, Gutachten, Elektronik und Messtechnik. Um die PV-Wertschöpfungskette möglichst umfangreich abbilden und im Netzwerk repräsentieren zu können, sind weitere Firmen willkommen, die dem Netzwerk jederzeit beitreten können.

### NETWORK INNOVATIVE PHOTOVOLTAICS FOR FUTURE MARKETS

On behalf of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy ZAE Bayern is coordinating the network „Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte“ (Innovative Photovoltaics for Future Markets) (PV-ZUM). This network was established in the content of the Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand - ZIM (Central Innovation Program SME) and is supposed to support small and medium-sized enterprises in the field of PV as well as in associated sectors by means of public funded projects to develop innovative solutions for the PV of the future in order to strengthen their position in this highly competitive field. Partners from the outset are companies from the areas of module production, software development, expertises, electronics and measurement equipment. In order to reflect the PV value chain most considerably and to represent it in the network, further companies are welcome to join at any time.



Abb. 1: Auftakttreffen des Netzwerks PV-ZUM. (v.l.n.r.): M. Killermann, FS Frankensolar, Dr. T. Kunz, ZAE Bayern, Prof. A. Dietz, TH Nürnberg, Dr. O. Schreer, IRCAM GmbH, Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern, Dr. M. Heindl, SKZ TeConA GmbH, H. Medl, Empuron, Dr. A. Lisenmeyer, Sunset Energietechnik GmbH, S. Hörlin, DHG Engineering GmbH, B. Glück, BEC Engineering GmbH

Fig. 1: Kick-off meeting of PV-ZUM network. (f.l.t.r.): M. Killermann, FS Frankensolar, Dr. T. Kunz, ZAE Bayern, Prof. A. Dietz, TH Nürnberg, Dr. O. Schreer, IRCAM GmbH, Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern, Dr. M. Heindl, SKZ TeConA GmbH, H. Medl, Empuron, Dr. A. Lisenmeyer, Sunset Energietechnik GmbH, S. Hörlin, DHG Engineering GmbH, B. Glück, BEC Engineering GmbH

### TAG DER OFFENEN TÜR AM ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 03. OKTOBER 2014

Beim Tag der offenen Tür am 3. Oktober 2014 wird interessierten Besuchern die Möglichkeit gegeben, das neue Forschungs- und Demonstrationsgebäude des ZAE Bayern in Würzburg zu besichtigen. Die innovativen energieeffizienten Baukomponenten, die im gesamten In-

### OPEN DAY AT ZAE BAYERN IN WÜRZBURG – 3<sup>RD</sup> OCTOBER 2014

Interested visitors will get the opportunity to visit the new research and demonstration building in Würzburg at the open day at ZAE Bayern in Würzburg on 3<sup>rd</sup> October 2014. Innovative energy efficient construction components which have been integrated into the

stitutsgebäude integriert wurden, können an diesem Tag praxisnah erlebt werden. Es werden Führungen angeboten und die eingesetzten neuartigen Energieeffizienztechnologien erläutert.

#### NEUBAU EINES VIERTEN BAUABSCHNITTES IN GARCHING

Das ZAE Bayern errichtet an seinem Standort Garching den vierten Bauabschnitt. Geplant ist ein Laborgebäude in Stahlbetonbauweise, das den ersten Bauabschnitt ersetzt. Der Neubau wird unterkellert und mit drei oberirdischen Geschossen versehen. Der Keller wird als Werkstatt sowie als Lager und Archiv genutzt. Im Erdgeschoss und im ersten Obergeschoss werden Labore für chemische und physikalische Experimente untergebracht. Das zweite Obergeschoss beinhaltet Büro- und Schulungsräume. Die Grundfläche beträgt 315 m<sup>2</sup>, die Nutzfläche 912 m<sup>2</sup>. Die reinen Baukosten sind mit 2,0 Mio. € veranschlagt, inklusive Planung und Nebenkosten sind 2,5 Mio. € vorgesehen. Der Baubeginn ist für April 2014 geplant und im Juni 2015 soll das Gebäude bezugsfertig sein. Das Bauprojekt wird im Rahmen des Forschungsvorhabens ZAE-ST bearbeitet, welches vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie finanziert wird.



building can be experienced. Guided tours will be offered and the new energy efficiency technologies will be explained.

#### CONSTRUCTION OF A 4<sup>TH</sup> SECTION AT ZAE BAYERN IN GARCHING

ZAE Bayern is going to establish a further extension at its division in Garching. The new building, a reinforced concrete construction, will replace the oldest part of the existing building and house two laboratories. It will consist of a basement and three upper floors. The basement will be used as a workshop and provide storage space. Ground and first floor will offer space for two laboratories for chemical and physical experiments. The second floor will provide space for offices and training facilities. The footprint of the new building will amount to 315 m<sup>2</sup>, the floor space will be 912 m<sup>2</sup>. Building costs are estimated with 2.0 Mio. €, including planning and additional costs 2.5 Mio. € are calculated. Start of the construction work will be April 2014 and it is supposed to be ready for occupancy in June 2015. The building project is part of the ZAE-ST research project, which is funded by the Bavarian Ministry for Economic Affairs and Media, Energy and Technology.

Abb. 2: Ansicht des geplanten Neubaus von Ost und Süd (© architekturbüro adamek + hölzl)

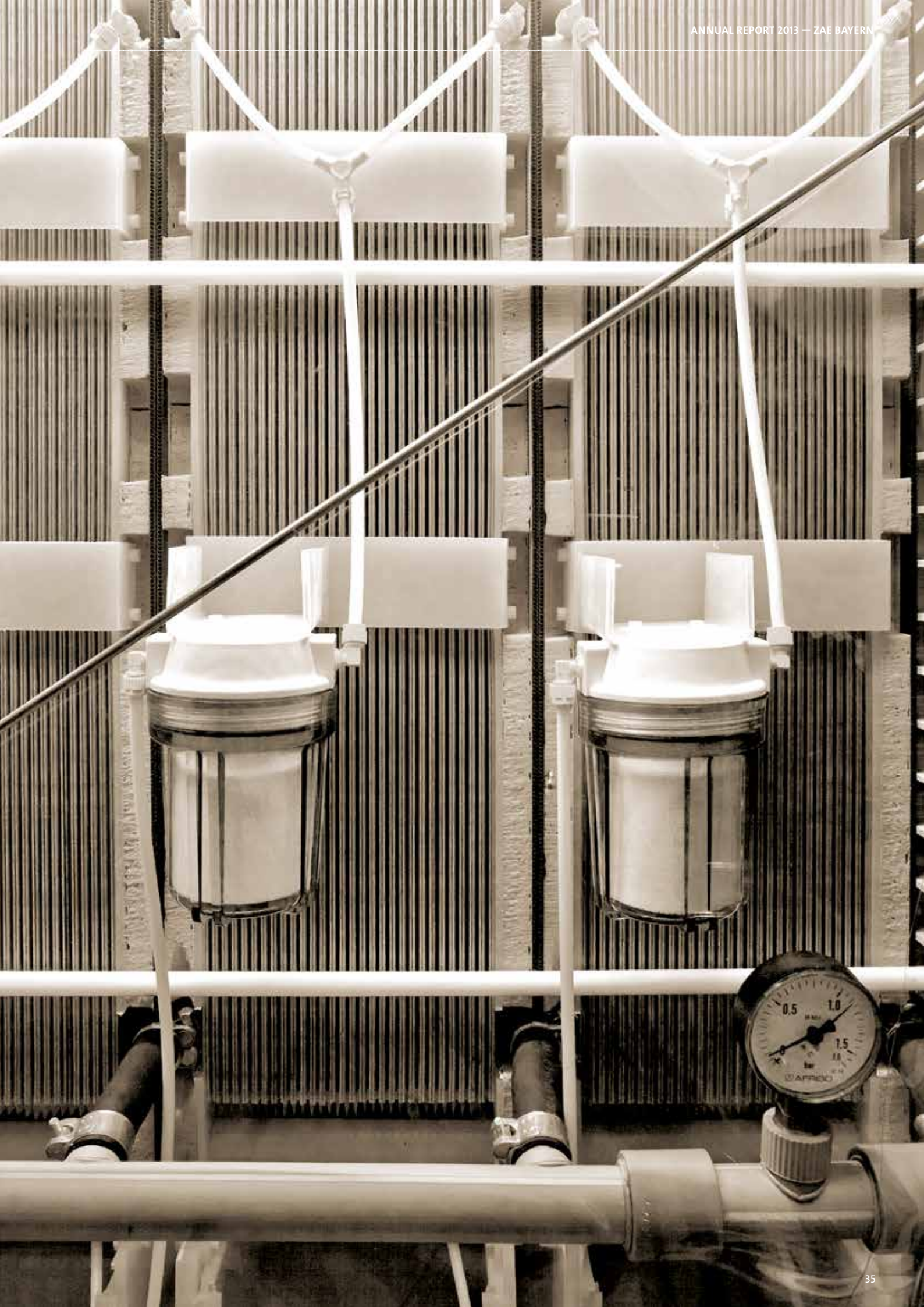
Fig. 2: South and East view of planned new building (© architekturbüro adamek + hölzl)

#### 24. MITGLIEDERVERSAMMLUNG DES ZAE BAYERN

Die 24. Mitgliederversammlung des ZAE Bayern findet am 19. November 2014 am ZAE-Standort Würzburg statt.

#### ZAE BAYERN'S 24<sup>TH</sup> GENERAL ASSEMBLY

ZAE Bayern's 24<sup>th</sup> General Assembly will be held at ZAE Bayern's division in Würzburg on 19<sup>th</sup> November 2014.



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 stellt in seiner Gesamtheit eine komplexe Struktur mit unterschiedlich stark vernetzten Komponenten bezüglich Energiebereitstellung, -speicherung, -transport und -verwendung dar. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt insbesondere in den interdisziplinär und bereichsübergreifend vernetzten Arbeitsgruppen, welche die Forschung von den Grundlagen bis hin zur Anwendung konsequent betreiben. Diese ungewöhnliche Breite resultiert aus der traditionellen Kooperation mit den benachbarten Hochschulen einerseits, sowie aus der industrienahen Forschung andererseits. Grundlagenorientierte Forschungsprojekte (Förderung von DFG, EU, BMBF) werden ebenso wie konkrete Umsetzungsprojekte (Förderung von BMW, EU, BayStMWi, Industriepartnern) durchgeführt (z. B. „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, Energieeffizienz und Energiespeicherung unabdingbar für eine erfolgreiche „Wende“, was sich auch in den Bereichsbezeichnungen des ZAE Bayern widerspiegelt.

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 Bereiche 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. Beispielsweise beweist ein Landesinstitut wie das ZAE Bayern durch einen traditionell hohen Anteil an eingeworbenen Drittmitteln seine Forschungsstärke. Anwendungsorientierte Forschung äußert sich z. B. durch Patentschriften. Die internationale Sichtbarkeit eines Forschungsinstituts sowie seine wissenschaftliche Innovationskraft werden jedoch meist anhand wissenschaftlicher Publikationen in internationalen Fachzeitschriften bewertet. Die statistische Analyse, z. B. durch Web of Science, belegt, dass das ZAE Bayern in seiner Kategorie anwendungsorientierter Institute eine Spitzenstellung innehat. Eine Übersicht der Veröffentlichungen in begutachteten

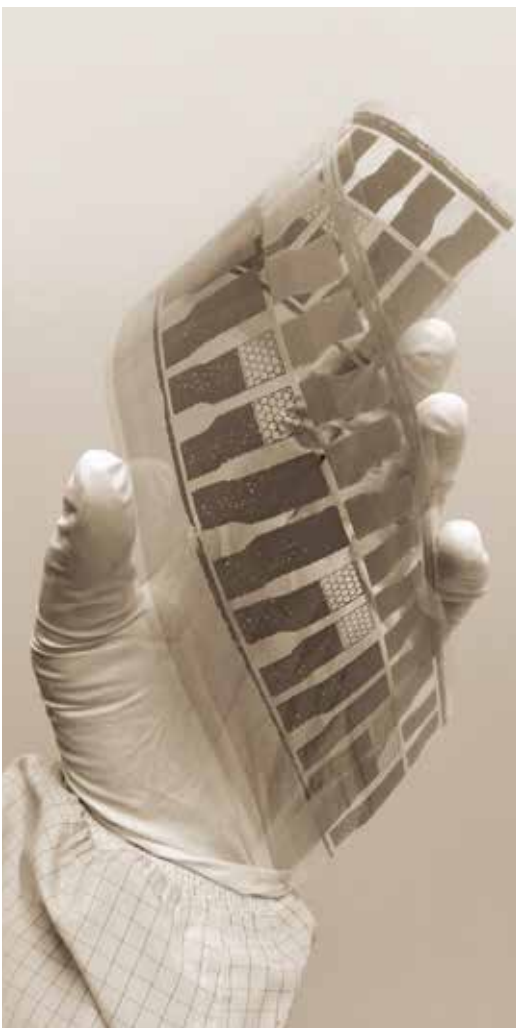
Our energy system as an entity is a complex structure with different strongly cross-linked components concerning production, storage, transport and use of energy. The research strength of ZAE Bayern lies in its interdisciplinary and inter-divisional cross-linked research groups, which cover research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

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 materials and 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. For example a state institute like ZAE Bayern shows its successful research strength by the traditional high amount of third party funds. Applied research e. g. is expressed by patents. However, more often scientific performance is judged according to publications in international 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, 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 world-wide scientific community. However, in the broader publicity, science and research are often considered to be very abstract. In

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. Die Mitarbeit in Expertengremien (z. B. Internationale Energieagentur IEA, DIN-Ausschüsse, nationale Experten-Arbeitskreise) runden den wissenschaftlichen Austausch mit der weltweiten Forschergemeinschaft ab. Allerdings werden in der breiteren Öffentlichkeit Wissenschaft und Forschung oft als sehr abstrakt wahrgenommen. Um dem zu begegnen, finden Sie im folgenden Kapitel einen Überblick zu aktuellen Forschungsaktivitäten unseres Instituts.

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





## 2.1



## PHOTOVOLTAIK

### PHOTOVOLTAICS

„IR-AUFNAHMEN VON PV-ANLAGEN SIND MEHR ALS BUNTE BILDCHEN. SIE SIND EIN WERTVOLLES INSTRUMENT UM ANLAGEN SCHNELL, BERÜHRUNGSLOS UND IM BETRIEB ZU BEWERTEN.“

(Dr. C. Buerhop-Lutz)

Der in den letzten Jahren stark gewachsene Photovoltaikmarkt in Deutschland unterliegt einem Wandel. Um die Photovoltaik (PV) für die Zukunft wettbewerbsfähig zu machen, ist eine rasche und stetige Kostenreduktion bei gleichzeitiger Effizienzerhöhung notwendig. Neben der Entwicklung neuer Zellen rücken zunehmend die Qualitätssicherung und die Betrachtung des gesamten PV-Systems sowie dessen Integration ins Netz in den Mittelpunkt. Unsere Arbeiten beinhalten die Entwicklung eigener Zell- und Modulkonzepte sowie Herstellprozesse für photovoltaische Bauelemente auf Basis gedruckter Materialien wie z. B. organischen Halbleitern (OPV) und dünnem Silicium (Si-PV). 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 (Schwerpunkt: Untersuchung optischer und elektrischer Eigenschaften von Absorbermaterialien und Bauelementen) und Erlangen (Schwerpunkt: Technologie- und Materialentwicklung, Defektanalyse, Zelldesign und Lebensdauer) liefern wissenschaftliche und technologische Beiträge. Mit der im Rahmen eines Projektes geschaffenen „Solarfabrik der Zukunft“ steht am Energie Campus in Nürnberg (EnCN) eine Technologieplattform für drucktechnisch hergestellte Solarzellen zur Verfügung. Dort können die in den Forschungseinrichtungen entwickelten Materialien mit industrierelevanten Prozessen zu Bauelementen verarbeitet werden.

Solarzellen aus dünnem, kristallinem Silicium auf einem keramischen Trägersubstrat verbinden die hohe Effizienz der Dickschichttechnologien mit den Kostenvorteilen der Dünnschichttechnik. Bei der Entwicklung von Solarzellen mit diesen dünnen Si-Schichten liegt das ZAE Bayern mit an der Spitze. Neueste Entwicklungen im Bereich der up-and-down-conversion von Licht mittels fluoreszierender Materialien zur Steigerung der Lichtausbeute zeigen gute Ergebnisse. Zur Qualitätssicherung werden neuartige bildgebende Verfahren zur Charakterisierung von Solarzellen und Modulen (z. B. IR-Thermographie, Elektrolumineszenz) entwickelt. Insbesondere für Dünnschicht-Solarzellen

The photovoltaics (PV) market in Germany with a strong growth in the past years is changing. To make photovoltaics competitive for the future, a rapid and continuous cost reduction combined with increasing efficiency is necessary. Besides the development of new cells, quality assurance and the consideration of the entire photovoltaic system and its integration into the grid are of increasing importance. Our work includes the development of own cell and module concepts as well as manufacturing processes for photovoltaic devices based on printed materials such as organic semiconductors (OPV) or thin silicon (Si-PV). Research at ZAE Bayern in the field of OPV is characterized by a high degree of interdisciplinarity as well as the close connection with industrial companies and research institutions. The research laboratories in Würzburg (focus on investigation of optical and electrical properties of absorber materials and components) and Erlangen (focus on technology and materials development, defect analysis, cell design and lifespan) provide scientific and technological contributions. The “Solarfactory of the Future” at the “Energie Campus Nürnberg” (EnCN), created within the framework of a project, offers a technology platform for printed solar cells. Materials developed by research institutes are used in industrially relevant processes to generate photovoltaic devices.

Solar cells made of thin crystalline silicon on a ceramic carrier substrate combine the high efficiency of the thick film technology with the cost advantages of thin film technology. ZAE Bayern is one of the leaders in the development of solar cells with these thin Si-layers. First works of our developments in the field of up-and-down conversion to increase the output of light by means of fluorescent materials show encouraging results. Advanced imaging methods for the characterization of solar cells and modules (e.g. IR thermography, electroluminescence) are under development. New technologies such as lock-in thermography, electroluminescence and photoluminescence are used for defect analysis and quality assurance, particularly for thin film modules (OPV and CIS). These methods are increasingly adopted in industrial production.

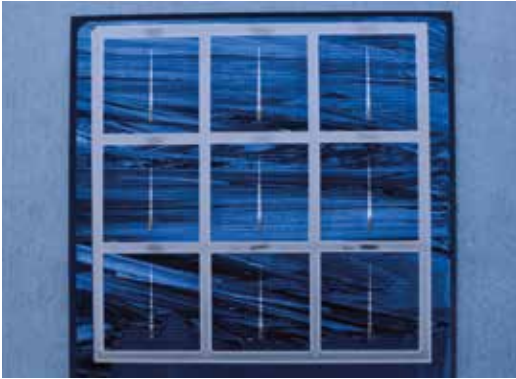


Abb. 1: Silicium-Dünnschicht-Solarzellen auf keramischem Substrat.  
Fig. 1: Thin film silicon solar cell on ceramic substrate.



Abb. 2: Themen von heute: PV-Systeme und Netzstabilität.  
Fig. 2: Topics of today: PV systems and grid stability.

(OPV und CIS) wurden und werden neue Technologien wie die Lock-in Thermographie, Elektrolumineszenz und Photolumineszenz zur Defektanalyse angewendet. Diese Verfahren werden zunehmend in der Industrie in der Produktion übernommen. Die am ZAE Bayern entwickelten Outdoor-Messungen mit luftgestützten IR-Kameras sind inzwischen zu einem Standardverfahren in der Photovoltaik geworden. Ein Prüflabor für PV-Module mit Indoor-Testständen sowie einem Outdoor-Testgelände stehen für im Hause entwickelte Produkte oder für externe Kunden zur Verfügung. Im Modellversuch „Smart Grid Solar“ in Hof und Arzberg wird die Integration von „smarten“ Komponenten wie Speichern, regelbaren Verbrauchern und Photovoltaik in ein reales Niederspannungsnetz untersucht. Durch Feldversuche, Modellierung und Optimierung wird die Be- oder Entlastung der Netze betrachtet und nach Möglichkeiten gesucht, ein stabiles Verteilnetz mit geringem zusätzlichem Ausbau realisieren zu können. Eine ökonomische Betrachtung und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen begleiten die praktischen Arbeiten in Hof und Arzberg.

Outdoor measurements with airborne IR cameras developed at ZAE Bayern have become a standard procedure in photovoltaics quality testing. A test laboratory for photovoltaic modules with indoor test stands and an outdoor test site is available for in-house developed products and external customers. In the model experiment "Smart Grid Solar" in Hof and Arzberg the integration of "smart" components such as storages, adjustable consumers and photovoltaic devices into a real low-voltage grid is investigated. Using field experiments, modeling and optimization methods, the influence on the electrical network is studied. Ways to realize a stable distribution grid with little additional expansions are investigated. An economic analysis and the development of recommendations accompany the practical work in Hof and Arzberg.

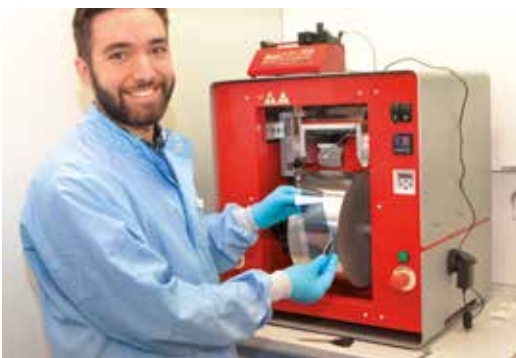


Abb. 3: Arbeiten mit Silicium-Nanopartikeln unter Schutzgasatmosphäre.  
Fig. 3: Working with silicon nanoparticles in inert atmosphere.



Abb. 4: Fluoreszierende Pulver und Lösungen sowie beschichtete Glassubstrate mit Quantenpunkten und Polymer.  
Fig. 4: Fluorescent powder and solutions as well as coated glass substrates with quantum dots and polymer.



## DAS PHOTOVOLTAIK-PRÜFLABOR

### PHOTOVOLTAIC TEST LABORATORY

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Phys. Ulrich Hoyer**  
Leiter PV-Prüflabor,  
PV-Systeme,  
Manager PV Test Laboratory,  
PV Systems

#### Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 9131 9398 - 181  
ulrich.hoyer@zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Industrieprojekt

#### Kooperationspartner | Partners

diverse Partner aus Industrie, Sachverständigenbüros, Gutachtern und Dienstleistern

Im Photovoltaik (PV)-Prüflabor des ZAE Bayern stehen schon seit einigen Jahren verschiedene Prüfmethode zur Verfügung, um PV-Module umfassend zu charakterisieren. In diesem Jahr fand nun das Erstakkreditierungsaudit durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) nach DIN EN ISO IEC 17025 [1] statt. Grundlage der angestrebten Akkreditierung ist die hohe Kompetenz des ZAE Bayern im Bereich Photovoltaik, die innerhalb der letzten 20 Jahre aufgebaut wurde. Die Erfahrungen bei der Entwicklung von kristallinen Silicium-Solarzellen und der Infrarot-Messtechnik sind nun in einzigartiger Weise im PV-Prüflabor kumuliert. Zusätzlich wurde ein Qualitätsmanagementsystem eingeführt, um die Kernprozesse zu stabilisieren und Regelkreise mit Rückkoppelungsschleifen zur stetigen Verbesserung der Qualität bereitzustellen. Dem Audit selbst gingen umfangreiche Validierungsarbeiten voraus, um die angebotenen Mess- und Prüfverfahren in allen Extremlagen auszuloten und sicherzustellen, dass die Ergebnisse dieser Mess- und Prüfverfahren im Rahmen der Messunsicherheit zu allen Zeiten richtig sind. Hier wird auch gewährleistet, dass alle Messverfahren, die auf Normen beruhen, diesen zu 100% genügen. Auch die Ermittlung der Messunsicherheit erfolgt im Rahmen dieser Validierungen nach offiziellen Verfahren. Darüber hinaus werden alle Messmittel in regelmäßigen Abständen durch unabhängige und oftmals selbst akkreditierte Labore kalibriert und unterliegen einer ständigen Überwachung.

Die Hellkennlinienmessung unter Standardtestbedingungen (STC) erfolgt nach Norm IEC 60904-1 [2]. Hierbei wird das zu messende Solarmodul einem 60-80 ms-Lichtblitz ausgesetzt, dessen Spektrum und Intensität der Sonnenstrahlung entspricht, so dass die komplette Kennlinie durchgefahren werden kann. Der dabei ermittelte Wert der maximalen Leistung kann direkt mit dem Nominalwert des Solarmoduls verglichen werden. Mit dem gleichen Messgerät können auch Schwachlichtmessungen (IEC 61215 10.7 [3]) durchgeführt werden. Hierbei wird die Intensität des Blitzes auf ein Fünftel des STC-Wertes reduziert. Der Isolationstest unter Nässe erfolgt nach Norm IEC 61215 10.15. und stellt den Zustand eines nassen Moduls im Regen oder Morgentau nach. Das zu prüfende Modul wird dabei in ein Becken mit einer Wasser-Tensid-Mischung gelegt und zwischen den Modulanschlüssen und der wässrigen Umgebung wird Hochspannung angelegt. Der Test ist bestanden, wenn ein gewisser Isolationswiderstandswert nicht unterschritten wird.

Various testing methods for a comprehensive characterization of photovoltaic (PV) modules have been available for several years in the PV test laboratory of ZAE Bayern. This year, an audit by the German Accreditation Body (DAkkS) for the accreditation according to DIN EN ISO IEC 17025 [1] took place. The basis of the accreditation is the great expertise of ZAE Bayern in PV which has been built up during the last 20 years. The experience gained in the development of crystalline silicon solar cells and infrared measurement techniques are now cumulated in a unique way in the PV test laboratory. Additionally, a quality management system was introduced in order to stabilize the core processes and provide control circuits with feedback loops for a continuous improvement of quality. The auditing itself was preceded by an extensive validation work. This operation was meant to check the measurement and testing methods in extreme situations and thereby ensuring that the results of these methods are working correct at all times within the measurement uncertainty. It is warranted that all measurement methods based on the standards comply to 100% with those standards. The evaluation of the measurement uncertainty was part of the validation work according to official procedures. Furthermore, all measuring equipment is calibrated periodically by independent and often accredited laboratories, and they are subject to constant monitoring.

The I-V curve measurement under standard test conditions (STC) is carried out according to the standard IEC 60904-1 [2]. In this case, the tested solar module is subjected to a 60-80 ms flash whose spectrum and intensity correspond to solar radiation, so that a complete characterization can be executed. The identified value of maximum power can be compared directly with the value on the label of the solar module. Low-light measurements (IEC 61215 10.7 [3]) can also be operated with the same instrument, where the intensity of the flash is reduced to a fifth of the STC value. The wet leakage current test is performed according to the standard IEC 61215 10.15. and simulates the state of a wet module in the rain or in the morning dew. The tested module is placed in a pool with a water-surfactant mixture and high voltage is applied between output terminals and the aqueous environment. The test is passed when a certain isolation resistance value is not exceeded.

Because of the unique skills of ZAE Bayern in infrared thermography, a lock-in thermography method for solar modules is in the scope of the accreditation. Here, an

Aufgrund einzigartiger Kompetenzen des ZAE Bayern bei der Infrarot-Thermographie ist auch ein Lock-In-Thermographie-Verfahren für Solarmodule mit im Umfang der Akkreditierung enthalten. Dabei wird an das Solarmodul ein (gepulster) Strom angelegt (zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses). Mit speziellen Wärmebildkameras wird dann die Erwärmung des Moduls aufgezeichnet, so dass die dabei entstehenden Muster gewissen Defekten zugeordnet werden können. Die Elektrolumineszenzmessung ist ebenso wie die Infrarot-Thermographie ein bildgebendes Verfahren. Die aufgezeichnete Infrarotstrahlung stammt hierbei jedoch nicht von der Erwärmung der Solarzellen, sondern resultiert aus der direkten Rekombination von Elektronen und Löchern im Halbleiter. Die dabei gewonnenen Aufnahmen eignen sich besonders zur Detektion von Rissen.

(pulsed) electrical current is applied to the solar module (to improve the signal-to-noise ratio). With special cooled focal plane IR-cameras, the heating of the module is recorded so that the resultant patterns can be associated with certain defects. Electroluminescence is an imaging technique analogous to the infrared thermography. However, the recorded infrared radiation does not result from the heating of the solar cell but from the radiative recombination of electrons and holes in the semiconductor. The recordings gained are particularly suitable for the detection of cracks.

U. Hoyer



Abb. 1: Beim Isolationstest unter Benässung wird das zu prüfende Modul mit bis zu 1000 V beaufschlagt.

Fig. 1: For the wet leakage current test, modules are supplied to voltage of up to 1000 V.



Abb. 2: Alle Messmittel unterliegen einer regelmäßigen Kalibrierung, die mit entsprechenden Aufklebern auf dem Messgerät dokumentiert wird.

Fig. 2: Every measuring device is subject to a periodic calibration that is documented by stickers on the instrument.

#### Literatur | References

[1] DIN EN ISO/IEC 17025:2005, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, Beuth Verlag

[2] IEC 60904-1:2006, Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics

[3] IEC 61215:2005, Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval



Abb. 3: Am Sonnensimulator kann die Leistung von Solarmodulen aller gängigen Größen normkonform gemessen werden.

Fig. 3: By using the solar simulator, the performance of solar modules of all current sizes can be measured according to international standards.



Abb. 4: Beim Isolationstest unter Benässung wird das Solarmodul in die Prüflösung gelegt und damit von allen Seiten eingesprüht.

Fig. 4: For the wet leakage current test the solar module is immersed in the test solution and sprayed with it from all sides.



# PROJEKTANLAUF „SMART GRID SOLAR IN HOF UND ARZBERG“

## PROJECT LAUNCH „SMART GRID SOLAR IN HOF AND ARZBERG“

### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. Richard Auer**  
Bereichsleiter  
Head of Division

### Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 9131 9398 - 100  
richard.auer@zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Europäischer Fonds für regionale  
Entwicklung (EFRE)

Bayerisches Ministerium für Wirt-  
schaft und Medien, Energie und  
Technologie (FKZ: VIII/4-3665a/43/8)

### Kooperationspartner | Partners

Areva GmbH  
Bayernwerk AG  
Fraunhofer Institut für Integrierte  
Schaltungen (IIS)  
Fraunhofer Institut für Integrierte  
Systeme und Bauelemente-  
technologie (IISB)  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
HEW Hof Energie+Wasser GmbH  
Hochschule Hof  
IBC Solar AG  
Rauschert GmbH  
Rehau Energy Solutions GmbH  
Stadt Arzberg  
Stadt Hof  
SMA Solar Technology AG

Das Projekt Smart Grid Solar (SGS) in den Städten Hof und Arzberg wird stark vorangetrieben und die insgesamt 12 Mitarbeiter haben im Laufe des letzten Jahres mit ihrer Arbeit an den Standorten Hof, Erlangen und Nürnberg begonnen. Im Vordergrund steht dabei der enge Kontakt der einzelnen Forschungsbereiche untereinander, sowie mit den involvierten Projektpartnern (Abb. 1). Wichtige Arbeitspunkte der letzten Monate waren die Definition der Projektstruktur und die Festlegung der Kernforschungsthemen. Zudem wurde eine umfassende Betrachtung der Netzgebiete in Hof und Arzberg durchgeführt, so dass eine geeignete Auswahl erfolgen kann. Derzeit befassen sich die Mitarbeiter mit der Sichtung und Beschaffung notwendiger Komponenten (Messgeräte, Wetterstation, Speicher, Speicherteststand und Serverinfrastruktur), um mit der eigentlichen Forschungsarbeit zu beginnen.

Der Fokus des Projekts liegt vor allem auf der Integration der dezentralen Energieerzeugungsanlagen in das Niederspannungsnetz. Derzeit sind rund 75% der bayernweit installierten Photovoltaik(PV)-Leistung (2013: 9,6 GWp) in dieser Netzebene angeschlossen [1, 2]. Ursprünglich war das Stromversorgungssystem nicht für eine dezentrale Energieversorgung ausgelegt, weshalb sich bereits heute Problemstellungen ergeben, die durch die Untersuchung der entsprechenden Netzregionen zu ermitteln sind. Aufgabe der Forscher ist es geeignete Gegenmaßnahmen (z. B. Netzausbau, Speicher, Einspeiseregulierung) zu bewerten und erforderliche Betriebsstrategien zu entwickeln. Ein großer Vorteil des Projektes ist dabei die interdisziplinäre Zusammensetzung aus unterschiedlichen Fachbereichen, wie etwa Elektrotechnik, Energietechnik, Volkswirtschaft, Informatik oder Mathematik.

Um bereits vor der Verfügbarkeit von Messwerten und Testständen richtungsweisende Entscheidungen treffen zu können, wurde im Arbeitspaket „Simulation und Optimierung“ ein gekoppeltes Simulations- und Optimierungsmodell aufgestellt, mit dem Netzregionen ganzheitlich bilanziell betrachtet und optimale Betriebsstrategien von Speichern abgeleitet werden können. Aus dem Simulationsmodell können anhand eines regionalen Wettermodells, parametrierbarer Verbraucher und der Verteilhierarchie lokale Lastflüsse im Jahresverlauf simuliert werden. Zudem können Speicher beliebig positioniert und deren Größe und Betrieb anhand verschiedener Kriterien (Spannungshaltung, Netzdienlichkeit und Speichernutzung) optimal ausgelegt werden (Abb. 2).

The project Smart Grid Solar (SGS), located in the towns Hof and Arzberg, is progressing. Twelve employees have taken up work in Hof, Erlangen and Nuremberg during the last year. The main focus was set on elaborating the cooperation between the joining research areas together with the involved project partners (Fig.1). In recent months, the project structure and the main research topics have been defined. Additionally, the grid areas in Hof and Arzberg were examined for a further selection. The employees' current task is the selection and purchase of equipment such as metrology, weather station, storage systems, storage test facility and server infrastructure required for storage and processing to start the research activities.

The main focus of the project is the integration of decentralized energy generation into the low voltage grid. Currently 75% of the installed photovoltaics in Bavaria (2013: 9.6 GWp) is connected to this grid level [1, 2]. Originally, the electricity supply system was not designed for a decentralized power generation and already suffers from various issues (e.g. voltage rise, power fluctuation). The task of the researchers in consequence is to study the selected grid areas in order to design appropriate solutions (system expansion, storages, feed-in ruling) and to develop required operation strategies. A major advantage of this project is the interdisciplinary collaboration of scientific departments, like electrical engineering, energy engineering, economics, informatics and mathematics.

The researchers of the work package “Simulation & Optimization” generated coupled simulation and optimization models for an overall consideration of grid areas and the development of operation strategies to make indicative decisions without the presence of measured data. Local load flows can be derived from simulation models based on the local weather model, parameterized loads and the distribution structure. The first goal was to elaborate the chances of integrating storage systems with variable sizes and operation strategies according to different criteria like voltage compliance, grid convenience and storage utilization. Optimization techniques were applied to the storage operation in order to find optimal solutions for these usage scenarios (Fig. 2.).

The acquisition of consumers in the grid areas to participate in the project and the installation of the metrology are the following tasks. In addition, photovoltaics (PV) and storages will be examined in test

Die nächsten Schritte sind die Akquise von Letztverbrauchern in den ausgewählten Netzgebieten zur Projektteilnahme und die Installation der Messtechnik. Des Weiteren sollen eine PV-Testanlage und ein Speicherteststand aufgebaut werden, um gezielte Versuche zur Bewertung von PV und Speicher im Netzverbund zu ermöglichen. Ein abschließendes Ziel ist die Netzintegration ausgewählter Speichertypen und die Umsetzung der entwickelten Betriebsstrategien.

facilities and subsequently be assessed in the environment of the selected grids. One main goal is the integration of the selected storage types to the grid and the implementation of the developed operation strategies.

J. Bogenrieder, S. Röhlig,  
P. Luchscheider,

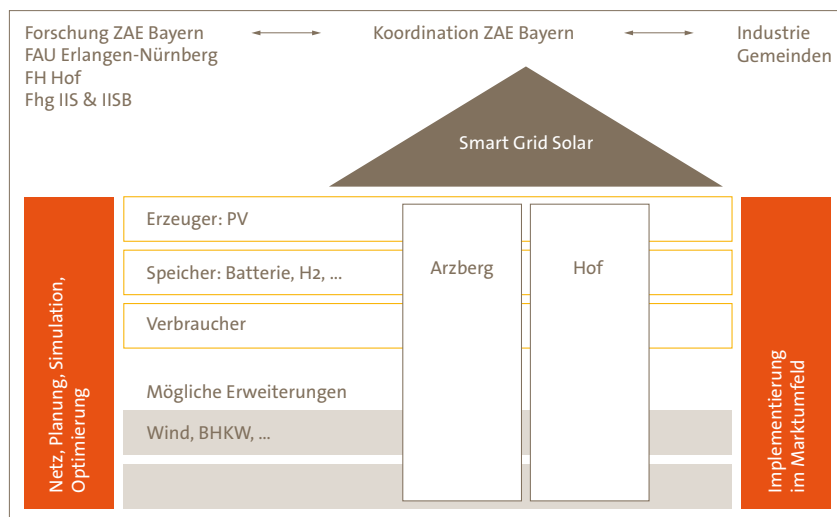


Abb. 1: Projektstruktur und Forschungsbereiche bei „Smart Grid Solar in Hof und Arzberg“.

Fig. 1: Project structure and research areas at “Smart Grid Solar in Hof and Arzberg”.

#### Literatur | References

[1] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. [www.energymap.info](http://www.energymap.info)

[2] Bundesverband Solarwirtschaft e.V. [www.solarwirtschaft.de](http://www.solarwirtschaft.de)

[3] P. Luchscheider, Zeitlich hochaufgelöste Simulation von Solarstrahlung zur Bewertung von Smart Grids, OTTI PV-Symposium 2014

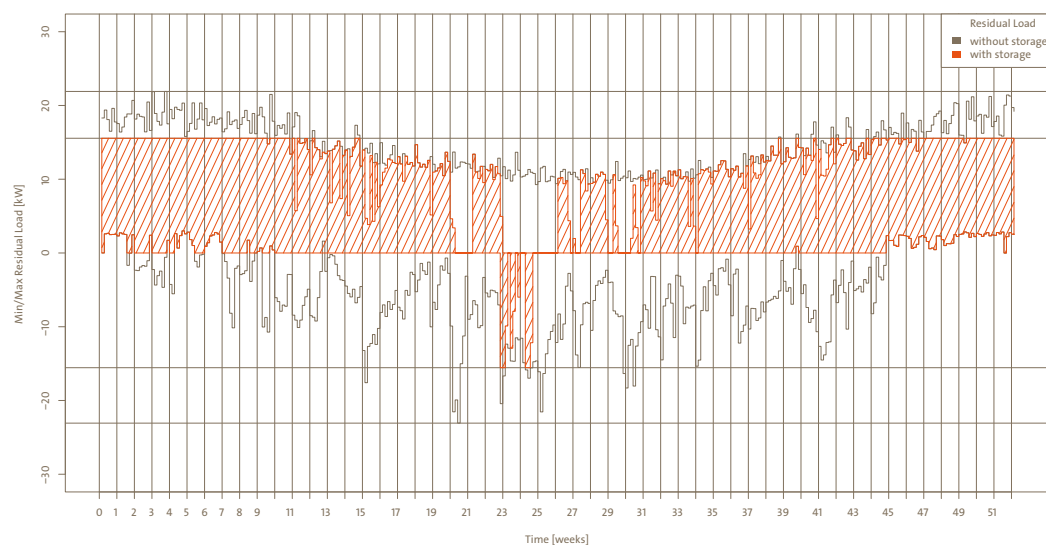


Abb. 2: Jahresverlauf der Residuallast am simulierten Netzgebiet ohne (schwarz) und mit (rot) Speichernutzung, welche für Lastminimierung und Speichernutzung optimiert wurde.

Fig. 2: Residual load of the simulated grid area without (black) and with (red) the usage of storage, which is optimized for minimizing load and storage use, during one year.



## ERSTE SOLARZELLEN AUS DER „SOLARFABRIK DER ZUKUNFT“

FIRST SOLAR CELLS FROM THE “SOLARFAB OF THE FUTURE”

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Stephan Wieder**  
Gruppenleiter,  
Solarfabrik der Zukunft  
Group Manager,  
Solar Fab of the Future

### Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 911 56854 - 9350  
stephan.wieder@zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und  
Technologie (FKZ 20-3043.5)

### Kooperationspartner | Partners

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg - Lehrstuhl  
Werkstoffe der Elektronik und  
Energietechnik (I-MEET)

Das Projekt „Solarfabrik der Zukunft“ wird in enger Kooperation mit Gruppen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Industrie durchgeführt. Das ZAE Bayern übernimmt im Rahmen des Projekts die Prozessentwicklung für gedruckte Photovoltaik und die Charakterisierung von Solarzellen. Das Technikum am Energie Campus Nürnberg (EnCN) schafft als Herzstück der Solarfabrik der Zukunft die prozesstechnischen Rahmenbedingungen dieser neuen Technologieplattform. Dazu wurden 2013 wesentliche Geräte angeschafft und auf ca. 200 m<sup>2</sup> Labor- und Charakterisierungsfläche installiert. Mit neuem Flash-Chromatographen, Rotationsverdampfern und einem für die Inertgas-Chemie umgebauten chemischen Abzug ist nun die Grundlage zur Entwicklung neuer Synthesewege geschaffen, die auch das Anfertigen größerer Mengen (Liter-Maßstab) von Formulierungen erlaubt. Zwei über eine Schleuse verbundene Gloveboxen (Handschuhboxen) stellen eine definierte, sauerstoff- bzw. wasserfreie Atmosphäre bereit. Sie dienen zum einen der getrennten Lagerung der empfindlichen Ausgangsmaterialien (meist Nanopartikel in Pulverform sowie diverse Lösungsmittel) und zum anderen dem Mischen der benötigten Formulierungen vor dem Verdrucken.

Die Druckversuche selbst finden zurzeit in Chemie-Abzügen bzw. in sogenannten „Flowboxen“ statt. Letztere gewährleisten durch speziell gefilterte und geführte Luft ein sehr partikelarmes Arbeiten. Neben grundlegenden Versuchen mit automatischen Filmziehgeräten (Doctor Blade) stellt das Auftragen mittels Schlitzdüsenteknik (slot-die) ein qualitativ hochwertiges Werkzeug für das schnelle Antesten neuer Formulierungen dar. Zudem steht eine einfache Flexographie-Druckeinheit für den neu beschafften Mini-Roll-Coater („MRC“) zur Verfügung, der das Drucken auf einer regelten heiz- und drehbaren Trommel ermöglicht. Besondere Bedeutung kommt in puncto Drucktechniken dem Inkjet-Verfahren (Tintendruck) zu, das Druckbarkeit und Strukturierbarkeit kompletter Bauteile (Solarzellen) in einem Arbeitsgang ermöglicht.

Bereits bestellt wurde ein sogenannter „Loop-Coater“, der die Möglichkeit bietet, ein 7 bis 8 m langes Endlosband (ca. 100 mm Druckbreite) mittels einer slot-die-Einheit zu beschichten. Somit kann in einer Vorstufe zum echten Rolle-zu-Rolle („R2R“) Verfahren sowohl die Beschichtung als auch das anschließende Trocknungsverfahren mit IR-Strahlern und optional turbulenter Warmluft evaluiert werden. Ein atmosphärischer Trockenofen rundet die Ausstattung des

The project “Solar Fab of the Future” is performed in close cooperation with groups of the Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg and from the industry. Within the project, ZAE Bayern is responsible for the process development for printed photovoltaics and the solar cell characterization. The technical center at the Energy Campus Nuremberg (EnCN), which is the core of the Solar Fab of the Future, provides the framework with respect to the process technology for this new technology platform. In 2013, essential equipment was acquired and installed on approximately 200 m<sup>2</sup> laboratory and characterization area. With a new flash chromatograph, rotary evaporators and a chemical fume hood (converted for inert gas chemistry), the prerequisite for the development of new synthetic routes was created, which also allows the development of larger quantities of formulations (liter scale). Two glove boxes connected via a common lock provide a controlled oxygen- and water-free atmosphere. The boxes are used on the one hand for a separate storage of sensitive raw materials (mostly nanoparticles in powder form and various solvents) and on the other hand for the mixing of the needed formulations prior to printing.

Currently, the printing tests take place in chemical fume hoods or in so-called “flow boxes” which provide a particle-free environment by filtered and recirculated air. In addition to basic experiments with automatic film application coaters (Doctor Blade), the application by slot-die technology offers a high quality tool for the rapid testing of new formulations. Moreover, a simple flexographic printing unit is available for the newly acquired mini-roll-coater (“MRC”); the latter allows printing on a controllable heated and rotating drum. Concerning printing techniques, the inkjet process is particularly important by allowing printing and structuring of complete components (solar cells) in one process step.

A so-called “loop-coater” unit has been ordered, offering the possibility to coat 7-8 m of an endless foil (printing width about 100 mm) by slot-die-technique. As a preliminary stage to the real roll-to-roll (“R2R”) method, both coating and subsequent drying process with IR lamps (and optional turbulent warm air) can be evaluated. An atmospheric drying oven completes the infrastructure of the technical center. The characterization laboratory is still being set up and currently comprises a fluorometer for photoluminescence spectroscopy and a UV/VIS spectrophotometer for measurement of absorption. Furthermore, methods for

Technikums ab. Das Charakterisierungslabor befindet sich noch im Aufbau und beinhaltet zurzeit ein Fluorometer für Photolumineszenz-Spektroskopie und ein UV/VIS-Spektralphotometer für Absorptionsmessungen. Weiterhin sind noch Verfahren zum Vermessen dünner Schichten auf flexiblen Substraten sowie ein Solarsimulator für die Bewertung der gefertigten Solarzellen bzw. – module geplant.

Als wichtiger Meilenstein wurde im November 2013 die erste komplett gedruckte und funktionierende Solarzelle im neu eingerichteten Technikum hergestellt. Die Arbeiten an semitransparenten organischen Solarzellen in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl „Materials for Electronics and Energy Technology“ (i-MEET) konnten zudem im Jahr 2013 den Gold Award der Materialica-Design-Messe gewinnen.

measuring thin films on flexible substrates as well as a solar simulator for the evaluation of solar cells and modules are planned.

S. Wieder

As important milestone, in November 2013 the first completely printed and working solar cell was produced in the technical center. The developments with respect to semi-transparent organic solar cells have been performed in cooperation with the chair “Materials for Electronics and Energy Technology” (i-MEET) and won the Materialica Design+Technology Gold Award at the Materialica exhibition in 2013.

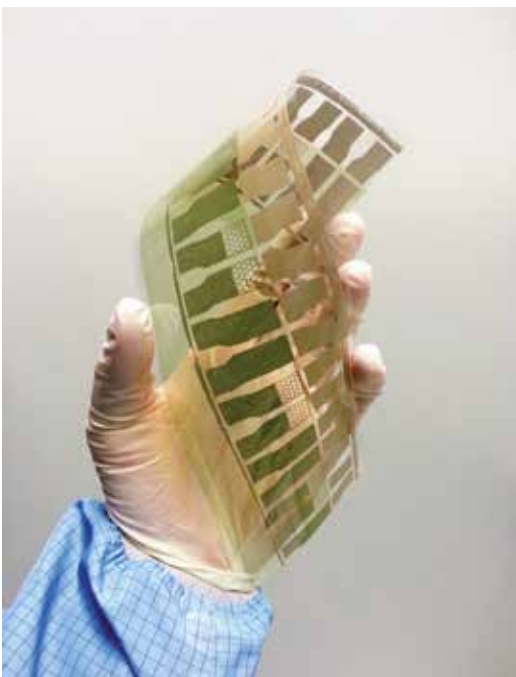


Abb. 1: Die erste im neuen Technikum komplett gedruckte und funktionierende Solarzelle. Die einzelnen Halbleiter-Schichten sowie die transparente Elektrode (Ag-Nanowires) wurden per Schlitzdüsenbeschichtung mit dem neuen Mini-Roll-Coater (MRC) aufgetragen. Die Auftragung der opaken Kontaktschicht (Ag-Paste) erfolgte mit einem vereinfachten Flexographie-Druckverfahren.

Fig. 1: First fully printed and working solar cell produced in the new technical center. The individual semiconducting layers and the transparent electrode (Ag nanowires) were applied by slot-die-coating with the new Mini-Roll-Coater (MRC). The application of the opaque contact layer (Ag paste) was performed with a simplified flexographic printing process.



Abb. 2: Semitransparentes und flexibles Modul aus organischen Solarzelle mit ca. 50% Transparenz, bezogen auf die Empfindlichkeit des menschlichen Auges (Kooperation mit Lehrstuhl i-MEET). Diese Technologie eröffnet vielfältige Möglichkeiten, z. B. für den Einsatz in Fenstern.

Fig. 2: Semitransparent and flexible module based on organic solar cell with about 50% transparency, with respect to the sensitivity of the human eye (cooperation with the chair i-MEET). This technology offers various applications, e.g. for windows.



## 2.2



## ENERGIESPEICHER

### ENERGY STORAGE

„DIE ENERGIEWENDE MUSS DURCH EINEN DEUTLICHEN AUSBAU DER ELEKTRISCHEN SPEICHERKAPAZITÄTEN UNTERSTÜTZT WERDEN.“

(DIPL.-PHYS. H. FINK)

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 hin 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: Mini-Stack einer Vanadium Flussbatterie mit 5 Zellen.  
Fig. 1: Mini stack of a vanadium flow battery with 5 cells.



Abb. 2: Im Projekt „Energieeffizientes Fahren 2014 - EFA 2014/2“ entwickelter Latentwärmespeicher für einen BMW ActiveE (© BMW Group).  
Fig. 2: Latent heat storage for a BMW ActiveE developed in the project „Energieeffizientes Fahren 2014 – EFA 2014/2“ (Energy Efficient Driving 2014) (© BMW Group).



Abb. 3: Lüftungssystem mit sorptionsgestützter Kühlung und Entfeuchtung im Energy Efficiency Center des ZAE Bayern. Die Energiespeicherung erfolgt in einer LiCl-H<sub>2</sub>O Salzlösung.  
Fig. 3: Open cycle desiccant cooling and ventilation system integrated in the Energy Efficiency Center of ZAE Bayern. Energy storage is performed in LiCl-H<sub>2</sub>O desiccant solution.



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.



## SORPTIONSGESTÜTZTE KLIMATISIERUNG MIT ENERGIESPEICHERUNG – DEMONSTRATIONSANLAGE

### LIQUID DESICCANT COOLING SYSTEM WITH ENERGY STORAGE – DEMONSTRATION PLANT

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. Eberhard Lävemann**  
Senior Scientist,  
Thermische Energiespeicher  
Senior Scientist,  
Thermal Energy Storage

#### Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-18  
eberhard.laevemann@  
zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie (FKZ 0329662D)

#### Kooperationspartner | Partners

L-DCS Technology GmbH

Die zunehmende Industrialisierung von Regionen mit warmen und feuchten Klimaten steigert den Energiebedarf für die Gebäudeklimatisierung und insbesondere den Ventilationskühlbedarf, der unmittelbar vom Klima beeinflusst wird. Offene Sorptionskühlsysteme können den Ventilationskühlbedarf decken und mit Wärme angetrieben werden, die als Abwärme aus Industrieprozessen, aus Kraft-Wärme-Kopplung oder als solare Wärme bereitgestellt wird. CO<sub>2</sub>-Emissionen werden damit deutlich reduziert.

Ein solches Sorptionskühlsystem wurde vom ZAE Bayern und L-DCS Technology GmbH weiterentwickelt, mit dem Ziel die Energiespeicherfähigkeit des Systems zu erhöhen und die Herstellkosten zu senken. Wichtigster Gegenstand der Entwicklungen war sowohl die Konstruktion, als auch das Fertigungsverfahren eines sogenannten Low-Flow-Absorbers, der Luft mit einem sehr kleinen Salzlösungsstrom entfeuchten kann – einer wichtigen Voraussetzung für die Energiespeicherfähigkeit des Systems [1].

Eine Demonstrationsanlage wurde im „Energy Efficiency Center“ des ZAE Bayern in Würzburg installiert. Abb. 1 zeigt ein Schema der Anlage. Im Kühlbetrieb wird Außenluft mit einer konzentrierten Salzlösung als flüssigem Sorbens in einem Absorber entfeuchtet und durch indirekte Verdunstungskühler gekühlt. Die Salzlösung wird dabei verdünnt. Durch Wärmezufuhr bei 70-80°C wird sie in einem Regenerator wieder konzentriert bzw. regeneriert, so dass die Salzlösung erneut Luft entfeuchten kann.

Die Salzlösung kann als effizienter Energiespeicher und als Transportmedium eingesetzt werden, so dass die Regeneration zeitlich und örtlich vom Kühlprozess entkoppelt ist. Mit dem System werden Energiespeicherdichten bis zu 250 kWh/m<sup>3</sup> erreicht. Solare Klimatisierung bei Nacht, die Nutzung von Abwärme aus Industrie oder BHKW über Entfernungen von mehreren Kilometern oder der Aufbau von Kühlnetzen in Stadtteilen sind damit machbar.

Die Demonstrationsanlage in Würzburg wird mit Fernwärme betrieben. Sie kann in Abhängigkeit von den Außenluftbedingungen in den Betriebsmodi 1. Heizen mit Frostschutz, 2. Heizen, 3. Wärmerückgewinnen, 4. Lüften, 5. Kühlen und 6. Kühlen & Entfeuchten betrieben werden. Sie ist für einen Luftvolumenstrom von 5500 m<sup>3</sup>/h ausgelegt. Bei Volllast wird eine Kühlleistung und eine Regenerationsleistung von jeweils ca. 40 kW erreicht. Es wurden zwei Speichertanks für

The increasing industrialization of regions with hot and humid climates increases the energy demand for air conditioning, in particular for ventilation and cooling, which are directly influenced by the climate. Open cycle desiccant cooling systems can cover the ventilation cooling load effectively. They can be operated on solar heat or on waste heat from industrial processes or cogeneration and save CO<sub>2</sub> emissions significantly.

Such an open cycle desiccant cooling system has been developed by ZAE Bayern und L-DCS Technology GmbH in order to increase its energy storage capability and to decrease manufacturing costs. Main objective of the development was the design and the manufacturing process of a low-flow absorber, capable of dehumidifying air with a very low salt solution flow, which is a major precondition for a high energy storage density [1].

A demonstration plant was installed in the “Energy Efficiency Center” of ZAE Bayern in Würzburg. Fig. 1 shows a sketch of the system. In cooling mode outside air is dehumidified by a concentrated salt solution in an absorber and subsequently cooled by an indirect evaporative cooler. The salt solution is diluted in this process and then regenerated in a regenerator using heat at temperatures of 70°C to 80°C. The salt solution can be used in the absorption process again.

The salt solution can be used as efficient energy storage or transport medium. The regeneration process and the dehumidification respectively cooling process can be decoupled in time and location. Energy storage densities up to 250 kWh/m<sup>3</sup> can be achieved. Solar cooling at night, waste heat utilization of industrial processes or cogeneration over a distance of several kilometers as well as district cooling is feasible.

The demonstration plant in Würzburg runs on district heating. Depending on outside air conditions it can be run in different operation modes: 1. Heating and frost protection, 2. Heating, 3. Heat recovery, 4. Ventilation, 5. Cooling, 6. Cooling and dehumidification. It is designed for an air flow of 5500 m<sup>3</sup>/h. In full load operation a cooling capacity and regeneration capacity of 40 kW can be reached. Two storage tanks have been installed for concentrated and diluted solution. Using 300 l of concentrated LiCl-H<sub>2</sub>O solution, corresponding to 400 l of diluted solution, about 80 kWh can be stored. Fig. 2 and Fig. 3 show the absorber of the system and the storage tanks, respectively.

konzentrierte und verdünnte Lösung installiert. Mit ca. 300 l konzentrierter bzw. 400 l verdünnter LiCl-H<sub>2</sub>O-Lösung können etwa 80 kWh gespeichert werden. Abb. 2 zeigt den Absorber der Demonstrationsanlage und Abb. 3 die Speichertanks.

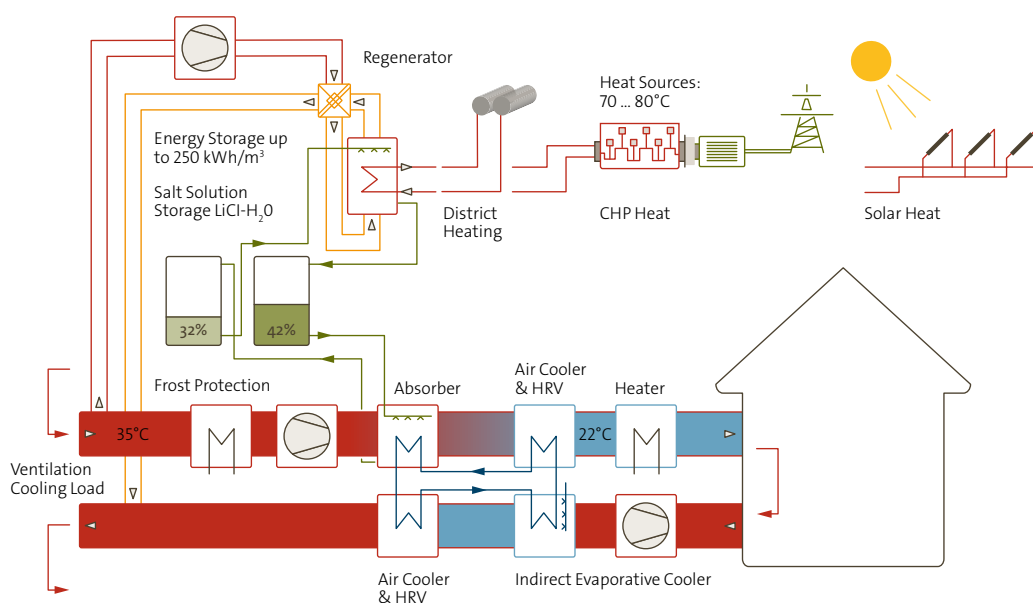


Abb. 2: Absorber der Demonstrationsanlage.  
Fig. 2: Absorber of the demonstration plant.



Abb. 3: Speichertanks der Demonstrationsanlage mit konzentrierter und verdünnter Salzlösung.  
Fig. 3: Storage tanks of the demonstration plant with concentrated and diluted salt solution.

## E. Lävemann

### Literatur | References

- [1] A. Hublitz, Efficient Energy Storage in Liquid Desiccant Cooling Systems, Dissertation TU München, 2009, p.82

Abb. 1: Schema der Demonstrationsanlage im „Energy Efficiency Center“ zur sorptionsgestützten Klimatisierung.

Fig. 1: Sketch of the open cycle desiccant cooling and dehumidification system in the „Energy Efficiency Center“.

## 2.3



## ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE

### ENERGY OPTIMIZED BUILDINGS

„DER WEG ZUM GEBÄUDE DER ZUKUNFT FÜHRT ÜBER FASSADENELEMENTE MIT - JE NACH BEDARF - SCHALTbaren ENERGIEFLÜSSEN.“

(DR. H. WEINLÄDER)

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, Workshop High Performance Thermal Insulation 2013).

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, Workshop High Performance Thermal Insulation 2013).

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



Abb. 1: ZAE-Bereichsleiter Dr. H.P. Ebert als Redner beim Workshop "High Performance Thermal Insulation (HPI 2013) – Towards Near Zero Energy Buildings".

Fig. 1: Head of Division Dr. H.P. Ebert as speaker at the "Workshop on High Performance Thermal Insulation (HPI 2013) – Towards Near Zero Energy Buildings".



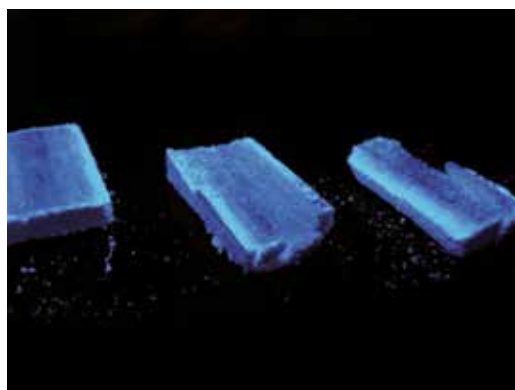
Abb. 2: Im öffentlich zugänglichen Infocenter des EEC kann man sich zu energierelevanten Themen im Gebäudebereich informieren.

Fig. 2: The public accessible Infocenter in the EEC informs about energy related topics regarding buildings.



links: Abb. 3: Mobiles  $U_g$ -Wert-Messgerät zur thermischen Bewertung von Verglasungen.

left: Fig. 3: Mobile device for thermal evaluation of window glazing by measurement of the  $U_g$ -value.



rechts: Abb. 4: Fluoreszierende Verkapselung für Latentwärmespeichermaterial (PCM).

right: Fig. 4: Fluorescent encapsulation of latent heat storage material (PCM).



# OPTIMIERTE WÄRMEDÄMMUNGEN FÜR ENERGIEEFFIZIENTE FASSADEN

## OPTIMISED THERMAL INSULATION FOR ENERGY-EFFICIENT FACADES

### Ansprechpartner | Contact

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

### Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564 - 348  
helmut.weinlaeder@  
zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Europäische Union  
(FKZ: 260141 und 609086)

### Kooperationspartner | Partners

insgesamt 18 Partner aus Forschung  
und Industrie

Neuartige Wärmedämmmaterialien basierend auf Nanokonzepten werden im EU-Projekt AEROCOINS (Aerogel-Based Composite/Hybrid Nanomaterials for Cost-Effective Building Super-Insulation Systems) entwickelt [1]. Bisher bestehende Schwierigkeiten erlauben es nicht, nanoporöse Superisolationen auf Basis des Sol-Gel-Prozesses für die Gebäudedämmung der nächsten Generation einzusetzen. Wesentliche Aufgabe des Projekts ist es, diese Barrieren zu überwinden und Aerogelen einen breiten Marktzugang zu ermöglichen. Zu den Schwierigkeiten zählen hier insbesondere die geringe mechanische Stabilität sowie die Herstellungskosten. Entsprechend werden im Projekt parallel verschiedene Komposit- bzw. Hybrid-Syntheserouten verfolgt, um nanoporöse Dämmmaterialien mechanisch zu verstärken. Die Herstellungskosten sollen durch verbesserte Prozesstechnik, insbesondere bei der Trocknung der Gelvorstufen, deutlich reduziert werden.

Die Rolle des ZAE Bayern im Konsortium liegt vor allem bei der thermischen Charakterisierung der Materialien in allen Projektabschnitten. Entsprechend werden validierte Verfahren für die Probencharakterisierung eingesetzt. Diese reichen von wenigen cm<sup>3</sup> großen Proben im Materialscreening über Plattenverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit größerer Dämmplatten bis hin zur Evaluierung kompletter Fassadenelemente in Hot-Box-Messungen. Zum Ende des Projektes erfolgt die Auswertung von Daten, die an einer kleinen Gebäudeeinheit in einem Demopark und einer Demofassade unter Umgebungsbedingungen über ca. 1 Jahr erfasst werden.

Ziel des EU-Projekts ELISSA (Energy Efficient Lightweight-Sustainable-SAFE-Steel Construction), ist die Entwicklung vorgefertigter Fassadenelemente bestehend aus Stahlträgern und Trockenbaukomponenten [2]. Die Elemente sollen sich durch verbesserte Eigenschaften in Hinblick auf Wärmedämmung, Verhalten im Falle von seismischen Ereignissen und Feuer gegenüber bestehenden Systemen auszeichnen. Im Rahmen des Projekts werden ausgewählte anorganische Nanomaterialien (z. B. Aerogele, mikroporöse Dämmungen, Vakuumisulationspaneele) und nano-elektromechanische Systeme (NEMS) eingesetzt um die folgenden Ziele zu erreichen:

- Effizienz und strukturelle Integrität unter thermischer, dynamischer mechanischer Belastung sowie im Brandfall

Novel thermal insulation materials based on nanotechnology concepts are being developed in the EU project AEROCOINS (Aerogel-Based Composite/Hybrid Nanomaterials for Cost-Effective Building Super-Insulation Systems) [1]. So far, existing problems do not allow the use of nanoporous super insulation based on the sol-gel process for building insulation of the next generation. The main task of the project is to overcome these barriers and to enable aerogels a broad market access. The difficulties herein count in particular poor mechanical stability and high production costs. Accordingly, different routes are tracked in the project in parallel with different composite or hybrid synthesis, which shall strengthen the nanoporous insulation material mechanically. The manufacturing cost shall be significantly reduced by improving the process technology, in particular in the drying of the gel precursors.

The role of ZAE Bayern in the consortium is primarily related to the thermal characterization of the developed materials in all tasks of the project. Accordingly, validated methods for sample characterization are applied. These range from a few cm<sup>3</sup> samples in the material screening up to hot-plate method for determining the thermal conductivity of greater insulation boards and finally to evaluation of complete facade elements in hot-box characterization. At the end of the project, the analysis of data has to be performed which is collected in a small building unit in a demopark and a demo facade under ambient conditions for about 1 year.

Aim of the EU project ELISSA (Energy Efficient Lightweight-Sustainable-SAFE-Steel Construction) is the development of prefabricated facade elements consisting of steel construction and drywall components [2]. The elements are to be distinguished from existing systems by improved properties in terms of thermal insulation, behavior in the case of seismic events and fire. For the project inorganic nanomaterials (e. g. aerogels, microporous insulation, vacuum insulation panels) and nano-electromechanical systems (NEMS) are selected to achieve the following objectives:

- efficiency and structural integrity under thermal, dynamic mechanical load as well as in case of fire
- saving of material, energy and time in construction due to the use of prefabricated lightweight elements

- Einsparung von Material, Energie und Zeit im Bau aufgrund des Einsatzes vorgefertigter Leichtbau-Elemente
- Ökonomie in Hinblick auf Material Recycling, Flexibilität im Design und der Logistik in der Kette von der Fertigung zur Integration der Elemente in der Fassade

Das ZAE Bayern ist sowohl bei der Auswahl und Anpassung von Materialien, als auch bei der thermischen Charakterisierung und Modellierung von Materialien und Komponenten maßgeblich beteiligt.

- economics with respect to material recycling, flexibility of design and logistics from production to integration of the elements in the facade

ZAE Bayern plays a major role in both the selection and adaptation of materials, as well as in the thermal characterization and modelling of materials and components.

H. Weinläder, J. Manara,  
G. Reichenauer



Abb. 1: Silica-Aerogel ohne mechanische Verstärkung (hier) ist zu fragil für bautechnische Anwendungen. Im Projekt AEROCOINs wird u.a. Cellulose zur Verstärkung der anorganischen Aerogel-Komponente eingesetzt.

Fig. 1: Silica aerogel without mechanical reinforcement (as shown here) is too fragile for building applications. Within the project AEROCOINs, inter alia cellulose is used to enhance the mechanic properties of the inorganic aerogel component.

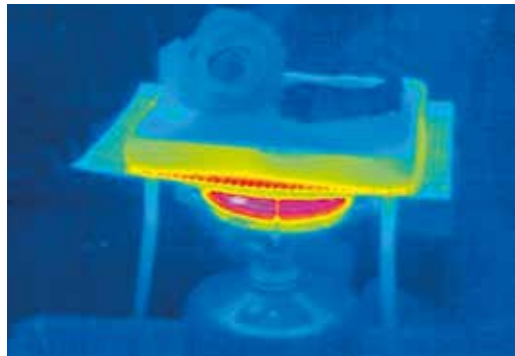


Abb. 2: In der Thermographieaufnahme zeigt die Aerogelplatte ihre extrem guten Wärmedämmeigenschaften. Blume und Oberseite der Aerogelplatte bleiben von der Hitze des Gasbrenners verschont.

Fig. 2: The thermographic image shows the extremely good thermal insulation properties of the aerogel plate. The flower as well as the top of the aerogel plate is prevented from the heat of the gas burner.

#### Literatur | References

[1] [www.aerocoins.eu](http://www.aerocoins.eu)

[2] [www.elissaproject.eu](http://www.elissaproject.eu)



Abb. 3: Plattenapparatur zur Messung der Wärmeleitfähigkeit in geschlossenem Zustand. Die Charakterisierung kann bei Temperaturen zwischen -200°C und 800°C unter Vakuum und verschiedenen Atmosphären erfolgen.

Fig. 3: Closed hot-plate apparatus for the measurement of the thermal conductivity. The characterization can be performed at temperatures between -200°C and 800°C under vacuum and different atmospheres.





# ENERGETISCHE BEWERTUNG VON FENSTERN

## ENERGETIC EVALUATION OF WINDOWS

### Ansprechpartner | Contact

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

### Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564 - 348  
helmut.weinlaeder@  
zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie BMWi  
(FKZ 0327654K)

### Kooperationspartner | Partners

Energy Glas GmbH  
Veka AG  
Walter Stickling GmbH  
Roto Frank AG  
Tremco illbruck GmbH & Co. KG  
Kurz & Fischer GmbH  
Netzsch-Gerätebau GmbH

Oft lässt sich der energetische Zustand von Fenstern – vor allem in Bestandsgebäuden - nur schwer beurteilen. Am ZAE Bayern werden deshalb neue Methoden entwickelt, um Fenster energetisch zu charakterisieren, zu bewerten und darüber hinaus die Qualität bei der Fensterherstellung zu kontrollieren und sicherzustellen. So wurde ein neuartiges mobiles Messgerät zur Bestimmung des  $U_g$ -Wertes von Verglasungen entwickelt. Das Messgerät ermöglicht die genaue Erfassung der Wärmedämmeigenschaften von Bestandsverglasungen innerhalb nur weniger Minuten. Der gemessene  $U_g$ -Wert erlaubt anschließend eine genaue Bewertung möglicher Sanierungsmaßnahmen wie z. B. Fenstertausch. Das Messgerät wird mit einem Gerätehersteller als Produkt umgesetzt. Für detaillierte Messungen steht am ZAE Bayern auch eine Hot-Box zur Verfügung, in der der Wärmedurchgang kompletter Fenster (Verglasung plus Rahmen) gemessen werden kann.

Neben Verglasung und Fensterrahmen gehen auch Anschlussdetails in das energetische Verhalten mit ein. Diese können über das neu entwickelte Bewertungstool Uwin berücksichtigt werden. Uwin ist ein Softwaretool zur Erfassung und Bewertung von Einzel Fenstern oder kompletten Fassaden und Gebäuden. Es erlaubt die detaillierte Erfassung von Fensterinformationen wie Materialien, Rollladenkästen, Verglasungen, Rahmenanteil und Einbaudaten. Entsprechende Gebäudeinformationen wie z. B. Standort (Klimadaten) oder Fassadenorientierung für solare Gewinne werden ebenfalls berücksichtigt und gehen in die Auswertung ein. Das Programm berechnet auf Basis anerkannter Rechenalgorithmen exakter als vergleichbare Produkte die zu erwartende energetische Verbesserung durch einen Fenstertausch, indem die eingegebenen Werte mit einem gewünschten Austauschfenster verglichen werden. Die Software ist kommerziell erhältlich.

Weiterhin entwickelte das ZAE Bayern ein Messkonzept zur Inline-Qualitätssicherung für die Fertigung von Isolierglas. Bisher kann die Edelgasfüllung im Scheibenzwischenraum von den Herstellern nur stichprobenartig ermittelt werden. Ein neuartiges optisches Messverfahren soll nun eine kontinuierliche Prozesskontrolle sicherstellen. Dabei wird ein kleiner mit einer fluoreszierenden Farbschicht versehener Sensor spot im Scheibenzwischenraum angebracht und von außen angeregt und ausgelesen. Dieses Verfahren eignet sich für die üblichen Glasdicken und Beschichtungen, wobei schnelle Messzeiten und hohe Messgenauigkeiten möglich sind. Die Sensor spots werden

The thermal performance of built-in windows often is difficult to assess. Therefore, ZAE Bayern develops new methods to characterize and evaluate windows with respect to their energetic performance and to control and assure the quality during production. One of the new developments is a new mobile sensor to determine the  $U_g$ -value of window glazing. The sensor measures the thermal performance of built-in window glazing within a couple of minutes and allows an accurate evaluation of possible measures, e.g. window refurbishment. A company will commercialize the sensor. Additionally, the thermal performance of complete windows (glazing and frame) can be measured in detail in a Hot-Box apparatus at ZAE Bayern.

Apart from glazing and frame, the joints are another important factor of the energetic performance of windows. All these factors can be evaluated in the new software tool Uwin, which can be used for single windows up to complete facades and buildings. Uwin allows the detailed implementation of window data regarding materials, blinds, glazing, frame and joints. Important building data like location (with corresponding climate data) and façade orientation (for solar gains) will be considered. The tool calculates the energetic improvement by comparing the window data with a reference window more precisely as comparable software. The calculation is performed according to actual standards. The software tool is commercially available.

ZAE Bayern also developed a measuring concept for the quality control of the glazing producing industry. So far, the level of the inert gas filling in between the glass plates could only be checked on a random basis. The new optical measurement method will now allow a continuous process control. To achieve this, a small sensor spot with a fluorescent pigment is integrated into the gap of the glazing. The sensor spot could be activated and read out from the exterior. This method is applicable for common glass types and thicknesses as well as coated glass. It allows very quick measuring times and a high accuracy. In the built-in state, the sensor spots will be covered by the frame and are not visible. For conventional production technology, field tests showed homogenization times of about 4 hours between Argon and air. To accelerate this, ZAE Bayern and Energy Glas developed a new gas filling method that achieves a homogenization within a few seconds. To apply this homogenization, the process of the gas-filling has to be modified. Therefore, producers of gas filling systems were contacted to integrate

später im eingebauten Zustand durch die Glasleisten des Fensterrahmens verdeckt. Feldtests zeigten, dass in der herkömmlichen Produktion die Durchmischung von Argon und Luft im Scheibenzwischenraum erst nach rund 4 Stunden abgeschlossen ist. Daher entwickelten das ZAE Bayern und Energy Glas ein Verfahren, welches die homogene Durchmischung des Gases schon nach wenigen Sekunden erwirkt. Um dies anzuwenden muss der Prozess in der Gasfüllpresse modifiziert werden. Hierzu wurde Kontakt mit Herstellern von Gasfüllanlagen aufgenommen, um die Inline-Qualitätssicherung in den Produktionsprozess der Isoliergläser zu integrieren. Weitere Infos zu den Arbeiten finden Sie unter [www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info) sowie in [1].

this new quality control method into the production process. More info is available at [www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info) as well as in [1].

H. Weinläder

#### Literatur | References

[1] BINE-Projektinfo 15/2013: Bei Fenstersanierung fundiert entscheiden. [www.bine.info](http://www.bine.info)



Abb. 1: Mobiles  $U_g$ -Wert-Messgerät zur thermischen Charakterisierung von Bestandsverglasungen.

Fig. 1: Mobile  $U_g$ -value measuring device for thermal characterization of windows on-site.



Abb. 2: Hot-Box zur thermischen Charakterisierung kompletter Fenstersysteme (Verglasung plus Rahmen).

Fig. 2: Hot-Box for thermal characterization of complete window systems (glazing plus frame).



Abb. 3: Intuitive Eingabemaske des Bewertungstools Uwin zum Mikroklima.

Fig. 3: Intuitive input mask of the Uwin software for data regarding the microclimate.



Abb. 4: Sensorspot im Scheibenzwischenraum zur Bestimmung des Gasfüllgrades.

Fig. 4: Sensor spot for measuring the gas filling level in a glazing.

## 2.4



## ENERGIEEFFIZIENTE PROZESSE

### ENERGY EFFICIENT PROCESSES

#### „BILLIGER SOLARSTROM ALLEIN MACHT NOCH KEINE SOLARE KÜHLUNG.“

(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 numerous successful projects with partners from various industry branches.

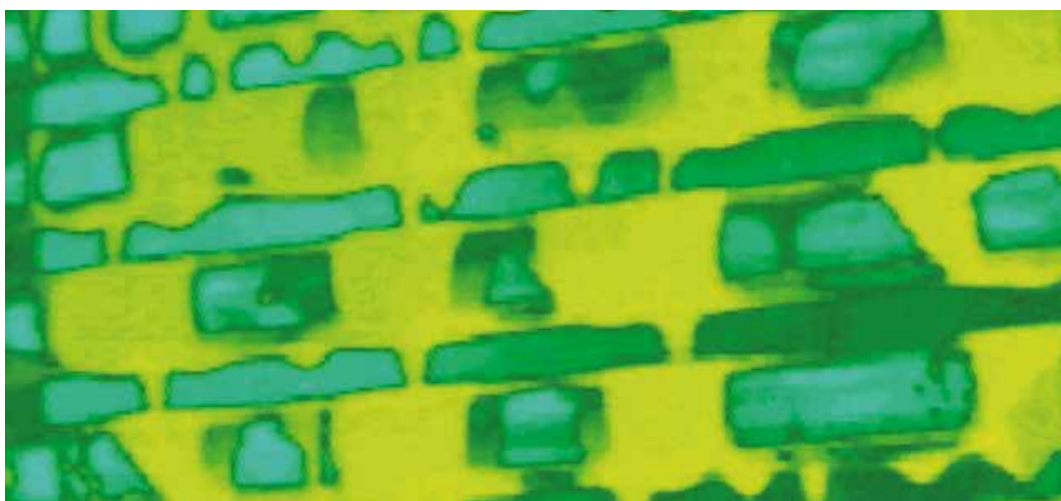


Abb. 1: Thermografieaufnahme eines Rieselfilmabsorber-Austauschers zur Bestimmung des Benetzungsverhaltens.

Fig. 1: Thermographic image of a heat exchanger of a falling film absorber for the estimation of the wetting behavior.



Abb. 2: Versuchstand zur experimentellen Ermittlung thermo- und fluiddynamischer Charakteristika in einem stehenden Siederrohr für Hochtemperaturaustreiber mehrstufiger Absorptionskältemaschinen.

Fig. 2: Test rig for the experimental determination of thermodynamic and fluid dynamic characteristics in a vertical boiling tube for high temperature desorbers of multi-stage absorption chillers.



Abb. 3: Prototyp eines VSI-gedämmten Flachkollektors zur Prozesswärmeerzeugung auf dem Freiluftteststand des ZAE Bayern (VSI: Vakuum Superinsolation).

Fig. 3: Prototype of a vacuum superinsulated (VSI) flat plate collector for process heat at the outdoor test facility of ZAE Bayern.



## LATENTWÄRMESPEICHER FÜR SOLARES HEIZEN UND KÜHLEN MIT ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE – EINE SYSTEMBETRACHTUNG

### LATENT HEAT STORAGE FOR SOLAR HEATING AND COOLING WITH ABSORPTION CHILLER – SYSTEM DESIGN

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing.(FH) Martin Helm**  
Projektleiter, Wärmetransformation  
Project Manager, Heat Conversion

#### Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-33  
martin.helm@zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 03296050)

#### Kooperationspartner | Partners

Clina -Bionic Systems GmbH

Thermisch angetriebene Kälteanlagen und Wärmepumpen zur Klimatisierung von Gebäuden erlangen in Zeiten steigender Strompreise zunehmend an Bedeutung [1]. Das ZAE Bayern hat hierzu ein patentiertes innovatives Energiesystem [2] entwickelt und in verschiedenen Demonstrationsanlagen europaweit evaluiert. Herzstücke der Anlage sind eine auf dem Arbeitsstoffpaar Lithiumbromid/Wasser basierende kleine Absorptionskälteanlage mit 10 kW Nennkälteleistung [3] sowie ein mit 1,5 m<sup>3</sup> Volumen sehr kompakter Niedertemperatur Latentwärmespeicher [4] mit einer Kapazität von 120 kWh im Temperaturbereich zwischen 22°C und 36°C. Im jahreszeitlichen Verlauf übernimmt dabei der Latentwärmespeicher unterschiedliche Aufgaben [5].

Im Winter puffert dieser überschüssige Solarenergie latent im fest-flüssig Phasenwechsel des Speichermaterials (PhaseChangeMaterial: Calciumchlorid Hexahydrat CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) bei nahezu konstanter Temperatur um 29°C. Dadurch steigt im Vergleich zu konventionellen Systemen besonders bei kleinen spezifischen Speichervolumina der Solarertrag um bis zu 22,2%. Im Sommer unterstützt der Latentwärmespeicher die Rückkühlung der Absorptionskälteanlage. Während bei rein trockener Rückkühlung die Kühlwassertemperatur mit steigender Umgebungstemperatur ebenfalls ansteigt, bleibt diese bei einem mit Latentwärmespeicher ausgestatteten System auch an sehr heißen Tagen mit Außenlufttemperaturen über 35°C nahezu konstant bei 32°C. Die im Latentwärmespeicher aufgenommene Abwärme kann dann in der darauffolgenden Nacht mit geringem Hilfsenergieaufwand an die Umgebung abgegeben werden. Abb. 1 zeigt Messergebnisse eines Systems mit und ohne Latentwärmespeicher unter vergleichbaren Temperatur- und Einstrahlungsbedingungen an einem heißen Sommertag im Juni 2013. Verglichen mit einer konventionellen Installation ohne Latentwärmespeicher im Rückkühlkreis zeigt dieses innovative Systemkonzept eine signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit in Bezug auf alle relevanten Kennzahlen wie absolute Kälteproduktion, Energy Efficiency Ratio (EER) und die thermische Leistungsziffer (Coefficient of Performance, COP).

Die langjährigen Messergebnisse und die Erfahrungen aus den drei Demonstrationsanlagen bestätigen zudem die positiven Ergebnisse der System-Jahressimulation in verschiedenen Klimazonen. Abb. 2 zeigt links in einem CAD Modell den internen Aufbau eines 1500 l fassenden Latentwärmespeicher Moduls (LHS) und rechts die wichtigsten Simulationsergebnisse. Je nach

In times of rising electricity costs, thermally driven chillers and heat pumps for air conditioning are becoming more relevant [1]. ZAE Bayern has developed a patented energy system [2] which has been evaluated in different demonstration plants throughout Europe. Core pieces of the energy system are a lithiumbromide/water based absorption chiller with 10 kW nominal cooling capacity [3] and a really compact sized (1.5 m<sup>3</sup>) low temperature latent heat storage [4] with a heat capacity of 120 kWh within the temperature range from 22°C to 36°C. During the course of the year the latent heat storage performs different tasks [5].

During winter time it buffers excess solar energy in the solid-liquid phase change of the storage material (PCM: calciumchloride-hexahydrate CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) at nearly constant temperature around 29°C. As a result the overall collector efficiency, respectively the solar yield is notably increased up to 22.2% in comparison to conventional installations. During summertime the latent heat storage supports the dry heat rejection system of the absorption chiller. Solely dry recooling leads to increasing cooling water return temperatures at rising ambient temperature. In contrast, when a latent heat storage is integrated, it remains nearly constant at 32°C even on hot days with ambient air temperatures exceeding 35°C. Additionally, the auxiliary power demand for time-shifted reject heat dissipation during nighttime is small. Fig. 1 shows experimental data of the system near Munich with and without latent heat storage supported dry heat rejection on a hot summer day in June 2013 under comparable temperature and insolation conditions. In contrast to the conventional installation with dry heat rejection only, the novel system concept shows a significant increase in performance concerning main key figures like chilled water production, Energy Efficiency Ratio (EER) and thermal Coefficient of Performance (COP).

The long-term measuring results and experiences gained in the three demonstration plants confirm the positive results of the annual system simulation under different climatic conditions. Fig. 2 shows a CAD-model (left) of the internal structure of a 1500 l containing latent heat storage module (LHS) and the main simulation results on the right. Besides an improved solar fraction, a remarkable enhancement of the Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) during the cold production up to 64% was determined for the innovative system concept at different locations. Cycle-stability and long-term durability of the applied PCM and

Standort konnte für das innovative Systemkonzept neben einer erhöhten solaren Deckung eine relative Verbesserung des saisonalen EER (SEER) bzw. eine Hilfsenergieeinsparung bei der Kälteerzeugung um bis zu 64% ermittelt werden. Die Zyklusstabilität und Dauerbeständigkeit von PCM und Konstruktion wurden an einem Teststand des ZAE Bayern unter Realbedingungen in über 900 Zyklen nachgewiesen. Das erfolgreiche Projekt zeigt sehr deutlich, dass Energieeffizienz in der Anwendung nicht nur durch effiziente und innovative Komponenten, sondern vor allem durch eine sinnvolle Systemkonfiguration und -steuerung bestimmt wird.

construction was proven in more than 900 cycles at an in-house test rig under normal conditions at ZAE Bayern. The successful project gives a convincing example that overall energy efficiency is not only obtained by efficient and innovative components solely, but also by a sophisticated system design and an intelligent control strategy.

M. Helm, K. Hagel, S. Hiebler

Literatur | References

- [1] ESTTP, Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe
- [2] Latent Heat Storage for Efficient Cooling and Heating Systems, WO002006100047A3
- [3] A. Kühn et al., Performance of a 10 kW solar driven absorption chiller, 5th ISES Europe Solar Conference EuroSun2004, Freiburg, Germany, 20.-23.06.2004.
- [4] M. Himpel et al., Long term results from a latent heat storage developed for a solar heating and cooling system, EUROSUN 2010, Graz, Austria, 29.09-01.10.2010
- [5] H.M. Henning et al., Solar Cooling Handbook. A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes, Vienna 2013, p.271-274

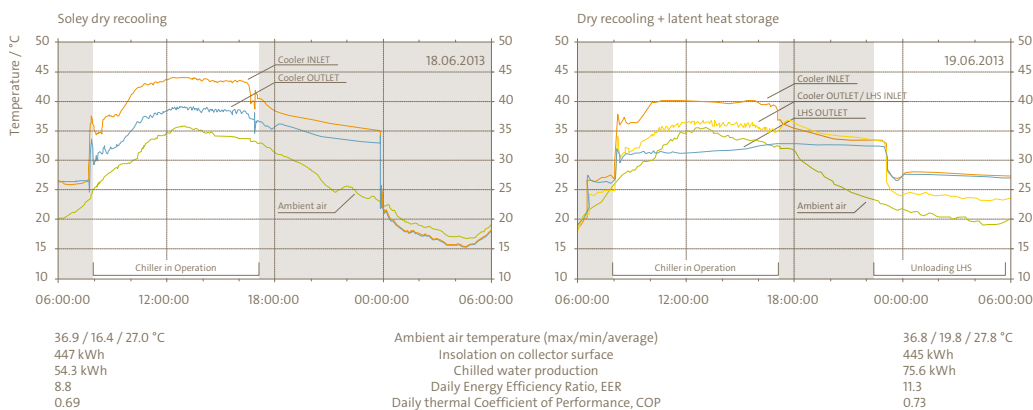


Abb. 1: Temperatur- bzw. Leistungsverläufe und ermittelte Kennzahlen einer konventionellen Installation (links) im Vergleich zum innovativen Systemkonzept mit Latentwärmespeicher (rechts).

Fig. 1: Experimental data of temperature and power as well as calculated key figures of a conventional installation (left) compared with the innovative system concept including a latent heat storage (right).

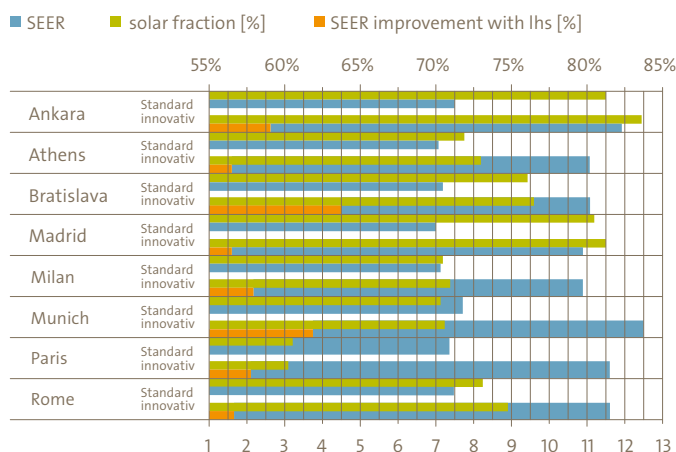
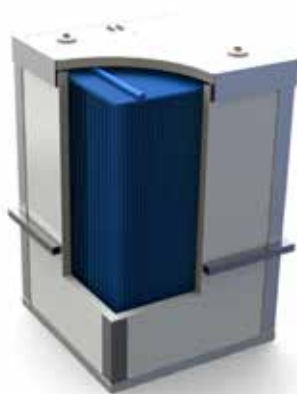


Abb. 2: CAD-Schnittdarstellung eines 1500 l fassenden LHS (links) und Ergebnisse zu solarem Deckungsgrad sowie SEER der Jahressimulation an verschiedenen Standorten. Fig. 2: CAD cross-sectional view of a 1500 l LHS (left) and results of the annual system simulation under different climatic conditions showing solar fraction and SEER.



## CHANCEN UND GRENZEN SOLARER KÜHLUNG IM VERGLEICH ZU REFERENZTECHNOLOGIEN

### POTENTIAL AND LIMITS OF SOLAR COOLING COMPARED TO REFERENCE TECHNOLOGIES

#### Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Ing. (FH) Peter Zachmeier**  
Projektleiter, Wärmetransformation  
Project Manager, Heat Conversion

#### Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-29

✉ peter.zachmeier@zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit  
(FKZ 0325966C)

#### Kooperationspartner | Partners

Fraunhofer-Institut für Solare Ener-  
giesysteme (ISE)  
Institut für Luft- und Kältetechnik  
gemeinnützige Gesellschaft mbH  
(ILK Dresden)

Zwischen dem Kältebedarf für Komfortklimatisierung und dem solaren Strahlungsangebot besteht zumeist eine gute zeitliche Korrelation. Zudem gibt es in Regionen mit hohem Kühlbedarf häufig große Spitzenlasten im elektrischen Netz aufgrund der üblichen elektro-mechanischen Kälteerzeugung. Um sowohl das elektrische Netz zu entlasten als auch regenerative Energiequellen zur Kälteerzeugung einzusetzen, stellt die sogenannte solare Kühlung eine vielversprechende Option dar. Bisher wird mit dem Begriff „solare Kühlung“ hauptsächlich solarthermische Kühlung verbunden. Dies lag hauptsächlich daran, dass noch vor 5 Jahren die Kosten für Strom aus Photovoltaiktechnik (PV) etwa 2-3 mal so hoch waren wie die Bezugskosten aus dem Netz für private Endkunden. Aufgrund des Erneuerbare-Energien-Gesetzes gab es in den letzten Jahren einen regelrechten Boom bei der PV-Technik, so dass die Kosten für Strom aus PV inzwischen bei ca. 50% der Kosten für Strombezug von privaten Endkunden liegen. Dadurch wird auch solarelektrische Kühlung als Variante der solaren Kühlung interessant.

Für einen Vergleich von konventioneller, solarelektrischer und solarthermischer Kühlung wurden im Projekt EVASOLK umfangreiche Simulationsrechnungen durchgeführt. Dabei wird sowohl der Heiz- und Kühlbedarf als auch der Warmwasserbedarf sowie die elektrische Last verschiedener Gebäudetypen betrachtet. An verschiedenen Standorten in Mittel- und Südeuropa sowie in Nordafrika wurden Szenarien mit kleineren und mittleren Kältelasten für jede der drei Kühlarten simuliert. Die Szenarien bilden so unter anderem Wohnhäuser, Bürogebäude und Hotels ab. Als Bewertungsgröße für den Vergleich wurden CO<sub>2</sub> Emission, Primärenergiebedarf, solare Deckungsrate sowie Mehr- bzw. Minderkosten für jede eingesparte kWh Primärenergie und jedes eingesparte kg-CO<sub>2</sub> gewählt. Als Eingangsgröße für die Simulation dienen standardisierte Wetterdaten, Gebäude mit standortspezifischen Bauausführungen bezüglich Dämmung und Gebäudetechnik sowie die ermittelten Leistungs- und Effizienzwerte solarthermischer Kühlanwendungen aus vorangegangenen solaren Kühlungsprojekten. Die Effizienzwerte von verschiedenen Kompressionskältemaschinen wurden im Rahmen einer Feldvermessung ermittelt und dienen ebenfalls als Grundlage für die Simulation. Für alle untersuchten Standorte erwiesen sich solare Kühlungsvarianten gegenüber der Referenztechnologie mit konventioneller Wärme- und Kälteerzeugung als ökologisch vorteilhaft. Ein Vergleich der solaren Kühlungsvarianten untereinander zeigte, dass solarthermische Kühlungssysteme besonders bei

Cooling demand for comfort air conditioning and solar irradiation often show a high chronological conformity. Furthermore, regions with high cooling demand frequently have high peak load in the electrical grid because of electrically driven air conditioning. Solar cooling seems to be a promising option to disburden the electrical grid as well as using renewable energy sources for cooling. Up to now the term “solar cooling” stands mainly for solar thermal driven cooling systems. This is due to the fact that until 5 years ago, the cost of electricity produced by photovoltaic (PV) systems was 2-3 times the cost for electricity from the grid for private users. The financial incentives given by the Renewable Energy Law (in Germany) led to a boom in the PV industry. This led to an electricity price for PV which is about 50% of the cost that private consumers pay for electricity from the grid. Thus, also solar electrical cooling becomes an interesting solar cooling option.

During the project EVASOLK extensive simulations were performed to compare conventional cooling systems with solar electrical and solar thermal cooling. The heating and cooling demands as well as the domestic hot water demand were taken into account including the electrical load of the investigated building types. For different locations in Central and Southern Europe as well as in North Africa, scenarios with low and medium cooling loads were calculated for each of the three cooling systems. The scenarios represent inter alia private housing, office buildings and hotels. The evaluation parameters for the study are CO<sub>2</sub> emission, primary energy demand, solar fraction and additional or reduced costs per saved kWh primary energy and per saved kg CO<sub>2</sub>. The input for the simulation are standardised weather data, buildings with typical local features concerning insulation and building technology as well as power and efficiency factors for solar thermal cooling applications which have been evaluated in recent solar cooling projects. The efficiency factors for various vapour compression cooling machines were determined in the scope of a field test and are also used as input variables for the simulation. Both solar cooling options turned out to be ecologically favourable compared to conventional cooling for all determined locations. A comparison of the solar cooling options shows an advantage of the solar thermal cooling in applications with high space heating and high domestic hot water demand. In applications with high electrical loads the solar electrical option showed at least similar or even better ecological performance than the solar thermal cooling option. This is due to

Szenarien mit hohem Warmwasserverbrauch günstig abschnitten. Bei Szenarien mit hohen elektrischen Lasten waren solarelektrische Systeme, ökologisch betrachtet, gleichauf bzw. vorteilhaft gegenüber solarthermischer Kühlung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass solarthermische Systeme Warmwasser sehr effizient bereitstellen können während bei solarelektrischen Systemen, besonders bei Kälteteillast, Strombezug aus dem öffentlichen Netz vermieden werden kann.

Unter ökonomischen Gesichtspunkten schnitt die solarelektrische Kühlung durchwegs besser ab als die solarthermische Kühlung. Durch die solarthermische Kühlung waren in allen untersuchten Szenarien Mehrkosten gegenüber der konventionellen Technik zu verzeichnen. Die solarelektrische Kühlung erzielte die Einsparung an CO<sub>2</sub> bzw. Primärenergie zumeist bei Kostengleichheit bzw. sogar unter Kosteneinsparung gegenüber konventionellen Lösungen.

the fact that solar thermal systems can provide hot water very efficiently while solar electric systems can substitute electric energy from the grid, especially while the cooling is running on part load.

From an economic point of view the solar electrical option is favorable compared to the solar thermal cooling option. In all scenarios, solar thermal cooling leads to extra costs compared to conventional technology. The solar electrical option led to saving of CO<sub>2</sub> emissions and primary energy with similar costs or even with cost reduction compared to conventional technologies (investment and operational costs).

P. Zachmeier



Abb. 1: Vermessung eines Mono-Split Klimagerätes am ZAE Bayern im Rahmen der Feldvermessung. Es werden u.a. Kältemitteltemperaturen, -drücke und -massenstrom gemessen. Im Hintergrund sind die thermischen Solarkollektoren der bestehenden solarthermischen Kühlung zu sehen.

Fig. 1: Measurement of a single split air conditioning unit at ZAE Bayern as part of a field test. Temperature, pressure and mass flow of the refrigerant are measured. In the background the solar thermal collector field of the existing solar thermal cooling system is visible.





#### „NANOPORÖSE FUNKTIONSMATERIALIEN – NICHT HEISSE SONDERN SMART VERTEILTE LUFT.“

(DR. G. REICHENAUER)

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 hergestellt werden. Diese bilden die Basis für Komposite, die eine Integration mehrerer Funktionalitäten in einem Material erlaubt. 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 Produktsammensetzung 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.

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.

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.



Abb. 1: Demoaufbau (Ausschnitt) zur Kopplung organischer Solarzellen (Energiewandler) und Superkondensator (schneller Energiespeicher). Auch ohne Sonneneinstrahlung liefert der Speicher genügend Energie zum Betrieb des Ventilators.

Fig. 1: Demo set-up (detail) for the coupling of organic solar cells (energy converter) and supercapacitor (fast energy storage). Even without sunlight the storage provides enough energy to operate the fan.

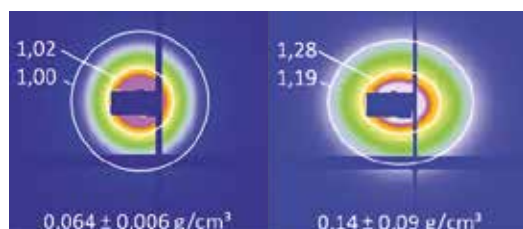


Abb. 2: Nanoporöser Kohlenstoff-Komposit (Platte ca. 30x30 cm<sup>2</sup>) mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,1 bis 0,2 W/mK bei Temperaturen > 2000°C und damit hervorragend als Hochtemperaturwärmedämmung geeignet.

Fig. 2: Nanoporous carbon composite (panel ca. 30x30 cm<sup>2</sup>) with a thermal conductivity of 0.1 to 0.2 W/mK at temperatures > 2000 °C and thus ideally suited as high temperature insulation.

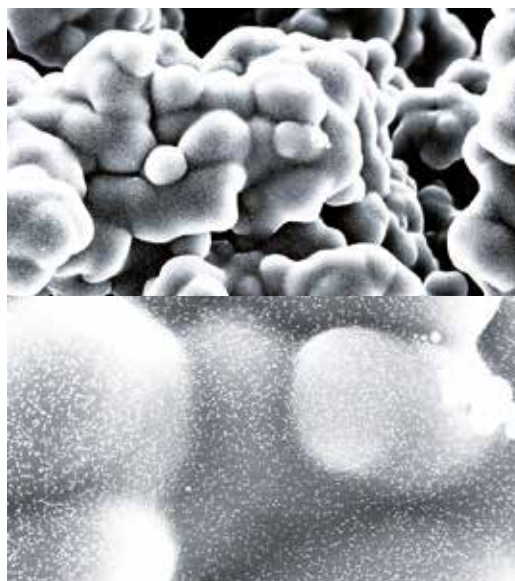


Abb. 3: Komposit aus Nanodiamanten und synthetischem Kohlenstoff für elektrochemische Anwendungen. Die REM-Aufnahme zeigt gut dispergierte, 8 nm große Nanodiamanten als kleine Punkte auf der Oberfläche des Kohlenstoffträgers.

Fig. 3: Composite consisting of nano-diamonds and synthetic carbon for electrochemical applications. The SEM image shows well-dispersed, 8-nm sized nanodiamonds as small dots on the surface of the carbon support.

Abb. 4: Röntgenkleinwinkel-Streubilder eines PU-Aerogels. Links: unbelastet. Rechts: uniaxial deformiert – zunehmend elliptisches Streubild. Die berechneten Strukturgrößen werden zur Bewertung der Wärmeleitfähigkeit entsprechend deformierter Proben verwendet.

Fig. 4: Small-Angle X-ray Scattering patterns of a PU-aerogel. Left: unloaded. Right: uniaxially deformed - increasingly elliptical scattering pattern. The calculated structural parameters are used to evaluate the thermal conductivity of accordingly deformed samples.



## THERMAL TRANSPIRATION – MIT LOW EXERGIE DRUCK ERZEUGEN

THERMAL TRANSPIRATION – PRESSURE PRODUCTION BY LOW EXERGY

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Gudrun Reichenauer**  
Gruppenleiterin,  
Nanomaterialien  
Group Manager,  
Nanomaterials

### Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564-328

gudrun.reichenauer@  
zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Eigenforschung

Thermoelektrik ist ein Begriff, der für die Umwandlung von Abwärme in elektrische Energie steht und im Bereich der Energieforschung inzwischen geläufig ist. Fast unbekannt ist dagegen der von Reynolds erstmals 1879 als „Thermal Transpiration“ beschriebene und später von J.C. Maxwell als „Thermal Effusion“ bezeichnete Effekt [1]. Unter diesem Schlagwort versteht man die Möglichkeit Energie auf niedrigem Niveau (Low Exergy) in Form von Abwärme zu nutzen. Damit wird ein Temperaturgradient in eine Gasdruckdifferenz oder einen kontinuierlichen Gasfluss übersetzt. Voraussetzung hierfür ist eine offenporöse Schicht mit einer Porengröße, die kleiner ist als die mittlere freie Weglänge des Gases, in dem sich die Schicht aktuell befindet. Zudem ist eine geringe thermische Leitfähigkeit wesentliches Charakteristikum des Effekts (ähnlich zum thermoelektrischen Effekt), so dass die Temperaturdifferenz über einer entsprechenden porösen Membran zu einer Druckdifferenz führt, bei der der Gasdruck auf der kalten Seite höher ist als auf der warmen. In Abb. 1 ist dieses Verhalten schematisch skizziert.

Interessanterweise ist dieser Effekt für einige Pflanzen sogar lebensnotwendig. Zum Beispiel besitzen Seerosenblätter eine poröse Struktur (Abb. 2), die es ihnen erlaubt, die Temperaturdifferenz zwischen Blattober- und Unterseite in eine Druckdifferenz zum Pumpen des Sauerstoffs umzusetzen. Auch technisch ist dieser Effekt sehr interessant, da damit Pumpen bzw. Kompressoren ohne bewegliche Teile realisierbar sind, die direkt mit thermischer Energie betrieben werden und damit Anwendungen im Bereich Stand-alone Betrieb und Miniaturpumpen auf elektronischen Chips erschließen können. Der Wirkungsgrad liegt, abhängig vom entsprechenden thermodynamischen Prozess, bei Werten bis zu 10% [2-4]. Erste Umsetzungen des Konzepts sind im Bereich Raumfahrt in Form von sogenannten Knudsenkompressoren zu finden [5], in denen viele hintereinander geschaltete „Thermal Transpiration“ Stufen den, in dieser speziellen Anwendung, erforderlichen Druckunterschied bereitstellen.

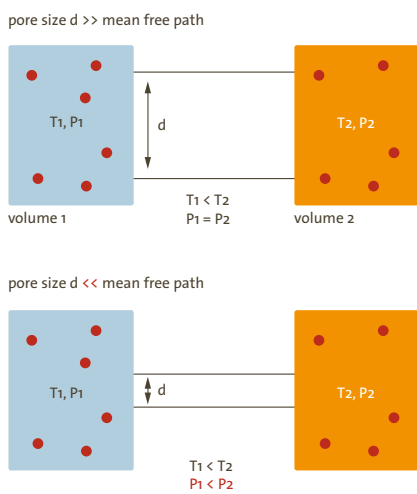
Zur Untersuchung des Effekts wurde eine spezielle Zelle aufgebaut, die Messungen der Kenngrößen unter verschiedenen Bedingungen erlaubt. Als Membranen dienten Aerogel-basierte Materialien in Form von einigen mm dicken Schichten, die in verschiedenen Konfigurationen analysiert wurden. Analog zum elektrischen Schaltkreis wurden sowohl der „stromlose Zustand“, d.h. der Druckunterschied ohne Gasfluss, als auch der resultierende Gasfluss als Funktion der angelegten Temperaturdifferenz für unterschiedli-

Thermoelectrics is a term that represents the conversion of waste heat into electrical energy and which has become common in the field of energy research. In contrast, the effect first described as “thermal transpiration” by Reynolds 1879 and later denoted as “thermal diffusion” by J.C. Maxwell [1] is almost unknown. This term refers to the ability to use power at a low level (low exergy) in the form of waste heat. In particular, a temperature gradient can be converted into a gas pressure difference or a continuous gas flow. This requires an open porous layer having a pore size that is smaller than the mean free path of the gas, wherein the layer is currently located. In addition, a low thermal conductivity is an essential characteristic of the effect (similarly to the thermoelectric effect) so that the temperature difference across a respective porous membrane results in a gas pressure gradient with the pressure on the cold side being higher than on the warm side. This behavior is schematically illustrated in Fig. 1.

Interestingly, this effect is actually indispensable for the survival of some plants. For example lily pads have a porous structure (Fig. 2), which allows them to convert the temperature difference between the leaf top and bottom side into a pressure difference that pumps the oxygen. This effect is technically very interesting, as pumps or compressors without moving parts are feasible. They can directly be operated with thermal energy and thus applications in a stand-alone mode and devices such as miniature pumps on chips are possible. Depending on the particular thermodynamic process, the efficiency reaches values up to 10% [2-4]. First implementations of the concept can be found in space applications as so-called Knudsen compressors [5] where “thermal transpiration” levels connected in series provide the pressure difference required in this specific application.

To investigate the effect, a special cell was constructed that allows measurement of the characteristics under different conditions. As membranes aerogel-based materials were synthesized as a few mm thick films and subsequently analyzed in a variety of configurations. Analogous to the electrical circuit, both modes, i.e. the “open circuit” configuration (pressure difference without gas flow) as well as the resulting gas flow as a function of the applied temperature difference, were investigated in different set-ups and with aerogels providing different pore structures. The primary objective was to develop know-how about practical limitations of this system (e.g. optimal usage of the available thermal energy) to identify further opti-

che Aufbauten und Aerogelstrukturen untersucht. Wesentliches Ziel dabei war, Erfahrungen über die praktischen Limitierungen in diesem System zu erarbeiten (z. B. die optimale Einkopplung der verfügbaren thermischen Energie) und weiteres Optimierungspotential sowohl für das Material als auch das ganze System zu identifizieren.



mization potential for the material as well as the overall system.

G. Reichenauer, B. Zöller, S. Braxmeier

Literatur | References

[1] The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell: 1874-1879, Vol. III, Eds: P.M. Harman, Cambridge University Press 1990-2002

[2] T. Klein, Energy conversion using thermal transpiration: Optimization of a Knudsen Compressor, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2012.

[3] H. Daniel, BWK, 48 (1996) 25-30.

[4] H. Daniel, Zeitschrift für Naturforschung, 49a (1994) 1037-1039.

[5] Y.L. Han et al., Conf. Proc. 24th Int. Symp. rarified gas dynamics, 762:162-167, 2005.

[6] B. Zöller, Thermisch induzierter Gastransport in porösen Materialien, Diplomarbeit, Universität Würzburg 2012.

Abb. 1: Schematischer Vergleich zweier Systeme mit warmer und kalter Seite, die durch eine poröse Membran getrennt sind. Oben: Porendurchmesser  $d$  sehr viel größer als die mittlere freie Weglänge  $\ell$  des Gases in der Umgebung. Ein evtl. anfänglich vorhandener Druckunterschied  $p$  wird rasch über Gastransport zwischen beiden Seiten der Membran ausgeglichen. Unten:  $d$  sehr viel kleiner als  $\ell$ . Einstellen einer stabilen stationären Druckdifferenz bei fester Temperaturdifferenz (nach [6]).

Fig. 1: Schematic comparison of two systems with hot and cold side separated by a porous membrane. Top: pore diameter  $d$  is much larger than the mean free path  $\ell$  of the gas in the surroundings. A possible initial pressure difference  $p$  is rapidly compensated by gas transport between the two sides of the membrane. Bottom:  $d$  is much smaller than  $\ell$ , thus establishing a stable stationary pressure difference at a fixed temperature difference (from [6]).

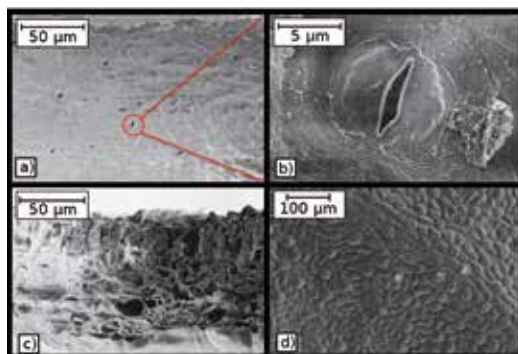


Abb. 2: REM-Aufnahmen eines Seerosenblattes: a) Die Oberseite ist von vielen Spaltöffnungen durchsetzt. b) Nahaufnahme einer Spaltöffnung. c) Querschnitt durch ein Rosenblatt; interzelluläre Hohlräume sind deutlich erkennbar. d) Unterseite des Blattes (aus [6]).  
 Fig. 2: SEM images of a water lily leaf: a) The top is penetrated by many stomata. b) Close-up of a stomata. c) Cross-section of a lily leaf clearly shows intercellular cavities. d) Bottom of the leaf (from [6]).

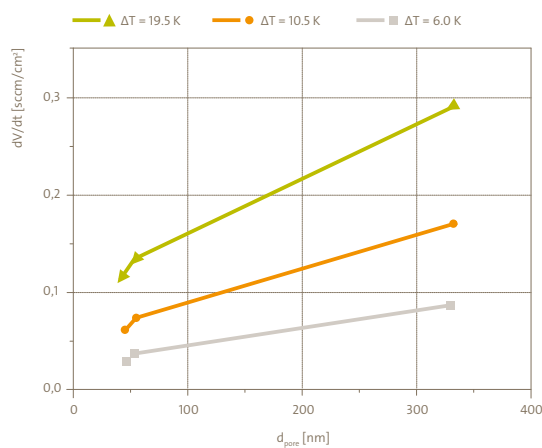
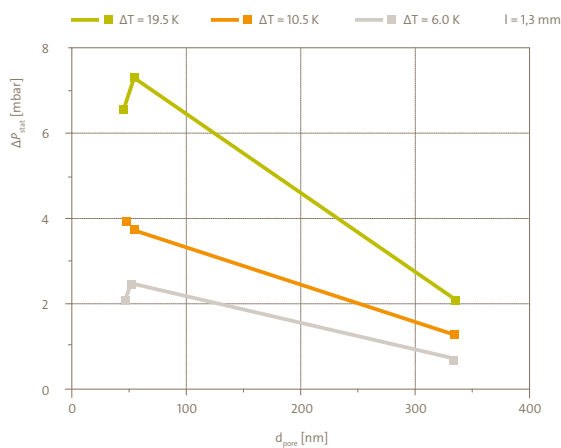


Abb. 3: Links: Stationäre Druckdifferenz bei „Open Circuit“ für poröse Membranen der Dicke 1,3 mm als Funktion der Porengröße bei verschiedenen Temperaturdifferenzen über der Probe. Rechts: Gasfluss („Closed Circuit“) bei sonst gleichen Bedingungen wie oben (nach [6]).  
 Fig. 3: Left: stationary pressure difference („Open Circuit“) for porous membranes of thickness 1.3 mm as a function of pore size at different temperature differences across the sample. Right: gas flow („Closed Circuit“) for otherwise identical conditions (from [6]).

## 2.6



## THERMOPHYSIK UND -SENSORIK

### THERMOPHYSICS AND THERMOSENSORICS

„EINE ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ THERMISCHER PROZESSE IST NUR MIT AUSGEWIESENER EXPERTISE AUF DEM GEBIET DER THERMOPHYSIK UND -SENSORIK MÖGLICH.“

(DR. J. MANARA)

Das Verständnis von Wärmetransportphänomenen sowie die Erfassung thermophysikalischer Kenngrößen sind für die Energietechnik von entscheidender Bedeutung und stellen eine wichtige Grundlage für die Erhöhung der Energieeffizienz in zahlreichen Anwendungsfeldern dar. Zu nennen sind hier z. B. die Bereiche Gebäude, Kraftwerkstechnik, Automobil und Transport, Luft- und Raumfahrttechnik, sowie Erneuerbare Energien. Thermische Prozesse sind beispielsweise in ca. 60% aller industriellen Prozesse ein zentraler Bestandteil, u. a. in Öfen, Wärmetauschern und Turbinen. Dies bedeutet, dass zur energetischen Optimierung industrieller Verfahren und Produkte, sowie der dazu benötigten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die genaue Kenntnis thermophysikalischer Eigenschaften der verfügbaren oder neu entwickelten Materialien bei den jeweiligen Einsatzbedingungen unabdingbar ist. Komplementär dazu ist ein vertieftes theoretisches Verständnis der relevanten Wärme- und Strahlungstransportphänomene notwendig.

Daher beschäftigt sich das ZAE Bayern im Themenfeld Thermophysik und -sensorik mit der hochgenauen Charakterisierung und der zuverlässigen Beschreibung thermophysikalischer Materialgrößen auf dem Gebiet der Energieforschung. 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 wird die Entwicklung neuartiger Materialien, Komponenten und Systeme für den Einsatz bei extremen Bedingungen (z. B. hohe Temperaturen oder Drücke) ermöglicht.

Konkret beinhaltet die Expertise des ZAE Bayerns die umfassende 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 (Bildgebende Verfah-

The understanding of heat transport phenomena and the determination of thermophysical properties are crucial for energy technology and provide an important basis for the improvement of energy efficiency in many fields of application. These include, for example, building applications, power plant engineering, automotive and transportation, air and space technology as well as renewable energies. Thermal processes are, for instance, a central component in about 60% of all industrial processes, inter alia in furnaces, heat exchangers and turbines. Hence the accurate knowledge of the thermophysical properties of available or newly developed materials under operational conditions is essential for optimising the energy efficiency of industrial processes and products as well as providing appropriate research and development work. Complementary to this, a deeper theoretical understanding of the relevant heat and radiative transport phenomena is necessary.

Therefore the research topic Thermophysics and Thermosensorics at ZAE Bayern engages in highly accurate characterisation and reliable description of thermophysical material parameters in the field of energy research. The deployment of innovative measurement procedures and imaging analysis methods for determining the relevant material parameters over a wide range as well as the development of physical models for the description of heat, radiative and mass transport in these materials enable the development of new materials, components and systems for usage under extreme conditions (e. g. high temperatures or high pressures).

The expertise of ZAE Bayern concretely includes the comprehensive analysis of complex heat transfer processes in heterogeneous material systems (Thermal Analysis), modelling and characterisation of heat transfer by thermal radiation (Applied IR Metrology), and the qualitative and quantitative detection of thermal processes as well as the thermal imaging of such processes (Imaging and Thermosensorics). Research and development activities within the cross-cutting

ren und Thermosensorik). Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten innerhalb des Querschnittsthemas Thermophysik und – sensorik werden in enger Kooperation mit den anderen Themenfeldern des ZAE Bayern im Rahmen der Eigenforschung ebenso betrieben wie im Zuge der Auftragsforschung sowie in öffentlich geförderten Projekten.

issue Thermophysics and Thermosensorics are executed in cooperation with other areas of ZAE Bayern and includes basic research as well as contract research and public funded projects.



Abb. 1: FTIR-Spektrometer zur Bestimmung des Strahlungstransports bei kryogenen Temperaturen.

Fig. 1: FTIR-spectrometer for determining the infrared-optical properties at cryogenic temperatures.



Abb. 2: Oxidationsprozesse an einer gesinterten Tantalprobe.

Fig. 2: Oxidation process of a sintered tantalum sample.



Abb. 3: Innenansicht einer Ulbrichtkugel (erzeugt ein homogenes Strahlungsfeldes) zur Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften.

Fig. 3: Inside view of an integrating sphere (provides homogeneous radiation field) for determining the infrared-optical properties.

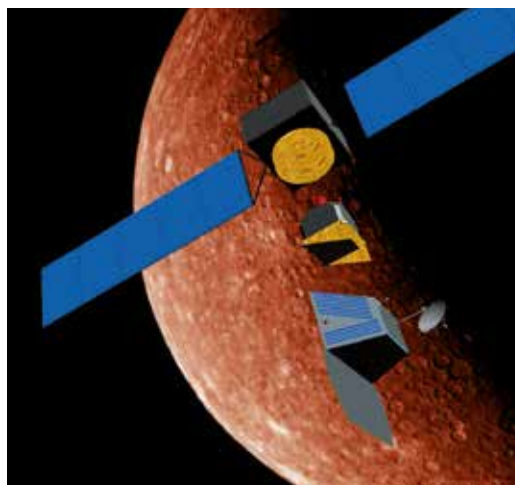


Abb. 4: Mars Mission. Um die für die Energieversorgung wichtigen Solarpaneele vor Überhitzung zu schützen, müssen die Trägerstrukturen thermisch und mechanisch optimiert werden. (© EADS Astrium).

Fig. 4: Mission to Mars: In order to protect the solar panels from overheating, the supporting structure has to be optimized thermally and mechanically. (© EADS Astrium).



## THERMOPHYSIKALISCHE CHARAKTERISIERUNG VON KRAFTWERKS-KOMPONENTEN ZUR MATERIAL- UND BETRIEBSOPTIMIERUNG

### THERMOPHYSICAL CHARACTERISATION OF POWER PLANT COMPONENTS FOR MATERIAL AND PROCESS OPTIMISATION

#### 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

#### Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

##### Dr. Jochen Manara

+49 931 70564 - 346  
jochen.manara@  
zae-bayern.de

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

+49 931 70564 - 350  
stephan.vidi@  
zae-bayern.de

#### Fördermittelgeber | Funding

Europäische Union (FKZ 217257)

#### Kooperationspartner | Partners

Meggitt UK  
Rolls Royce UK  
Rolls Royce Deutschland  
Snecma France  
GKN Aerospace Sweden  
Siemens Deutschland  
Von-Karman Institute for  
Fluid Dynamics Belgium  
Meggitt Switzerland  
Oxsensis UK  
ONERA France  
Cambridge University UK  
Chalmers University of  
Technology Sweden  
Coventry University UK  
Scitek UK  
Loughborough University UK

Um eine wirksame Verminderung des Energieverbrauchs und des damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu erzielen, ist neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien, die Effizienzsteigerung konventioneller Kraftwerke eine unabdingbare Voraussetzung zum Erreichen der energiepolitischen Ziele. Stationäre Gasturbinen liefern einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung (Abb. 1). Hier kann der Wirkungsgrad durch eine Erhöhung der Heißgastemperatur entscheidend gesteigert werden. Zur technischen Umsetzung werden einerseits die Schaufelmaterialien durch keramische Wärmedämmschichten (engl. thermal barrier coatings, TBCs) geschützt, welche den hohen Temperaturen standhalten und den Wärmeeintrag auf das Substrat verringern. Andererseits werden die Betriebsparameter verbessert, so dass die Turbinen im optimalen Bereich laufen. D.h. dass z.B. die maximal erlaubte Heißgastemperatur zuverlässig eingehalten wird, um einerseits die Turbine mit dem höchstmöglichen Wirkungsgrad zu betreiben und um andererseits Materialschäden durch Überschreitung der zulässigen Temperaturen zu vermeiden.

Um das genannte Optimierungspotenzial voll auszuschöpfen, müssen die verwendeten Materialien (v.a. die keramische Wärmedämmschichten) weiterentwickelt werden. Dies erfordert in erster Linie die Kenntnis der thermophysikalischen Eigenschaften dieser Materialien und Komponenten, die unter Einsatzbedingungen (hohe Temperaturen und Drücke) charakterisiert werden müssen. Dazu stehen am ZAE Bayern geeignete Apparaturen und Messverfahren zur Verfügung, mit denen die thermischen und infrarot-optischen Eigenschaften (u.a. Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Extinktionskoeffizient, Emissionsgrad, etc.) in einem weiten Temperatur- und Druckbereich vermessen werden (Abb. 2).

Darüber hinaus muss der Betrieb der Turbinen mit den verbesserten Materialien und Komponenten optimiert werden. Hierbei ist erneut die Kenntnis der während des Betriebs auftretenden Temperaturen von enormer Bedeutung, um die Turbine jederzeit mit den optimalen Parametern zu fahren. Dabei sind speziell die Oberflächentemperaturen der Turbinenkomponenten relevant, da die maximal zulässigen Temperaturen nicht überschritten werden dürfen (Vermeidung von Materialschäden). Die Temperaturen der keramischen Wärmedämmschichten werden berührungslos mit Strahlungsthermometern bzw. Pyrometern gemessen (Abb. 3). Neben den thermophysikalischen Eigenschaften von Materialien und Oberflächen müssen zudem die

Besides the expansion of renewable energies, the enhancement of the efficiency of conventional power plants is an essential precondition for achieving the energy policy objectives (effectively reducing the energy consumption and the associated CO<sub>2</sub>-emissions). Stationary gas turbines provide an essential contribution to the energy supply (Fig. 1). The efficiency of such turbines can be significantly increased by raising the temperature of the hot combustion gas. For a technical realisation, thermal barrier coatings (TBCs) are applied onto the turbine blades which can withstand the high temperatures in order to reduce the heat transfer into the substrate. Furthermore the operating parameters of the turbines are improved in such a manner that the gas turbines are operating under optimal conditions. This means that the maximum feasible gas temperature is exactly adjusted in order to reach the high efficiency without provoking material damages by exceeding the acceptable temperatures.

For fully exploiting the mentioned optimisation potential, the applied materials need to be enhanced (especially the thermal barrier coatings). For this purpose particularly the knowledge of the thermophysical properties of the installed materials and components are necessary and need to be characterised under operating conditions (high temperatures and high pressures). At ZAE Bayern appropriate equipment and measurement methods are available which allow the determination of the thermal and infrared-optical properties (e.g. thermal conductivity, heat capacity, extinction coefficient, emissivity, etc.) in a wide temperature and pressure range (Fig. 2).

Additionally, the operation of gas the turbines with improved materials and components has to be optimised. Thus the knowledge of the temperatures which are occurring during operation is of great importance again in order to operate the turbine with optimal parameters. Especially the surface temperatures of the turbine components are greatly significant, since the maximum allowed temperatures should not be exceeded in order to prevent material damage. The temperatures of the thermal barrier coatings are measured contactless with radiation thermometers or pyrometers, respectively (Fig. 3). Besides the thermophysical properties of materials and surfaces, the thermophysical parameters of the hot gas (including absorption coefficient, scattering coefficient, etc.) need to be known as well as the operating conditions, as these values can affect the non-contact temperature measurement. Altogether ZAE Bayern exhibits the re-

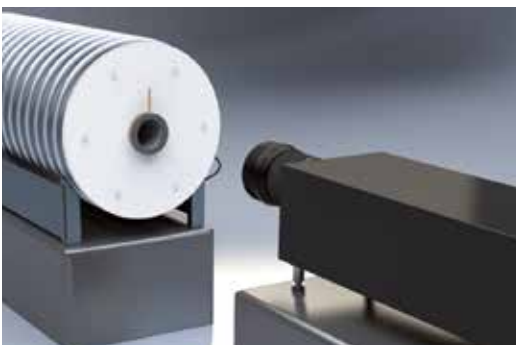
thermophysikalischen Größen des Heißgases (u.a. Absorptionsgrad, Streukoeffizient, etc.) bei den Betriebsbedingungen bekannt sein, da dieses die berührungslose Temperaturmessung beeinflussen kann. Dafür steht am ZAE Bayern, neben der experimentellen Ausstattung auch das notwendige theoretische Know-how sowie die themenübergreifende Expertise zur Erfassung, Bearbeitung und Lösung komplexer Aufgabenstellungen zur Verfügung.

Aktuell werden diese Themenstellungen unter anderem im EU-Projekt „Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines (STARGATE)“ bearbeitet. Aufgaben des ZAE Bayern sind einerseits die thermophysikalische Charakterisierung. Andererseits wird mit Industriepartnern an der zuverlässigen und hochgenauen Durchführung berührungsloser Temperaturmessungen in Gasturbinen während des Betriebs, sowie energieeffizienten Flugzeugturbinen geforscht.



Abb. 1: Montagearbeiten an einer Gasturbine der Firma Siemens (© Siemens AG).

Fig. 1: Installation work on a stationary gas turbine from Siemens (© Siemens AG).



quired theoretical knowledge as well as the experimental equipment and the interdisciplinary expertise for collection, processing and resolution of complex tasks.

Currently these topics are processed within the EU project "Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines (STARGATE)". Within the project ZAE Bayern performs thermophysical characterization. Furthermore the implementation of reliable and highly accurate non-contact temperature measurements in gas turbine engines during operation as well as energy-efficient aircraft turbines are investigated with industry partners.

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

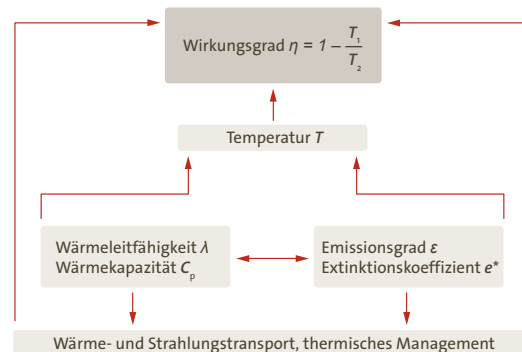


Abb. 2: Visualisierung des Zusammenhangs zwischen dem Wirkungsgrad einer Gasturbine, der Temperatur und den thermophysikalischen Parametern.

Fig. 2: Visualisation of the relationship between efficiency of a gas turbine, temperature and thermophysical properties.

Abb. 3: Fixpunktstrahler (schwarzer Strahler links im Bild) zur exakten Kalibrierung eines Strahlungsthermometers (Pyrometer rechts im Bild).

Fig. 3: Fixed point blackbody source (black body on the left) for precise calibration of a radiation thermometer (pyrometer on the right).





## SYSTEMTECHNISCHE MODELLIERUNG

### SYSTEMS MODELLING

„DURCH DIE INTEGRATION VON BATTERIEN UND WÄRMESPEICHERN KANN DER EIGENVERBRAUCH VON PRIVATEN PV-ANLAGEN SIGNIFIKANT ERHÖHT UND DIE NETZEINBINDUNG DEUTLICH VERBESSERT WERDEN.“

(DIPL.-ING. K. STEINLE)

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 sowie deren Anwendung zum Beispiel in den Bereichen Energiespeicherung, Gebäude, Photovoltaik und Wärmetransformation, können fundierte Komponentenmodelle erstellt und zu einem Gesamtsystem zusammengeführt 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. Dadurch werden die Vorteile eines Systems unter verschiedenen Bedingungen quantifiziert, um die sich durch deren Einsatz ergebende Ressourcenschonung

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 (PV) 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-oriented 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 advantages of the system thereby can be exposed under reconsideration of the boundary conditions. An estimation of the positive effect on the conversion of natural resources and economic benefit can be carried out. The models can also be used to detect potentials of improvement and optimization of existing and operated systems especial-

und deren Marktpotentiale abzuschätzen. Auch für bereits bestehende oder in Planung befindliche Energiesysteme können anhand von Jahressimulationen Optimierungspotentiale in Hinsicht auf Regelungsstrategien oder Neuinvestitionen abgeleitet werden.

ly during the design phase. An adaption of the control strategy or the check of the reasonability of reinvesting are – among many others – two possible promising applications of the models.

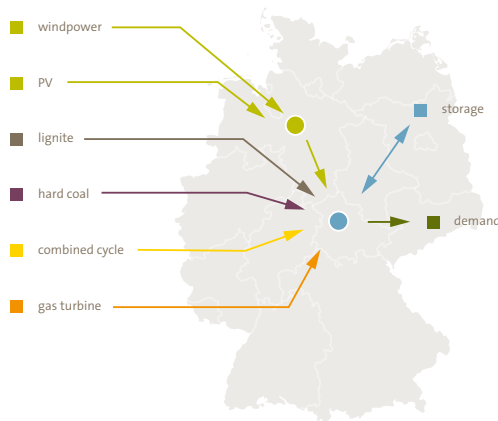
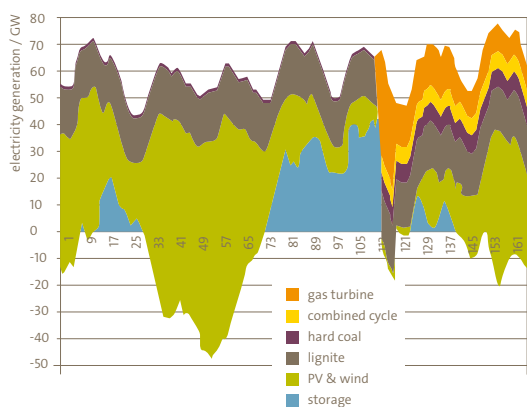


Abb. 1: Beispiel einer optimierten Lastaufteilung in einem elektrischen Energieversorgungssystem mit einem hohen Anteil an PV und Windkraft. Innerhalb der gezeigten Beispielwoche kann anfangs der Speicher mit Überschussstrom geladen werden. Zu Beginn der zweiten Wochenhälfte ist der Speicher allerdings wieder leer und es werden vermehrt fossile Ersatzkraftwerke eingesetzt.

Fig. 1: Optimized power plant operation in an energy system with a high portion of fluctuating renewable energy sources (PV and wind energy). At the beginning of the shown reference week, the storage can be loaded with excess power. In the second part of the week, the storage is empty again and fossil backup power plants close the energy gap.

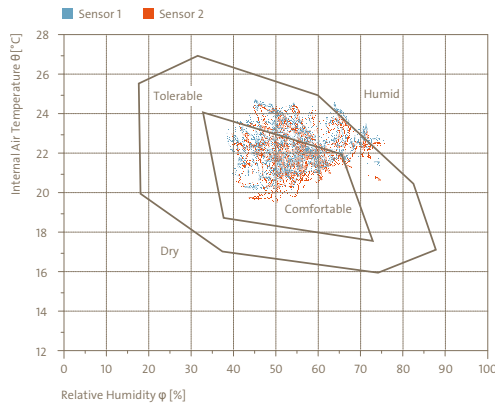
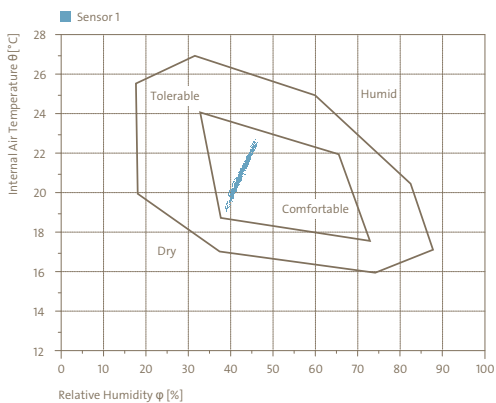


Abb. 2: Behaglichkeitsdiagramme eines automatisierten Gebäudemonitorings. Messdatenauswertung der relativen Luftfeuchtigkeit und der Raumlufttemperatur eines Klassenraumes im Winter (a) und eines Informatik-Schulungsraumes im Sommer (b) einer Passivhaus-schule während der Präsenzzeiten.

Fig. 2: Room comfort diagrams of an automated building monitoring. Evaluation of relative humidity and room air temperature of a classroom in winter (a) and an IT-training classroom (built as passive house) during presence period.



# ENERGIESYSTEMANALYSE DEUTSCHLAND

## ANALYSIS OF THE GERMAN ENERGY SYSTEM

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Matthias Rzepka**  
Projektleiter,  
Systementwicklung  
Project Manager,  
Systems Engineering

### Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-31  
matthias.rzepka@zae-bayern.de

### Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr  
und Technologie  
(FKZ VIII/4-3635a/40/2)

Der Anteil an fluktuierenden erneuerbaren Energien (Photovoltaik - PV, Windkraft) am deutschen Strommix ist in den letzten Jahren stetig angestiegen und hat im Jahr 2013 den Wert von 15% überschritten. Im Zuge der Energiewende ist es erklärtes Ziel der Bundesregierung, sowohl PV als auch Windkraft (Onshore und Offshore) noch deutlich auszubauen, um bis zum Jahr 2050 mehr als die Hälfte des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu beziehen. Im Gegenzug werden große Grundlastkraftwerke (Kernkraft) vom Netz genommen. Da das Angebot an PV- und Windstrom stark schwankt und nicht beeinflusst werden kann, muss begleitend über eine Reihe von Flexibilisierungs-Optionen nachgedacht werden, um die Stromversorgung auch in Zukunft sicher und bezahlbar zu gewährleisten. Lösungsansätze sind dabei neben schnell regelbaren konventionellen Kraftwerken (v.a. Gaskraftwerke) die Einbindung elektrischer Speicher und die Nachfragesteuerung. Darüber hinaus kann durch die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität Überschuss-Elektrizität indirekt über längere Zeiten gespeichert werden (z. B. power-to-gas, Kraft-Wärme-Kopplung, Elektromobilität).

Um diese verschiedenen Optionen sowohl systemtechnisch als auch wirtschaftlich im Detail zu analysieren, wurde das dynamische Simulationsmodell eSYS.pro für das „Energiesystem Deutschland“ entwickelt. Es erlaubt, auf Basis von 15-Minuten-Zeitreihen beliebige Ausbaustufen des Energieversorgungssystems zu optimieren sowie technisch und ökonomisch zu bewerten. Grundlage sind dabei alle relevanten technischen Kraftwerksparameter und Kostenfaktoren sowie Lernkurven in die Zukunft. Die numerische Optimierung des Energiesystems übernimmt ein integrierter GGLP-Solver (gemischt ganzzahlige lineare Programmierung).

Je nach Aufgabenstellung und Schwerpunkt spezieller Analysen können in der Simulationsumgebung unterschiedliche Systemkonfigurationen erstellt werden. Abb. 3 zeigt beispielhaft ein System, in dem alle Wärmeverbraucher in vier verschiedenen Teilsystemen mit unterschiedlichen Wärmequellen aggregiert sind. Dies ermöglicht die Untersuchung des Potentials von Kraft-Wärme-Kopplung, elektrischen Wärmepumpen und direkten Strom-Wärme-Anwendungen zur Glättung des fluktuierenden Stromdargebots aus erneuerbaren Quellen.

In weitergehenden Analysen können mit dem Modell die jeweils aktuellen Grenz-Stromgestehungskosten (maßgebliche Größe für die Preisbildung am EEX-Spotmarkt) stundengenau für beliebige Zukunftsszenari-

During the last years the portion of fluctuating renewable energy sources such as photovoltaics (PV) and wind energy for the electricity supply in Germany has markedly increased to over 15% in 2013. According to the energy turnaround of the German government, more than 50% of primary energy demand shall be from renewable sources in 2050. Thus, there will be a further strong expansion of PV and wind energy in the near future. Simultaneously, large (nuclear) base load plants will be shut down. As the yield of most renewable sources is strongly fluctuating and cannot be influenced, concurrent options for system flexibility have to be considered to assure save and cost effective electricity supply in the future. Possible options are quickly regulating conventional gas power plants, electricity storage and demand side management. Moreover a strong linking of the three energy sectors electricity, heat and mobility can offer the opportunity to store excess electricity over a long period. This means e.g. cogeneration systems or applications like power-to-heat, power-to-gas or power-to-fuel.

For a detailed technical and economic analysis of the different options for the “energy system of Germany” the dynamical simulation tool eSYS.pro has been built up. Any chosen configuration of the German energy system can be optimized and evaluated (regarding costs and feasibility) on basis of time series for the operation of all system components with a timely resolution of 15 minutes. Input parameters are all relevant technical key figures and cost factors (including cost projections in the near future). The optimization algorithms include a commercial MILP-Solver (mixed integer linear programming) for fast and accurate system optimization.

Depending on the focus of a special analysis the simulation model allows to set up different energy systems in a very flexible way. Fig. 3 shows exemplarily a configuration with a detailed structure in the heat sector to study the potential of both cogeneration: electrical heat pumps and direct electrical heating for compensation of fluctuations in electricity generation by renewable sources.

On basis of the optimization results the actual differential costs for electricity production can be calculated which are directly connected to market pricing at the European Energy Exchange (EEX) spot market. This allows the analysis of profitability of different types of power plants for arbitrary scenarios and the valuation of planned new funding instruments for power plant construction.

en errechnet werden. Dies erlaubt auch Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Einzelkraftwerke und ist Grundlage für die Entwicklung und Bewertung neuer Förderansätze für den Kraftwerksneubau (Kapazitätsmarkt).

M. Rzepka



Abb. 1: Ziel der Bundesregierung im Zuge der Energiewende ist ein verstärkter Zubau von Erneuerbaren Energien wie Photovoltaik oder Windkraft.

Fig. 1: Aim of the German government is to increase the amount of renewable energies like PV and wind energy.



Abb. 2: Ein hoher Anteil an fluktuierenden Erneuerbaren Quellen erfordert die Integration weiterer flexibel steuerbarer Systemkomponenten wie z.B. elektrochemische Speicher (hier Elektrolyte zyklens-fester Redox-Flussbatterien, die u.a. am ZAE Bayern weiterentwickelt werden).

Fig. 2: An increase in fluctuating renewable sources requires additional flexible system components like electrochemical storages (here: electrolytes of cycle-stable Redox-Flow-Batteries, which are inter alia developed at ZAE Bayern).

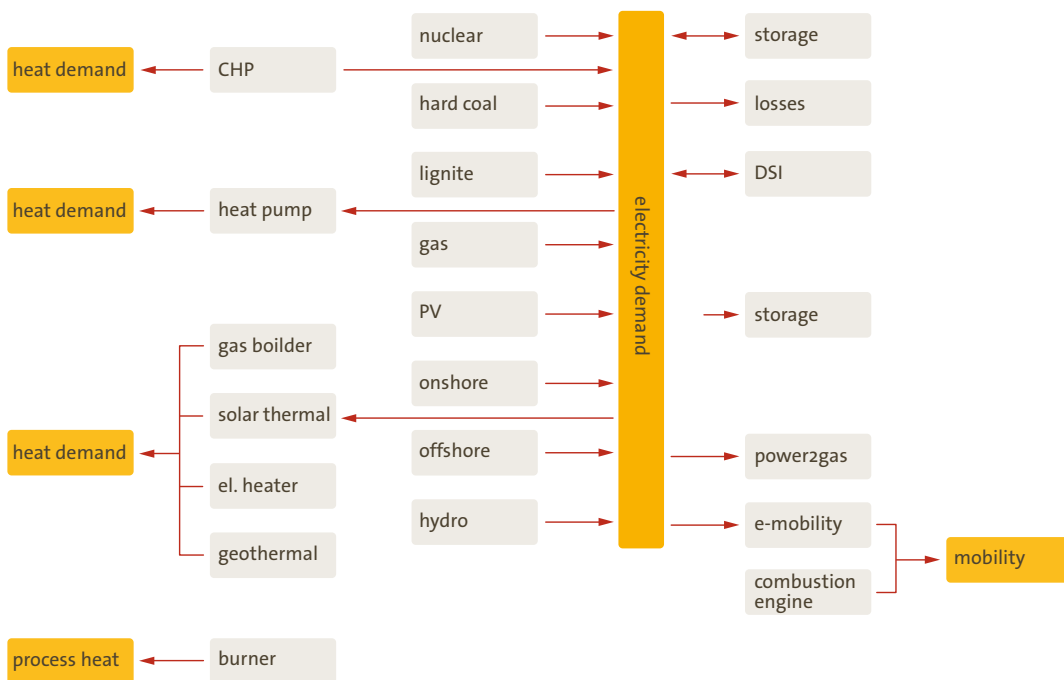


Abb. 3: Energiesystemmodell mit detaillierter Abbildung von Wärmeverbrauchern, die mit unterschiedlichen Wärmequellen versorgt werden.

Fig. 3: Energy system topology with a detailed scheme of heat consumers, that are supplied by different heat sources.





## 3.0 | **VERÖFFENTLICHUNGEN** PUBLICATIONS

## 3.1 | VORTRÄGE UND POSTER

### PRESENTATIONS AND POSTERS

#### 3.1.1

##### Eingeladene Plenarvorträge Plenary Invited Lectures

- C.J. Brabec, **A Brief History of o-PV - lessons learned from 1 - 10%**, Next Generation OPV Congress, Groningen, Netherlands, 02.–05.06.2013
- C.J. Brabec, **Evolution of o-PV: principles and applications**, Solar Valley Graduate Summer School, Ilmenau, Germany, 28.11.2013
- C.J. Brabec, **Evolution of organic photovoltaics - lessons learned from 1 - 10%**, European Conference on Molecular Electronics (ECME), London, UK, 03.–07.09.2013
- C.J. Brabec, **Gedruckte Photovoltaik - technische Herausforderungen und wirtschaftliche Chancen**, Solarkongreß Bayern Innovativ - Kostensenkung in der Photovoltaik, München, Germany, 09.04.2013
- C.J. Brabec, **History of oPV: lessons learned**, ÖPG annual meeting, Linz, Austria, 03.09.2013
- C.J. Brabec, **Managing the energy turnaround**, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, France, 04.06.2013
- C.J. Brabec, **Meeting future energy demands with printed semiconductors**, Trinity College Dublin, Dublin, Ireland, 25.02.2013
- C.J. Brabec, **Next generation printed photovoltaics: materials, processes, challenges and visions**, Solar Valley, Erfurt, Germany, 04.04.2013
- C.J. Brabec, **Printed semiconductors: designing functionality from the nanostructure**, Centre for Research on Adaptive Nanostructures and Nanodevices (CRANN), Dublin, Ireland, 11.06.2013
- C.J. Brabec, **Solarfabrik der Zukunft - Vision für eine zukünftige PV Massentechnologie**, Bayerischer Energiekongreß; Energie Innovativ - Forschung und Innovation für den Energieumstieg, Nürnberg, Germany, 18.04.2013
- C. Buerhop, **Qualitätsprüfung von Dünnschichtmodulen mit Thermographie und Elektrolumineszenz**, PTJ Workshop: Qualitätssicherheit und Zuverlässigkeit von PV-Systemen, Berlin, Germany, 29.05.2013
- C. Buerhop, **Thermographie als zuverlässige und schnelle Methode zur Qualitätskontrolle an großen Solargeneratoren**, Cluster Treff: Zerstörungsfreie Testmethoden in der Photovoltaik, Erlangen, Germany, 09.07.2013
- D. Büttner, **Regenwassernutzung zur passiven Kälteerzeugung durch Strahlungskühlung**, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., fbr-Fachtagung „Energetische Nutzung von Regenwasser“, Berlin, Germany, 28.02.2013
- V. Dyakonov, **Advanced Materials for Highly Efficient Energy Systems**, 5<sup>th</sup> German - South African Research Lecture Series „Energy Research“, Port Elizabeth, South Africa, 23.04.2013
- V. Dyakonov, **Charge Transfer and Triplet States in High Efficiency OPV Materials and Devices**, March Meeting of the American Physical Society, Baltimore, USA, 18.–22.02.2013
- V. Dyakonov, **Charge Transfer and Triplet States in High Efficiency OPV Materials and Devices**, Workshop Solution-based Organic Electronics - From Materials to Technology, Golm, Germany, 15.–16.01.2013
- V. Dyakonov, **EPR Studies of Charge Transfer States and Triplet Excitons in Organic Solar Cells**, Spins as Functional Probes in Solar Energy Research, Berlin, Germany, 10.–12.04.2013
- V. Dyakonov, **Innovative Concepts in Photovoltaics**, 5<sup>th</sup> German - South African Research Lecture Series „Energy Research“, Capetown, South Africa, 17.04.2013
- V. Dyakonov, **Intrinsic defects in silicon carbide for spin-based quantum applications**, Artificial Atoms: from Quantum Physics to Applications, Budapest, Hungary, 20.–23.05.2013
- V. Dyakonov, **Intrinsic defects in silicon carbide for spin-based quantum applications**, Workshop on Nanocarbon Optics (WNCO 2013), Knottenried, Germany, 07.–10.10.2013
- V. Dyakonov, **Recombination Channels in High-Efficiency Organic Solar Cells**, 6<sup>th</sup> International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE 2013), Thessaloniki, Greece, 08.–11.07.2013
- V. Dyakonov, **Recombination Pathways in High-Efficiency OPV Materials and Devices**, International Conference on Coherent and Non-linear Optics (ICONO 2013), Moscow, Russia, 18.–22.06.2013
- V. Dyakonov, **Spin-sensitive probing of CT States and Triplet Excitons at the organic Donor-Acceptor interfaces**, Next Generation Organic Photovoltaics, Groningen, Netherlands, 02.–05.06.2013
- V. Dyakonov, **Spin-sensitive probing of charge separation, delocalization and recombination in OPV BHJ**, Nanosystems for Solar Energy Conversion, München, Germany, 24.–26.07.2013
- V. Dyakonov, **Studying Charge Separation, Delocalization and Recombination in Polymer-Fullerene BHJ by Spin-Sensitive Techniques**, MRS Fall Meeting 2013, Boston, USA, 02.–06.12.2013
- H.P. Ebert, **Das Energy Efficiency Center - Interdisziplinäre Forschung und Entwicklung für Energieeffiziente Gebäude**, Festveranstaltung LGA, Würzburg, Germany, 26.09.2013
- H.P. Ebert, **Einsatz von neuen Materialien in Gebäuden - Chancen und Herausforderung**, Abschlusskolloquium FORGLAS, Nürnberg, Germany, 16.01.2013
- H.P. Ebert, **Innovative Solutions for Energy Efficient Buildings**, 2<sup>nd</sup> Workshop Solar Technologies Go Hybrid, Bad Staffelstein, Germany, 12.04.2013

- H.P. Ebert, **Kohlenstoff-Aerogel als thermische Superisolation**, DGKK-Arbeitskreis Industrielle Kristallzüchtung, 1. Workshop „Hochtemperaturwerkstoffe für die Kristallzüchtung“, Wertheim, Germany, 05.11.2013
- A. Hauer, **Distributed Energy Storages for the Integration of Renewable Energies - An IEA Activity**, Energy Storage - International Summit for the Storage of Renewable Energies, Düsseldorf, Germany, 18. – 19.03.2013
- A. Hauer, **Energiespeichertechnologien zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Integration Erneuerbarer Energien**, Berliner Energietage 2013 - Energieeffizienz in Deutschland, „Thermische Speicher für die Energiewende“, Berlin, Germany, 16.05.2013
- A. Hauer, **Energy Storage Technologies as Enabler for Renewable Energy Systems**, 3<sup>rd</sup> ICEPE 2013: Transition to Renewable Energy Systems, Frankfurt, Germany, 03. – 06.06.2013
- A. Hauer, **Energy Storage Today**, IEA Energy Storage Technology Roadmap Stakeholder Engagement Workshop, Paris, France, 23. – 24.09.2013
- A. Hauer, **Kühlung, Klimatisierung und Thermische Energiespeicherung**, VDI-Fachkonferenz „Wärmeeinsatz zum Kühlen und Klimatisieren“, Berlin, Germany, 14. – 15.05.2013
- A. Hauer, **Possibilities and Potential of Thermal Energy Storage Applications**, Energy Storage - International Summit for the Storage of Renewable Energies, Düsseldorf, Germany, 18. – 19.03.2013
- A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie - Möglichkeiten und Grenzen**, 2. OTTI-Anwenderforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i.d. Oberpfalz, Germany, 04. – 05.07.2013
- A. Hauer, D. Laing, C. Gils, S. Gschwander, M. Braun, **Speicherung von Stromspitzen in Wärme und Kälte**, FVEE-Jahrestagung 2013 „Forschung für ein nachhaltiges Strom-Wärme-System“, Freiburg, Germany, 24. – 25.10.2013
- A. Hauer, **Thermische Energiespeicher - Eine von vielen Möglichkeiten?**, VDI-Fachkonferenz Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung, Ludwigsburg, Germany, 16. – 17.10.2013
- A. Hauer, E. Lävemann, **Thermische Speicher - neuer Frühling im Zuge der Energiewende**, Konferenz Erneuerbare Energie Kärnten, „Erneuerbare Energien brauchen Speicher“, Velden, Austria, 06.11.2013
- U. Heinemann, **Vacuum Insulation Panels - Potentials, Challenges and Applications**, 11<sup>th</sup> International Vacuum Insulation Symposium, Zürich, Switzerland, 19. – 20.09.2013
- A. Keckeisen, G. Reichenauer, **Adsorption deformation meets application: thermal insulations and electrostatic charge storage**, Workshop Adsorption in Compliant Solids, Paris, France, 05. – 07.06.2013
- H.P. Kirchmann, J.M. Kuckelkorn, **Integrated Development Including Monitoring of a Sustainable Nearly-Zero-Energy School - Analysis of Project Execution**, Sustainable Building Conference (sb13), München, Germany, 24. – 26.04.2013
- J.M. Kuckelkorn, M. Helm, C. Wuschig, **Eigenstromversorgung mit Blockheizkraftwerken für die Tiefengeothermie**, GGSC - 4. Erfahrungsaustausch Kommunale Geothermieprojekte, Augsburg, Germany, 18.04.2013
- J.M. Kuckelkorn, **Monitoring eines Passivhaus-Schulgebäudes - Ergebnisse der Betriebsoptimierung an der FOS/BOS Erding**, DBU-Herbstsymposium 2013 - Bauen für die Zukunft, Benediktbeuern, Germany, 19. – 20.09.2013
- M. Lenhart-Rydzek, A. Göbel, F. Hemberger, S. Vidi, H.P. Ebert, **A new method for the determination of the specific heat capacity using laser-flash calorimetry down to 77 K**, 10<sup>th</sup> International Workshop on Subsecond Thermophysics (IWSSTP), Karlsruhe, Germany, 26. – 28.06.2013
- J. Manara, M. Lenhart-Rydzek, J. Hartmann, H.P. Ebert, **IR-optische Charakterisierung keramischer Wärmedämmschichten unter extremen Bedingungen zur berührungslosen Temperaturmessung in Heißgasturbinen**, Jahrestagung des AK-Thermophysik 2013, Dresden, Germany, 18. – 19.03.2013
- J. Manara, H.P. Ebert, **Neue Materialien - Interdisziplinäre Forschung für Energieoptimierte Gebäude**, Tagung Energieeffizientes Bauen und Sanieren: innovative Technologien und neues Baurecht, Linz, Austria, 18.06.2013
- J. Pflaum, **Exciton transport in long-range ordered molecular semiconductors**, LMU Winter School, Antholz, Italy, 17. – 21.03.2013
- J. Pflaum, **Exciton transport in organic semiconductors: effects of structural coherence and spatial confinement**, Nanosystems for Solar Energy Conversion, München, Germany, 24. – 26.07.2013
- M. Reuß, **Kühlen und Klimatisieren mit regenerativen Energien**, Ottili Fachforum „Effiziente Kältetechnik für Industrie, Gewerbe und Dienstleistungsunternehmen“, Regensburg, Germany, 19. – 20.06.2013
- M. Reuß, **Neuerung der VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes**, 12. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i.d. Oberpfalz, Germany, 19. – 20.03.2013
- M. Reuß, **Saisonale Wärmespeicherung**, VDI-Fachkonferenz Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung, Ludwigsburg, Germany, 16. – 17.10.2013
- M. Reuß, **Sensible thermische Energiespeicher - Ist die Entwicklung schon am Ende?**, 2. OTTI-Anwenderforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i.d. Oberpfalz, Germany, 04. – 05.07.2013
- M. Reuß, J.M. Kuckelkorn, **Systemdichtheit von Erdwärmesonden - ein geeignetes Verfahren zur Bewertung von Verfüllbaustoffen?**, BWP PraxisForum Erdwärme, Offenburg, Germany, 27.02.2013



M. Reuß, M. Pröll, **Thermal Response Test - Verfahren zur Standortuntersuchung für Großanlagen**, 4. VDI-Fachkonferenz „Wärmepumpen - Umweltwärme effizient nutzen“, Frankfurt, Germany, 11.–12.06.2013

M. Reuß, J. Melzer, **Vacuum Super-Insulated Heat Storage for High Solar Fraction**, Solar Thermal Materials, Equipment and Technology Conference (SMETThermal 2013), Berlin, Germany, 29.01.2013

M. Reuß, J. Melzer, **Vacuum Super-Insulated Heat Storage for High Solar Fraction**, Intersolar Europe 2013, München, Germany, 18.06.2013

S. Weismann, **Energy Efficiency Center**, EnOB Workshop 2013, Kassel, Germany, 21.–22.03.2013

S. Weismann, **Energy Efficiency Center**, cci Regionaltreffen, Würzburg, Germany, 26.09.2013

### 3.1.2

#### Fachvorträge

#### Contributed Talks

C. Balzer, G. Reichenauer, M. Wiener, **Sorption-induced deformation of microporous solids studied by in-situ dilatometry**, 5<sup>th</sup> Biot Conference on Poromechanics, Wien, Austria, 10.–12.07.2013

T. Beikircher, V. Berger, P. Osgyan, **Rückseitige Foliendämmung in Flachkollektoren als Alternative zu konventionellen Dämmstoffen**, OTTI: 23. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 24.–26.04.2013

A. Buttler, H. Spliethoff, **Integration chemischer Speicher in konventionelle Kraftwerke**, 2. VDI-Fachkonferenz Konventionelle Kraftwerkstechnologie der nächsten Generation, Berlin, Germany, 21.02.2013

A. Buttler, S. Fendt, H. Spliethoff, **Simulation-based concept study of an innovative small-scale biomass-to-SNG plant with excess power integration**, 13<sup>th</sup> International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS 2013), Wien, Austria, 03.–05.09.2013

H.P. Ebert, **2020 Thermal Superinsulations**, 1. High Performance Insulation Workshop, Würzburg, Germany, 27.11.2013

H.P. Ebert, **The Energy Efficiency Center: Lightweight Construction With Smart Technology**, Implementing Sustainability - Barriers and Chance (sb13 munich), München, Germany, 24.–26.04.2013

S. Fendt, A. Buttler, H. Spliethoff, **Biomass gasification for excess power integration**, International Seminar on Gasification, Gothenburg, Sweden, 16.–18.10.2013

S. Fendt, M. Maschke, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Concept study of small-scale biomass-to-SNG systems with excess power integration**, 21st European Biomass Conference and Exhibition, Production and supply of biomethane, Copenhagen, Denmark, 03.–07.07.2013

A. Fritze, A. Sperlich, A. Zusan, C. Deibel, V. Dyakonov, **Impact of molecular weight on the intrinsic charge carrier mobility of Si-PCPDPTBT:[C70]PCBM thin films**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

A. Fritze, A. Sperlich, A. Zusan, C. Deibel, V. Dyakonov, **Transient Microwave Conductivity (TRMC) Techniques - Properties and Results**, Workshop FOR1809, Niederstetten, Germany, 07.–08.03.2013

F. Fuchs, V. Soltamov, S. Väth, P. Baranov, E. Mokhov, V. Dyakonov et al., **Atomic defects in silicon carbide LEDs as a perspective single photon source**, DPG Frühjahrstagung AMOP, Hannover, Germany, 18.–22.03.2013

F. Fuchs, V. Soltamov, S. Väth, P. Baranov, E. Mokhov, V. Dyakonov et al., **Intrinsic defects in silicon carbide LEDs as a perspective single photon source**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

F. Fuchs, V. Soltamov, S. Väth, P. Baranov, E. Mokhov, V. Dyakonov et al., **Silicon carbide light-emitting diode as a prospective room temperature source for single photons**, International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM 2013), Miyazaki, Japan, 29.09.–04.10.2013

D. Gerstenlauer, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Determining the extinction coefficient of powders by using a comparison between Mie-theory and T-Matrix**, Electromagnetic & Light Scattering (ELS-XIV), Lille, France, 17.–21.06.2013

N.H. Hansen, C. Wunderlich, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Probing charge carrier - exciton interactions in Diindenoperylene by the photoluminescence response of thin film transistors**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

A. Hauer, F. Fischer, **Measurements under Application Conditions - Seasonal Heat Storage with Zeolite**, 2<sup>nd</sup> Workshop and Experts Meeting Annex 29 „Compact Thermal Energy Storage: Material Development for System Integration“, Ljubljana, Slovenia, 02.–04.10.2013

A. Hauer, **The Role of Thermal Energy Storages in Future Energy Systems and what the IEA Technology Network Can Do about it**, 1<sup>st</sup> Workshop and Experts Meeting Annex 29 „Compact Thermal Energy Storage: Material Development for System Integration“, Freiburg, Germany, 15.–17.04.2013

A. Hauer, **Thermal Energy Storage, Storage Capacity and Economics - Some Basic Considerations**, 8<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2013), Berlin, Germany, 18.–20.11.2013

A. Hauer, E. Lävemann, **Weltweite Trends zu Speichertechnologien**, 1. Energiespeichertagung (Institut für angewandtes Stoffmanagement, IfaS, HS Trier), Hoppstädten-Weiersbach, Germany, 27.–28.02.2013

S.K. Henninger, F. Fischer, J. Jänchen, A. Puls, **Wasserdampf Adsorption an Zeolith 4ABF und 13XBF für Sorptive Wärmespeicherung - Ergebnisse eines Ringtests**, Jahrestreffen der Fachgruppe Adsorption, Bad Wildungen, Germany, 14.–15.03.2013

U. Hoyer, **LED-Sonnensimulatoren - Neue Möglichkeiten zur Charakterisierung von Solarmodulen**, Cluster-Treff Zerstörungsfreie Testmethoden in der Photovoltaik, Erlangen, Germany, 09.07.2013

U. Hoyer, V. Volland, M. Salamon, N. Uhlmann, R. Auer, C.J. Brabec, **Quantitative Shunt Determination in Organic Solar Modules Using Lock In Thermography**, 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Paris, France, 30.09.–04.10.2013

U. Hoyer, S. Besold, J. Bachmann, T. Swonke, C.J. Brabec, **X-Ray Tomosynthesis for Defect Recognition in Crystalline Silicon Solar Cells with Layer Resolution**, 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Paris, France, 30.09.–04.10.2013

F. Hüwe, M. Schmiddunser, J. Pflaum, **Charge Density Wave Transport Properties of the (DCNQI-d6)2Cu Radical Anion Salt**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

F. Hüwe, J. Pflaum, **Unusual Phase Diagrams of Organic Charge-Transfer Salts**, New Trends and Faces in Ultrafast Structural Dynamics, Stellenbosch, South Africa, 15.–17.10.2013

V. Kolb, M. Brendel, F. Staub, A. Steindamm, M. Kamp, J. Pflaum, **Encapsulated metal nanoparticles for absorption enhancement in thin film organic photovoltaic cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

H. Kraus, F. Späth, A. Sperlich, D. Stich, D. Schilling, V. Dyakonov et al.,  **Tubes n' Triplets - On Excitation dynamics in (6,5) single-wall carbon nanotubes**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

J.M. Kuckelkorn, **Systemdichtheit von Verfüllbaustoffen**, OTTI - 12. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Neumarkt i.d. Opf., Germany, 19.–20.03.2013

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, **Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Jahresemissionen von Pellet-Kleinfeuerungsanlagen am Prüfstand**, Arbeitskreis Holzfeuerung, Straubing, Germany, 13.06.2013

E. Lävemann, **Thermische Energiespeicher, thermodynamische Betrachtungen**, OTTI Anwenderforum Energiespeicher 2013, Neumarkt i.d. Opf., Germany, 04.–05.07.2013

M. Lenhart-Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, J. Hartmann, J. Manara, **Enhanced Measuring Technique to Determine the Angle Dependent Surface Emittance from 200°C up to 1600°C**, Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Sciences (TEMPMEKO 2013), Funchal, Portugal, 14.–18.10.2013

M. Lenhart-Rydzek, T. Stark, M. Seifert, J. Manara, **Traceable Angle Dependent Surface Emittance Measurements of Industrially Relevant Samples in a Wide Wavelength Range and at High Temperatures up to 1600°C**, 10<sup>th</sup> Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2013), Jeju, South Korea, 29.09.–03.10.2013

M. Lenhart-Rydzek, **Traceable Angle Dependent Surface Emittance Measurements of Industrially Relevant Samples in a Wide Wavelength Range and at High Temperatures up to 1600°C**, 16<sup>th</sup> International Congress of Metrology (HiTeMS Workshop), Paris, France, 07.–09.09.2013

J. Manara, J. Hartmann, M. Lenhart-Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, **Bestimmung des Emissions- und Transmissionsgrades keramischer Materialien bei hohen Temperaturen**, Temperatur 2013 - Verfahren und Geräte in der Temperatur- und Feuchtemesstechnik, Berlin, Germany, 05.–06.06.2013

J. Manara, M. Lenhart-Rydzek, H.P. Ebert, J. Hartmann, A. Tutschke, A. Hallam, **LWIR Pyrometry for the Measurement of Thermal Barrier Coatings within the EU Project Stargate**, Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Sciences (TEMPMEKO 2013), Funchal, Portugal, 14.–18.10.2013

H. Mehling, **Analysis of the phase change liquid-gas**, IEA Task 42 Annex 29 meeting, Ljubljana, Slovenia, 02.–04.10.2013

H. Mehling, **Enthalpie, Entropie und Temperatur des Phasenübergangs fest-flüssig - eine Analyse von Elementen und chemischen Verbindungen**, 77. Jahrestagung der DPG und DPG-Frühjahrstagung, Dresden, Germany, 04.–08.03.2013

H. Mehling, **Enthalpie, Entropie und Temperatur des Phasenübergangs fest-flüssig - eine Analyse von Elementen und chemischen Verbindungen**, Tagung des AK-Thermophysik, Dresden, Germany, 18.–19.03.2013

H. Mehling, **Phase change, latent heat and chemical reactions**, IEA Task 42 Annex 29 meeting, Ljubljana, Slovenia, 02.–04.10.2013

M. Pröll, M. Hilt, **The Significance of the Fluid to PV Thermal Coupling in a CPC PVT Collector**, ISES Solar World Congress 2013, Cancun, Mexico, 03.–07.11.2013

T. Rampp, F. Klinker, H.P. Ebert, W. Körner, S. Weismann, D. Büttner, H. Weinläder, H. Mehling, **The Energy Efficiency Center: Lightweight Construction With Smart Technology**, Implementing Sustainability - Barriers and Chance (sb13 munich), München, Germany, 24.–26.04.2013

C. Rathgeber, H. Schmit, S. Hiebler, **Mixtures of Alkanes, Fatty Acids and Alcohols as Novel Phase Change Materials: Preparation and Characterization with DSC and T-history**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19.–21.06.2013

- M. Reuß, T. Beikircher, **Neuartige rückseitige Dämmung für Flachkollektoren**, 3. Deutsche Solarthermie-Technologiekonferenz, Berlin, Germany, 30.–31.01.2013
- M. Reuß, T. Beikircher, **Neuartige Schichtlader für Solarspeicher**, 3. Deutsche Solarthermie-Technologiekonferenz, Berlin, Germany, 30.–31.01.2013
- M. Reuß, T. Beikircher, **Vakuum-Superisolierter Langzeit-Wärmespeicher**, 3. Deutsche Solarthermie-Technologiekonferenz, Berlin, Germany, 30.–31.01.2013
- D. Riedel, F. Fuchs, H. Kraus, A. Sperlich, V. Dyakonov, A. Soltamova et al., **Resonant Addressing and Manipulation of Silicon Vacancy Qubits in Silicon Carbide**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013
- M. Riepl, M. Helm, **All-in-one Ready-to-use Solar Thermal Absorption Cooling and Heating System**, Australian Solar Cooling Conference 2013, North Ryde, Australia, 12.04.2013
- M. Riepl, M. Helm, **Development of an All-in-one Ready-to-use Solar Thermal Absorption Cooling and Heating System**, Workshop „Technologies for Solar Cooling in Tropical Climates“, Singapur, Singapur, 05.04.2013
- M. Riepl, **Pfade zur Kälteversorgung mit Erneuerbaren Energien**, VDI-Fachtagung, Erneuerbare Energien in der multivalenten Gebäudeenergieversorgung, Heidelberg, Germany, 17.–18.09.2013
- M. Riepl, E. Lävemann, **Solarthermisch gestützte Luftkonditionierung und Raumklimatisierung**, OTTI Fachforum „Lüftungsanlagen planen und effizient betreiben“, Regensburg, Germany, 15.11.2013
- T. Schmeiler, B. Gieseking, S. Thoms, J. Pflaum, **P7: Preparation and optical characterization of self-organized surface structures on polyaromatic single crystals**, Workshop FOR1809, Niederstetten, Germany, 07.–08.03.2013
- M. Seifert, K. Anhalt, M. Lenhart-Rydzek, **Accurate non-contact temperature measurements during surface heat-treatment processes**, Heat Treatment Congress, Wiesbaden, Germany, 10.–12.10.2013
- A. Sperlich, V. Dyakonov, **Charge Transfer and Spins in Polymer-Fullerene Blends**, Workshop on Carbon Nano Optics, Knottenried, Germany, 07.–10.10.2013
- A. Sperlich, S. Väth, A. Baumann, V. Dyakonov, **Pulsed Field-Induced Extraction for Determination of Transport and Recombination Characteristics in Thin-Film Solar Cells**, DFG SPP1601 Young Researchers Workshop, Berlin, Germany, 07.–09.04.2013
- A. Sperlich, H. Kraus, S. Väth, A. Förtig, C. Deibel, V. Dyakonov, **Triplet Exciton Generation and Electron Back Transfer in Organic Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013
- A. Sperlich, V. Dyakonov, **Triplet Exciton Generation and Electron Back Transfer in Photovoltaic Bulk-Heterojunctions with Endohedral Fullerenes**, 223<sup>rd</sup> ECS Meeting, Toronto, Canada, 12.–16.05.2013
- H. Spliethoff, **Gasification - the key for efficient power production**, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, London, UK, 19.04.2013
- B. Stender, S.F. Völker, C. Lambert, J. Pflaum, **Investigation of the opto-electronic processes in a near-infrared OLED based on a squaraine dye-doped polymeric matrix**, SPIE 2013 Optics and Electronics, San Diego, USA, 25.–29.08.2013
- A.K. Topczak, J. Pflaum, **Characteristics of the temperature dependent excitonic transport of organic semiconductors**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013
- S. Väth, A. Sperlich, A. Baumann, V. Dyakonov, **EDMR by means of pulsed field induced extraction**, DFG SPP1601 Young Researchers Workshop, Berlin, Germany, 07.–09.04.2013
- S. Väth, D. Riedel, H. Kraus, F. Fuchs, A. Sperlich, V. Dyakonov et al., **Photo-induced microwave emission of silicon vacancies in silicon carbide**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013
- S. Vidi, H. Mehling, F. Hemberger, T. Haussmann, A. Laube, **Round Robin Test of Paraffin Phase Change Material**, 10<sup>th</sup> Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2013), Jeju, South Korea, 29.09.–03.10.2013
- M.M. Voigt, F. Machui, L. Lucera, G. Spyropoulos, J. Cordero, C.J. Brabec et al., **Tailoring green formulation: printing and upscaling of inverted organic solar cells**, 39<sup>th</sup> IEEE Photovoltaics Specialists Conference (PVSC), Tampa, USA, 20.06.2013
- Y. Wang, J.M. Kuckelkorn, F.Y. Zhao, **Indoor Environment of a Classroom in a Passive School Building with Displacement Ventilation**, 13<sup>th</sup> International Conference of the International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, 26.–28.08.2013
- H. Weindl, S. Hippeli, **Measuring the  $U_g$ -value of window glazing**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25.–28.09.2013
- N. Wolf, D. Gerstenlauer, J. Manara, **Modellierung des spektralen Reflexionsgrades verschiedener ITO Schichten nur mit Hilfe des Drude Modells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013
- C. Wuschig, C. Schweigler, **Innovative double-effect/single-effect absorption chiller for tri-generation systems**, 3<sup>rd</sup> International Conference on Microgeneration and Related Technologies, Naples, Italy, 15.–17.04.2013
- A. Zusan, A. Baumann, J. Lorrmann, C. Deibel, V. Dyakonov, **Influence of nanostructural changes on the charge carrier dynamics in PTB7 based solar cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

## 3.1.3

Poster  
Posters

B. Allendorf, A. Zusan, V. Dyakonov, C. Deibel, **Influence of intercalation on geminate and nongeminate recombination in organic bulk heterojunction solar cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

C. Balzer, S. Braxmeier, G. Reichenauer, **Deformation of microporous carbons upon nitrogen and carbon dioxide sorption**, Workshop Adsorption in Compliant Solids, Paris, France, 05.–07.06.2013

M. Brendel, A. Steindamm, F. Staub, J. Pflaum, **The Effect of Fluorination on the Performance of F<sub>n</sub>ZnPc/C60 organic photovoltaic cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

M. Brendel, A. Steindamm, A.K. Topczak, J. Pflaum, **The Effect of Gradual Fluorination on the properties of F<sub>n</sub>ZnPc thin films and F<sub>n</sub>Zn-Pc/C60 bilayer photovoltaic cells**, DPG School: Innovative Concepts in Photovoltaics, Bad Honnef, Germany, 22.–27.09.2013

C. Buerhop, R. Auer, C.J. Brabec, **Characterizing PV-Modules with a New IR-EL-Camera**, 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Paris, France, 30.09.–04.10.2013

F. Fecher, **2D FEM simulation of the electrical behavior and performance in shunted thin film modules**, 2<sup>nd</sup> international congress „Next Generation Solar Energy“, Erlangen, Germany, 09.–11.12.2013

F. Fecher, C.J. Brabec, C. Buerhop-Lutz, **Simulation of the electrical behavior in shunted thin film modules using a 2D FEM model**, 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Paris, France, 30.09.–04.10.2013

E. Fischer, H. Weinläder, **Evaluating the energy savings potential of window refurbishment**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25.–28.09.2013

F. Fischer, E. Lävemann, A. Hauer, **Hydrothermal Stability of Adsorbent Materials for Thermal Energy Storage Applications**, 11<sup>th</sup> International Conference on the Fundamentals of Adsorption (FOA 11), Baltimore, USA, 19.–24.05.2013

M. Fischnaller, F. Volz, R. Kunde, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Small Scale Gasifiers - Market and Technology Evaluation for Promising Developments**, 13<sup>th</sup> International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS 2013), Wien, Austria, 03.–05.09.2013

A. Fritze, A. Sperlich, A. Zusan, C. Deibel, V. Dyakonov, **Measuring intrinsic mobility of photogenerated charge carriers without contacts: TRMC**, Workshop FOR1809, Niederstetten, Germany, 07.–08.03.2013

M. Gessner, A. Sperlich, H. Kraus, S. Väh, V. Dyakonov, **Multifrequency electron spin resonance analysis of organic polymer: fullerene blends**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

J. Hartmann, H. Mehling, J. Manara, **The Role of the Index of Refraction in the Generation and Propagation of Blackbody Radiation**, Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Sciences (TEMP-MEKO 2013), Funchal, Portugal, 14.–18.10.2013

M. Helm, K. Hagel, W. Pfeffer, S. Hiebler, C. Schweigler, **Solar Heating and Cooling with Absorption Chiller and Latent Heat Storage**, Solar Heating and Cooling Conference (SHC 2013), Freiburg, Germany, 23.–25.09.2013

P. Hennemann, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Experimental Study on Variations in Polyethers to Investigate their Potential as Phase Change Materials**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19.–21.06.2013

P. Hennemann, S. Hiebler, **Theoretical Limits of Phase Change Materials (PCM) Regarding Melting Enthalpy and Entropy**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Materials for Energy (EnMat II), Karlsruhe, Germany, 12.–16.05.2013

U. Hoyer, T. Swonke, R. Auer, O. Arnold, C.J. Brabec, **Umfassende elektrische Charakterisierung von PV-Modulen mit einem Sonnensimulator auf LED-Basis**, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 06.–08.03.2013

F. Klinker, C. Konstantinidou, S. Weismann, D. Büttner, H. Mehling, H. Weinläder et al., **Cooling concept of the new R&D building of the ZAE Bayern using several thermal energy storage (TES) technologies**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25.–28.09.2013

V. Kolb, M. Brendel, F. Staub, A. Steindamm, M. Kamp, J. Pflaum, **Encapsulation of silver for absorption enhancement in thin film organic solar cells**, Solar Technologies go Hybrid Workshop, Kloster Banz, Germany, 11.–13.04.2013

V. Kolb, M. Brendel, F. Staub, A. Steindamm, M. Kamp, J. Pflaum, **Metallic nanostructures for efficient light coupling into organic thin film solar cells**, DPG School: Innovative concepts in photovoltaics, Bad Honnef, Germany, 22.–27.09.2013

A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobile Sorption-Storage**, Energy Storage 2013, Düsseldorf, Germany, 18.–19.03.2013

A. Krüger, A. Muzha, G. Reichenauer, I. Lederer, **Ultraschnelle elektrische Speicher auf Basis von Nanodiamantkompositen**, Auftaktveranstaltung zum Projektverbund „Umweltverträglicher Beitrag der Nanotechnologie zur Energiewende“, München, Germany, 22.11.2013

J. Manara, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, A. Beck, J. Cremers, W. Lang et al., **Lightweight Envelopes for Energy Efficient Buildings: Energy Saving by Covering Courtyards with Membrane Systems**, Implementing Sustainability - Barriers and Chance (sb13 munich), München, Germany, 24.–26.04.2013

P. Pelchmann, S. Hein, A. Zusan, V. Dyakonov, C. Deibel, **Loss mechanisms in organic bulk heterojunction solar cells investigated by differential photocurrent measurements**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

C. Rathgeber, P. Hennemann, S. Hiebler, **Calibration of a T-history Calorimeter for Phase Change Materials in the Temperature Range from 40°C to 200°C**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19.–21.06.2013

T. Schmeiler, B. Gieseking, S. Thoms, J. Pflaum, **Preparation and optical characterization of self-organized surface structures on polyaromatic single crystals**, Workshop FOR1809, Niederstetten, Germany, 07.–08.03.2013

T. Schmeiler, B. Gieseking, S. Thoms, J. Pflaum, **Preparation and optical characterization of self-organized surface structures on polyaromatic single crystals**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

M. Seifert, K. Anhalt, M. Lenhart-Rydzek, **Emissivity correction in surface heat treatment of steel and cast iron**, Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Sciences (TEMPMEKO 2013), Funchal, Portugal, 14.–18.10.2013

A. Sperlich, V. Dyakonov, **Charge Transfer and Spins in Polymer-Fullerene Blends**, Workshop on Carbon Nano Optics, Knottenried, Germany, 07.–10.10.2013

A. Steindamm, M. Brendel, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Absorption and exciton management in DIP/C60 bilayer photovoltaic cells**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

A. Steindamm, M. Brendel, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Microscopic effects of an intermediate exciton blocking layer on the optoelectronic properties of diindenoperylene/C60 bilayer photovoltaic cells**, SPIE - Organic Photovoltaics XIV, San Diego, USA, 25.–29.08.2013

B. Stender, S.F. Völker, C. Lambert, J. Pflaum, **Optoelectronic Processes in Squaraine Dye-Doped OLEDs for Emission in the Near-Infrared**, DPG Frühjahrstagung SKM, Regensburg, Germany, 10.–15.03.2013

G. Streib, T. Beikircher, P. Osgyan, M. Saller, **Flat Plate Collector for Process Heat with Front Foil, Full Surface Aluminum Absorber and Vacuum Super Insulation**, Solar Heating and Cooling Conference (SHC 2013), Freiburg, Germany, 23.–25.09.2013

H. Weigl, S. Hippeli, **Measuring the U<sub>g</sub>-value of window glazing**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25.–28.09.2013

H. Weigl, W. Körner, **Monitoring results of PCM-systems for room cooling**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25.–28.09.2013

N. Wolf, T. Stubhan, J. Manara, C.J. Brabec, V. Dyakonov, **Controlling the Electronic Interface Properties in Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunction Solar Cells**, spring school des DFG Schwerpunktprogrammes SPP 1355, Dresden, Germany, 19.–22.03.2013

N. Wolf, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Low temperature processing of redispersed ITO nanoparticle coatings with different prepared suspensions**, XVII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013), Madrid, Spain, 25.–30.08.2013

N. Wolf, D. Gerstenlauer, J. Manara, **Modeling the spectral reflectances of Sol-Gel tin doped indium oxide and aluminium doped zinc oxide coatings**, Nanotech Conference & Expo, Washington, USA, 12.–16.05.2013

### 3.1.4

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

V. Dyakonov, **Elementary Processes in Organic Photovoltaics**, Physikalisch-Chemisches Kolloquium, Goethe Universität Frankfurt am Main, Frankfurt, Germany, 24.06.2013

V. Dyakonov, **Energy Efficiency Center**, Mainfrankenmesse 2013, Würzburg, Germany, 04.10.2013

V. Dyakonov, **Umweltvertragliche hocheffiziente organische Solarzellen**, Auftaktveranstaltung zum Projektverbund „Umweltvertraglicher Beitrag der Nanotechnologie zur Energiewende“, München, Germany, 22.11.2013

V. Dyakonov, **ZAE Bayern Vorstellung**, 1. Energiedialog Mainfranken, Würzburg, Germany, 25.11.2013

H.P. Ebert, **Das Energy Efficiency Center**, Siemens Fachpressekonferenz zur ISH 2013, Würzburg, Germany, 31.01.2013

H.P. Ebert, **Das Energy Efficiency Center - Interdisziplinäre Forschung und Entwicklung für Energieeffiziente Gebäude**, Herbstsitzung des Industrie-, Technologie- und Forschungsausschusses, Würzburg, Germany, 14.10.2013

H.P. Ebert, **Smarte Hüllen: Energieeffiziente Lösungen in der textilen Architektur**, Knauf Symposium „Faszination Forschung“, Würzburg, Germany, 09.07.2013

H. Fink, **Redox-Flow Batterien für elektrische Großspeicher**, Lüscher Lectures - Energiewandlung und Energiespeicherung, Augsburg, Germany, 01.10.2013

F. Fischer, **Hydrothermale Stabilität mikroporöser Adsorbentien**, 4. Doktorandenseminar Adsorption, Bochum, Germany, 19.–20.09.2013

N.H. Hansen, C. Wunderlich, A.K. Topczak, J. Pflaum, **Probing charge carrier - exciton interactions in Diindenoperylene by the photoluminescence response of thin film transistors**, Antholz winter school, Rasen-Antholz, Italy, 17.–21.03.2013

A. Hauer, **Offene Adsorption im Geschirrspüler - von der Thermodynamik zum fertigen Produkt**, Institut für Chemie- und Bioingenieurwesen - Kolloquium, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany, 28.11.2013

A. Hauer, **Thermische Energiespeicher - Wo hin geht die Entwicklung?**, „Speicher-Forum Mainfranken 2013“, IHK Würzburg-Schweinfurt, Würzburg, Germany, 11.06.2013

M. Helm, K. Hagel, W. Pfeffer, S. Hiebler, C. Schweigler, **Heat Rejection Unit Using Salt-Based PCM for Improved Energetic Efficiency**, SolaRück Workshop „Heat Rejection for Solar Cooling Systems - Interactive workshop on evaluation measures and lessons learned systems“, Bad Krozingen, Germany, 27.09.2013

J.M. Kuckelkorn, **Betriebsoptimierung des Passivhausneubaus der FOS/BOS Erding**, Lehrerkonferenz der FOS/BOS Erding, Erding, Germany, 11.09.2013

J.M. Kuckelkorn, M. Helm, C. Wuschig, **Eigenstromversorgung mit Blockheizkraftwerken für die Tiefengeothermie**, TUM-Workshop Geothermie in der Praxis, München, Germany, 05.07.2013

L. Lucera, G. Spyropoulos, M.M. Voigt, C.J. Brabec, **Slot-die coating for organic photovoltaics**, DFG Spring School, Dresden, Germany, 19.03.2013

H. Mehling, **Heizen und Kühlen mit Kombination mehrerer Wärmespeichertechnologien im neuen Forschungs- und Entwicklungsgebäude des ZAE Bayern**, Klima Forum an der ISH Frankfurt, Frankfurt, Germany, 15.03.2013

S. Natzer, **Thermisch angetriebene Kältemaschinen und Wärmepumpen**, Informationsveranstaltung: Strom, Wärme und Kälte - Perspektiven für Südtirol, Bozen, Italy, 14.03.2013

S. Pöllinger, **Phasenwechselmaterialien und ihr Einsatz in Latentwärmespeichern**, Seminar zu aktuellen Themen aus Energietechnik und Energiewirtschaft, Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, 19.07.2013

M. Reuß, W. Dallmayer, **Erfahrungen mit Wohnungsübergabestationen**, ISE EnWiSol Workshop, Freiburg, Germany, 04.12.2013

M. Reuß, W. Schölkopf, **Sensible Speicherung thermischer Energie**, TUM Ringvorlesung Energiespeichertechnik, München, Germany, 05.07.2013

M. Reuß, **Thermische Energiespeicher - Wo geht die Reise hin?**, 6. Bayerisches Energieforum, Garching, Germany, 13.06.2013

A. Robrecht, **Energiekonzept Plusenergieschule Diedorf**, Informationsveranstaltung „Plus-Energiestandard, Holzbauweise und offene Lernlandschaften erst- und einmalig in Deutschland“, Diedorf, Germany, 13.09.2013

M. Rzepka, **Erneuerbare Energien und Stromspeicher**, Workshop „Ökoprofit“ der Landeshauptstadt München, München, Germany, 01.07.2013

L. Staudacher, **Geothermie - die saubere Lösung einer Weichenheizung**, 5. Trier Fachtag Vossloh Cogifer & Vossloh Laeis GmbH, Trier, Germany, 23.10.2013

## 3.2 | VERÖFFENTLICHUNGEN

### PUBLICATIONS

#### 3.2.1

##### Referierte Veröffentlichungen Peer-Reviewed Publications

R. Ahmad, M. Distaso, H. Azimi, C.J. Brabec, W. Peukert, **Facile synthesis and post-processing of eco-friendly, highly conductive copper zinc tin sulphide nanoparticles**, *J. Nanoparticle Res.*, 15 (9), 2013, UNSP 1886

T. Ameri, N. Li, C.J. Brabec, **Highly efficient organic tandem solar cells: A follow up review**, *Energy Environ. Sci.*, 6 (8), 2013, 2390-2413

T. Ameri, T. Heumüller, J. Min, N. Li, G. Matt, C.J. Brabec et al., **IR sensitization of an indene-C60 bisadduct (ICBA) in ternary organic solar cells**, *Energy Environ. Sci.*, 6 (6), 2013, 1796-1801

T. Ameri, P. Khoram, J. Min, C.J. Brabec, **Organic ternary solar cells: A review**, *Adv. Mater.*, 25 (31), 2013, 4245-4266

H. Azimi, T. Heumüller, A. Gerl, G. Matt, T. Ahmad, C.J. Brabec et al., **Relation of nanostructure and recombination dynamics in a low-temperature solution-processed CuInS<sub>2</sub> nanocrystalline solar cell**, *Adv. Energy Mater.*, 3 (12), 2013, 1589-1596

G. Balan, M. Losurdo, H. Spliethoff, **Experimental study of high-temperature chlorine-induced corrosion in dependence of gas velocity**, *J. Energy Fuels*, 27 (10), 2013, 5628-5639

C. Balzer, G. Reichenauer, M. Wiener, **Sorption-induced deformation of microporous solids studied by in-situ dilatometry**, *Poromech. V*, 2013, 701-709

D. Baran, F.M. Pasker, S.L. Blanc, G. Schnakenburg, T. Ameri, C.J. Brabec et al., **Introducing a new triazoloquinoxaline-based fluorene copolymer for organic photovoltaics: Synthesis, characterization, and photovoltaic properties**, *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, 51 (4), 2013, 987-992

T. Beikircher, M. Demharther, **Heat transport in evacuated perlite powders for super-insulated long-term storages up to 300°C**, *J. Heat Transf.*, 135 (5), 2013, 51301

M. Börner, T. Noisser, G. Reichenauer, **Cross-Linked Monolithic Xerogels Based on Silica Nanoparticles**, *Chem. Mater.*, 25 (18), 2013, 3648-3653

C. Cui, J. Min, C.L. Ho, T. Ameri, P. Yang, C.J. Brabec et al., **A new two-dimensional oligothiophene end-capped with alkyl cyanoacetate groups for highly efficient solution-processed organic solar cells**, *Chem. Commun.*, 49 (39), 2013, 4409-4411

C. Deibel, D. Rauh, A. Foertig, **Order of decay of mobile charge carriers in P3HT:PCBM solar cells**, *Appl. Phys. Lett.*, 103 (4), 2013, 43307

P. Desclaux, M. Rzepka, U. Stimming, R. Hempelmann, **Actual state of technology in direct carbon fuel cells**, *Z. Phys. Chem.*, 227 (5), 2013, 627-649

P. Desclaux, H.C. Schirmer, M. Woiton, E. Stern, M. Rzepka, **Influence of the Carbon/Anode Interaction on Direct Carbon Conversion in a SOFC**, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8 (7), 2013, 9125-9132

P. Desclaux, M. Rzepka, E. Stern, M. Woiton, U. Stimming, R. Hempelmann, **On the Catalytic Activity of Ceria for Direct Carbon Conversion in a SOFC**, *Z. Phys. Chem.*, 227 (12), 2013, 1767-1776

A.L. Domanski, I. Lieberwirth, E. Sengupta, K. Landfester, H.J. Butt, V. Dyakonov et al., **Effect of morphological changes on presence of trap states in P3HT:PCBM solar cells studied by cross sectional energy filtered TEM and thermally stimulated current measurements**, *J. Phys. Chem. C*, 117 (45), 2013, 23495-23499

C. Erbel, M. Mayerhofer, P. Monkhouse, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Continuous in situ measurements of alkali species in the gasification of biomass**, *Proc. Combust. Inst.*, 34, 2013, 2331-2338

F. Fuchs, V.A. Soltamov, S. Vöth, P.G. Baranov, E.N. Mokhov, V. Dyakonov et al., **Silicon carbide light-emitting diode as a prospective room temperature source for single photons**, *Sci. Rep.*, 3, 2013, 1637

A. Göbel, F. Hemberger, S. Vidi, H.P. Ebert, **A New Method for the Determination of the Specific Heat Capacity Using Laser-Flash Calorimetry Down to 77 K**, *Int. J. Thermophys.*, 34 (5), 2013, 883-893

F. Guo, T. Ameri, K. Forberich, C.J. Brabec, **Semitransparent polymer solar cells**, *Polym. Int.*, 62 (10), 2013, 1408-1412

N.H. Hansen, C. Wunderlich, A.K. Topczak, E. Rohwer, H. Schwoerer, J. Pflaum, **Exciton interaction with a spatially defined charge accumulation layer in the organic semiconductor diindenoperylene**, *Phys. Rev. B*, 87 (24), 2013, 241202

G. Heimel, S. Duhm, I. Salzmann, A. Gerlach, A. Strozecka, J. Pflaum et al., **Charged and metallic molecular monolayers through surface-induced aromatic stabilization**, *Nat. Chem.*, 5, 2013, 187-194

M.T. Hessmann, T. Kunz, M. Voigt, K. Cvecek, R. Auer, C.J. Brabec et al., **Material properties of laser-welded thin silicon foils**, *Int. J. Photoenergy*, 2013, 724502

R. Hofmockel, U. Zschieschang, R. Rödel, N.H. Hansen, M. Stolte, J. Pflaum et al., **High-mobility organic thin-film transistors based on a small-molecule semiconductor deposited in vacuum and by solution shearing**, *Org. Electr.*, 14 (12), 2013, 3213-3221

F. Jakobka, M. Heyder, F. Machui, J. Kaschta, D. Eggerath, C.J. Brabec et al., **Determining the coating speed limitations for organic photovoltaic inks**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 109, 2013, 120-125

M. Koppe, H.J. Egelhaaf, E. Clodic, M. Morana, L. Lüer, C.J. Brabec et al., **Charge carrier dynamics in a ternary bulk heterojunction system consisting of P3HT, fullerene, and a low band-gap polymer**, *Adv. Energy Mater.*, 3 (7), 2013, 949-958

J. Krantz, T. Stubhan, M. Richter, S. Spallek, I. Litzov, C.J. Brabec et al., **Spray-coated silver nanowires as top electrode layer in semitransparent P3HT:PCBM-based organic solar cell devices**, *Adv. Funct. Mater.*, 23 (13), 2013, 1711-1717

- T. Kunz, M.T. Hessmann, S. Seren, B. Meidel, B. Terheiden, C.J. Brabec, **Dopant mapping in highly p-doped silicon by micro-Raman spectroscopy at various injection levels**, *J. Appl. Phys.*, 113 (2), 2013, 23514
- A. Laskowsky, A.K. Schuldt, M. Woiton, M. Heyder, E. Stern, M. Scheffler, **Structured ceramic surfaces by preceramic polymer demixing processes**, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 47, 2013, 12055
- N. Li, D. Baran, K. Forberich, M. Turbiez, T. Ameri, C.J. Brabec et al., **An efficient solution-processed intermediate layer for facilitating fabrication of organic multi-junction solar cells**, *Adv. Energy Mater.*, 3 (12), 2013, 1597-1605
- N. Li, T. Stubhan, D. Baran, J. Min, H. Wang, C.J. Brabec et al., **Design of the solution-processed intermediate layer by engineering for inverted organic multi junction solar cells**, *Adv. Energy Mater.*, 3 (3), 2013, 301-307
- N. Li, D. Baran, K. Forberich, F. Machui, T. Ameri, C.J. Brabec et al., **Towards 15% energy conversion efficiency: a systematic study of the solution-processed organic tandem solar cells based on commercially available materials**, *Energy Environ. Sci.*, 6 (12), 2013, 3407-3413
- I. Litzov, C.J. Brabec, **Development of Efficient and Stable Inverted Bulk Heterojunction (BHJ) Solar Cells Using Different Metal Oxide Interfaces**, *Materials*, 6 (12), 2013, 5796-5820
- H. Löslein, T. Ameri, G.J. Matt, M. Koppe, H.J. Egelhaaf, C.J. Brabec et al., **Transient absorption spectroscopy studies on polythiophene-fullerene bulk heterojunction organic blend films sensitized with a low-bandgap polymer**, *Macromol. Rapid Commun.*, 34 (13), 2013, 1090-1097
- J. Manara, M. Lenhart-Rydzek, N. Wolf, M. Arduini-Schuster, **Low emitting functional coatings on membranes for improving energy efficiency**, *Bautechnik*, 90 (4), 2013, 219-224
- H. Mehling, **Enthalpy and temperature of the phase change solid-liquid - An analysis of data of compounds employing entropy**, *Sol. Energy*, 95, 2013, 290-299
- H. Mehling, **Enthalpy and temperature of the phase change solid-liquid - An analysis of data of the elements using information on their structure**, *Sol. Energy*, 88, 2013, 71-79
- K. Menberg, H. Steger, R. Zorn, M. Reuß, M. Pröll, P. Bayer et al., **Determination of thermal conductivity in the subsurface using laboratory and field experiments and theoretical models**, *Grundwasser*, 18 (2), 2013, 103-116
- J. Min, H. Zhang, T. Stubhan, Y.N. Luonosov, M. Kraft, C.J. Brabec et al., **A combination of Al-doped ZnO and a conjugated polyelectrolyte interlayer for small molecule solution-processed solar cells with an inverted structure**, *J. Mater. Chem. A*, 1 (37), 2013, 11306-11311
- J. Min, Y.N. Luonosov, T. Ameri, A. Elschner, S.M. Peregudova, C.J. Brabec et al., **A solution-processable star-shaped molecule for high-performance organic solar cells via alkyl chain engineering and solvent additive**, *Org. Electron.*, 14 (1), 2013, 219-229
- J. Min, T. Ameri, R. Gresser, M. Morenz-Rothe, D. Baran, C.J. Brabec et al., **Two similar near-infrared (IR) absorbing benzannulated AZA-bodipy dyes as near-ir sensitizers for ternary solar cells**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5 (12), 2013, 5609-5616
- P. Mitsakis, M. Mayerhofer, X. Meng, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Optical measurement of tars in a fluidized bed gasifier: influence of fuel type and gasification parameters on their formation**, *Biomass Convers. Biorefinery*, 3 (2), 2013, 157-167
- D. Nanova, S. Beck, M. Alt, T. Glaser, A. Pucci, J. Pflaum et al., **Phase separation in ternary charge-transfer-complexes**, *Appl. Phys. A*, 112 (4), 2013, 1019-1025
- J. Niklas, K.L. Mardis, B.P. Banks, G.M. Grooms, A. Sperlich, V. Dyakonov et al., **Highly-Efficient Charge Separation and Polaron Delocalization in Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunctions: A Comparative Multi-Frequency EPR and DFT Study**, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 15 (24), 2013, 9562-9574
- S. Rausch, D. Rauh, C. Deibel, S. Vidi, H.P. Ebert, **Thin-Film Thermal-Conductivity Measurement on Semi-Conducting Polymer Material Using the  $3\omega$  Technique**, *Int. J. Thermophys.*, 34 (5), 2013, 820-830
- B.B.L. Reeb, N. Kluy, O. Schneider, U. Stimming, **Ethanol oxidation in direct ethanol fuel cells**, *ECS Trans.*, 53 (28), 2013, 23-30
- M. Rohde, F. Hemberger, T. Bauer, J. Blumm, T. Fend, T. Hausler et al., **Intercomparison of thermal diffusivity measurements on CuCrZr and PMMA**, *High Temp. High Press.*, 42 (6), 2013, 469-474
- M. Rydzek, N. Wolf, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Sol-Gel Deposited Highly Transparent Electrically Conductive and Infrared Reflective Metaloxide Thin Films to Improve Thermal Comfort and to Reduce Thermal Emittance**, *Therm. Conduct. 31 / Therm. Expansion* 19, 2013, 260-271
- A. Savva, F. Petraki, P. Eleftheriou, L. Sygellou, M. Voigt, C.J. Brabec et al., **The Effect of Organic and Metal Oxide Interfacial layers on the Performance of Inverted Organic Photovoltaics**, *Adv. Energy Mater.*, 3 (3), 2013, 391-398
- P. Schwamb, T.C.G. Reusch, C.J. Brabec, **Passive cooling of large-area organic light-emitting diodes**, *Org. Electron.*, 14 (8), 2013, 1939-1945
- B. Stender, S.F. Völker, C. Lambert, J. Pflaum, **Optoelectronic Processes in Squaraine Dye-Doped OLEDs for Emission in the Near-Infrared**, *Adv. Mater.*, 25 (21), 2013, 2943-2947
- T. Stubhan, I. Litzov, N. Li, M. Salinas, M. Steidl, C.J. Brabec et al., **Overcoming interface losses in organic solar cells by applying low temperature, solution processed aluminum-doped zinc oxide electron extraction layers**, *J. Mater. Chem. A*, 1 (19), 2013, 6004-6009
- A. Vetter, F. Fecher, J. Adams, R. Schäffler, C.J. Brabec, C. Buerhop et al., **Lock-in thermography as a tool for quality control of photovoltaic modules**, *Energy Sci. Eng.*, 1 (1), 2013, 12-17



S. Vidi, S. Rausch, H.P. Ebert, A. Löhberg, D. Pe-try, **Effective Thermal-Conductivity Measurements on Supporting Structures of the Mercury Probe Bepi Colombo**, *Int. J. Thermophys.*, 34 (5), 2013, 939-947

M.M. Voigt, F. Machui, L. Lucera, G. Spyropoulos, J. Cordero, C.J. Brabec et al., **Tailoring green for- mulation: printing and upscaling of inverted organic solar cells**, *IEEE Proc. Photovolt. Spec. Conf.*, 39, 2013, 3092-3097

Y. Wang, J.M. Kuckelkorn, F.Y. Zhao, **Indoor en- vironment of a classroom in a passive school building with displacement ventilation**, *Proc. BS2013*, 2013, 1902-1909

L. Weigold, D.P. Mohite, S. Mahadik-Khanol- kar, N. Leventis, G. Reichenauer, **Correlation of Microstructure and Thermal Conductivity in Nanoporous Solids: The Case of Polyurea Ae- rogels Synthesized from an Aliphatic Tri-iso- cyanate and Water**, *J. Non-Cryst. Solids*, 368, 2013, 105-111

H. Weinläder, D. Kranl, B. Strieder, **A ventila- ted cooling ceiling with integrated latent heat storage: test room measurements**, *Intell. Build. Int.*, 5 (2), 2013, 120-132

N. Wolf, M. Rydzek, D. Gerstenlauer, M. Ardui- ni-Schuster, J. Manara, **Low temperature pro- cessing of redispersed tin doped indium oxide nanoparticle coatings**, *Thin Solid Films*, 532, 2013, 60-65

L. Wondraczek, M. Batentschuk, M.A. Schmidt, R. Borchardt, S. Scheiner, C.J. Brabec et al., **Solar spectral conversion for improving the photo- synthetic activity in algae reactors**, *Nat. Com- mun.*, 4, 2013, 2047

### 3.2.2

#### Bücher, Manuskripte Books, Manuscripts

A. Buttler, C. Kunze, H. Spliethoff, **Analyse von flexiblen IGCC-Konzepten der nächsten Ge- neration**, in: *Kraftwerkstechnik - Sichere und nachhaltige Energieversorgung*, Eds: M. Beck- mann, A. Hurtado, TK Verlag, Neuruppin, 2013, 259-270, ISBN 978-3-944310-04-6

H.P. Ebert, **High Performance Insulation Ma- terials**, in: *Nearly Zero Energy Building Refur- bishment*, Eds: F. Pacheco Torgal, M. Mistret- ta, A. Kaklauskas, C.G. Granqvist, L.F. Cabeza, Springer, Berlin, 2013, 457-481, ISBN 978-1-4471- 5522-5

J. Fricke, W. Borst, **Essentials of Energy Techno- logy**, Wiley-VCH, Berlin, 2013, ISBN 978-3-527- 33416-2

M. Helm, **Chapter 10.2: Built Examples „10 kW (2.8ton) absorption chiller in office buidling in Garching, Germany“**, in: *Solar Cooling Hand- book - A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes*, Eds: H.M. Hen- ning, M. Motta, D. Mugnier, Ambra Verlag, Wien, 2013, 267-280, ISBN 978-3-99043-438-3

M. Helm, K. Hagel, S. Hiebler, C. Schweigler, **Solar heating and cooling with absorption chiller and latent heat storage**, in: *Thermally driven heat pumps for heating and cooling*, Eds: A. Kühn, Universitätsverlag der TU Berlin, 2013, 139-150, ISBN 978-3-7983-2596-8

A. Kühn, M. Seiler, M. Radspieler, O. Kotenko, H. Moser, R. Rieberer, **Ionic liquids as new ab- sorbents for absorption chillers and heat pumps**, in: *Thermally driven heat pumps for heating and cooling*, Eds: A. Kühn, Universi- tätsverlag der TU Berlin, 2013, 215-220, ISBN 978-3-7983-2596-8

S. Petersen, A. Beil, C. Hennrich, W. Lanser, W.G. Hüls, S. Natzer, **New absorption chillers for CHCP or solar cooling system technology**, in: *Thermally driven heat pumps for heating and cooling*, Eds: A. Kühn, Universitätsverlag der TU Berlin, 2013, 109-116, ISBN 978-3-7983- 2596-8

M. Radspieler, P. Zachmeier, C. Schweigler, **Application of customized absorption heat pumps with heating capacities above 500 kW - PROJECT: ACKERMANNBOGEN, MUNICH**, in: *Thermally driven heat pumps for heating and cooling*, Eds: A. Kühn, Universitätsverlag der TU Berlin, 2013, 73-80, ISBN 978-3-7983-2596-8

C. Schweigler, M. Helm, U. Jakob, **Chapter 6: So- lar cooling system characterization**, in: *Solar Cooling Handbook - A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes*, Eds: H.M. Henning, M. Motta, D. Mugnier, Ambra Verlag, Wien, 2013, 153-170, ISBN 978-3-99043- 438-3

P. Zachmeier, M. Radspieler, C. Schweigler, **Application of customized absorption heat pumps with heating capacities above 500 kW - Project: VIVO, Wargau (near Munich)**, in: *Thermally driven heat pumps for heating and cooling*, Eds: A. Kühn, Universitätsverlag der TU Berlin, 2013, 81-86, ISBN 978-3-7983-2596-8

### 3.2.3

#### Referierte Tagungsbandbeiträge Conference Papers

A. Buttler, H. Spliethoff, **Integration chemischer Speicher in konventionelle Kraftwerke**, 2. VDI- Fachkonferenz Konventionelle Kraftwerkstechno- logie der nächsten Generation, Berlin, Germany, 21.02.2013

A. Buttler, S. Fendt, H. Spliethoff, **Simulati- on-based concept study of an innovative small-scale biomass-to-SNG plant with ex- cess power integration**, *Proc. 13<sup>th</sup> International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS 2013)*, Wien, Austria, 03. –05.09.2013

S. Fendt, A. Buttler, H. Spliethoff, **Biomass gasi- fication for excess power integration**, *Internati- onal Seminar on Gasification, Gothenburg, Sweden*, 16. –18.10.2013

S. Fendt, M. Maschke, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Concept study of small-scale biomass-to-SNG systems with excess power integration**, 21<sup>st</sup> *European Biomass Conference and Exhibition, Production and supply of biomethane, Copen- hagen, Denmark*, 03. –07.07.2013, p.1335-1341

M. Fischnaller, F. Volz, R. Kunde, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Small Scale Gasifiers - Market and technology evaluation for promising develop- ments**, *Proc. 13<sup>th</sup> International Conference on Polygeneration Strategies (ICPS 2013)*, Wien, Austria, 03. –05.09.2013, p.293-299

P. Hennemann, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Experimental study on variations in polyethers to investigate their potential as phase change materials**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19. – 21.06.2013

U. Hoyer, V. Volland, M. Salamon, N. Uhlmann, R. Auer, C.J. Brabec, **Quantitative Shunt Determination in Organic Solar Modules Using Lock In Thermography**, Proc. 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC), Paris, France, 30.09. – 04.10.2013, p.2858-2860

U. Hoyer, S. Besold, J. Bachmann, T. Swonke, C.J. Brabec, **X-Ray Tomosynthesis for Defect Recognition in Crystalline Silicon Solar Cells with Layer Resolution**, Proc. 28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC), Paris, France, 30.09. – 04.10.2013, p.2232-2235

F. Klinker, C. Konstantinidou, H. Weinläder, H. Mehling, D. Büttner, S. Weismann et al., **Cooling concept of the new R&D building of the ZAE Bayern using several thermal energy storage technologies**, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Graz, Austria, 25. – 28.09.2013, p.1439-1447

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, CRC Press, 2013, p. 1737-1744

J. Manara, J. Hartmann, M. Lenhart-Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, **Determination of the Emittance and Transmittance of Ceramic Materials at High Temperatures**, Temperatur 2013, Berlin, 2013, 05. – 06.06.2013, p.219-224

J. Manara, M. Arduini-Schuster, H.P. Ebert, A. Beck, J. Cremers, W. Lang et al., **Lightweight Envelopes for Energy Efficient Buildings: Energy Saving by Covering Courtyards with Membrane Systems**, Implementing Sustainability - Barriers and Chance (sb13 munich), München, Germany, 24. – 26.04.2013, p.1151-1158

M. Pröll, M. Hilt, **The significance of the fluid to PV thermal coupling in a CPC PVT collector**, ISES Solar World Congress 2013, Cancun, Mexico, 03. – 07.11.2013

T. Rampp, F. Klinker, H.P. Ebert, W. Körner, S. Weismann, D. Büttner et al., **The Energy Efficiency Center: Lightweight Construction With Smart Technology**, Implementing Sustainability - Barriers and Chance (sb13 munich), München, Germany, 24. – 26.04.2013

C. Rathgeber, P. Hennemann, S. Hiebler, **Calibration of a T-history calorimeter for phase change materials in the temperature range from 40°C to 200°C**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19. – 21.06.2013

C. Rathgeber, H. Schmit, S. Hiebler, **Mixtures of alkanes, fatty acids and alcohols as novel phase change materials: preparation and characterization with DSC and T-history**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Storage in Buildings, Dublin, Ireland, 19. – 21.06.2013

M. Riepl, M. Helm, **All-in-one ready-to-use solar thermal absorption cooling and heating system**, Proc. Australian Solar Cooling Conference 2013, North Ryde, Australia, 12.04.2013

N. Wolf, M. Arduini-Schuster, J. Manara, **Low temperature processing of redispersed ITO nanoparticle coatings with different prepared suspensions**, XVII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2013), Madrid, Spain, 25. – 30.08.2013

N. Wolf, D. Gerstenlauer, J. Manara, **Modelling the spectral reflectances of Sol-Gel tin doped indium oxide and aluminium doped zinc oxide coatings**, Nanotech Conference & Expo, Washington, USA, 12. – 16.05.2013, p. 674-677

C. Wuschig, C. Schweigler, **Innovative double-effect/single-effect absorption chiller for tri-generation systems**, 3<sup>rd</sup> International Conference on Microgeneration and Related Technologies, Naples, Italy, 15. – 17.04.2013

### 3.2.4

#### Sonstige Veröffentlichungen Miscellaneous Publications

C. Balzer, C. Scherdel, G. Reichenauer, **Micro-pore filling in synthetic porous carbons studied by in-situ small angle X-ray scattering**, Hasylab Annual Report 2012

T. Beikircher, V. Berger, P. Osgyan, **Rückseitige Foliendämmung in Flachkollektoren als Alternative zu konventionellen Dämmstoffen**, OTTI: 23. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 24. – 26.04.2013

T. Beikircher, F. Buttinger, M. Demharter, F. Herzog, M. Konrad, M. Reuß, **Superisolierter Heißwasser-Langzeitwärmespeicher**, Schlussbericht zum BMU-Projekt, FKZ 0325964A, Garching, 2013

S.Brückner, M.Pehnt, **Technologies to tap the industrial waste heat potential**, Energy Efficiency Business&Industry, November, 2013, 14-15

D. Büttner, **Regenwassernutzung zur passiven Kälteerzeugung durch Kältespeicherung**, fbr-wasserspiegel, Feb 2013, 2013, 3-5

D. Büttner, **Regenwassernutzung zur passiven Kälteerzeugung durch Strahlungskühlung**, Schriftenreihe fbr, 16, 2013, 115-132

M. Fischnaller, M. Gaderer, H. Spliethoff, J.M. Kuckelkorn, R. Kunde, F. Volz et al., **Biomasse Vergaser - Cleanfire**, Schlussbericht zum BMWi-Vorhaben FKZ 340 ZN, ZAE Bayern, Garching / Erlangen, 2013

U. Heinemann, J. Lang, **Auf dem Prüfstand: Vakuumdämmung**, B+B Bauen im Bestand, 36 (1), 2013, 32-35

P. Hennemann, S. Hiebler, **Theoretical limits of phase change materials (PCM) regarding melting enthalpy and entropy**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Materials for Energy (EnMat II), Karlsruhe, 12. – 16.05.2013

- U. Hoyer, T. Swonke, R. Auer, O. Arnold, C.J. Brabec, **Umfassende elektrische Charakterisierung von PV-Modulen mit einem Sonnensimulator auf LED-Basis**, 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 06.–08.03.2013, p.188-189
- R. Kastner, H.P. Ebert, **Der Stoff aus dem Träume wahr werden**, greenbuilding, 03/2013
- J.M. Kuckelkorn, M. Helm, C. Wuschig, **Eigenstromversorgung mit Blockheizkraftwerken für die Tiefengeothermie**, GGSC - 4. Erfahrungsaustausch Kommunale Geothermieprojekte, Augsburg, 18.04.2013
- J.M. Kuckelkorn, **Höhere Energieeffizienz durch niedrige Netzzücklauftemperaturen**, Das 1. interkommunale Geothermieprojekt in Deutschland, AFK-Geothermie, Broschüre, 2013
- J.M. Kuckelkorn, **Monitoring eines Passivhaus-Schulgebäudes - Ergebnisse der Betriebsoptimierung an der FOS/BOS Erding**, Tagungsband DBU-Herbstsymposium 2013 - Bauen für die Zukunft, Benediktbeuern, 19.–20.09.2013
- J.M. Kuckelkorn, **Systemdichtheit von Verfüllbaustoffen**, OTTI - 12. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Neu- markt i.d. Opf., 19.–20.03.2013, p.110-119
- R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, J.M. Kuckelkorn, **Effizient Heizen - Wie Kesseldimensionierung und Anlagenkonzept den Betrieb von Pelletheizungen beeinflussen**, pellets - markt und trends, Oktober, 2013
- R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, **Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei Pellet-Kleinfeuerungsanlagen**, Effizient, umweltverträglich, dezentral - Neue Konzepte für die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen - Teil 1, Band 12 Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Leipzig, 2013, 105-113
- R. Kunde, M. Adeili, J.M. Kuckelkorn, **Konzeptverbesserung bei der Systemtechnik von Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen**, Schlussbericht zum BMU-Projekt FKZ 03KB026, ZAE Bayern, Garching, 2013
- J. Lormann, M. Ruf, D. Vocke, V. Dyakonov, C. Deibel, **Distribution of charge carrier transport properties in organic semiconductors with Gaussian disorder**, arXiv, 1209.1922
- C. Scherdel, L. Weigold, G. Reichenauer, **Anisotropic Scattering Patterns of Aerogels upon Uniaxial Compression**, Hasylab Annual Report 2012
- C. Scherdel, G. Reichenauer, **SAXS - Contrast Matching with Heavy Weight Salt Solutions**, Hasylab Annual Report 2012
- J. von Schrenck, L. Staudacher, D. Schink, **Erdwärme hält Weichen schneefrei**, Energie-wende - Forschung konkret, Internetauftritt der Bundesregierung, 15.08.2013
- E. Stern, M. Scheffler, M. Woiton, A. Laskowsky, **Netzartig strukturierte Oberflächen aus präkeramischen Polymeren**, Schlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben, Erlangen, 2013
- M. Weiß, H.P. Ebert, **Gebäude von morgen schon heute testen**, Building automation, 02/2013, 34-36
- E. Wiemken, M. Safarik, P. Zachmeier, K. Hagel, S. Wittig, C. Schweigler et al., **Evaluierung der Chancen und Grenzen von solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien**, Schlussbericht zum BMU-Projekt EvaSolk, Garching, 2013
- M. Zeymer, A. Herrmann, K. Oehmichen, R. Schneider, P. Heidecke, F. Volz et al., **Klein-technische Biomassevergasung - Option für eine nachhaltige und dezentrale Energieversorgung**, DBFZ Report Nr. 18, 11/2013

## 3.3 | STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN

### DEGREE AND DOCTORAL THESIS

#### 3.3.1

##### Studienabschlussarbeiten Degree Thesis

S. Ames, **Präparation organischer Einkristalle mit der Lipsett-Methode**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2013, Bachelor

A. Antoni, **Aufbau einer Apparatur zur Bestimmung des Emissionsgrades von Oberflächen bei hohen Temperaturen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 04/2013, Master

C. Bay, **Betriebsanalyse eines Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssystems**, Hochschule Kempten, Maschinenbau, 02/2013, Bachelor

T. Bottner, **Herstellung und Charakterisierung von Schichten zur Lichtkonversion in Solarzellen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 10/2013, Bachelor

M. Braun, **Entwicklung eines verfahrenstechnischen Modells für Vanadium-Flussbatterien**, TU München, Maschinenwesen, 11/2013, Diplom

F. Gutierrez-Roman, **Optimierung der Wärme- und Kälteversorgung einer Passivhausschule**, Hochschule München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 05/2013, Bachelor

K. Haller, **Absenkung der Rücklauftemperaturen in einem Geothermie-Fernwärmesystem**, Hochschule München, Wirtschaftsingenieurwesen, 03/2013, Bachelor

F. Hartmann, **Niedrig emittierende Schichten auf Basis von redispergierten ITO Nanopartikelsuspensionen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 12/2013, Bachelor

M. Hilt, **Messtechnikstrategie für die thermographische Bestimmung von Wärmedurchgangskoeffizienten in PV-T Kollektoren**, TU München, Maschinenwesen, 08/2013, Diplom

R. Hofmockel, **Charakterisierung und Optimierung von Feldeffekttransistoren auf Basis des organischen Halbleiters C10-DNTT**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2013, Master

L. Hörlin, **Aufbau eines Demonstratormoduls auf Basis von organischen Solarzellen und Superkondensatoren**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 09/2013, Bachelor

M. Irl, **Mehrertragsnachweis von PVT-Kollektoren im Anwendungsfall**, TU München, Maschinenwesen, 07/2013, Bachelor

M. Kausche, **Prüfstand für Siedeeperimente an einem Naturumlaufverdampfer**, Hochschule München, Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik, 04/2013, Diplom

M. Keppeler, **Auslegung und Optimierung von Rohrbündelwärmeübertragern in Absorptionskältemaschinen**, Hochschule Kempten, Maschinenbau, 04/2013, Bachelor

B. Kern, **Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Untersuchung der adiabaten Absorption an thermisch getriebenen Kältemaschinen**, Hochschule Coburg, Angewandte Naturwissenschaften, 01/2013, Diplom

A. Kirschbaum, **Entwicklung eines Auswertungstools zur Evaluierung des Gebäudebetriebs einer Passivhausschule**, Hochschule München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 11/2013, Bachelor

J. Kopp, **Modifizierung von Silizium-Nanopartikel-Oberflächen zur Herstellung von Dispersionen für Silizium-Schichten**, Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg, Angewandte Chemie, 03/2013, Bachelor

S. Kreutzer, **Charakterisierung keramischer Materialien als Schwarzkörperstrahler bei hohen Temperaturen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 09/2013, Bachelor

A. Kurz, **Experimentelle Bestimmung und Modellierung der infrarotoptischen und elektrischen Eigenschaften von transparenten, leitfähigen Schichten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 01/2013, Bachelor

S. Kutz, **Oberflächenstrukturierung von Polymethylmethacrylat durch lokales Verdrücken von Lösungsmitteln**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 09/2013, Bachelor

M. Meiners, **Experimentelle Untersuchung zum Wärmeübergang installierter Photovoltaikmodule**, Hochschule Bremen, Architektur, Bau und Umwelt, 06/2013, Bachelor

T.J. Ostermann, **Aufbau und Erprobung von Messverfahren für Photovoltaikmodule unter realer Sonneneinstrahlung**, Hochschule Amberg-Weiden, Maschinenbau / Umwelttechnik, 02/2013, Bachelor

M. Prantner, **Leistungstest und Bewertung eines mobilen Sorptionsspeicher**, TU München, Maschinenwesen, 10/2013, Diplom

M. Schmiddunser, **Zucht und Charakterisierung von (DCNQI)<sub>2</sub>Cu-Kristallen auf Mikrometer-Längenskalen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2013, Master

M. Seget, **Spektral-selektive Beschichtungen mit optimierten infrarot-optischen Eigenschaften**, TU Berlin, Institut für Energietechnik, 08/2013, Bachelor

M. Spindler, **Partikuläre Systeme mit spektral selektiven Eigenschaften**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 04/2013, Diplom

F. Staub, **Untersuchung des Degradationsverhaltens in organischen Diindenopyren/C60 Bilagen-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2013, Master

N. Subkow, **Aufbau einer Apparatur zur berührungslosen Temperaturmessung mittels Strahlungsthermometer**, TU Berlin, Institut für Energietechnik, 10/2013, Master

S. Thoms, **Temperaturabhängige, optische Untersuchungen an organischen Schichten auf (DCNQI)<sub>2</sub>Cu-Einkristallen mit Mikrometer Auflösung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 11/2013, Master

M. Tonini, **Konzeptentwicklung zur energetischen Bewertung eines innovativen Energiesystems zur Nutzung von industrieller Abwärme**, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wald- und Forstwirtschaft, 03/2013, Bachelor

P. Tröger, **Induced shunts and their influence on the IV-characteristic of CIGS solar cells**, Hochschule Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 08/2013, Bachelor

F. Warth, **Influence of induced shunts to the performance of CIGS solar cells**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Energietechnik, 03/2013, Bachelor

M. Zipf, **Synthese und Charakterisierung nanopartikulärer Schichtsysteme mit optimierten IR-optischen Eigenschaften**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2013, Master

---

### 3.3.2

#### Dissertationen

#### Doctoral Thesis

---

D. Rauh, **Impact of Charge Carrier Density and Trap States on the Open Circuit Voltage and the Polaron Recombination in Organic Solar Cells**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2013

## 3.4 | PATENTE

### PATENTS

R. Auer, V. Gazuz, T. Kunz, **Herstellung eines Halbleiter-Bauelements durch Laser-unterstütztes Bonden und damit hergestelltes Halbleiter-Bauelement**, DE102011015283B4

J. Bachmann, **Verfahren zum zerstörungsfreien Prüfen von Bauteilen mittels Lock-In-Bilderzeugung**, DE102012214205A1

A. Baumann, C. Deibel, V. Dyakonov, J. Lorrmann, D. Rauh, **Verfahren zur simultanen Bestimmung der Beweglichkeit, Dichte und Lebenszeit photogenerierter Ladungsträger in optisch anregbaren Materialien sowie Vorrichtung zur Bestimmung derselben**, DE102011108822A1

S. Braxmeier, H. Fink, G. Reichenauer, C. Scherdel, M. Wiener, **Groß- und offenporiges C/C-Komposit mit hoher innerer Oberfläche, sowie Verfahren zur Herstellung desselben und dessen Anwendung**, DE102011108435A1

S. Braxmeier, E. Dohmann, S. Glaser, M. Reim, H. Weinläder, M. Wiener, **Vorrichtung zur Bestimmung des Gasgehaltes bei eingebauten Verglasungen**, DE102011120844A1

S. Braxmeier, E. Dohmann, S. Glaser, M. Reim, H. Weinläder, M. Wiener, **Vorrichtung zur Bestimmung des Gasgehaltes im Scheibenzwischenraum bei der Isolierglasproduktion(Inline-Verfahren)**, DE102011120845A1

H.P. Ebert, F. Hemberger, H. Mehling, **PCM-haltiges Komposit aus wärmeleitenden Transportteilchen und Verdrängungskörpern zur Optimierung des Wärmetransports, sowie Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung desselben**, DE102011108820A1

H.P. Ebert, J. Hartmann, F. Hemberger, H. Mehling, **Verbundmaterial für Erdstromkabel und Umhüllungen von elektrischen Bauteilen mit wärmeleitenden Transportteilchen und Verdrängungskörpern zur Optimierung des Wärmetransports, sowie Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung desselben**, DE102011108823A1

H.P. Ebert, F. Hemberger, H. Mehling, **Verfüllmaterial für Erdsonden und Erdstromkabeln aus wärmeleitenden Transportteilchen und Verdrängungskörpern zur Optimierung des Wärmetransports, sowie Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung desselben**, DE102011108821A1

Gebrauchsmuster, **Schichtladeeinrichtung zur Einbringung von Fluid mit unterschiedlicher Temperatur bei gleich-zeitigem Aufbau und/oder Erhalt einer thermischen Schichtung in einem sensiblen thermischen Speicher**, DE202012002766U1

S. Hiebler, **Latentwärmespeicher mit einem Phasenwechselmaterial und Verfahren zur Erzeugung eines Phasenwechsels in dem Phasenwechselmaterial**, DE102011085722A1

U. Hoyer, **Verfahren zum Ermitteln eines Parameters einer Photozelle**, DE102011087047A1

G. Reichenauer, C. Scherdel, **Hydrophobes SiO<sub>2</sub>-haltiges poröses Trockengel, Verfahren zur Herstellung sowie Verwendung desselben**, DE102011120843A1

## 3.5 | MITARBEIT IN GREMIEN

### MEMBERSHIP IN COMMITTEES

<b>R. Auer</b>	<b>Dr. C. Buerhop</b>	Mitglied Fachforum, <b>Erneuerbare Energien</b> , Region Mainfranken
Mitglied, <b>Fachausschuss Sachverständigenwesen Photovoltaik (PV) und Photovoltaische Anlagentechnik (PVAT)</b> , IHK Mittelfranken	stellvertretende Vorsitzende, <b>Instandhaltung von PV-Anlagen, Thermographie</b> , VDI-GPL Fachausschuß 202.2	Mitglied International Organizing Committee, <b>European Conference on Thermophysical Properties (ECTP)</b>
<b>Prof. Dr. C.J. Brabec</b>	Mitglied, <b>Norm Thermographie PV</b> , DGS, Berlin	Mitglied, <b>IHK Industrie-, Technologie- und Forschungsausschuss</b>
Co-Organizer and Co-Chair, <b>28<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (28. EU PVSEC)</b> , Paris, France 30.09. – 04.10.2013	<b>Prof. Dr. V. Dyakonov</b>	Vorsitz, <b>Lenkungsausschuss Arbeitskreis Thermophysik</b> , Gesellschaft für thermische Analyse e.V. (GEFTA)
Scientific Advisory Council, <b>2<sup>nd</sup> International Congress „Next Generation Solar Energy“</b> , Erlangen, 09. – 11.12.2013	Mitglied, <b>Arbeitsgruppe Energieeffizienz/ Energieeinsparung, Energieeffizienz-Pakt der Bayerischen Staatsregierung</b> , München	Mitglied, <b>Prüfungsausschuss Physiklaboranten der IHK Würzburg-Schweinfurt</b>
Chair Advisory Board der Zeitschrift, <b>Advanced Energy Materials</b> , Wiley VCH	Mitglied, <b>Direktorium des Forschungsbunds Erneuerbare Energien (FVEE)</b> , Berlin	Mitglied Scientific Committee, <b>World Sustainable Energy Days next Conference</b> , Wels, Austria, 27. – 28.02.2013
Gutachter, <b>Austrian Science Fund (FWF), German Research Foundation (DFG), the Baden-Württemberg Stiftung</b>	Mitglied, <b>Erweiterte Universitätsleitung (EUL)</b> , Julius-Maximilians-Universität Würzburg	<b>Prof. Dr. J. Fricke</b>
Editorial Board der Zeitschrift, <b>Emerging Materials Research</b> , ice publishing	Dekan, <b>Fakultät für Physik und Astronomie</b> , Julius-Maximilians-Universität Würzburg	Sprecher, <b>Cluster Energietechnik</b>
Principal Investigator, <b>Energie Campus Nürnberg (EnCN)</b>	Mitglied, <b>Fakultätsrat, Fakultät für Physik und Astronomie</b> , Julius-Maximilians-Universität Würzburg	<b>Dr. A. Hauer</b>
Principal Investigator, <b>Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials“</b> , Erlangen	Mitglied des Kuratoriums, <b>Fordergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoffzentrum</b> , Würzburg	Member of the Scientific Committee, <b>3<sup>rd</sup> International Conference on Energy Process Engineering „Transition to Renewable Energy Systems“ (ICEPE)</b> , Frankfurt am Main, Germany, 03. – 06.06.2013
Editorial Board der Online-Zeitschrift, <b>Future Photovoltaics</b> , Mazik Media	Mitglied, <b>Industrie-, Technologie- und Forschungsausschuss der IHK</b> , Würzburg-Schweinfurt	Session Chair, <b>8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2013)</b> , Berlin, Deutschland, 18. – 20.11.2013
Mitglied, <b>Graduate School in Advanced Optical Technologies (SOAT)</b> , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Member Programm Committee, <b>International Conferences on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO 2013)</b> , Moscow, Russia	Mitglied, <b>Bundesverband Energiespeicher - BVES, Arbeitsgruppe „Roadmap der Energiewende und Rolle der Energiespeicher“</b> , Berlin, 2013
Member Scientific Evaluation Committee, <b>Holst Center</b> , Eindhoven, The Netherlands	Sprecher, <b>Schwerpunkt Organische Photovoltaik, Verbund „UmweltNanoTech“</b> , Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München	Member of the Conference Committee / Topic Chair, <b>Energy Storage 2014 - International Summit for the Storage of Renewable Energies</b> , Düsseldorf, Germany, 18. – 19.03.2013
Editorial Board der Zeitschrift, <b>Journal of Photonics for Energy</b> , SPIE	<b>Dr. H.-P. Ebert</b>	
Member of scientific board, <b>PE graduate school, Imperial College</b> , London, UK	Gutachterliche Tätigkeit, <b>Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Europäische Union (EU), United States Department of Agriculture</b>	

Member of the Scientific Committee, **Green-Stock, 13<sup>th</sup> International Conference on Energy Storage 2015**, Beijing, China, May 2015

Member of Advisory Board, **International Energy Agency IEA, „Energy Storage Technology Roadmap“**, Paris, France, 2013

Member of Advisory Board, **International Energy Agency IEA, „Grid Integration of Variable Renewables“ - GIVAR**, Paris, France, 2012-2013

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement „Energy Conservation Through Energy Storage ECES“**, Annex 29 „Compact Thermal Energy Storages - Material Development and System Integration“

Fachliche Leitung, **OTTI Anwenderforum Thermische Energiespeicher**, Neumarkt i.d. Opf., Germany, 04. – 05.07.2013

Fachliche Leitung, **VDI-Fachkonferenz „Thermische Energiespeicher in der Energieversorgung“**, Ludwigsburg, Germany, 16. – 17.10. 2013

Session Chair, **VDI-Fachkonferenz „Wärmeeinsatz zum Kühlen und Klimatisieren“**, Berlin, Germany, 14. – 15.05.2013

---

#### Dr. U. Heinemann

---

Scientific Committee, **11<sup>th</sup> International Vacuum Insulation Symposium**, Dübendorf, Switzerland, 19. – 20.09.2013

---

#### M. Helm

---

Mitglied, **Arbeitskreis zur Normierung: „Solare Kühlung“**

Wokpackage Leader Task 48, **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 „Werkstoffe der Energietechnik“**

Mitglied, **Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 2.51 „Angewandte Strahlungsthermometrie“**

---

#### Dr. H. Mehling

---

Vertreter des ZAE Bayerns, **RAL Gütegemeinschaft PCM e. V.**

stellvertretender Vorsitzender, **Richtlinienausschuss VDI 2164, Latentspeichersysteme in der Gebäudetechnik**

---

#### S. Natzer

---

Mitglied, **Arbeitskreis zur Normierung: „Solare Kühlung“**

---

#### Prof. Dr. J. Pflaum

---

Gutachterliche Tätigkeit, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Alexander von Humboldt Stiftung, Carl-Zeiss-Stiftung, BW-Stiftung**

Vorstandsmitglied, **Physikalisches Institut, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

Member, **Scientific committee of the International Conference on Organic Electronics (ICOE)**

---

#### M. Pröll

---

Gremienmitglied, **Verein Deutscher Ingenieure, VDI 4640 Blatt 5**

---

#### C. Rathgeber

---

Expert Annex 25, **IEA - ECES IA- Annex 25: Surplus Heat Management using Advanced TES for CO<sub>2</sub> mitigation**

Expert Task 4229, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement „Energy Conservation Through Energy Storage ECES“**, Annex 29 „Compact Thermal Energy Storages - Material Development and System Integration“

---

#### Dr. G. Reichenauer

---

Mitglied, **Arbeitskreis Kohlenstoff**

Mitglied, **DIN-Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik“**

---

#### M. Reuß

---

Fachliche Leitung, **12. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“**, Neumarkt i.d.Opf., Germany, 19. – 20.03.2013

Obmann und Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss „VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrunds“**

Fachliche Leitung, **VDI-Fachkonferenz „Wärmepumpen - Umweltwärme effizient nutzen“**, Frankfurt, Germany, 11. – 12.06.2013

Mitglied, **VDI-GEU, Gesellschaft Energie und Umwelt, Koordinierungsgruppe**

---

#### M. Riepl

---

Expert Task 48, **IEA SHC Task 48: Quality Assurance and Support Measures for Solar Cooling**

Seminarleitung, **Solare Kühlung**, VDI Spezialtag, Berlin, Germany, 16.05.2013

---

#### 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



Member, **The Combustion Institute**, Deutsche  
Sektion Göttingen

Mitglied, **VDI Richtlinien Ausschuss (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 Holzfor-  
schung e.V.**

Mitglied, **Fachverband Transparente Wärme-  
dämmung**

---

**S. Weismann**

---

Vertreter des ZAE Bayerns, **IBPSA-Germany,  
Regional affiliate of the International Building  
Performance Simulation Association**

## 3.6 | **VORLESUNGEN** LECTURES

C.J. Brabec, **Devices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Grundlagen 2: Materialien der Elektronik und Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Grundlagen Werkstoffe und Energietechnik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

C.J. Brabec, **Kern-/Nebenfachseminar I-MEET**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

C.J. Brabec, **Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Energietechnik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Photo Physics**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13

C.J. Brabec, **Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Seminar über spezielle Probleme der MEET**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2013

C.J. Brabec, **Seminar über Studien-, Bachelor- und Diplom (Master) -arbeiten**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2012/13, SS 2013

V. Dyakonov, **Hauptseminar - Grundlagen der Experimentellen Physik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2013/14

V. Dyakonov, J. Pflaum, **Mechanisch-thermische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13, WS 2013/14

V. Dyakonov, H.P. Ebert, J. Manara, H. Mehling, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2013

V. Dyakonov, **Opto-elektronische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2013

V. Dyakonov, V. Drach, **Physikalisches Praktikum zur Physikalischen Technologie der Materialsynthese**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13

V. Dyakonov, J. Fricke, J. Pflaum, **Seminar über Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14

V. Dyakonov, **Seminar: Spektroskopie organischer Halbleiter**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14

J. Fricke, A. Förtig, A. Zusan, **Einführung in die Energietechnik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13, WS 2013/14

J. Fricke, **Seminar: Spezielle Fragen der Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13, SS 2013, WS 2013/14

J. Manara, **Physikalische Grundlagen im Bereich der Medizintechnik**, Krankenpflegeschule an der Klinik Kitzinger Land, WS 2013

J. Pflaum, A. Schöll, W. Winter, **Hauptseminar - Grundlagen der Experimentellen und Theoretischen Physik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2012/13

J. Pflaum, **Organische Halbleiter**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2013

J. Pflaum, V. Drach, **Physikalisches Praktikum zur Physikalischen Technologie der Materialsynthese**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2013/14

J. Pflaum, **Quanteninformation**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2013/14

J. Pflaum, **Seminar über Opto-elektronische Eigenschaften molekularer Halbleiter**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2013/14

H. Spliethoff, **Energiesysteme I**, TU München, WS 2013/14

H. Spliethoff, **Energiesysteme II**, TU München, SS 2013

L. Staudacher, **Energie- und Wärmetechnik**, Hochschule München, WS 2012/13

## 3.7 | SONSTIGES MISCELLANEOUS

- C. Buerhop, Beitrag, **Review on failures of PV-modules**, IEA task 13 „lock-in Thermographie with PV“
- V. Dyakonov, online, **Die beste Energie ist die, die wir nicht brauchen**, Dialog Mainfranken Newsletter, Juli 2013
- V. Dyakonov, Zeitschrift, **Die beste Energie ist die, die wir nicht brauchen**, Wirtschaft in Mainfranken, 08/2013
- V. Dyakonov, Podiumsdiskussion, **Energiewende in Mainfranken - Erfolgsfaktoren einer nachhaltigen Energieversorgung**, Offizielle Eröffnung der Messe „Stadt-Land-Umwelt“, Würzburg, 25.06.2013
- V. Dyakonov, Zeitschrift, **Forsch! Wissenschaftler suchen notwendige Antworten auf Energiefragen**, audimax Ing., 2013
- V. Dyakonov, Zeitschrift, **Mit dem Haus der Forschung zum Erfolg**, Jahresbericht 2012 - Bayerische Forschungsallianz, 30.06.2013
- V. Dyakonov, Zeitschrift, **Wissenschaft zum Anfassen**, Wirtschaft in Mainfranken, 08/2013
- H.P. Ebert, G. Reichenauer, Organisation, **High Performance Thermal Insulation (HPI) 2013 - Towards Near Zero Energy Buildings**, Würzburg, 27.–28.11.2013
- H.P. Ebert, H. Widera, Organisation, **Jahrestagung AK-Thermophysik**, Dresden, 18.–19.03.2013
- H.P. Ebert, Presseartikel, **Unterm Zeltdach Energie sparen**, Volksblatt, 21.06.2013
- Energieeffizienz, online, **Ein Leuchtturm mit Ausstrahlung**, Fakultät für Physik und Astronomie, 21.06.2013
- Energieeffizienz, Presseartikel, **Ein Neubau als Forschungsobjekt**, Main Post, 22.06.2013
- Energieeffizienz, Presseartikel, **Energie sparen unterm Zeltdach**, Main Post, 22.06.2013
- Energieeffizienz, Zeitschrift, **Energieeffizienz-Zentrum: Neue Technologien für Innen und Außen**, VDI Ingenieur Forum, 03/2013
- Energieeffizienz, online, **Energieforschung für die Praxis**, BINE (online), 24.06.2013
- Energieeffizienz, Presseartikel, **Energiewende für das Wahlvolk**, Main Post, 05.09.2013
- Energieeffizienz, Zeitschrift, **Gebäudeautomation für Niedrigenergiehäuser**, Computer-automation.de, 21.03.2013
- Energieeffizienz, Zeitschrift, **Leuchtturmprojekt**, industrieBAU, 04/2013
- Energieeffizienz, Zeitschrift, **Mit der richtigen Kombination zu hoher Energieeffizienz**, GFF – Das Praxismagazin für Produktion und Montage, 09/2013
- Energieeffizienz, online, **Neues Energieforschungszentrum in Würzburg**, Bayerischer Rundfunk online, 21.06.2013
- Energieeffizienz, online, **Spitzen-Nachwuchs - IHK zeichnet 101 Prüfungsbeste aus**, Main Post online, 29.10.2013
- Energieeffizienz, Presseartikel, **Stadtbau-Wohnungen an der Landebahn**, Main Post, 06.08.2013
- Energieeffizienz, online, **Tag der offenen Tür am neuen ZAE Bayern**, Main Post online, 25.09.2013
- Energieeffizienz, Zeitschrift, **ZAE Energy Efficiency Center, Würzburg**, Riedel Bau Magazin, Ausgabe 2013
- Energiespeicherung, online, **Erdwärme hält Weichen schneefrei**, www.bundesregierung.de, 15.08.2013
- Erneuerbare Energien, Regierungserklärung des Bayerischen Ministerpräsidenten Horst Seehofer, **Bayern ist Schrittmacher bei der Energieforschung und Energietechnologie**, Nennung des ZAE Bayern im Bayerischen Landtag, 12.11.2013
- Erneuerbare Energien, Presseartikel, **Beispielgebende Forschungsstätte**, Bayerische Staatszeitung, 08.03.2013
- Erneuerbare Energien, Presseartikel, **Energie Campus soll Energiewende voranbringen**, Nürnberger Zeitung, 05.03.2013
- Erneuerbare Energien, Presseartikel, **Groß angelegtes Forschungszentrum verfolgt die Vision einer neuen Energiewirtschaft**, oekonews, 06.03.2013
- Erneuerbare Energien, Presseartikel, **Ideenschmiede für ein intelligentes Energie-Netz**, Frankenpost, 10.04.2013
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **INTERSOLAR 2013: „PV-Module“**, Messe München, 19.–21.06.2013
- Erneuerbare Energien, Teilnahme, **Lange Nacht der Wissenschaften**, Nürnberg-Fürth-Erlangen, 19.10.2013
- Erneuerbare Energien, Fernsehbeitrag, **PV-Prüflabor, Laserstrukturierung und Up-and-down-conversion**, Sat1 Bayern am 01.06.2013
- Erneuerbare Energien, Fernsehbeitrag, **Schlüsselübergabe am 04.03.2013 an den Energie Campus Nürnberg (EnCN)**, Frankenfernsehen am 05.03.2013
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **Smart Grid Solar**, Cluster-Treff „Intelligente Netze“, Bayreuth, 24.10.2013
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **Smart Grid Solar - Modellversuch Hof/Arzberg**, INTERSOLAR 2013, Projektvorstellung, Messe München, 19.–21.06.2013

Erneuerbare Energien, Pressebeitrag zu Smart Grid Solar, **Stadt wird Vorreiter der Energiewende**, Frankenpost, Arzberg, 27.08.2013

Erneuerbare Energien, online, **Winfried Kretschmann besucht den Energie Campus**, FAU aktuell, 05.07.2013

F. Fecher, C. Buerhop-Lutz, Vortrag mit Laborführung, **Thermographie (-Forschung) am ZAE Bayern**, Prof. M. Hundhausen mit Studenten (FAU Erlangen-Nürnberg), 16.07.2013

H. Fink, Interview, „**Unter Strom**“, Süddeutsche Zeitung - LUX Magazin Ausgabe 03/2013

A. Hauer, Presseartikel, **Die Gewinner der Wende**, Süddeutsche Zeitung, 06.02.2013

A. Hauer, Zeitschrift, **Erneuerbare zeitversetzt nutzen**, Produktion, 12.09.2013

J.M. Kuckelkorn, Interview, **Die Fünfer-Staffel des GtV-Bundesverbandes Geothermie, Geothermische Energie**, GtV-Bundesverband Geothermie e.V., Berlin, Heft 76, 2013

J.M. Kuckelkorn, Workshop für Schulleiter und Planer von Schulgebäuden, **Optimierung von Schulgebäuden am Beispiel des Passivhausneubaus der FOS/BOS Erding**, 13.06.2013

M. Reuß, Presseartikel, **Energiespeichertechnologien: Möglichkeiten und Grenzen**, Bayerische Gemeindezeitung, 18.07.2013

M. Reuß, Presseartikel, **GZ lädt zum 6. Energieforum**, Bayerische Gemeindezeitung, 06.06.2013

M. Riepl, Presseartikel, **Energetische Sanierung mit Holzbausystemen**, VDI Nachrichten, 11.01.2013

C. Scherdel, Filmprojekt, **Optisch schaltbare Aerogel-Verglasungsmodule**, Youtube-Kanal der Forschungsinitiative EnOB

A. Solodovnyk, Exzellenzinitiative, **Erlangen Graduate School for Advanced Optical Technologies (SAOT)**, Mitglied, 10/2013

M. Voigt, Chair, **Standardization session and debriefing**, ISOS 6: International Summit on OPV stability (INES), Chambéry, France, 10.–12.12.2013

S. Wieder, Radiointerview, **Solarfabrik der Zukunft**, 04.06.2013, <http://mfi.re/play/nwrf-b3pfn7obqjj/SolarfabrikBaustelle.mp3>

N. Wolf, Verleihung, **Stipendium nach dem Bayerischen Eliteförderungsgesetz**, Universität Bayern

# ADRESSEN

## ADDRESSES

Sitz des Vereins (VR 1386) | Registered Office

ZAE Bayern  
Am Galgenberg 87, 97074 Würzburg, Germany

+49 931 70564-0

+49 931 70564-600

info@zae-bayern.de

### Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

Walther-Meißner-Str. 6  
85748 Garching  
Germany

+49 89 329442-0

+49 89 329442-12

es@zae-bayern.de





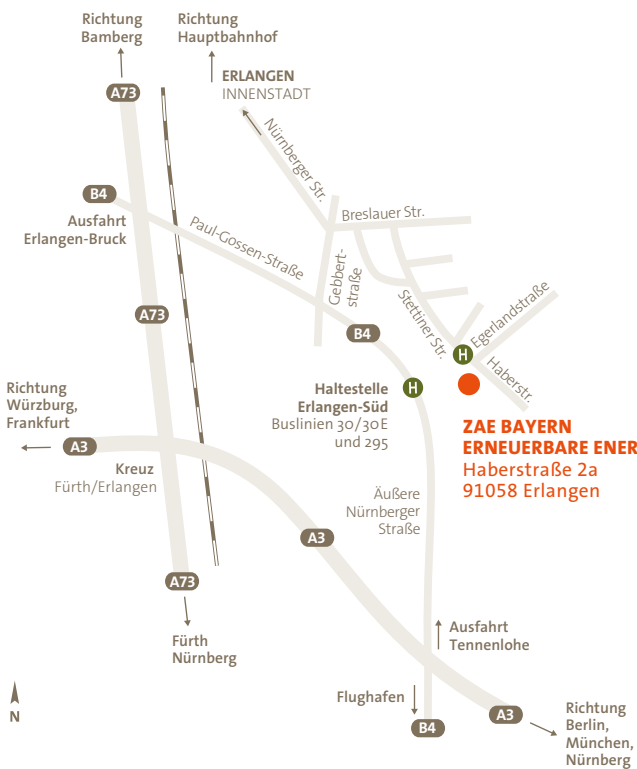
Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

Am Galgenberg 87  
97074 Würzburg  
Germany

+49 931 70564-0  
+49 931 70564-600

ef@zae-bayern.de



Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

Haberstraße 2a  
91058 Erlangen  
Germany

+49 9131 9398-100  
+49 9131 9398-199

re@zae-bayern.de

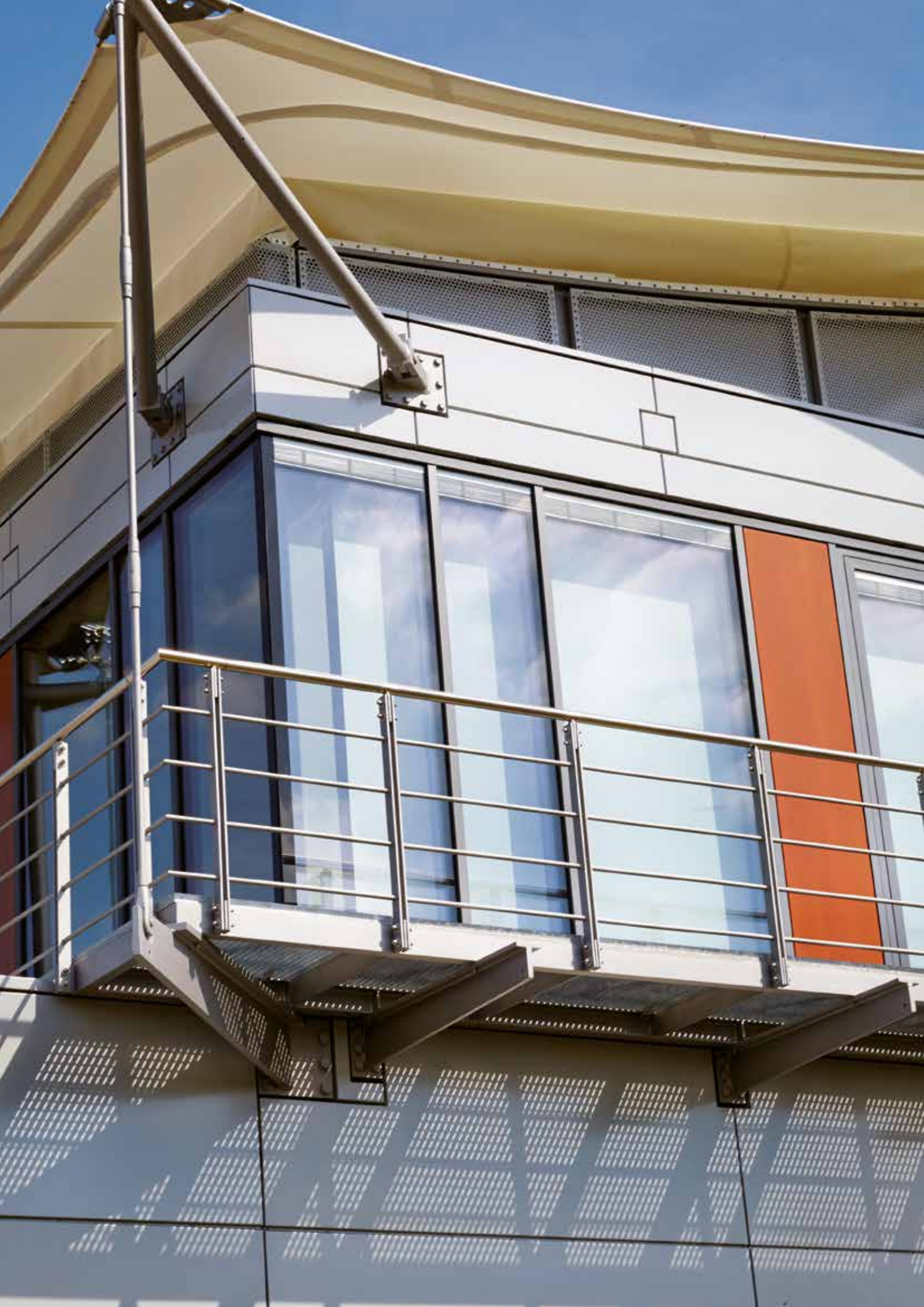


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung









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

**MIT SONNE UND VERSTAND.**



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung