

**2016**

**TÄTIGKEITSBERICHT**  
**ANNUAL REPORT**

# 2016

# 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.-Ing. Hartmut Spliethoff (Vorsitzender | Chairman of the Board)

Prof. Dr. Christoph J. Brabec

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov

Stand: 31. Dezember 2016

Status: 31<sup>st</sup> December 2016



# IMPRESSUM

## IMPRINT

### Herausgeber

ZAE Bayern – Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung e.V

### Textbeiträge und Fotos

von den Mitarbeitern des ZAE Bayern;  
ergänzende Fotos: Romy Bonitz, München  
Petra Höglmeier, München  
ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

### Redaktion und Bearbeitung

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang, Manuela Stepputtis

### ZAE Bayern

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg

T +49 89 329442-980

F +49 89 329442-12

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

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

### Konzept und Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

### Druck

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

ZAE Bayern – Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung e.V  
Würzburg, April 2017

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem  
Papier.

### Editor

ZAE Bayern – Bavarian Center for Applied Energy  
Research

### Articles and Photos

by ZAE Bayern staff members;  
additional photos: Romy Bonitz, Munich  
Petra Höglmeier, Munich  
ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, Munich

### Coordination and Editing

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang, Manuela Stepputtis

### ZAE Bayern

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg

T +49 89 329442-980

F +49 89 329442-12

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

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

### Concept and Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, Munich

### Print

bonitasprint GmbH, Würzburg

### Copyright

ZAE Bayern – Bavarian Center for Applied Energy  
Research  
Würzburg, April 2017

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.



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



# INHALT

## CONTENT

Grußwort . . . . .	6	Greeting Remarks . . . . .	6
Vorwort . . . . .	8	Foreword . . . . .	8
<hr/>		<hr/>	
<b>1.0 ALLGEMEINES . . . . .</b>	<b>13</b>	<b>1.0 GENERAL INFORMATION . . . . .</b>	<b>13</b>
<hr/>		<hr/>	
1.1 Überblick . . . . .	14	1.1 At a glance . . . . .	14
1.2 Struktur des ZAE Bayern . . . . .	17	1.2 Structure of ZAE Bayern . . . . .	17
1.3 Die Organe des ZAE Bayern . . . . .	18	1.3 The Governing Bodies of ZAE Bayern . . . . .	18
1.4 Das ZAE Bayern in Zahlen . . . . .	20	1.4 ZAE Bayern in Facts & Figures . . . . .	20
1.5 Rückblick . . . . .	22	1.5 Review . . . . .	22
1.6 Bei uns zu Gast 2016 . . . . .	32	1.6 Official visitors in 2016 . . . . .	32
<hr/>		<hr/>	
<b>2.0 FORSCHUNG AM ZAE BAYERN . . . . .</b>	<b>43</b>	<b>2.0 RESEARCH AT ZAE BAYERN . . . . .</b>	<b>43</b>
<hr/>		<hr/>	
2.1 Maßnahmen Zur CO <sub>2</sub> -Minderung im deutschen Energiesystem . . . . .	46	2.1 Decarbonisation measures for the German Energy System . . . . .	46
2.2 Effizienzsteigerung von Hochtemperaturprozessen in Kraftwerken . . . . .	48	2.2 Increasing the Efficiency of High-Temperature Processes in Power Plants . . . . .	48
2.3 Solares Heiz- und Kühlsystem für Nord- und Mitteleuropa . . . . .	50	2.3 Solar Heating and Cooling System for Northern and Central Europe . . . . .	50
2.4 Multifunktionale Testräume am Energy-Efficiency-Center . . . . .	52	2.4 Multifunctional Testing Rooms at the Energy Efficiency Center . . . . .	52
2.5 Untersuchung der thermischen Speicherfähigkeit anwendungsnaher Komponenten . . . . .	54	2.5 Analysis of the Thermal Storage Capacity of Application-Oriented Components . . . . .	54
2.6 Haushaltsspeicher und ihr Zukunftspotential . . . . .	56	2.6 Residential Energy Storages and their Future Potential . . . . .	56
2.7 Latentwärmespeicher zur Gebäudekühlung . . . . .	58	2.7 Latent Heat Storage for Space Cooling . . . . .	58
2.8 Vanadium-Redox-Flow-Batterien . . . . .	60	2.8 Vanadium Redox Flow Batteries . . . . .	60
2.9 Neuartige Solarthermische Flachkollektoren mit Glas-Folien-Verbund . . . . .	62	2.9 novel Solar Thermal Flat Plate Collector with Glass-Film Composite . . . . .	62
2.10 Perowskit-Photovoltaik: Innovationen aus der Grundlagenforschung . . . . .	64	2.10 Perovskite Photovoltaics: Innovation from Basic Research . . . . .	64
2.11 Tintenstrahldruck Organischer PV-Module in der Solarfabrik der Zukunft . . . . .	66	2.11 Inkjet Printing of Organic PV Modules in the Solar Factory of the Future . . . . .	66
2.12 Optisches Prüfverfahren für den Polymer- Vernetzungsgrad in PV-Modulen . . . . .	68	2.12 optical Method to evaluate the polymer- crosslinking in PV-Modules . . . . .	68

2.13 Automatisierte qualitätskontrolle von Solarmodulen . . . . .	70	2.13 Automated quality control for Solar Modules . . . . .	70
2.14 Nanoporöse, adsorptionsgesteuerte Aktuatoren und Sensoren . . . . .	72	2.14 Nanoporous, Adsorption-Driven Actuators and Sensors . . . . .	72
<b>3.0 VERÖFFENTLICHUNGEN . . . . .</b>	<b>75</b>	<b>3.0 PUBLICATIONS . . . . .</b>	<b>75</b>
3.1 Vorträge und Poster . . . . .	76	3.1 Presentations and Posters . . . . .	76
3.2 Veröffentlichungen . . . . .	86	3.2 Publications . . . . .	86
3.3 Studienabschlussarbeiten und Dissertationen	94	3.3 Degree and Doctoral Theses . . . . .	94
3.4 Patente . . . . .	97	3.4 Patents . . . . .	97
3.5 Mitarbeit in Gremien . . . . .	98	3.5 Membership in Committees . . . . .	98
3.6 Vorlesungen . . . . .	102	3.6 Lectures . . . . .	102
3.7 Auszeichnungen . . . . .	103	3.7 Awards . . . . .	103
3.8 Sonstiges . . . . .	104	3.8 Miscellaneous . . . . .	104
Adressen . . . . .	106	Addresses . . . . .	106

## GRUSSWORT GREETING REMARKS

*Ilse Aigner, MdL  
Stellvertretende Ministerpräsidentin des Freistaates Bayern und  
Bayerische Staatsministerin für Wirtschaft und Medien, Energie  
und Technologie  
Ilse Aigner, MdL  
Deputy Prime Minister of Bavaria and  
Bavarian State Minister of Economic Affairs and Media, Energy  
and Technology*



### EIN PIONIER DER ANGEWANDTEN ENERGIE- FORSCHUNG FEIERT 25-JÄHRIGES JUBILÄUM

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) feiert heuer seinen 25. Geburtstag – und kann stolz sein auf ein Vierteljahrhundert bayerische Erfolgsgeschichte. Seit seiner Gründung im Jahr 1991 hat sich der Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Bayern verdreifacht. Möglich wurde dieser beispiellose Wandel gerade auch durch exzellente Forschung und Umsetzung von Wegbereitern wie dem ZAE Bayern.

Das ZAE Bayern ist ein Leuchtturm der bayerischen Energieforschungs- und Technologielandschaft. Es bringt anwendungsorientierte Grundlagenforschung in die Praxis, ist Innovationsbeschleuniger und weist mit seinem breiten Kompetenz- und Leistungsspektrum den Weg in das Energiesystem von morgen.

Bürger, Kommunen, Unternehmen und nicht zuletzt wir in der Politik sind auf anwendungsnahe Energieforschung angewiesen. Unser gemeinsames Ziel ist eine dauerhaft klima- und umweltfreundliche, sichere und bezahlbare Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien. Hierfür leisten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des ZAE Bayern einen wesentlichen Beitrag: sie forschen am Puls der Zeit, erreichen exzellente Ergebnisse im internationalen akademischen Spitzenfeld und führen gleichzeitig jährlich rund 250 Projekte mit mehr als 250 Partnern durch, vom kleinen und mittleren Unternehmen bis hin zum großen international tätigen Konzern.

### A PIONEER OF APPLIED ENERGY RESEARCH CELEBRATES ITS 25<sup>TH</sup> ANNIVERSARY

The Bavarian Center for Applied Energy Research celebrates its 25<sup>th</sup> birthday this year – and has reason to be proud of a Bavarian success story lasting through one quarter of a century. Since its foundation in 1991, the share renewable energies have in Bavaria's overall energy production has tripled. The excellent research and implementation thereof by innovators like ZAE Bayern has been a crucial factor in making this unprecedented change possible.

ZAE Bayern is a beacon of energy research and technology in Bavaria. It puts application oriented basic research into practice, accelerates innovation, and lights the way into the energy system of tomorrow with its wide range of competences and services. Citizens, municipalities, companies, and not least us politicians depend on application-oriented energy research. Our common goal is a permanently climate and environment friendly, safe, and affordable energy supply based on renewables. The scientists at ZAE Bayern are contributing to this substantially: their research is always up to date, they are in the top tier of international academia with their findings and, simultaneously, work on about 250 projects per year in cooperation with over 250 partners, ranging from small and medium enterprises to large, international corporations.

So werden beispielsweise in der „Solarfabrik der Zukunft“ neuartige, umweltschonende Verfahren zur Herstellung von Solarzellen entwickelt, hauchdünn wie Papier und dadurch flexibel einsetzbar. Oder das hochinnovative „Energy Efficiency Center“, das als bundesweit einzigartiges Forschungs- und Demonstrationsgebäude Maßstäbe für zukunftsorientiertes Bauen setzt. Mit einer Vielzahl an Projekten wird zudem an einer der wichtigsten Herausforderung zur Integration Erneuerbarer Energien geforscht, der Entwicklung effizienter und kostengünstiger Energiespeicher.

Exzellente Forschung und praktische Lösungen – das ist der Schlüssel zum Erfolg, den nicht zuletzt auch die zahlreichen Preise und Auszeichnungen für das ZAE Bayern bestätigen. Ich gratuliere und danke dem ZAE Bayern für ein Vierteljahrhundert als Wegweiser in der Energieforschung und wünsche auch für die Zukunft großen Erfolg!

Ilse Aigner, MdL



In the “Solar Factory of the Future”, for example, new, eco-friendly processes for the manufacturing of paper thin and therefore versatile solar cells are being developed. Also, there is the highly innovative Energy Efficiency Center setting standards for future oriented construction as Germany’s one-of-a-kind building for research and demonstration. A number of projects moreover deals with one of the biggest challenges in the integration of renewable energies, the development of efficient and cost-effective energy storages.

Excellent research and functional solutions – these are the keys to ZAE Bayern’s success, confirmed not least by the numerous awards it has won. I congratulate and give thanks to ZAE Bayern for spending a quarter of a century as a beacon in energy research and wish it great success for the future as well!

## VORWORT

## FOREWORD

*Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff, Vorstandsvorsitzender*  
*Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff, Chairman of the Board*



Die Herausforderung, die deutschen Klimaziele zu erreichen, wächst mit jedem Tag. Um dem ambitionierten Ziel der Bundesregierung noch nahe zu kommen, bis zum Jahr 2020 die klimaschädlichen Emissionen gegenüber 1990 um 40 Prozent zu senken, bedarf es in den nächsten Jahren gemeinsamer Anstrengungen von Politik, Wirtschaft und angewandter Forschung. Das Gesamtsystem ruht immer stärker auf erneuerbaren Energien. Da es dafür aber noch keine Musterlösungen gibt, ist der Bedarf an Forschung zu neuen Konzepten für ihre Erzeugung, Speicherung und zielgerechte Verteilung größer denn je. Am ZAE Bayern sind wir uns dieser Herausforderung und Verantwortung bewusst. Im Jahr 2017 werden wir ein entsprechend breites Portfolio bieten, das darauf setzt, die Synergien zwischen Erzeugung, Speicherung und Effizienzmaßnahmen verstärkt auszunutzen.

Unser Energiesystem wird in Zukunft immer weniger zentral strukturiert sein. Das macht hocheffiziente, innovative Lösungsansätze zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich und in der Industrie unverzichtbar. Besser gedämmte Häuser und thermische Speicher zur Nutzung industrieller Abwärme werden einen Beitrag dazu leisten. Um aber die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen, muss der Anteil erneuerbarer Energien, z. B. durch druckbare PV zu günstigen Preisen, in allen Sektoren weiter gesteigert werden. In den Fokus unserer Anstrengungen werden wir die Kopplung der Sektoren Strom und Wärme rücken. Wird die Energiewende momentan noch vornehmlich auf den Stromsektor bezogen, glauben wir, dass auch der Wärmebereich, in dem das ZAE Bayern langjährige Erfahrung aufweisen kann,

The challenge of reaching Germany's climate goals is increasing. In order to at least come close to the federal government's ambitious goal of reducing emissions by 40 per cent until 2020, compared to 1990's numbers, politics, economy, and applied research will have to make huge efforts over the next years. The system relies on renewable energies more and more, but since there are no existing solutions for this situation yet, the demand for research of new concepts for production, storage, and targeted distribution is bigger than ever. At ZAE, we have accepted this challenge and responsibility. In 2017, we will offer an accordingly broad portfolio, capitalising on the reinforced utilisation of synergies between production, storage, and efficiency measures.

Our focus will be put on linking the electricity and heat sectors. While at the moment research efforts mostly concentrate on the electricity sector, we believe that the heat sector, in which ZAE Bayern has extensive experience, harbours great potential. This sector still uses a particularly small share of renewably produced energy and offers opportunities for a relevant reduction in consumption through efficiency measures.

Germany takes a leading position in many areas linked to renewable energies and efficiency measures which needs to be maintained and strengthened. Intense concerted national efforts are a necessity for keeping up in the international innovation race with the help of targeted, quickly implementable measures and for developing new ideas for the future.



großes Potential birgt. Gerade in diesem ist nämlich der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtkonsum noch gering und eine relevante Reduktion der Verbräuche durch Effizienzmaßnahmen möglich.

Deutschland besetzt in vielen mit erneuerbaren Energien und der Steigerung von Energieeffizienz verknüpften Bereichen eine weltweite Spitzenposition, die es zu erhalten und weiter auszubauen gilt. Konzertierte nationale Großanstrengungen sind notwendig, um durch zielgerichtete, schnell umsetzbare Maßnahmen im internationalen Innovationswettbewerb zu bestehen und neue Ideen für die Zukunft zu entwickeln. Im internationalen Stromkostenvergleich wird offensichtlich, dass erneuerbare Energien das Potential für eine zuverlässige und kostengünstige Energieversorgung in sich tragen. So kostet die Erzeugung von Solarstrom in Deutschland bereits weniger als 8 c/kWh, in manch anderen Ländern nur um die 5 c/kWh. Dank dieser stetigen Kostenreduktion nimmt die Akzeptanz für erneuerbare Energien in der Bevölkerung weiter zu. Das nächste Ziel muss es nun sein, die Gesamtkosten einer bedarfsgerechten erneuerbaren Stromerzeugung, also der Erzeugung einschließlich Speicherung und Verteilung, zu reduzieren. Wir blicken mit Spannung auf die nächsten Jahre. Die heutige Technologie eröffnet uns enorme Möglichkeiten zur nachhaltigen Gestaltung des zukünftigen Energiesystems und wir alle arbeiten mit Freude und Faszination daran.

2017 feiert das ZAE Bayern sein fünfundzwanzig-jähriges Jubiläum. Ich freue mich bereits darauf, Sie persönlich bei unserer Feier begrüßen zu dürfen. An dieser Stelle möchte ich unseren Mitarbeitern, Gruppen- und Bereichsleitern zu ihren großartigen Leistungen im Jahr 2016 gratulieren und mich sowohl bei ihnen für ihr Engagement als auch beim bayerischen Wirtschaftsministerium unter der Führung von Frau Staatsministerin Ilse Aigner für die Unterstützung bedanken. Es war eine Freude, das ZAE durch dieses erfolgreiche Jahr zu führen. Ihre Leistungen haben es dem ZAE Bayern ermöglicht, eine internationale Spitzenposition in der Energieforschung einzunehmen.

Ihnen allen, den Kooperationspartnern und Unterstützern des ZAE, wünsche ich viel Spaß beim Lesen unseres Tätigkeitsberichts.

A comparison of international energy cost clearly shows that renewable energies carry the potential for a reliable and affordable energy supply. The production of solar energy, for example, already costs less than 8 c/kWh in Germany and only about 5 c/kWh in some other countries. Due to this constant reduction of cost, public acceptance of renewable energies is still on the rise. The upcoming goal will now have to be a cost reduction for demand-oriented, renewable energy production, i.e. the production including storage and distribution.

We are excitedly looking forward to the coming years. Today's technology opens up enormous possibilities for designing a sustainable future energy system and we are all working on it with joy and fascination. In 2017, ZAE Bayern will celebrate its 25<sup>th</sup> anniversary. I am already looking forward to personally seeing you at the event.

At this point, I would like to congratulate our employees and the heads of our groups and divisions on their fantastic performance in 2016 and thank them for their commitment. Also, I would like to thank the Bavarian Ministry of Economy, led by Bavarian State Minister Ilse Aigner, for its support. It has been a pleasure to lead ZAE through this successful year. Your performance has allowed ZAE Bayern to assume an international leading position in energy research.

To you all, the cooperation partners and supporters of ZAE, I wish a pleasant read of our annual report.

Ihr/Yours  
Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff



# 25 JAHRE ZAE

## HIGHLIGHTS

# 1991

Gründung des ZAE Bayern mit Unterstützung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr

Installation einer solarthermischen Anlage auf dem Schneefernerhaus

# 1998

Pilotfertigung einer am ZAE entwickelten Infrarotkamera legt den Grundstein für die erste ZAE-Ausgründung

# 2000

Initialzündung zur Einführung der Vakuumisolationstechnik im Rahmen der High-Tech-Offensive der Bayerischen Staatsregierung

# 1994

EON Energiepreis für Innovative Systeme und optimierte Techniken zur energetischen Gebäudesanierung (ISOTEG Projekt)

# 1996

Inbetriebnahme des ersten Zeolithwärmespeichers im Münchner Fernwärmenetz in der Grafikerschule Haidhausen

# 2002

# 2006

EON Energiepreis für die Entwicklung energieeffizienter regenerativer Kühltechnik

Startschuss für den Aufbau der Solarfabrik der Zukunft (Eröffnung des Energie Campus Nürnberg)

# 2013

# 2010

Innovationspreis für Klima und Umwelt in der Kategorie „Produktinnovation für den Klimaschutz“ für den ersten Geschirrspüler mit sorptiver Trocknung durch Zeolith

Bayerischer Energiepreis für die Errichtung des Energy Efficiency Centers in Würzburg

# 2014

DAkKS-Zertifizierung für das erste akkreditierte Photovoltaik-Prüflabor in Bayern am ZAE in Erlangen

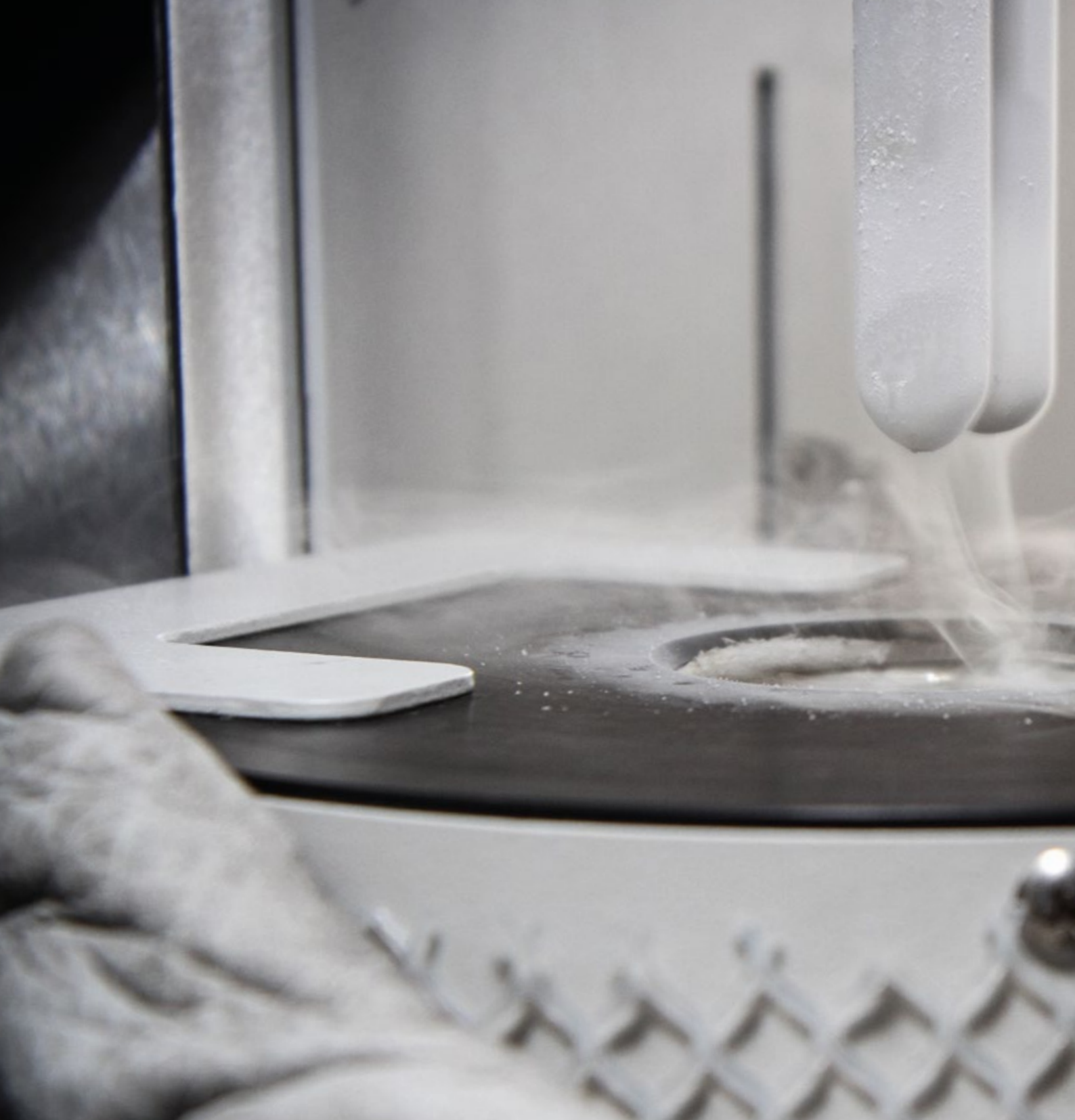
# 2015

Inbetriebnahme des Prototyps eines Mobilen Sorptionsspeichers für den Transport von Wärme einer Müllverbrennungsanlage zu einem Industriebetrieb

Inbetriebnahme der weltweit ersten netzgebundene LOHC/Wasserstoff-basierten Stromspeicheranlage in Arzberg

# 2013

# 2016





1.0  
ALLGEMEINES  
GENERAL INFORMATION

## 1.1 ÜBERBLICK AT A GLANCE



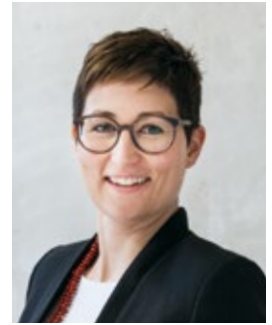
**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Energiespeicherung  
Scientific Director  
Energy Storage



**Prof. Dr. V. Dyakonov**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Energieeffizienz  
Scientific Director  
Energy Efficiency



**Prof. Dr. C. J. Brabec**  
Wissenschaftlicher Leiter  
Erneuerbare Energien  
Scientific Director  
Renewable Energy



**Dipl.-Geogr. / M.Sc.  
M. Stepputtis**  
Bereichsleiterin Marketing,  
Kommunikation, IT  
Head of Division Marketing,  
Public Relations, IT  
Leiterin Vorstandsbüro  
Head of Office of the Board

### UNSER PROFIL

Das ZAE Bayern ist ein außeruniversitäres Forschungsinstitut für angewandte Energieforschung mit ca. 240 Mitarbeitern, das vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie institutionell gefördert wird. Wir bieten unseren Kunden komplette Innovationspakete im Bereich effizienter und nachhaltiger Energiesysteme an und sind mit unseren drei Hauptstandorten in Erlangen, Garching bei München und Würzburg sowie weiteren zwei Außenstellen in Hof und Nürnberg landesweit präsent. Seit nunmehr 25 Jahren besteht das ZAE Bayern als eingetragener Verein. Im Dezember 1991 haben sich die Gründungsmitglieder zum Ziel gesetzt, die Energieforschung zu fördern sowie Aus-, Fort- und Weiterbildung, Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten zu betreiben, die für die Energietechnik sowie die sich mit ihr befassenden Wissenschaften bedeutsam sind. Bis heute hat sich das ZAE Bayern zu einem national und international anerkannten Forschungsinstitut entwickelt. Hierzu leisten unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die als Wissenschaftler, technisches Personal sowie Verwaltungsangestellte und Studenten tätig sind, einen entscheidenden Beitrag.

### UNSERE KOMPETENZEN

In seinen zentralen Kompetenzbereichen Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und Energieeffizienz verbindet das ZAE Bayern in einem interdisziplinären Forschungsansatz Materialforschung, Komponentenentwicklung und Systemoptimierung zu einer

### OUR PROFILE

ZAE Bayern is a non-university institute for applied energy research with about 240 employees, institutionally funded by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology. In the field of efficient and sustainable energy systems, we offer complete innovation packages to our customers and with our three main locations Erlangen, Garching near Munich, and Würzburg, as well as branches in Nuremberg and Hof, we are present statewide. For 25 years now, ZAE Bayern has been a registered association. In December 1991, our founders set the goal to promote energy research and to engage in education, further training, consultation, information and documentation in all fields significant to energy technology and all associated scientific fields. To date, ZAE Bayern has developed into a research institute of national and international renown. A significant share of this renown is owed to our employees, whether they are scientists, technical or administrative personnel, or students.

### OUR COMPETENCES

In its central fields of competence, renewable energies, energy storage, and energy efficiency, ZAE Bayern uses an interdisciplinary approach to combine materials research, development of components, and system optimisation in one unbroken value chain. ZAE's researchers work at the intersection between fundamental and applied industrial research and focus, among other things, on nanomaterials, thermal and electrochemical energy storages, energy



**Dr. A. Hauer**  
Bereichsleiter  
Energiespeicherung  
Head of Division  
Energy Storage



**Dr. H.-P. Ebert**  
Bereichsleiter  
Energieeffizienz  
Head of Division  
Energy Efficiency



**Dr. J. Hauch**  
Bereichsleiter  
Eneuerbare Energien  
Head of Division  
Renewable Energies



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

lückenlosen Wertschöpfungskette. Die Forscher am ZAE arbeiten dabei an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung und befassen sich u.a. mit Nanomaterialien, thermischen und elektrochemischen Energiespeichern, energieeffizienten Prozessen, Photovoltaik, energieoptimierten Gebäuden und Stadtquartieren sowie Smart Grids und sektorenübergreifenden Energiesystemen (Strom und Wärme/Kälte).

#### UNSER ZIEL

Ziel des ZAE Bayern ist es, eine möglichst CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung durch den synergetischen Einsatz von Erneuerbaren Energien und Energieeffizienztechnologien zu realisieren. Unser Institut führt dazu eine große Zahl von Forschungsprojekten mit der Industrie, vom KMU bis zum Großkonzern, sowie mit universitären und außeruniversitären Forschungspartnern durch. Hierbei steht die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Zentrum. Als Bindeglied zwischen den Projektpartnern vernetzt das ZAE Bayern die thematischen Schwerpunkte innerhalb der Wertschöpfungskette, so dass wertvolle Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien entstehen. Dazu werden zahlreiche Projekte am Institut auch standortübergreifend bearbeitet und profitieren somit von der Verzahnung der Kompetenzen der einzelnen Arbeitsgruppen am ZAE Bayern. Aus Verbundprojekten, die gemeinsam mit Partnern aus der Industrie durchgeführt werden, gewinnt das

efficiency in processes, photovoltaics, energetically optimised buildings and quarters, smart grids, and cross-sector (electricity and heat/cold) energy systems.

#### OUR GOAL

The goal of ZAE Bayern is to realise an energy supply as CO<sub>2</sub> neutral as possible by means of the synergetic use of renewable energies and energy efficiency technology. Therefore, our institute is involved in a large number of research projects with industrial partners from SMEs to major corporations as well as with university and non-university research partners. In these, the focus is put on the practical application of scientific findings. As a link between the project partners, ZAE Bayern interconnects the main topics within the value chain to create valuable solutions for increasing energy efficiency and the implementation of renewable energies. To achieve this goal, several of the institute's projects are worked on at more than one location and therefore benefit from the interlinking of the competences of ZAE Bayern's different groups. In joint projects with industry partners, ZAE Bayern does not only gain synergy effects but can also successfully raise external funds. These are used for applied research projects in cooperation with the Bavarian industry. This helps us to further strengthen our activities in energy research, invest in technical equipment, and find new employees for our research work and, hence, sustainably position ZAE Bayern on a national and international level.

ZAE Bayern nicht nur durch die hieraus entstehenden Synergieeffekte, sondern auch durch die erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln. Diese werden für angewandte Forschungsprojekte gemeinsam mit der bayerischen Industrie eingesetzt. Damit können wir unsere Aktivitäten im Bereich der Energieforschung weiter stärken, in technische Geräte investieren sowie für unsere Forschungsarbeit neue Mitarbeiter gewinnen, und so das ZAE Bayern auf nationaler und auch auf internationaler Ebene nachhaltig positionieren.

#### **UNSERE KOOPERATIONEN**

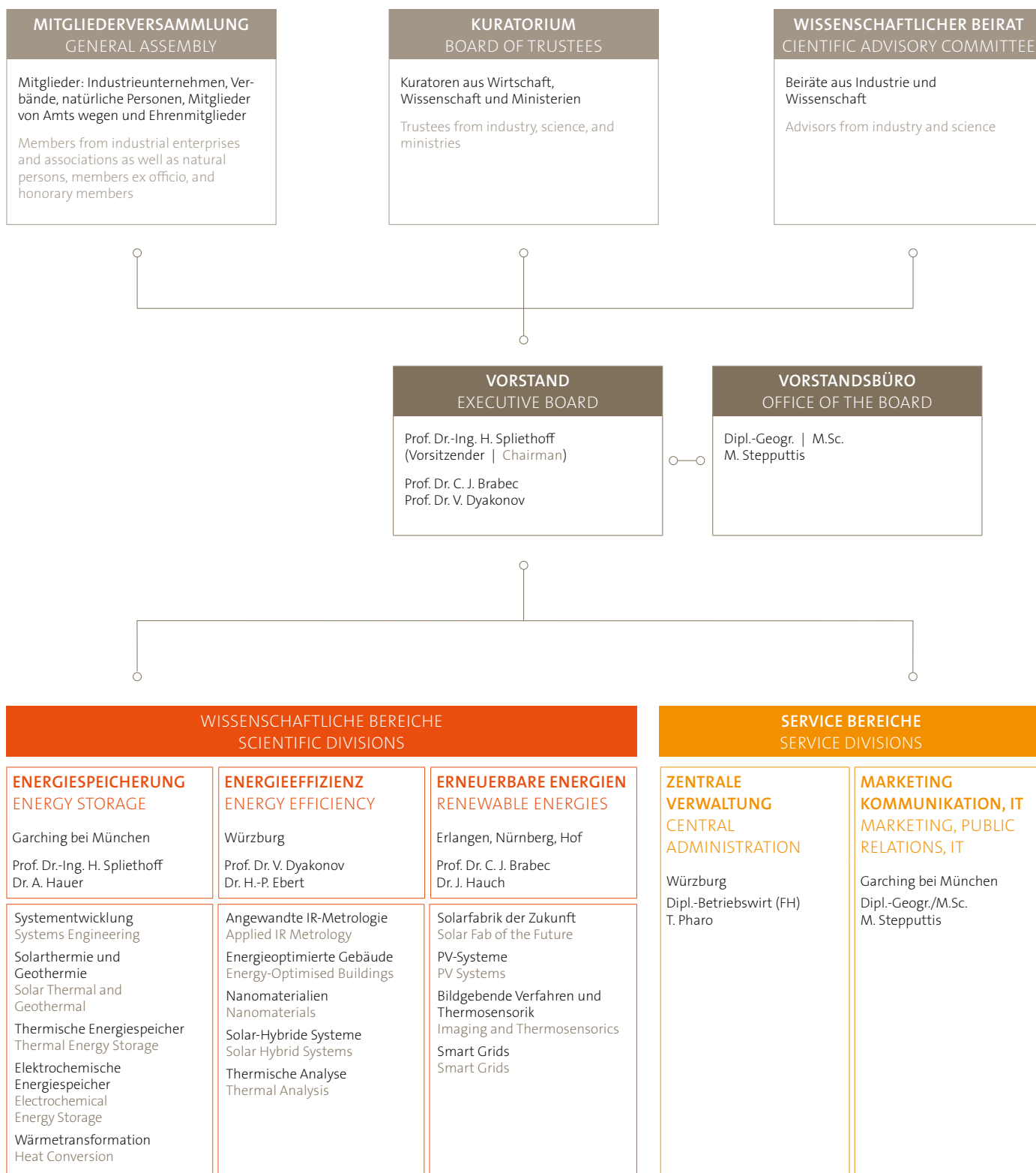
Entsprechend unserer Zielsetzung strebt das ZAE Bayern Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und der Industrie an. Wir arbeiten dazu in besonderer Weise mit der Technischen Universität München (TUM), der Julius-Maximilians-Universität Würzburg sowie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) zusammen. Das ZAE Bayern ist darüber hinaus Mitglied im „ForschungsVerbund Erneuerbare Energien“ (FVEE), einer strategischen Partnerschaft außeruniversitärer Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Erneuerbaren Energien in Deutschland, sowie der „Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V.“, die die öffentlichen Interessen gemeinnütziger, privatwirtschaftlich organisierter Industrieforschungseinrichtungen in Deutschland vertritt. Ferner ist das ZAE Gründungsmitglied des Energie Campus Nürnberg (EnCN), der eine auf dem Gebiet der Energieforschung aktive Forschungskoooperation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, der TH Nürnberg, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und des ZAE Bayern am Standort Nürnberg unterhält. Darüber hinaus ist das ZAE Bayern Partner in der interdisziplinären Forschungsinitiative TUM.Energy.

#### **OUR COOPERATIONS**

According to our goals, ZAE Bayern seeks cooperation with scientific institutions and the industry. For this purpose, we work particularly closely with the Technical University of Munich (TUM), the Julius-Maximilians-Universität Würzburg, as well as the Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nuremberg (FAU). Furthermore, ZAE Bayern is a member of the German Renewable Energy Research Association (FVEE), a strategic partnership of non-university research institutes from the field of renewable energies in Germany, as well as of the Zuse community, representing the public interests of private, non-profit industrial research facilities in Germany. Also, ZAE Bayern is a founding member of the Energy Campus Nuremberg (EnCN), maintaining an energy research cooperation between Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nuremberg, TH Nuremberg, the Fraunhofer Society for the Promotion of Applied Research, and ZAE Bayern, located in Nuremberg. Finally, ZAE Bayern is a partner in the interdisciplinary research initiative TUM.Energy.



# 1.2 STRUKTUR DES ZAE BAYERN STRUCTURE OF ZAE BAYERN



## 1.3

## DIE ORGANE DES ZAE BAYERN

## THE GOVERNING BODIES OF ZAE BAYERN

Stand | Status  
31.12.2016  
31/12/2016

## MITGLIEDER

## MEMBERS

- Unternehmen

- Enterprises

Allianz Risk Consulting GmbH – Allianz Zentrum für Technik, München  
 APROVIS Energy Systems GmbH, Weidenbach  
 Bayernwerk AG, Regensburg  
 ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München  
 Hightex GmbH, Rimsting  
 IBC Solar AG, Staffelstein  
 Karl Endrich KG, Würzburg  
 Knauf Gips KG, Iphofen  
 Lang Hugger Rampp GmbH, München  
 Münchner Gesellschaft für Stadterneuerung mbH (MGS), München  
 NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb  
 Porextherm Dämmstoffe GmbH, Kempten  
 Rauschert Solar GmbH, Judenbach-Heinersdorf  
 va-Q-tec AG, Würzburg  
 Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH, Würzburg

- Mitglieder von Amts wegen

- Members ex officio

Prof. Dr. C. 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. M. Portula, Berlin

- Verbände und Institutionen

- Federations and Institutions

CO<sub>2</sub> Initiative, Markt Schwaben  
 Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V., Berlin

ENERGIRegion Nürnberg e. V., Nürnberg  
 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  
 Stadt Würzburg, Würzburg

Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (VBEW), München

- Ehrenmitglieder

- Honorary Members

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

## VORSTAND

## BOARD OF DIRECTORS

Der Vorstand setzte sich Ende 2016 wie folgt zusammen:

At the end of 2016 the members of the board were:

Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff, (Vorsitzender | Chairman), Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität München

Prof. Dr. C. J. Brabec, Lehrstuhl Materialien der Elektronik und Energietechnologie – Department für Werkstoffwissenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. V. Dyakonov, Physikalisches Institut, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

---

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


---

**Dr.-Ing. R. Hofer (Vorsitzender | Chairman),** Bayernwerk AG, Regensburg  
**Dr. H. Binder,** Bundesverband Energiespeicher e. V., Berlin  
**Prof. Dr. R. Hellinger,** Siemens AG, Erlangen  
**Ministerialrat Dr.-Ing. J. Schadl,** Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, München  
**Ministerialrat Dr. F. Leiner,** Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, München  
**Prof. Dr.-Ing. U. Wagner,** Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., Technische Universität München, München

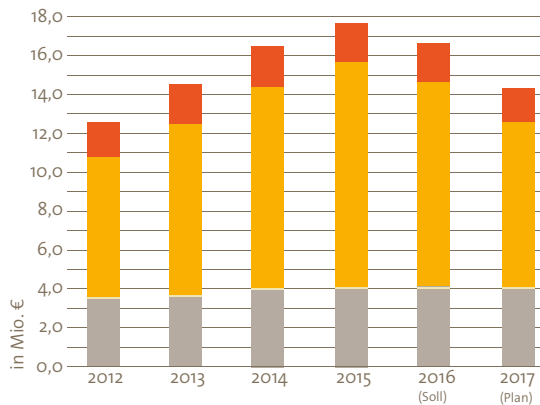
---

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


---

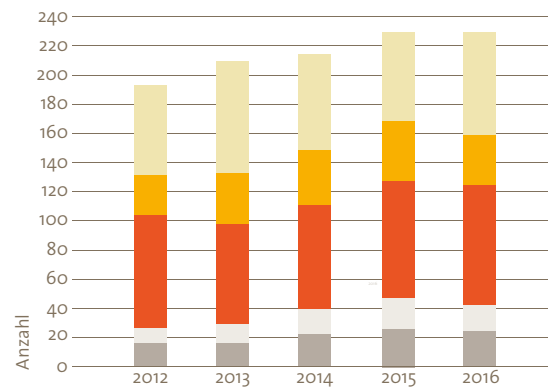
**Prof. Dr. M. Stamm, (Vorsitzender | Chairman),** Institut für Polymerforschung Dresden e. V., Dresden  
**Priv.-Doz. DI Dr. P. Burgholzer,** Research Center for Non-Destructive Testing GmbH, Linz  
**Prof. Dr. rer. nat. P. Denk,** Institut für Systemische Energieberatung (ISE), Hochschule Landshut, Landshut  
**Dr.-Ing. J. Hollandt,** Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin (PTB), Berlin  
**Univ.-Prof. Dr. N. Hüsing,** Department Material Science and Physics, Universität Salzburg, Salzburg  
**Prof. Dr. R. Iden,** nanid Scientific Consulting, Dudenhofen  
**Prof. Dr.-Ing. M. Kaltschmitt,** Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft, Hamburg  
**Dr. F. Karg,** AVANCIS GmbH & Co. KG, München  
**Prof.-Dr.-Ing. W. Lang,** Fakultät für Architektur, Technische Universität München, München  
**B. Milow,** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Köln  
**Prof. Dr. J. Parisi,** Institut für Physik, Karl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg  
**Prof. Dr.-Ing. F. Ziegler,** Institut für Energietechnik, Technische Universität Berlin, Berlin

## 1.4 DAS ZAE BAYERN IN ZAHLEN ZAE BAYERN IN FACTS & FIGURES



Entwicklung Haushalt 2012 – 2017 | Budget

- Industrie
- öffentliche Mittel
- Sonstige
- Grundfinanzierung



Personalentwicklung 2012 – 2016 | Staff

- Sonstige
- Doktoranden
- wiss. Mitarbeiter
- techn. Mitarbeiter
- Verwaltung

### HAUSHALT UND FINANZEN

Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2016 auf ca. 16,6 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2012 bis 2017 weist für das Jahr 2016 eine Grundfinanzierung vom Bayerischen Wirtschaftsministerium (StMWi) in Höhe von 4,0 Mio. € aus. 12,5 Mio. € aus Drittmitteln sowie 0,1 Mio. € sonstige Einnahmen konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 10,5 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 2,0 Mio. € Industriemitteln zusammen.

Insgesamt wurden im Jahr 2016 231 Projekte mit 326 Partnern bearbeitet.

### PERSONAL

Zum Jahresende 2016 waren am ZAE Bayern 229 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Energietechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 20,1%. 34 Doktoranden, 12 Masteranden, 4 Bacheloranden und 9 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 28,9% der Mitarbeiter in Ausbildung.

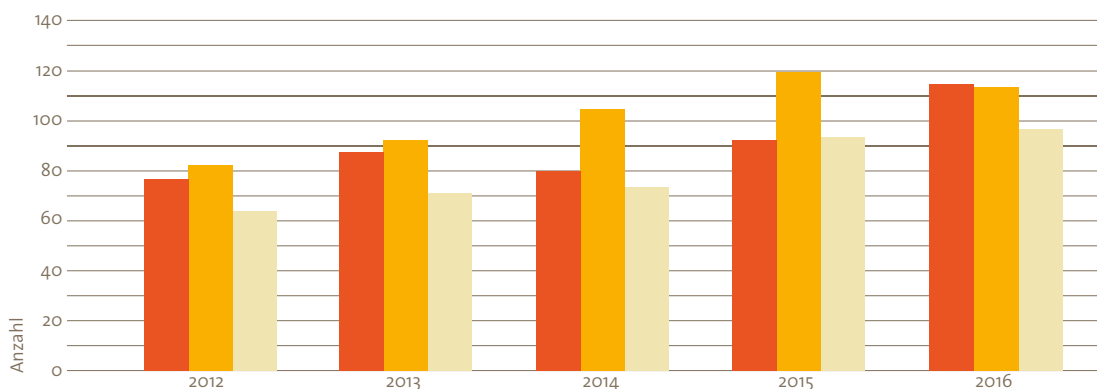
### BUDGET AND FINANCES

In 2016, the institute's budget came close to €16.6 m. The development of income from 2012 to 2017 depicted in the diagram shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology (StMWi) provided basic funding amounting to €4.0 m in 2016. €12.5 m third-party funds were raised as well as €0.1 m other revenues. The third-party funds comprise €10.5 m from public project funding and €2.0 m from industrial sources.

Research was carried out in a total of 231 projects involving 326 partners.

### STAFF AND PREMISES

At the end of 2016, ZAE Bayern had 229 staff members. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering, and energy technology. Women made up 20.1% of the staff. The institute provided 34 doctorate-, 12 master- and 4 bachelor students, and 9 trainees. Students and trainees constituted 28.9% of the staff.



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

- KMU
- Großunternehmen
- Institutionen

## KOOPERATIONEN

Für eine erfolgreiche, anwendungsnahe Forschung und Entwicklung sind leistungsstarke Partner mit Kompetenzen entlang der Wertschöpfungskette und einer gemeinsamen Zielsetzung von besonderer Bedeutung. Aufgrund der über den Standard hinausgehenden Forschungs- und Entwicklungsressourcen in seinen zentralen Kompetenzbereichen Erneuerbare Energie, Energiespeicherung und Energieeffizienz, ist das ZAE Bayern ein gefragter Kooperationspartner für Industrie, Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Bayern, auf nationaler und internationaler Ebene.

Bereits seit seiner Gründung arbeitet das ZAE Bayern mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) zusammen. Seit einigen Jahren gibt es auch intensive Kooperationen mit Großunternehmen und Institutionen wie Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Das ZAE Bayern übernimmt damit eine wichtige Brückenfunktion zwischen universitärer Forschung und industrieller Entwicklung.

## COOPERATIONS

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 the industry, universities and independent research centres in Germany and worldwide. The state-of-the-art research and development resources available to the institute are a real benefit to our cooperation partners.

Ever since its founding, ZAE Bayern has been cooperating with small and medium-sized enterprises (SMEs). For several years, however, close cooperations between ZAE Bayern and major enterprises and institutions, i.e. universities and independent research institutes, have been going on. In this vein, ZAE Bayern serves as an important link between university research and industrial development.

## 1.5 RÜCKBLICK REVIEW

### ENERGIEEFFIZIENTE FABRIK FÜR INTERDISZIPLINÄRE TECHNOLOGIE- UND ANWENDUNGSFORSCHUNG (ETA-FABRIK) ERÖFFNET

An der TU Darmstadt wurde am 2. März 2016 im Beisein der parlamentarischen Staatssekretärin im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), B. Zypries, und des Hessischen Ministers für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, T. Al-Wazir, die Energieeffiziente Fabrik für interdisziplinäre Technologie- und Anwendungsforschung – kurz ETA-Fabrik – eröffnet. Dort kann im Originalmaßstab unter realen Bedingungen untersucht werden, wie sich Energie im industriellen Umfeld durch intelligente Vernetzung aller Gebäude- und Produktionskomponenten noch effizienter nutzen lässt. Die ETA-Fabrik ist ein Forschungs- und Demonstrationsgebäude auf dem Campus der TU Darmstadt. Dort findet eine thermische Interaktion zwischen Produktionsmaschinen, technischer Gebäudeausstattung und dem Gebäude selbst statt. Das ZAE Bayern konzipierte die Vernetzung der optimierten Teilsysteme der ETA-Fabrik, die die Effizienz der gesamten Fabrik steigert.

### ZAE BAYERN WIRD MITGLIED DER ZUSE-GEMEINSCHAFT

Das ZAE Bayern wurde am 3. März 2016 als Mitglied in die Zuse-Gemeinschaft aufgenommen. Die Zuse-Gemeinschaft wurde Anfang 2015 in Berlin gegründet und versteht sich als Sprachrohr von derzeit ca. 80 Forschungseinrichtungen, die als unabhängige, mittelständisch geprägte Institute Kooperationspartner für Wirtschaft und Wissenschaft sind. Prof. Dr.-Ing. M. Bastian, Mitglied des Präsidiums der ZUSE-Gemeinschaft, hieß das ZAE Bayern als offizielles Mitglied willkommen: „Mit dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung gewinnt die Zuse-Gemeinschaft“

### ENERGY EFFICIENT FACTORY FOR INTERDISCIPLINARY TECHNOLOGICAL AND APPLICATIONAL RESEARCH (ETA FACTORY) OPENED

On 2<sup>nd</sup> March 2016, the Energy Efficient Factory for Interdisciplinary Technological and Applicational Research – in short ETA Factory – was opened at the technical university of Darmstadt in the presence of Parliamentary State Secretary of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, B. Zypries, and the Hessian Minister of Economy, Transport, Urban and Regional Development, T. Al-Wazir. It allows for full-scale, real-life condition research on how to raise the energy efficiency of industrial applications via intelligent interlinking of buildings and components. ETA Factory is a research and demonstration facility on TU Darmstadt's campus. There, thermal interaction takes place between production machinery, technical building systems, and the building itself. ZAE Bayern has designed the interlinking of the individually optimised components of ETA Factory, raising the overall efficiency of the factory.

### ZAE BAYERN JOINS THE ZUSE COMMUNITY

On 3<sup>rd</sup> March 2016, ZAE Bayern was admitted to the Zuse Community as a member. The Zuse Community was founded in Berlin in early 2015 and considers itself the voice of, at the moment, about 80 independent, medium-sized research institutes who cooperate with partners from industry and science. Prof. Dr.-Ing. M. Bastian, member of the board of the Zuse Community, welcomed ZAE Bayern as an official member: “With the Bavarian Center for Applied Energy Research, the ZUSE Gemeinschaft (ZUSE Community) admits a very well renowned independent institute for industrial research. ZAE combines outstanding research and excellent practical implemen-



Abb. 1: (v. l. n. r.) Eröffnung der ETA-Fabrik durch M. Beck, Projektleiter TU Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. J. Schneider, TU Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. E. Abele, TU Darmstadt, T. Al-Wazir, Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, B. Zypries, Parlamentarische Staatssekretärin im BMWi, Prof. Dr. H. J. Prömel, Präsident der TU Darmstadt, und R. Najork, Vorstandsvorsitzender Bosch Rexroth AG (© TU Darmstadt/Felipe Fernandes)

Fig. 1: (f. l. t. r.) Opening of ETA Factory by M. Beck, project manager TU Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. J. Schneider, TU Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. E. Abele, TU Darmstadt, T. Al-Wazir, Hessian Minister of Economy, Transport, Urban and Regional Development, B. Zypries, Parliamentary State Secretary of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Prof. Dr. H. J. Prömel, President of TU Darmstadt, and R. Najork, head of board Bosch Rexroth AG (© TU Darmstadt/Felipe Fernandes)



Abb. 2: Prof. Dr.-Ing. M. Bastian (rechts) aus dem Präsidium der ZUSE-Gemeinschaft heißt das ZAE Bayern als offizielles Mitglied willkommen und überreicht Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE Bayern, die Mitgliedsurkunde (© ZAE Bayern)

Fig. 2: Prof. Dr.-Ing. M. Bastian (right) from the board of the ZUSE Gemeinschaft (ZUSE Community) welcoming ZAE Bayern as an official member and handing the membership certificate to Prof. Dr. V. Dyakonov, board member of ZAE Bayern (© ZAE Bayern)

meinschaft einen sehr renommierten Vertreter der unabhängigen Industrieforschungsinstitute für seine Reihen. Das ZAE verbindet hervorragende Forschung mit einer exzellenten Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis. Ich freue mich ganz besonders, heute ein neues Mitglied aus Bayern begrüßen zu dürfen.“

#### **ZAE BAYERN GEWINNT DEN 3. PREIS FÜR POSTER BEIM 31. SYMPOSIUM PHOTOVOLTAISCHE SOLAR-ENERGIE**

Forscher des ZAE Bayern und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) wurden im Rahmen des 31. Symposiums Photovoltaische Solarenergie für ihre herausragenden Leistungen mit dem 3. Preis bei der Posterprämierung ausgezeichnet. Das Symposium fand vom 9. bis 11. März 2016 im Kloster Banz in Bad Staffelstein statt. Die Teilnehmer informierten sich über technologische Trends, neue Geschäftsmodelle sowie Qualitätssicherung, Betrieb und Standardisierung von PV-Systemen. Fachleute beantworteten an Expertentischen unter anderem aktuelle Rechtsfragen des EEG und erläuterten Chancen der gebäudeintegrierten Photovoltaik sowie die Sicherheit von Batteriespeichern.

tation of its findings. I am especially glad to be welcoming a new member from Bavaria today.”

#### **ZAE BAYERN WINS 3<sup>RD</sup> PRIZE FOR POSTER AT 31<sup>ST</sup> SYMPOSIUM PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY**

Researchers of ZAE Bayern and the Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nuremberg (FAU) were awarded the 3<sup>rd</sup> prize for posters for their excellent performance at the 31<sup>st</sup> Symposium Photovoltaic Solar Energy. The symposium was held from 9<sup>th</sup> to 11<sup>th</sup> March 2016 at Kloster Banz in Bad Staffelstein. Participants learned about technological trends, new business models, as well as quality assurance, operation, and standardisation of PV systems. At their tables, experts answered, among others, topical legal questions concerning the EEG and explained the potential of building integrated photovoltaics and the safety of battery storages.

### WELTWEIT ERSTE NETZGEBUNDENE LOHC/WASSERSTOFF-BASIERTE STROMSPEICHERANLAGE IM ZAE BAYERN-SPEICHERTESTZENTRUM ARZBERG

Im Speichertestzentrum des ZAE Bayern in Arzberg wurde am 15. März 2016 die erste auf der chemischen Bindung von Wasserstoff in speziellen Ölen basierende, komplette Energiespeicheranlage durch AREVA in Betrieb genommen. Mit der Anlage wird die neuartige LOHC-Technologie (LOHC: Liquid Organic Hydrogen Carrier) in der Praxis erprobt. Diese bietet die Möglichkeit der saisonalen Speicherung von Strom durch die Erzeugung von Wasserstoff, der gespeichert und später zurückverstromt wird. Das Speichertestzentrum wird im Rahmen des Modellversuchs „Smart Grid Solar“ in Hof und Arzberg betrieben. Ziel des Projekts ist es, die Integration smarterer Komponenten wie Speicher, Verbraucher und Photovoltaik in das Niederspannungsnetz zu untersuchen.

### ZAE BAYERN IST GRÜNDUNGSMITGLIED IM FORSCHUNGSNETZWERK ERNEUERBARE ENERGIEN

Das ZAE Bayern ist Gründungsmitglied im Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien. Das Netzwerk soll zur Identifikation von Forschungsschwerpunkten sowie zur beschleunigten Verwertung von Forschungsergebnissen beitragen. Es verknüpft strategische Planungsprozesse mit operativen Aktivitäten zur Unterstützung von Agenden, Roadmaps, Förderkonzepten und Evaluierungen. Die Auftaktveranstaltung fand am 6. April 2016 in Berlin statt.

Quelle: [www.ptj.de/forschungsnetzwerk-erneuerbare-energien](http://www.ptj.de/forschungsnetzwerk-erneuerbare-energien)

Abb. 3: Aufstellung der LOHC-Anlage von AREVA am Speichertestzentrum des ZAE in Arzberg (© AREVA)

Fig. 3: Deployment of AREVA's LOHC system to ZAE's storage testing facility at Arzberg (© AREVA)



### WORLD'S FIRST GRID CONNECTED LOHC/HYDROGEN BASED ENERGY STORAGE AT ZAE BAYERN'S STORAGE TESTING FACILITY IN ARZBERG

On 15<sup>th</sup> March 2016, the first complete energy storage system based on chemical bonding between hydrogen and particular oils was put into operation by AREVA at ZAE Bayern's storage testing facility in Arzberg. The system is used for practical testing of the new LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) technology. It allows for seasonal storage of energy by generation of hydrogen which is stored and reconverted at a later point. The storage testing facility is part of the pilot project "Smart Grid Solar" in Hof and Arzberg. Goal of the project is to examine the integration of smart components, such as storages, consumers, and photovoltaics, into the low-voltage grid.

### ZAE BAYERN CO-FOUNDS RESEARCH NETWORK FOR RENEWABLE ENERGIES

ZAE Bayern is a founding member of the Research Network for Renewable Energies. The network is supposed to contribute to the identification of research focuses as well as the acceleration of the utilisation of scientific findings. It interlinks strategic planning processes, operative activities to provide agendas, road maps, funding concepts, and evaluations. Its launch-event took place in Berlin on 6<sup>th</sup> April 2016.

Source: [www.ptj.de/forschungsnetzwerk-erneuerbare-energien](http://www.ptj.de/forschungsnetzwerk-erneuerbare-energien)

Abb. 4: Gründungsveranstaltung des Forschungsnetzwerks Erneuerbare Energien am 6. April 2016 in Berlin (© ZAE Bayern)

Fig. 4: Launch-event of the Research Network for Renewable Energies 6<sup>th</sup> April 2016, Berlin (© ZAE Bayern)







Abb. 5: Neben geladenen Gästen nahmen rund 60 Schülerinnen und Schüler an der Eröffnung der Umweltbausteine im Energy Efficiency Center am ZAE Bayern teil. Ein Umwelt-Quiz wurde von S. Reeves, TV-Moderatorin von „Wissen macht Ah!“, moderiert (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

Fig. 5: Besides the official guests, about 60 pupils participated in the opening of the environment block exhibition at ZAE Bayern's Energy Efficiency Center. An environment quiz was hosted by German children's TV host S. Reeves (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

#### SMARTE UMWELTBILDUNG PER APP FÜR JUGENDLICHE – UMWELT-QUIZ MIT SHARY REEVES

60 Schülerinnen und Schüler wollten es wissen und traten gegen Experten an. Die Ausstellung „Umweltbausteine im Energy Efficiency Center“ wurde am 16. Juni 2016 durch Ministerialdirigentin Dr. M. Kratzer vom Förderpartner, dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, am ZAE Bayern in Würzburg eröffnet. An der neuen Umweltwand werden mithilfe von Tablets und einer eigens entwickelten App die Themen Klima, Ökologie, Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft, Nachhaltiges Bauen und Stadtentwicklung insbesondere für Schüler altersgerecht vermittelt. Sie ergänzt die bestehende Ausstellung im Energy Efficiency Center, welche nun die Themen Energie, energieeffizientes Bauen, innovative Gebäudetechnologie, Klima, Ökologie, Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft und Stadtentwicklung ganzheitlich unter einem Dach erfahrbar macht.

Weitere Infos unter [www.klima-umwelt-energie.de](http://www.klima-umwelt-energie.de)



Abb. 6: Ein spannendes Quiz-Rennen zwischen Experten und Schülern, moderiert von S. Reeves, TV-Moderatorin, bei der Eröffnung der Umweltbausteine im Energy Efficiency Center (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

Fig. 6: An exciting quiz race between experts and pupils, hosted by S. Reeves, TV host, at the opening of the environment block exhibition at ZAE Bayern's Energy Efficiency Center (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

#### SMART ENVIRONMENTAL YOUTH EDUCATION VIA APP – ENVIRONMENT QUIZ WITH SHARY REEVES

60 pupils took their chances against experts: The exhibition “Environment Elements in the Energy Efficiency Center“ was opened by Dr. M. Kratzer of the funding partner, the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection, at ZAE Bayern in Würzburg on 16<sup>th</sup> July 2016. The new environment wall helps to impart knowledge on climate, ecology, conservation of resources, recycling, sustainable building, and urban development, particularly to pupils, in an age appropriate manner. Together with the pre-existing exhibition at the Energy Efficiency Center, the topics energy, energy efficient building, innovative building technology, climate, ecology, conservation of resources, recycling, and urban development can now be experienced with all their facets.

For further information visit [www.klima-umwelt-energie.de](http://www.klima-umwelt-energie.de)



Abb. 7: Das Auditorium folgt interessiert den Ausführungen der Referenten zum Thema Einsatz von Drohnen bei der Inspektion von PV-Anlagen (© ZAE Bayern)

Fig. 8: An interested auditorium following the speakers' talk on the use of drones in the inspection of PV plants (© ZAE Bayern)

Abb. 8: Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern, referiert zum Thema „Statistische Auswertung der aIR-PV-Messungen“ (© ZAE Bayern)

Fig. 8: Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern, talking about "Statistic Evaluation of aIR-PV Measurements" (© ZAE Bayern)



## ZAE BAYERN VERANSTALTET 2. WORKSHOP AIR-PV-CHECK IN ERLANGEN

Fliegende Messsysteme mit Infrarot-Kameras werden heute gezielt zur systematischen und umfassenden Inspektion von Solarparks und zur Qualitätskontrolle installierter Photovoltaikmodule (PV) genutzt. Am 14. Juli 2016 veranstaltete das ZAE Bayern den 2. Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“ am Standort Erlangen. Die rund 40 Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden in verschiedenen Vorträgen umfassend über technische Entwicklungen bei Flugrobotern, wissenschaftliche Ergebnisse zu thermographischen Untersuchungen von PV-Modulen und Solarparks, wirtschaftliche Rentabilität industrieller Anlagenprüfungen, Akzeptanz und Sichtweise thermographischer Aufnahmen fehlerhafter Module bei Modulherstellern und Versicherungsgesellschaften sowie Standardisierungsaktivitäten informiert. Ferner bestand die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch zwischen Experten, Anwendern und Auftraggebern.

## ZAE BAYERN HOSTS 2<sup>ND</sup> WORKSHOP AIR PV CHECK IN ERLANGEN

Flying measurement systems with infrared cameras have become a standard instrument for the systematic and comprehensive inspection of solar parks and for quality assurance of installed photovoltaic (PV) modules. On 14<sup>th</sup> July 2016, ZAE Bayern hosted the 2<sup>nd</sup> workshop "aIR PV check – Thermographical Inspection of PV Systems with Drones" in Erlangen. About 40 participants were comprehensively informed on topics such as technical innovations in the drone sector, scientific findings on thermographic inspection of PV modules and solar parks, economic profitability of industrial testing, acceptance and view of thermographic imaging of faulty modules with producers and insurers, as well as standardisation measures in various talks. Also, a dialogue on experiences between experts, end users, and clients was facilitated.

### PRÄSIDENT DER BUNDESNETZAGENTUR HOMANN BESUCHT MESSESTAND DES ZAE BAYERN

Die iSEneC – Integration of Sustainable Energy Conference feierte am 11. und 12. Juli 2016 in Nürnberg eine vielversprechende Veranstaltungspremiere. 410 internationale Teilnehmer aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik besuchten den neuen Kongress und diskutierten zentrale Fragen zur Integration erneuerbarer Energien. 16 Unternehmen und Institutionen präsentierten in der begleitenden Foyer-Ausstellung ihre Innovationen und Forschungsschwerpunkte. J. Homann, Präsident der Bundesnetzagentur, und Dr. M. Fraas, Wirtschaftsreferent der Stadt Nürnberg, besuchten den Messestand des ZAE Bayern und informierten sich zu aktuellen Forschungsergebnissen aus den Bereichen Photovoltaik, Smart Grids und Energiespeicherung.

Quelle: [www.energieregion.de/infothek/artikel/isenec-2016-erfolgreicher-start-in-die-energiezukunft.html](http://www.energieregion.de/infothek/artikel/isenec-2016-erfolgreicher-start-in-die-energiezukunft.html)

### PRESIDENT OF THE FEDERAL NETWORK AGENCY, J. HOMANN, VISITS ZAE BAYERN'S EXHIBITION STAND

The iSEneC – Integration of Sustainable Energy Conference had a promising kick-off on the 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> July 2016 in Nuremberg. 410 international participants from economy, research, and politics visited the new congress and discussed central issues on the integration of renewable energies. 16 businesses and institutions shared their innovations and research focuses in the accompanying foyer exhibition. J. Homann, President of the Federal Network Agency, and Dr. M. Fraas, economic consultant of the city of Nuremberg, visited ZAE Bayern's stand and inquired about recent findings in the fields of photovoltaics, smart grids, and energy storage.

Source: <http://www.energieregion.de/infothek/artikel/isenec-2016-erfolgreicher-start-in-die-energiezukunft.html>

*Abb. 9: Dr. J. Hauch (rechts), Bereichsleiter Erneuerbare Energien am ZAE, überreicht J. Homann (Mitte), Präsident der Bundesnetzagentur, und Dr. M. Fraas (links), Stadtrat und Wirtschaftsreferent der Stadt Nürnberg, ein von der Solarfabrik der Zukunft mittels Inkjet-Techniken hergestelltes Solarmodul mit dem Logo der iSEneC 2016 (© NürnbergMesse)*

*Fig. 9: Dr. J. Hauch (right), Head of Division Renewable Energy, ZAE handing an inkjet-printed solar module, made in the Solar Factory of the Future, resembling the iSEneC 2016 logo to J. Homann (middle), President of the Bundesnetzagentur (Federal Network Agency), and Dr. M. Fraas (left), City Councillor and Head of Economic Section, City of Nuremberg*



### EINWEIHUNG DES VIERTEN BAUABSCHNITTS AM ZAE BAYERN IN GARCHING

Mit rund 80 Gästen aus Forschung, Industrie, Wirtschaft und Politik wurde am 18. Juli 2016 am ZAE Bayern in Garching feierlich der vierte Gebäudebauabschnitt des Bereichs Energiespeicherung eingeweiht. Nach der Begrüßung der Gäste durch Prof. Dr. H. Spliethoff, Vorstand des ZAE Bayern, sprach Bayerns Wirtschaftsstaatssekretär F. J. Pschierer ein Grußwort und übergab offiziell den Schlüssel an Prof. Spliethoff und Dr. A. Hauer, Leiter des Bereichs Energiespeicherung am ZAE.

### INAUGURATION OF ZAE GARCHING'S 4<sup>TH</sup> BUILDING SECTION

On 18<sup>th</sup> July 2016, together with about 80 guests from research, industry, economy, and politics, ZAE Bayern festively inaugurated the 4<sup>th</sup> building section of its Garching division. After a welcoming address by ZAE Bayern's board member Prof. Dr. H. Spliethoff, Bavaria's State Secretary of Economic Affairs, F. J. Pschierer, gave a welcoming speech as well and officially handed over the key to Prof. Spliethoff and Dr. A. Hauer, Head of the Division Energy Storage.



Abb. 10: (v. l. n. r.) F. J. Pschierer, Staatssekretär im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Prof. Dr. H. Spliethoff, Vorstand des ZAE, und Dr. A. Hauer, Leiter des Bereichs Energiespeicherung des ZAE, bei der feierlichen Schlüsselübergabe (© ZAE Bayern)

Fig. 10: (f. l. t. r.) F. J. Pschierer, State Secretary in the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, Prof. Dr. H. Spliethoff, board member of ZAE Bayern, and Dr. A. Hauer, Head of Division Energy Storage, at the festive hand-over of the key (© ZAE Bayern)



Abb. 11: (v. l. n. r.) R. Gurtner, Mitarbeiter des ZAE, erläutert Dr.-Ing. R. Hofer, Vorsitzender des Kuratoriums des ZAE, F. J. Pschierer, Staatssekretär im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Prof. Dr. H. Spliethoff, Vorstand des ZAE, Ltd. Ministerialrat Dr.-Ing. F. Messerer, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, einen Zwei-Stoff-Speicher (© ZAE Bayern)

Fig. 11: (f. l. t. r.) R. Gurtner, employee of ZAE, explaining to Dr.-Ing. R. Hofer, Head of ZAE's board of trustees, F. J. Pschierer, State Secretary for the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, Prof. Dr. H. Spliethoff, board member of ZAE, Ltd. Ministerialrat Dr.-Ing. F. Messerer, Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, a two substance storage (© ZAE Bayern)



Abb. 12: (links): Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE Bayern und Prof. M. Khaja Nazeeruddin, EPFL in der Diskussion (©ZAE Bayern)  
 Fig. 12: (left): Prof. Dr. V. Dyakonov, board member of ZAE Bayern and Prof. M. Khaja Nazeeruddin, EPFL, discussing (©ZAE Bayern)



Abb. 13: Mobiles Ug-Wert-Messgerät Uglass im Einsatz (©ZAE Bayern)  
 Fig. 13: Mobile measuring unit Uglass at work (©ZAE Bayern)

#### PEROVSKIT UND SILIZIUM – EINE SPITZENKOMBINATION FÜR SOLARZELLEN

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat am 4. und 5. Oktober 2016 Spitzenforscher aus ganz Deutschland zu einem Informationsaustausch zur Perowskit-Photovoltaik in das ZAE Bayern in Würzburg geladen. Rund 60 Teilnehmer stellten ihren Wissensstand zu diesem Top-Thema der Photovoltaikforschung vor und diskutierten über Möglichkeiten, diese Technologie weiter zu verbessern. Organisiert und koordiniert wurde der Workshop von Prof. Dr. V. Dyakonov, dem wissenschaftlichen Leiter des ZAE Bayern und Lehrstuhlinhaber der Experimentellen Physik VI an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

#### ZAE BAYERN ERHÄLT BAYERISCHEN ENERGIEPREIS FÜR MOBILES MESSGERÄT

Das ZAE Bayern erhielt für die Entwicklung des mobilen Messgerätes Uglass den Bayerischen Energiepreis 2016 in der Kategorie „Produkte und Anwendungen“. Mit dem Gerät lässt sich der Wärmedämmwert von Verglasungen einfach und zuverlässig vor Ort innerhalb weniger Minuten messen. Bayerns Wirtschaftsstaatssekretär F. J. Pschierer überreichte den Preis am 20. Oktober 2016 im Rahmen eines Festakts im Maritim Hotel Nürnberg.

Weitere Infos unter [www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info)

#### PEROVSKITE AND SILICON – A GREAT COMBINATION FOR SOLAR CELLS

On 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> October 2016, the Federal Ministry of Education and Research invited Germany's top researchers for an exchange of information on perovskite photovoltaics to ZAE Bayern in Würzburg. About 60 participants presented their state of knowledge about this top issue in photovoltaics research and discussed possibilities of further improvement. The workshop was organised and coordinated by Prof. Dr. V. Dyakonov, scientific head of ZAE Bayern and chair holder for experimental physics VI at Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

#### ZAE BAYERN AWARDED WITH BAVARIAN ENERGY PRIZE FOR MOBILE MEASURING UNIT

For the development of the mobile measuring unit Uglass, ZAE Bayern was awarded the Bavarian Energy Prize 2016 in the category “Products and Applications”. The device allows for the quick, easy, and reliable on-site measurement of the thermal insulation value of glazing. Bavaria's State Secretary of Economic Affairs, F. J. Pschierer, handed over the prize on 20<sup>th</sup> October 2016 in a festive act at Maritim Hotel Nuremberg.

Further information at [www.fenstercheck.info](http://www.fenstercheck.info)

### **BAYERISCHER ENERGIEPREIS FÜR DAS PROJEKT „NEUBAU DES SCHMUTTERTAL-GYMNASIUMS DIEDORF“**

Das ZAE-Projekt „Schmuttertal-Gynasium Diedorf“ erhielt den Bayerischen Energiepreis 2016 in der Kategorie „Gebäude als Energiesystem/Gebäudekonzept“. Die Preisträgergemeinschaft Florian Nagler Architekten aus München und Hermann Kaufmann Architekten aus Schwarzach/Österreich nahmen die Auszeichnung, zusammen mit dem Landkreis Augsburg, am 20. Oktober 2016 in Nürnberg von Bayerns Wirtschaftsstaatssekretär F. J. Pschierer entgegen. Für den von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Holzbau mit offenen Lernlandschaften in Plusenergiestandard übernahm das ZAE Bayern die Aufgabe der Qualitätssicherung bei Gebäudetechnik, Raumkomfort und Gesamtkonzept. Seit der Inbetriebnahme im September 2015 führt das ZAE Bayern ein für drei Jahre geplantes Monitoring durch, um Betriebsoptimierungen, vor allem in Bezug auf Nutzungskomfort, Energieeffizienz und Betriebswirtschaftlichkeit, und eine einjährige Evaluation durchzuführen.

### **ZAE-TAG „FLEXIBILISIERUNG & INTEGRATION VON ERNEUERBAREN ENERGIEN“**

Am 16. November 2016 veranstaltete das ZAE-Bayern den ZAE-Tag 2016 in Würzburg mit Gästen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Der Tag stand unter dem Motto „Flexibilisierung und Integration von Erneuerbaren Energien“. Durch das Programm führte der Vorstandsvorsitzende des ZAE Bayern, Prof. Dr. C. J. Brabec. Zu Beginn des Vortragsblocks sprach U. Windelen, Geschäftsführer des Bundesverbands Energiespeicher (BVES), über Energiespeicherung in Deutschland. Im Anschluss daran beleuchtete der Vorstandsvorsitzende der IBC Solar AG, U. Möhrstedt, die bisherige Entwicklung der Photovoltaik und ihre zukünftige Rolle im Energiesystem. Zuletzt stellte R. Schumm, City-Accountmanager bei der Siemens AG, das Smart-City-Projekt der Stadt Wien vor. Eine Klammer um den Vortragsblock spannte Prof. Brabec mit Beispielen aus der Forschung des ZAE Bayern, die Lösungsansätze für die Umsetzung der Energiewende bieten. Der ZAE-Tag wurde mit einer zusammenfassenden Podiumsdiskussion beschlossen. Er fand zum zweiten Mal im Energy Efficiency Center am ZAE in Würzburg statt. So hatten die Gäste in den Pausen die Möglichkeit, sich in der Ausstellung „EnergieBauen“ über die Themen Energie, Klima, Ökologie und Ressourcenschonung zu informieren.

### **BAVARIAN ENERGY PRIZE FOR THE PROJECT “NEWLY BUILT SCHMUTTERTAL-GYMNASIUM DIEDORF”**

ZAE's project “Schmuttertal-Gynasium Diedorf” was awarded the Bavarian Energy Prize 2016 in the category “Building as an Energy System/Building Concept”. The community of award winners, Florian Nagler Architects from Munich and Hermann Kaufmann Architects from Schwarzach, Austria, together with the district of Augsburg, accepted the prize from Bavaria's State Secretary of Economic Affairs, F. J. Pschierer, in Nuremberg on 20<sup>th</sup> October 2016. For the wooden building following the plus energy standard with its open learning landscapes, funded by the German Federal Environmental Foundation, ZAE Bayern assumed responsibility for quality management in building services, room comfort, and overall concept. Since the opening of the school in September 2015, ZAE Bayern has been performing a three-year monitoring for the purpose of optimisation, mostly in user comfort, energy efficiency, and economic efficiency, as well as a one-year evaluation.

### **ZAE DAY “FLEXIBILISATION & INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES”**

On 16<sup>th</sup> November 2016, ZAE Bayern hosted the ZAE Day in Würzburg with guests from science, economy, and politics. The day was framed by the motto “Flexibilisation & Integration of Renewable Energies”. It was hosted by ZAE Bayern's head of board, Prof. Dr. C. J. Brabec. The first speaker was U. Windelen, director of the Federal Association for Energy Storages (BVES), who talked about energy storage in Germany. Afterwards, the head of board of IBC Solar AG, U. Möhrstedt, shed some light on the current state of photovoltaics and their future role in the energy system. Finally, R. Schumm, city account manager of Siemens AG, introduced Vienna's smart city project. The lecture block was framed by Prof. Brabec with examples from ZAE Bayern's research, offering solution approaches for the implementation of the Energiewende. The ZAE Day was concluded by a summarising panel debate. For the second time, it was held in ZAE Würzburg's Energy Efficiency Center. This way, the guests had a chance to inform themselves on energy, climate, ecology, and conservation of resources in the exhibition “EnergieBauen” (EnergyConstruction) during the pauses.



Abb. 14 (oben): Eröffnung der „Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology“ durch die Bayerische Umweltministerin U. Scharf (2. v. l.), Prof. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern, S. Lender-Cassens, Bürgermeisterin der Stadt Erlangen und Dr. R. Bartl, Cluster Manager für den Cluster Energietechnik, Bayern Innovativ (© Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz)

Fig. 14 (above): Opening “Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology” by the Bavarian State Minister of the Environment and Consumer Protection, U. Scharf (2nd f. l.), Prof. C. J. Brabec, head of board ZAE Bayern, S. Lender-Cassens, Mayor of the city of Erlangen, and Dr. R. Bartl, Cluster Manager for the cluster energy technology, Bayern Innovativ (© Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection)



Abb.15: Referenten des ZAE-Tags „Flexibilisierung und Integration von Erneuerbaren Energien“, (v. l. n. r.) U. Windelen, U. Möhrstedt, Prof. C. J. Brabec, R. Schumm

Fig.15: Speakers of the ZAE Day “Flexibilisation & Integration of Renewable Energies”, (f. l. t. r.) U. Windelen, U. Möhrstedt, Prof. C. J. Brabec, R. Schumm

### ZUM DRITTEN MAL PRÄSENTIEREN INTERNATIONALE SPITZENFORSCHER IHRE ERGEBNISSE IN ERLANGEN

Eröffnet durch die Bayerische Umweltministerin, U. Scharf, fand vom 23.–25. November 2016, in der Heinrich-Lades-Halle in Erlangen, zum dritten Mal die Konferenz „Next Generation Solar Energy“ statt. Das ZAE Bayern organisierte die Veranstaltung in Kooperation mit Bayern Innovativ und dem vom bayerischen Umweltministerium geförderten Projektverbund „UMWELTnanoTECH“. Die Konferenz stand unter dem Motto „Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology“. Mit mehr als 30 Vorträgen und über 200 Besuchern aus mehr als 10 Nationen war die Veranstaltung wieder ein großer Erfolg.

### FOR THE THIRD TIME, INTERNATIONAL TOP-LEVEL RESEARCHERS PRESENT THEIR FINDINGS IN ERLANGEN

Opened by the Bavarian State Minister of the Environment, U. Scharf, the conference “Next Generation Solar energy” was held for the third time in Erlangen’s Heinrich-Lades-Halle from 23<sup>rd</sup> to 25<sup>th</sup> November 2016. ZAE Bayern, in cooperation with Bayern Innovativ and the project network “UMWELTnanoTECH”, funded by the Bavarian Ministry of the Environment, hosted the event. With over 30 talks and more than 200 visitors from over 10 nations, the event was, once more, a huge success.

## 1.6

### BEI UNS ZU GAST 2016

#### OFFICIAL VISITORS IN 2016

##### BESUCHER IN GARCHING

- Vertreter des Bundesverbands Energiespeicher (28.01.2016)
- Workshopteilnehmer der Working Party on Energy End-Use Technologies (EUWP) der IEA (01.03.2016)
- Delegation der japanischen Firma Takasago Thermal Engineering (13.06.2016)
- Besucher aus Politik und Wissenschaft bei der Einweihung des vierten Bauabschnitts (18.07.2016)
- Mitarbeiter des Lehrstuhls für Energiesysteme der Technischen Universität München zum Meet and Greet (21.07.2016)
- Chinesische Delegation im Rahmen der Deutsch-Chinesischen Energiepartnerschaft (02.09.2016)
- Delegation Kanadischer Parlamentarier aus der Provinz Quebec (13.10.2016)
- Professores Y. Itaya (Universität Gifu) und Y. Umeda (Chubu Region Institute for Social & Economic Research) (14.10.2016)
- Besucher des Tags der offenen Tür am Campus Garching (22.10.2016)
- Schwedische Delegation der Deutsch-Schwedischen Handelskammer (30.11.2016)
- Chinesische Delegation von 18 Regierungsvertretern der Provinz Jiangsu (15.12.2016)

##### BESUCHER IN WÜRZBURG

- Teilnehmer der Veranstaltung „Material Innovativ“ von Bayern Innovativ (22.02.2016)
- Auszubildende der Josef-Greising-Schule (29.02.2016)
- Prof. Dr.-Ing. M. Bastian aus dem Präsidium der ZUSE-Gemeinschaft zur Übergabe der Mitgliedschaftsurkunde an das ZAE Bayern (03.03.2016)
- Internationale Gäste der POCAONTAS Summer School (04.04.2016)
- Energieteam der Schaeffler Technologies AG & Co. KG (13.04.2016)
- Teilnehmer des Forums Umweltbildung Unterfranken (11.05.2016)
- Teilnehmer der Tagung „Connective Cities – Internationale Städteplattform für nachhaltige Entwicklung“ (11.05.2016)
- Delegation chinesischer Unternehmen (17.05.2016)
- Besucher aus dem Generalkonsulat der Republik Südafrika (25.05.2016)
- Delegation der University of Sharjah (27.05.2016)

##### VISITORS TO GARCHING

- Representatives of the German Energy Storage Association (28/01/2016)
- Workshop participants of the Working Party on Energy End-Use Technologies (EUWP) of the IEA (01/03/2016)
- Delegation of the Japanese company Takasago Thermal Engineering (13/06/2016)
- Visitors from politics and research at the opening of the new building section (18/07/2016)
- Employees of the institute for energy systems of the Technical University of Munich for a meet and greet (21/07/2016)
- Chinese delegation of the German Chinese Energy Partnership (02/09/2016)
- Delegation of Canadian parliamentarians from Quebec (13/10/2016)
- Professors Y. Itaya (University of Gifu) and Y. Umeda (Chubu Region Institute for Social & Economic Research) (14/10/2016)
- Visitors of the open house at campus Garching (22/10/2016)
- Swedish delegation of the German-Swedish Chamber of Commerce (30/11/2016)
- Chinese delegation of 18 government representatives from the province of Jiangsu (15/12/2016)

##### VISITORS TO WÜRZBURG

- Participants of “Material Innovativ” by Bayern Innovativ (22/02/2016)
- Apprentices from Josef Greising School (29/02/2016)
- Prof. Dr.-Ing. M. Bastian from the board of the ZUSE Gemeinschaft (ZUSE Community) for the handing over of the Zuse Certificate of Membership to ZAE Bayern (03/03/2016)
- International guests of POCAONTAS Summer School (04/04/2016)
- Energy team from Schaeffler Technologies AG & Co. KG (13/04/2016)
- Participants of the Forum Umweltbildung Unterfranken (forum environmental education of Lower Franconia) (11/05/2016)
- Participants of the convention “Connective Cities – International City Platform for Sustainable Development” (11/05/2016)
- Chinese business delegation (17/05/2016)
- Visitors from the consulate general of the Republic of South Africa (25/05/2016)



Abb. 1: Abgesandte der japanischen Firma Takasago Thermal Engineering mit E. Lävemann, stellv. Bereichsleiter ES (2. v. l.), J. Krämer (3. v. l.) und F. Fischer (4. v. l.) alle drei ZAE, am ZAE Bayern, Bereich Energiespeicherung, in Garching

Fig. 1: Representatives of Takasago Thermal Engineering from Japan with E. Lävemann, deputy head of division ES (2. f. l.), J. Krämer (3. f. l.) and F. Fischer (4. f. l.), all ZAE at the ZAE Bayern, division Energy Storage in Garching

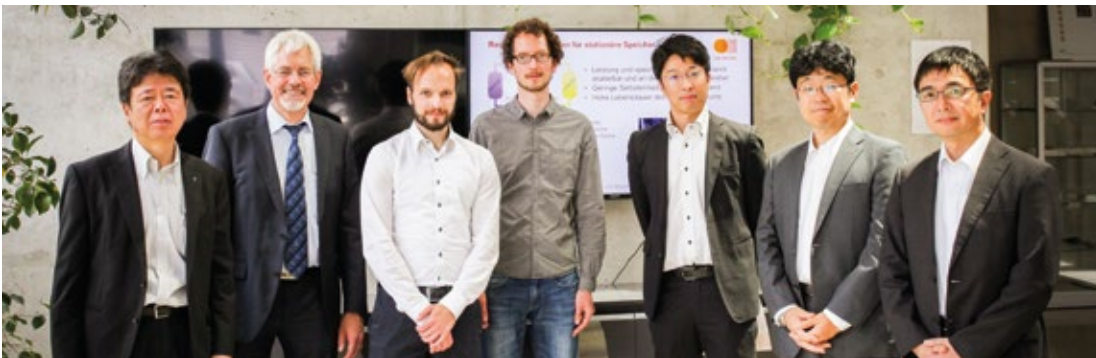


Abb. 2: Prof. Dr. Peter Paul Gantzer (2. v. r.), Abgeordneter des Bayerischen Landtags, mit Parlamentariern aus Quebec zu Besuch im Bereich Energiespeicherung in Garching

Fig. 2: Prof. Dr. Peter Paul Gantzer (2. f. r.), Member of the Bavarian Parliament, visiting division Energy Storage in Garching



Fig. 3: Delegation im Rahmen der Deutsch-Chinesischen Energiepartnerschaft

Abb. 3: Chinese delegation of the German Chinese Energy Partnership visiting Garching



Abb. 4 & 5: 50 Mitglieder von Umweltbildung Unterfranken informierten sich bei einem Besuch des Energy Efficiency Center über das Gebäude, seine Ausstellung und die Forschungsprojekte am ZAE Bayern

Fig. 4 & 5: 50 members of Umweltbildung Unterfranken (forum environmental education of Lower Franconia) visited the Energy Efficiency Center and obtained information on the building, exhibition and research at ZAE Bayern



Abb. 8: Besucher der University of Sharjah zur Planung eines energieeffizienten Sharjah Educational Centre For Science And Technology (v. l. n. r.): B. Beringer, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG, I. Dyer, NewEraTechnical Consulting Ltd, S. Weismann, ZAE Bayern, Dr. H.-P. Ebert, ZAE Bayern, A. Hüttinger, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG, Prof. M. Bettayeb, Vice Chancellor University of Sharjah, Prof. H. M. Al Naimiy, Chancellor University of Sharjah, Prof. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE Bayern, W. Al Mofty, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG (© ZAE Bayern)  
 Fig. 8: Visitors from the University of Sharjah visiting for the planning of an energy efficient Sharjah Educational Centre for Science and Technology (f. l. t. r.): B. Beringer, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG, I. Dyer, NewEraTechnical Consulting Ltd, S. Weismann, ZAE Bayern, Dr. H.-P. Ebert, ZAE Bayern, A. Hüttinger, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG, Prof. M. Bettayeb, Vice Chancellor University of Sharjah, Prof. H. M. Al Naimiy, Chancellor University of Sharjah, Prof. V. Dyakonov, board member of ZAE Bayern, W. Al Mofty, Kurt Hüttinger GmbH & Co. KG (© ZAE Bayern)



Abb. 7: Dr. H.-P. Ebert (rechts) führt Teilnehmer von „Connective Cities – Internationale Städteplattform für nachhaltige Entwicklung“ durch das Energy Efficiency Center (EEC) und die Ausstellung im Info-Center des EEC  
 Fig. 7: Dr. H.-P. Ebert (right) guides participants of “Connective Cities – Internationale Städteplattform für nachhaltige Entwicklung” (international city platform for sustainable development) through the Energy Efficiency Center (EEC) and the exhibition in the info center of the EEC



Abb. 6: G. Monyemangene, Generalkonsul von Südafrika, besuchte das Energy Efficiency Center in Würzburg und informierte sich über die neuesten Technologien im Bausektor. Bei einem Rundgang durch das Gebäude signierte er die „Wall of Fame“ im EEC (© ZAE Bayern)  
 Fig. 6: G. Monyemangene, Consul General of South Africa, visited the Energy Efficiency Center in Würzburg and inquired about the latest building sector technology. On his building tour, he signed the EEC’s wall of fame (© ZAE Bayern)

Abb. 9: 60 Schülerinnen und Schüler wollten es wissen und traten gegen Experten an. Die Ausstellung „Umweltbausteine im Energy Efficiency Center“ wurde am 16. Juni 2016 durch Frau Ministerialdirigentin Dr. M. Kratzer vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Energy Efficiency Center am ZAE Bayern in Würzburg eröffnet. Auftakt der Eröffnung war ein Umwelt-Quiz mit S. Reeves, TV-Moderatorin von „Wissen macht Ah“! (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

Fig. 9: 60 pupils competing with experts. The exhibition "Umweltbausteine im Energy Efficiency Center" was opened by undersecretary Dr. Kratzer of the Bavarian Ministry of the Environment and Consumer Protection at the Energy Efficiency Center in Würzburg on 16<sup>th</sup> June 2016. The ceremony was kicked off with an environment quiz, hosted by TV personality S. Reeves (© ZAE Bayern/Daniel Peter)



Abb. 10: Auftakt der Eröffnung war ein Umwelt-Quiz mit S. Reeves, TV-Moderatorin von „Wissen macht Ah“! (© ZAE Bayern/Daniel Peter)

Fig. 10: The ceremony was kicked off with an environment quiz, hosted by TV personality S. Reeves (© ZAE Bayern/Daniel Peter)



Abb. 11: Im Rahmen einer Informationsreise des Bundeswirtschaftsministeriums besuchte eine Delegation aus Chile das Energy Efficiency Center am ZAE Bayern in Würzburg (© ZAE Bayern)

Fig. 11: As a part of a fact-finding journey organised by the Federal Ministry of Economics and Technology a delegation from Chile visited the Energy Efficiency Center at ZAE Bayern in Würzburg while on a BMWi fact-finding journey (© ZAE Bayern)

- S. Reeves zur Moderation der Eröffnung des Ausstellungsbeitrages „Umweltbausteine im Energy Efficiency Center“, Vertreter der Stadt Würzburg und Schulklassen aus Würzburg und Umgebung als Teilnehmer der Eröffnung (16.06.2016)
- Vertreter von FUJITSU zur Übergabe einer Notebook-Spende (17.08.2016)
- Delegation aus Chile im Rahmen der BMWi-Informationsreise (08.09.2016)
- Teilnehmer des BMBF-Workshop „Perowskit“ (4.–5.10.2016)
- Teilnehmer des E-Mobilitäts-Tages der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (WVV) (25.10.2016)
- Baureferendare der bayerischen Staatsbauverwaltung (02.11.2016)
- Vertreter der LEONI Bordnetz-Systeme GmbH R&D New Technologies (14.11.2016)
- Delegation des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Würzburg (14.11.2016)
- Vertreter des Staatlichen Bauamts Würzburg (21.12.2016)
- Delegation of the University of Sharjah (27/05/2016)
- S. Reeves for hosting the opening of the exhibition “Environment Elements in the Energy Efficiency Center”, representatives of the city of Würzburg and school classes from Würzburg and its surroundings as participants of the ceremony (16/06/2016)
- Representatives of FUJITSU for the handing-over of donated laptops (17/08/2016)
- Delegation from Chile on the BMWi-Informationsreise (fam trip of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy) (08/09/2016)
- Participants of the BMBF workshop “Perowskit” (4–5/10/2016)
- Participants of the e-mobility day organised by Würzburg’s transportation and utilities operator WVV (25/10/2016)
- Construction professionals from the Bavarian state building authority (02/11/2016)
- Representatives of LEONI Bordnetz-Systeme GmbH R&D New Technologies (14/11/2016)
- Delegation of the “Zweckverband Abfallwirtschaft Würzburg” (communal waste processing cooperative Würzburg) (14/11/2016)
- Representatives of the State Construction Authority Würzburg (21/12/2016)

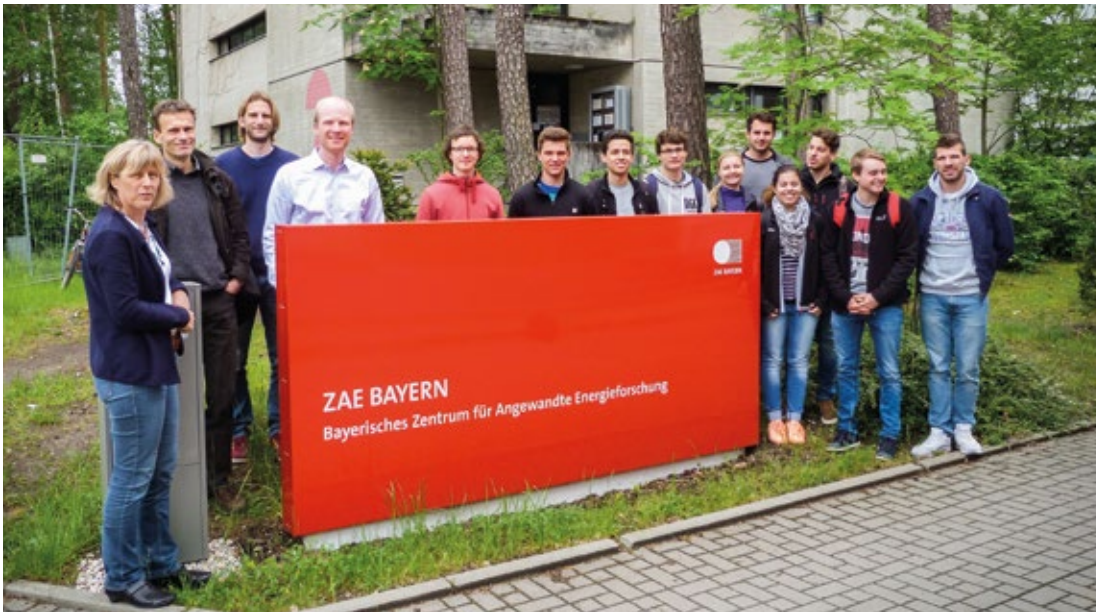


Abb. 12: Studenten und Professoren der Hochschule Ansbach informieren sich am ZAE Bayern in Erlangen über Solarforschung  
 Fig. 12: Students and professors of Ansbach University of Applied Sciences informing themselves at ZAE Bayern in Erlangen about solar research

#### BESUCHER IN ERLANGEN

- Führungskräfte Helmholtz-Zentrum Berlin (12.01.2016)
- Treffen des PV-ZUM-Netzwerks mit Industrievertretern (07.03.2016)
- Professoren der Uni Bayreuth (12.05.2016)
- Professoren und Studenten der Hochschule Ansbach (25.05.2016)
- Vertreter „Bund Deutscher Architekten“, BDA (01.06.2016)
- Brasilianische Wirtschaftsdelegation (13.07.2016)
- Photovoltaikspezialisten am 2. Workshop „aiR-PV-Check“ (14.07.2016)
- Partnertreffen PV-ZUM-Netzwerk „Photovoltaik für zukünftige Märkte“ (29.09.2016)
- Firmenvertreter Adler Solar Japan (02.11.2016)
- Dr. M. Weissmann, LMU Meteorologie (04.11.2016)
- Bayerische Staatsministerin für Umwelt und Verbraucherschutz, U. Scharf, zur Eröffnung der Konferenz „Next Generation Solar Energy meets Nanotechnology“, Erlangen (23.–25.11.2016)

#### VISITORS TO ERLANGEN

- Representatives of Helmholtz Zentrum Berlin (12/01/2016)
- Meeting of PV-ZUM network with industrial representatives (07/03/2016)
- Professors of the University of Bayreuth (12/05/2016)
- Professors and students of Ansbach University of Applied Science (25/05/2016)
- Members of “Bund Deutscher Architekten”, BDA (association of German architects) (01/06/2016)
- Brazilian delegation (13/07/2016)
- Photovoltaic experts, 2<sup>nd</sup> Workshop “aiR-PV-Check” (14/07/2016)
- Project partners of the network “PV-ZUM Photovoltaik für zukünftige Märkte” (network PV-ZUM photovoltaics for future markets) (29/09/2016)
- Company representatives of Adler Solar Japan (02/11/2016)
- Dr. M. Weissmann, LMU Meteorology (04/11/2016)
- Bavarian State Minister of the Environment and Consumer Protection, U. Scharf, at the opening conference “Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology” (23–25/11/2016)



Abb. 13: Brasilianische Delegation bei einer Vorführung der PV-Qualitätssicherung mit Drohnen am ZAE Bayern in Erlangen  
Fig. 13: Brazilian visitors watch PV quality assurance via drone at ZAE Bayern in Erlangen



Abb. 14: Mitarbeiter von Adler Solar informieren sich am ZAE Bayern in Erlangen über PV-Qualitätssicherung, (2. v. l.) Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern  
Fig. 14: Board members of Adler Solar Japan get informed about quality assurance in PV at ZAE Bayern in Erlangen, (2. f. l.) Dr. C. Buerhop-Lutz, ZAE Bayern



Abb. 15: Nürnberger Bürger informieren sich über das Thema Forschung & Entwicklung in der ZAE-Außenstelle am Energie Campus Nürnberg  
Fig. 15: Nuremberg citizens inquire about Research & Development at the branch of ZAE at Energy Campus Nuremberg

**BESUCHER IN NÜRNBERG**

- Holländischer Generalkonsul P. Vermeij (02.02.2016)
- M. Grether (Museum für Kommunikation) (02.02.2016)
- Vertreter der VHS München (12.02.2012)
- Wissenschaftler der DGG (02.03.2016)
- Delegation aus Honduras (21.03.2016)
- Prof. B. Vaughan (08.04.2016)
- Siemens-Rechtsanwälte aus dem Bereich Energie (21.04.2016)
- Fachkräfte Allianz-Versicherung (03.05.2016)
- Wirtschaftsreferent Stadt Nürnberg Dr. M. Fraas (06.05.2016)
- Altstipendiaten (06.05.2016)
- Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zum Abschlussbericht des Projekts TCM-Labor (25.06.2015)
- Indische Wirtschaftsdelegation (24.06.2016)
- Chinesische Delegation (05.09.2016)
- Tag der offenen Tür „Offen Auf AEG“ (13.09.2016)
- BIPV Workshop (21.9.2016)
- Vertreter der Industrie- und Handelskammer Mittelfranken (23.11.2016)

**VISITORS TO NUREMBERG**

- Dutch Consul General, P. Vermeij (02/02/2016)
- M. Grether (Museum for Communication Nuremberg) (02/02/2016)
- Representatives of VHS Munich (adult education center Munich) (12/02/2015)
- Scientists of the DGG (02/03/2016)
- Delegation from Honduras (21/03/2016)
- Prof. B. Vaughan (08/04/2016)
- Attorneys from Siemens, specialising in the energy sector (21/04/2016)
- Specialists from Allianz insurance (03/05/2016)
- Head of Economic Section of the City of Nuremberg, Dr. M. Fraas (06/05/2016)
- Meeting of former stipendiaries (06/05/2016)
- Representatives of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, project TCM-Labor (25/06/2015)
- Indian business delegation (24/06/2016)
- Chinese delegation (05/09/2016)
- Open door “Offen Auf AEG” (13/09/2016)
- BIPV workshop (21/09/2016)
- Representatives of Chamber of Industry and Commerce of Middle Franconia (23/11/2016)

Abb. 16: Podiumsdiskussion vor 90 Teilnehmern im Rahmen des BIPV-Workshops am Energie Campus Nürnberg

Fig. 16: Panel discussion in front of 90 participants at the occasion of the BIPV workshop at Energy Campus Nuremberg





Abb. 17: Mitglieder der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft (DGG) in der Solarfabrik der Zukunft  
Fig. 17: Members of Deutsche Glastechnische Gesellschaft (DGG) (German Glas Technical Association) in the Solar Factory of the Future



Abb. 18: Der Generalkonsul der Niederlande P. Vermeij besichtigt die Solarfabrik der Zukunft in der ZAE-Außenstelle am Energie Campus Nürnberg  
Fig. 18: The Dutch Consul General P. Vermeij visits the Solar Factory of the Future at the branche of ZAE at the Energy Campus Nuremberg



Abb. 19: Mitglieder einer Delegation aus Honduras an der Solarfabrik der Zukunft  
Fig. 19: A delegation from Honduras at the Solar Factory of the Future

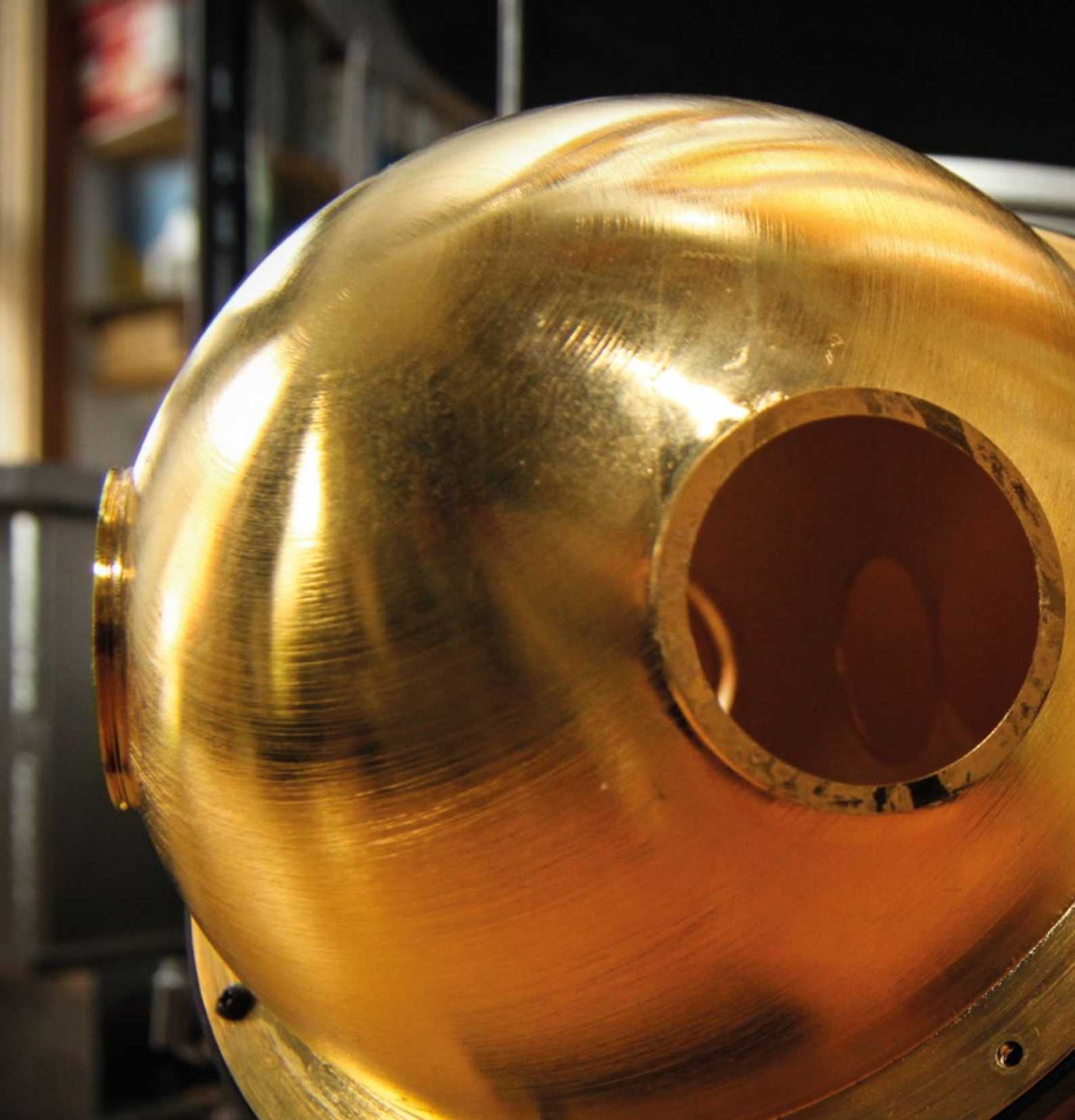



**BESUCHER IN HOF**

- Japanische Delegation aus Fukushima (09.03.2016)
- AK Schule-Wirtschaft (05.04.2016)
- Abgeordnete des Europaparlaments (15.04.2016)
- Mitarbeiter Zentrum Digitalisierung Bayern (04.08.2016)
- Mitarbeiter Forschungsstelle für Energiewirtschaft (05.08.2016)
- Bürgerinitiative „Fichtelgebirge sagt nein“ (22.08.2016)
- Freie Wähler Oberpfalz (16.09.2016)
- Delegierte aus Villeneuve-la-Garenne (französischen Partnerstadt der Stadt Hof) (25.09.2016)
- Bürger der Stadt Arzberg im Rahmen einer Bürgerveranstaltung (13.10.2016)
- Bürgerinitiative „Speichersdorf“ (21.10.2016)
- Polnische Delegation Hochschulprofessoren unter Führung TU Bialystok (25.11.2016)
- PV-Gutachter, Workshop (29.11.2016)
- Mitglieder VDE-AK EV4.0 (12.12.2016)
- Filmteam Areva zu Filmaufnahmen für Imagefilm (20.12.2016)

**VISITORS TO HOF**

- Delegation from Fukushima, Japan (09/03/2016)
- Work Group School Economy (05/04/2016)
- Members of the European Parliament (15/04/2016)
- Associates of Zentrum Digitalisierung Bayern (center for digitalisation Bavaria) (04/08/2016)
- Associates of Research Center for Energy Economics (05/08/2016)
- Citizens' initiative "Fichtelgebirge says no" (22/08/2016)
- "Freie Wähler Oberpfalz" (political party Freie Wähler Upper Palatinate) (16/09/2016)
- Delegation from Villeneuve-la-Garenne, Hof's French partner city (25/09/2016)
- Citizens of the city of Arzberg for a citizens' meeting (13/10/2016)
- Citizens' initiative "Speichersdorf" (21/10/2016)
- Delegation from Poland, university professors TU Bialystok (25/11/2016)
- PV specialists' workshop (29/11/2016)
- Members of VDE-AK EV4.0 (12/12/2016)
- Film team from Areva, working on image film (20/12/2016)





---

Angewandte IR-Metrologie  
Applied IR Metrology

---

Energieoptimierte Gebäude  
Energy-Optimised Buildings

---

Nanomaterialien  
Nanomaterials

---

Solar-Hybride Systeme  
Solar Hybrid Systems

---

Thermische Analyse  
Thermal Analysis

---

Solarfabrik der Zukunft  
Solar Fab of the Future

---

PV-Systeme  
PV Systems

---

Bildgebende Verfahren und Thermosensorik  
Imaging and Thermosensorics

---

Smart Grids  
Smart Grids

---

Systementwicklung  
Systems Engineering

---

Solarthermie und Geothermie  
Solar Thermal and Geothermal

---

Thermische Energiespeicher  
Thermal Energy Storage

---

Elektrochemische Energiespeicher  
Electrochemical Energy Storage

---

Wärmetransformation  
Heat Conversion

## 2.0 FORSCHUNG AM ZAE BAYERN RESEARCH AT ZAE BAYERN



## 2.0

# FORSCHUNG AM ZAE BAYERN

## RESEARCH AT ZAE BAYERN

Unser Energiesystem besitzt eine sehr komplexe Struktur mit verschiedenen stark vernetzten Komponenten. Dies reicht von der Bereitstellung der Energie über Speicherung und Transport bis zu ihrer Verwendung. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt insbesondere in der Zusammenarbeit seiner interdisziplinär vernetzten Arbeitsgruppen, die konsequent Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung betreiben. Diese ungewöhnliche Breite resultiert einerseits aus der traditionellen Kooperation mit den benachbarten Hochschulen, andererseits aus der Kooperation mit Partner aus der Industrie. Grundlagenorientierte Forschungsprojekte werden, ebenso wie konkrete Umsetzungsprojekte, auf bayerischer, nationaler und internationaler Ebene zusammen im Spannungsfeld zwischen öffentlichen Stellen und der Wirtschaft durchgeführt. Die Kernkompetenzen des ZAE Bayern, Erneuerbare Energien, Energiespeicherung und Energieeffizienz, besitzen große gesellschaftliche Relevanz. Sich mit diesen Themen zu befassen, ist unabdingbar für einen erfolgreichen Umbau des Energiesystems hin zu einer möglichst CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung durch den synergetischen Einsatz von Erneuerbaren Energien und Energieeffizienztechnologien.

Das ZAE Bayern versteht sich in seinen Tätigkeitsfeldern als Innovationstreiber und erfährt seit Jahren große nationale und internationale Anerkennung. Am ZAE arbeiten Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen, wie z. B. Physik, Chemie, Maschinenbau, Informatik oder Geologie, die sich in ihren Kompetenzen hervorragend ergänzen. Sie besitzen umfassendes Wissen über die Funktionsweisen neuer Materialien sowie Einzelkomponenten und betrachten gleichzeitig die Systemebene. Viele Synergien in Forschung und Entwicklung können erst durch die Verknüpfung dieser beiden Ebenen erschlossen werden.

Our energy system has a very complex structure exhibiting different levels of cross-linking of individual components along the chain ranging from energy production over energy storage and transport to energy consumption. The main strength of ZAE Bayern research lies in the synergetic interaction of its research groups consistently covering all the relevant fields and stages of research and development, from basic to applied ones. Such a unique research portfolio results from the long-term cooperation with the neighbouring universities on the one hand and with the industrial partners on the other. ZAE carries out numerous basic as well as applied research projects on Bavarian, national and international levels in the tension field between public authorities and economic interests. ZAE Bayern's core competences, such as renewable energies, energy storage and energy efficiency are not only scientifically challenging but are of high social relevance, too. These topics are all crucial for a successful conversion of the energy system towards a CO<sub>2</sub>-neutral power supply via synergetic use of renewable energies and energy efficiency technologies.

ZAE Bayern considers itself as one of the prime innovators in the field of energy research and has been enjoying a high national and international reputation for several decades now. Scientists working at ZAE come from different disciplines, physics, chemistry, mechanical engineering, material and computer sciences and geology, perfectly complementing each other's competences. They combine comprehensive know-how on new materials and components with the system approach. ZAE is convinced that only by combining these two levels, synergies in research and development can be fully developed.

## 2.1 MASSNAHMEN ZUR CO<sub>2</sub>-MINDERUNG IM DEUTSCHEN ENERGIESYSTEM DECARBONISATION MEASURES FOR THE GERMAN ENERGY SYSTEM

Autor | Author

A. Teuffel, M. Rzepka

Ansprechpartner | Contact

**Amadeus Teuffel**  
Systementwicklung  
Systems Engineering

**Dr. Matthias Rzepka**  
Stellv. Gruppenleiter  
Systementwicklung  
Deputy Head of Group  
Systems Engineering

Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-39  
amadeus.teuffel@zae-bayern.de

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

Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft und Medien,  
Energie und Technologie

Aus der Diskussion um die globale Klimaerwärmung ergeben sich Bestrebungen, den anthropogenen Kohlendioxid-Ausstoß zu reduzieren. Der Energiesektor machte 2014 mit 84,5% den größten Anteil der Kohlendioxidemissionen in Deutschland aus [1]. Folglich ist er Gegenstand zahlreicher Untersuchungen zu Möglichkeiten, diese Emissionen zu reduzieren. Der Ausbau Erneuerbarer Energien im Rahmen der deutschen Energiewende leistet mit einem Investitionsvolumen von rund 15 Mrd.€ im Jahr 2015 [2] bereits heute einen großen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesektors.

Am ZAE Bayern wurde mit eSYS.pro ein Energiesystemmodellierungsframework entwickelt, mit dessen Hilfe gemischt-ganzzahlig-lineare Optimierungsmodelle zur Bearbeitung verschiedenster Fragestellungen im Rahmen der Energiewende erstellt werden können.

Der Fokus lag dabei auf Untersuchungen zum Vergleich von CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im Energiesektor. Ausgehend vom Energiesystemmodell Deutschland 2015 haben die Forscher am ZAE Bayern die Auswirkungen von Investitionen in verschiedene Maßnahmen auf die Menge der CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht.

The debate on climate change has led to various efforts aiming at the reduction of anthropogenic carbon dioxide emissions. In 2014, the energy sector caused, at 84.5%, the biggest share of total carbon dioxide emissions in Germany [1]. Hence it is the subject of intense research on how to reduce these emissions. The expansion of renewable energies in the German Energiewende, with its investment volume of about € 15 b in 2015 [2], is already making a big contribution to this decarbonisation of the energy sector.

ZAE Bayern has developed eSYS.pro, a framework for energy system modelling capable of creating and optimizing mixed-integer programming models, to answer various questions the Energiewende brings up. Focus was put on the comparative analysis of decarbonisation measures in the energy sector. Based on a model of Germany's energy system in 2015, the quantitative effects on CO<sub>2</sub> emissions of investments in different measures were examined.

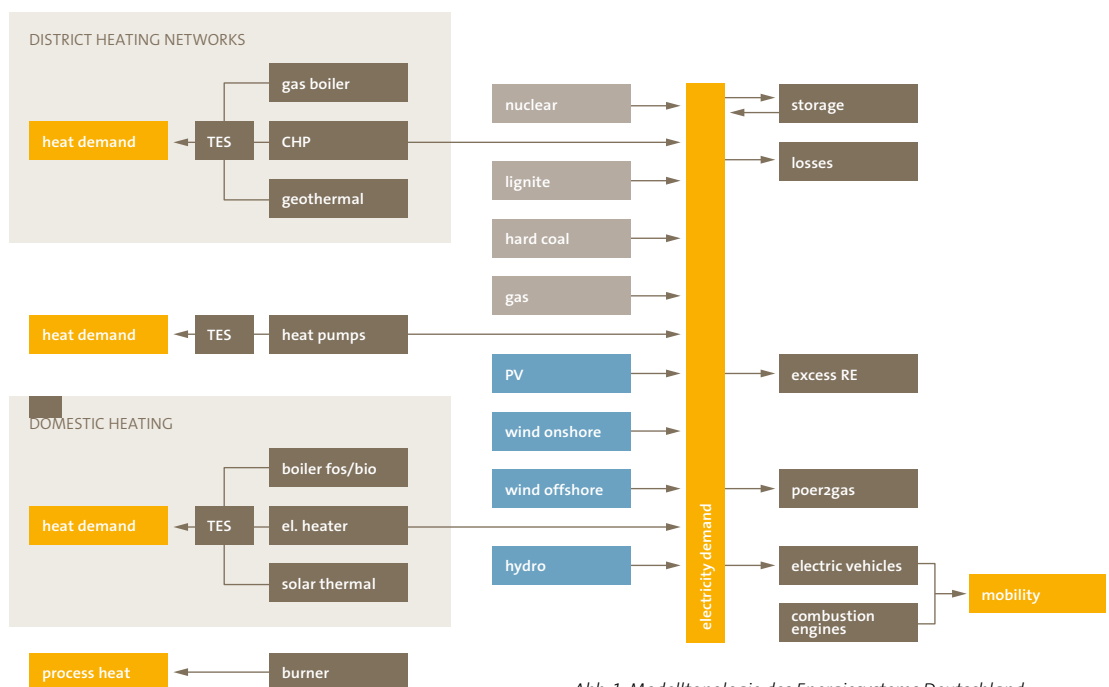


Abb. 1: Modelltopologie des Energiesystems Deutschland  
Fig. 1: Model topology of the German energy system

In Abb. 1 ist die dabei verwendete Modelltopologie dargestellt. Das deutsche Energiesystem wurde umfassend, mit den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität, abgebildet und in einer Jahressimulation in einer 15-Minuten-Auflösung optimiert. Folgende Maßnahmen zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen wurden dabei in Betracht gezogen:

- Ausbau Erneuerbarer Energien
  - Wind (onshore und offshore)
  - Photovoltaik
  - Solarthermie
- Effizienzmaßnahmen
  - Wärmedämmung im Gebäudebestand
  - Elektromobilität
  - Elektrische Wärmepumpen

Ausgehend von Investitionen in Höhe von jeweils 10 Mrd. € wurden die Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Haushalt vergleichend untersucht. Wie in Abb. 2 zu erkennen ist, besitzen die verschiedenen Technologien unterschiedliche Potentiale zur Reduktion von Kohlendioxidemissionen. Die Fehlerbalken geben jeweils die Unsicherheiten in den Annahmen zu den spezifischen Investitionskosten der einzelnen Technologien wieder. Für das Jahr 2015 ergaben sich die größten CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale beim Ausbau Erneuerbarer Energien. In Anlehnung an die Annahmen der BMU-Leitstudie 2011 [3] wurden die Berechnungen auch für das Jahr 2050 durchgeführt und den Ergebnissen für das Jahr 2015 in Abb. 2 gegenübergestellt. Im Jahr 2050 verschiebt sich das Hauptpotential für Dekarbonisierung, durch die bereits fortgeschrittene Integration Erneuerbarer Energien und sinkende Investitionskosten, hin zu Effizienzmaßnahmen wie Energieeinsparungen durch Wärmedämmung und Elektromobilität. Unsicherheiten bezüglich der spezifischen Investitionskosten sind für 2050 entsprechend größer als für 2015. Energiespeicher zur Systemintegration werden aufgrund der steigenden Anteile Erneuerbarer Energien in Zukunft benötigt werden.

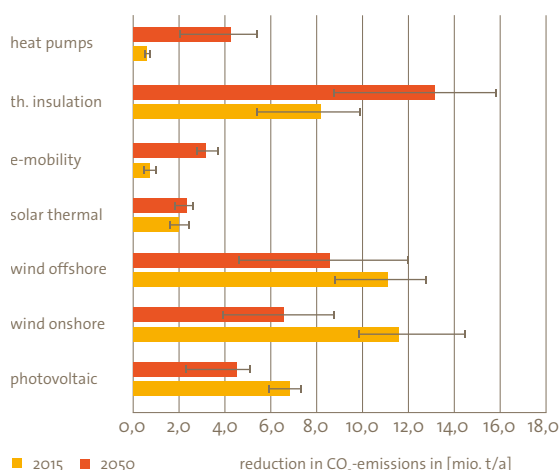
Abb. 2: CO<sub>2</sub>-Minderungspotential verschiedener Maßnahmen im Vergleich

Fig. 2: Decarbonisation potential of investigated measures

Fig. 1 shows the model topology used. The German energy system was comprehensively modelled with its sectors electricity, heat, and mobility and optimised using a one-year simulation with a 15-minute temporal resolution. The following decarbonisation measures were taken into consideration:

- expansion of renewable energies
  - wind onshore and offshore
  - photovoltaics
  - solar thermal
- efficiency measures
  - thermal insulation of existing buildings
  - e-mobility
  - electrical heat pumps

Based on hypothetical investments of € 10 b each, the effects of these measures on CO<sub>2</sub> levels were compared. Fig. 2 shows the respective decarbonisation potentials of the technologies. The error bars reproduce the uncertainties of the specific investment cost for each technology. For 2015, the expansion of renewables had the biggest potential for decarbonisation. Based on the BMU's *Leitstudie 2011* [3], the calculations were performed for the year 2050 and compared to the 2015 numbers in Fig. 2. By 2050, the main potential for decarbonisation will have shifted towards efficiency measures like heat insulation and e-mobility because of the, by then advanced, integration of renewables and falling investment cost. Consequently, uncertainties regarding specific investment cost are bigger for 2050 than they are for 2015. Energy storages will be necessary for the system integration of renewable energies with growing market shares.



#### Literatur | References

[1] Umweltbundesamt: Nationales Treibhausgasinventar 2016, [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

[3] Nitsch et al. „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.“ Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Stuttgart, 2012.

## 2.2

# EFFIZIENZSTEIGERUNG VON HOCH- TEMPERATURPROZESSEN IN KRAFTWERKEN

## INCREASING THE EFFICIENCY OF HIGH- TEMPERATURE PROCESSES IN POWER PLANTS

### Autor | Author

**J. Manara, M. Arduini, T. Stark,  
M. Zipf**

### Ansprechpartner | Contact

**Dr. Jochen Manara**  
Gruppenleiter  
Angewandte IR-Metrologie  
Head of Group  
Applied IR Metrology

### Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

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

### Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirt-  
schaft und Energie  
(FKZ 03ET7082A)

### Kooperationspartner | Partners

Techno Team Bildverarbeitung  
GmbH  
Rauschert Heinersdorf-Pressig  
GmbH  
Hochschule für angewandte  
Wissenschaften Würzburg-  
Schweinfurt (FHWS)

Fossile Brennstoffe werden trotz der Anstrengungen im Bereich der erneuerbaren Energien auch in absehbarer Zukunft wichtige Energiequellen bleiben. Diese Ressourcen sind jedoch begrenzt, ihr Einsatz ist mit CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden. Daraus erwächst die Notwendigkeit, die Energiekonversion durch Verbrennung fossiler Energieträger so effizient wie möglich zu betreiben. Gemäß des Carnot'schen Kreisprozesses verbessert sich der Wirkungsgrad thermischer Prozesse mit steigender Konversionstemperatur. Daher wird derzeit an weiteren Erhöhungen der Betriebstemperaturen fossil betriebener Kraftwerke geforscht und es werden neue, temperaturstabilere Materialien entwickelt. Konkret handelt es sich dabei z. B. um keramische Wärmedämmschichten, sogenannte Thermal Barrier Coatings (TBCs). Diese schützen die vornehmlich metallischen Grundkomponenten der Kraftwerke vor übermäßiger Hitzeeinwirkung und ermöglichen so Betriebstemperaturen nahe oder sogar über dem Schmelzpunkt der Metallsubstrate. Wichtige, zu erfassende Parameter für die Anwendung solcher TBCs im Kraftwerksbereich sind die Brenngastemperatur [1], die Oberflächentemperatur der Turbinenschaufeln [2] sowie die thermophysikalischen Eigenschaften der TBCs [3] und schließlich auch die Haftung der Hochleistungskeramiken auf den zu schützenden metallischen Substraten [4].

Despite all efforts made in the field of renewable energies, fossil fuels will remain important energy sources for the foreseeable future. However, these resources are limited and their use causes CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, conventional energy conversion needs to be run as efficiently as possible. According to Carnot's cycle, the efficiency of thermal processes grows with increasing conversion temperature. Consequently, research is currently performed to further increase the operating temperature of fossil fuel power plants and new, more temperature stable materials are being developed. Such materials are, for example, ceramic based thermal barrier coatings (TBCs). They serve to protect the primarily metallic components of the plants from excessive heat and thus allow for operating temperatures close to or even above the melting point of the metal substrates. Important parameters for the application of TBCs in power plants are the combustion gas temperature [1], the surface temperature of the turbine blades [2], the thermophysical properties of the TBCs [3], and finally the adhesion of the high-performance TBCs to their protected substrates [4].

ZAE Bayern is developing and improving measuring procedures for the reliable and precise determination of the above-mentioned characteristics at high temperatures (Fig. 1). For this purpose, various apparatuses are available to characterise layer systems at temperatures up to and above 2000 °C. For example, they allow for the determination of the emittance of surfaces, an important parameter for a turbine's efficiency, or for contactless determination of the adhesion of TBCs to the substrate, important for the lifespan of the turbine blades. The transmittance of the layer serves as a measure for the transfer of thermal radiation through the TBC before and after heat treatment (Fig. 2). The findings can, in combination with radiation thermometry in different spectral regions, help with the non-destructive and timely detection of initial delamination of ceramic based TBCs.

ZAE Bayern has comprehensive expertise in the development and characterisation of high-temperature materials with outstanding infrared-optical and thermal properties, which is constantly expanded in projects and cooperations. Current activities in this area are taking place inter alia within the framework of the project "Thermal Barrier Coatings with Optimised Adhesion for Energy Efficient Stationary Turbine En-

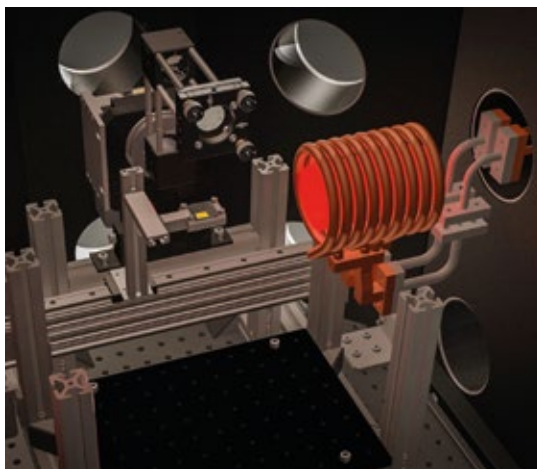


Abb. 1: Messaufbau mit Induktionsheizung (rechts im Bild) und verfahrbarer Probe (mittig im Bild) zur Durchführung spektrometrischer Messungen unter definierten Umgebungsbedingungen  
Fig. 1: Measurement setup with induction heating (right) and movable sample (middle) for carrying out spectrometric measurements under defined environmental conditions



Am ZAE Bayern werden Messverfahren aufgebaut und weiterentwickelt, mit deren Hilfe die genannten Kenndaten von TBCs bei hohen Temperaturen zuverlässig und mit höchster Genauigkeit bestimmt werden können (Abb. 1). Dazu stehen verschiedene Apparaturen zur Verfügung, mit denen die Schichtsysteme unter Betriebsbedingungen bei Temperaturen bis über 2000 °C charakterisiert werden können. Beispielsweise werden damit der Emissionsgrad der Oberfläche als wichtiger Parameter für die Effizienz einer Turbine bestimmt oder berührungslos die Haftungseigenschaften der Wärmedämmschichten als wesentliche Kenngröße für die Lebensdauer von Turbinenschaufeln ermittelt. Als Maß für den Durchgang von Wärmestrahlung durch eine keramische Wärmedämmschicht vor und nach einer Wärmebehandlung dient der gemessene Transmissionsgrad der Schicht (Abb. 2). Die gewonnenen Ergebnisse können, zusammen mit dem Einsatz strahlungsthermometrischer Verfahren in unterschiedlichen Spektralbereichen, zur zerstörungsfreien und frühzeitigen Erkennung beginnender Delaminationen keramischer Wärmedämmschichten dienen.

Das ZAE Bayern besitzt auf dem Gebiet der Materialentwicklung und -charakterisierung von Hochtemperaturwerkstoffen mit herausragenden infrarot-optischen und thermischen Eigenschaften eine umfassende Expertise. Diese wird in laufenden Projekten und Kooperationen stetig erweitert. Aktuell arbeitet das ZAE Bayern z. B. mit Industrie- und Hochschulpartnern im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts „Wärmedämmschichten mit optimierten Haftungseigenschaften für energieeffiziente Kraftwerksturbinen (OptiTBCs)“ zusammen. In enger Kooperation mit Prof. Dr. Hartmann von der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt betreibt es das gemeinsame Forschungslabor Opto-thermische Sensorik.

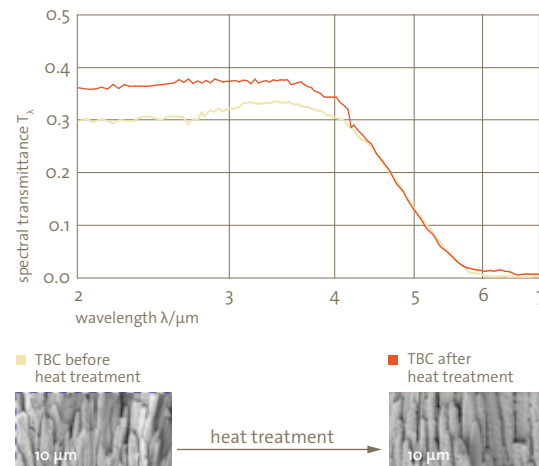


Abb. 2: Spektraler Transmissionsgrad einer 300 µm dicken keramischen Wärmedämmschicht. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen die Schicht vor und nach der Wärmebehandlung  
Fig. 2: Spectral transmittance of a 300 µm thick ceramic based TBC. Scanning electron micrographs show the coating before and after heat treatment

gines (OptiTBCs)“, funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy in cooperation with industrial and university partners. Also, in close cooperation with Prof. Dr. Hartmann of the University of Applied Science Würzburg-Schweinfurt, ZAE Bayern is running the joint research laboratory for Opto-Thermal Sensor Technology.

#### Literatur | References

- [1] M. Zipf, Non-Contact Temperature Measurement of Combustion Gases at High Temperatures and High Pressures, TEMPMEKO 2016 (XIII International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science), Zakopane, Poland, 26.06.–01.07.2016.
- [2] J. Manara, Long Wavelength Infrared Radiation Thermometry for Non-Contact Temperature Measurements in Gas Turbines, TEMPMEKO 2016 (XIII International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science), Zakopane, Poland, 26.06.–01.07.2016.
- [3] J. Manara, Development and Validation of a Long Wavelength Infrared (LWIR) Radiation Thermometer for Contactless Temperature Measurements in Gas Turbines During Operation, GTI 2016 (The EVI-GTI and PIWG joint conference on Gas Turbine Instrumentation), Berlin, Germany, 27.–29.09.2016.
- [4] J. Manara, A Novel Approach for Non-Destructive Testing of the Adhesion of Thermal Barrier Coatings, IGTC 2016 (8th International Gas Turbine Conference), Brussels, Belgium, 12.–13.10.2016.

## 2.3 SOLARES HEIZ- UND KÜHLSYSTEM FÜR NORD- UND MITTELEUROPA SOLAR HEATING AND COOLING SYSTEM FOR NORTHERN AND CENTRAL EUROPE

Autor | Author

**M. Helm, F. Menhart**

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 Wirtschaft und Energie

(FKZ 03ET1231A)

Kooperationspartner | Partners

VTT Technical Research Centre of Finland

SAVO SOLAR Oy, Finland

Im Rahmen eines deutsch-finnischen Forschungsprojektes hat das ZAE Bayern zusammen mit den finnischen Partnern VTT Technical Research Centre of Finland und Savo Solar Oy ein solarthermisches Heiz- und Kühlsystem entwickelt, das die Wärme- und Kälteversorgung eines Bürogebäudes in Mikkeli, Finnland, gewährleistet [1]. Das Herzstück der Anlage bildet eine multivariable Absorptionskältemaschine (AKM) mit Nennkälteleistung von 10 kW sowie zusätzlicher Wärmepumpenfunktion und integriertem Hydraulikmodul mit intelligenter Regel- und Steuereinheit (Abb. 1). Als Hauptwärmequelle dienen 18 marktübliche Flachsolarkollektoren des finnischen Herstellers Savo Solar, deren eine Hälfte mit am ZAE Bayern neu entwickelten Glas-Folien-Verbundelementen ausgestattet ist [2] (s. Kap. 2.9). Die Sonnenkollektoren stellen im Sommer die Antriebswärme für die AKM mit Temperaturen zwischen 65 und 100 °C zur Verfügung. Bei der Nennkälteleistung der AKM von 10 kW betragen die Kaltwasservor- bzw. Rücklauftemperaturen 15 bis 10 °C, die Kühlwassertemperaturen 37 bis 45 °C und die Heißwassertemperaturen 90 bis 80 °C. Des Weiteren ist ein Pufferspeicher von 2 m<sup>3</sup> Wasservolumen mit einer am ZAE Bayern entwickelten optimierten Schichtladeeinheit integriert, um überschüssigen Solarertrag, sowohl im Kühl- als auch im Heizbetrieb, im Temperaturbereich von 5 bis 100 °C speichern zu können [3]. Als Backupwärme-

Framed by a German-Finnish research project, ZAE Bayern and its Finnish partners VTT Technical Research Centre of Finland and Savo Solar Oy have developed a solar thermal heating and cooling system providing heat and cold to an office building in Mikkeli, Finland [1]. The heart of the system is a multi-variable 10 kW absorption chiller with additional heat pump functionality and an integrated hydraulic module with intelligent control unit (Fig. 1).

18 standard solar flat plate collectors of Finnish manufacturer Savo Solar serve as the main heat source, half of them equipped with a glass-film composite newly developed by ZAE Bayern [2] (Ch. 2.9). During summer, these collectors supply the absorption chiller's driving heat at temperatures ranging from 65 to 100 °C. At its nominal chilling load of 10 kW, the cold water feed and return flow temperatures range from 15 to 10 °C, the cooling water temperature from 37 to 45 °C, and the hot water temperature from 90 to 80 °C. Additionally, a 2 m<sup>3</sup> water buffer storage with an optimised loading unit, developed by ZAE Bayern, was integrated to allow for the storage of excess solar yield during cooling and heating at a temperature range between 5 and 100 °C [3]. District heat serves as a backup heat source. Also, the integrated dry air cooler allows for free cooling, especially during the morning hours. Fig. 2 shows the ratio of cold produced and driving heat required, called the coefficient of performance (COP).

At a chilling load of 3 kW, 30% of the nominal load, the COP<sub>cold</sub> is already over 0.7 and rises further to 0.8, proving the system's excellent adaptability to part load conditions. For a cooling load of 2 kW and above, the system reaches an energy efficiency ratio (EER<sub>cold</sub>), depicting the relation between electric consumption and cold production, of 8 to 12. At very small cooling loads below 1 kW, EER<sub>cold</sub> drops steeply (Fig. 3) since components such as the pump etc. cannot be throttled any further, as would be necessary.

For the time between Summer and Winter, the flat plate collectors act as a direct building heat source (temperature of about 35 °C) or as a low temperature heat source for the heat pump, which is driven by district heat in such cases. With its help, the buffer storage can be cooled down to a temperature of about 5 °C. Therefore, even during shoulder season with its low irradiation levels and ambient temperatures, significant solar yield can be achieved. During heating season, the COP<sub>heat</sub> of heat supply ranges between 1.4

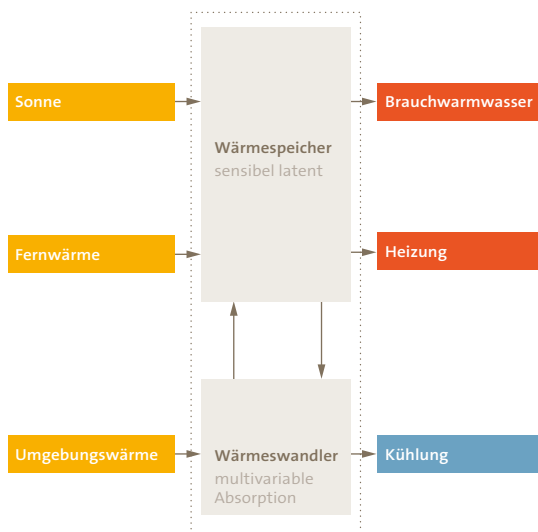


Abb. 1: Innovatives Energiesystem für Solarenergie, Kühlung und Brauchwarmwasserbereitung

Fig. 1: Innovative energy system for solar heating, cooling and domestic hot water preparation

quelle kommt Fernwärme zum Einsatz. Zudem besteht die Möglichkeit, den trockenen Rückkühler zur freien Kühlung, vor allem in den Morgenstunden, zu verwenden. Abb. 2 zeigt Messdaten des Verhältnisses der Kälteleistung zur aufgewandten Antriebswärme (Coefficient of Performance COP).

Bei einer Kälteleistung von 3 kW, also 30 % der Nennleistung, wird bereits ein  $COP_{\text{Kälte}}$  von über 0,7 erreicht, welcher bis auf 0,8 ansteigt. Dies unterstreicht die sehr gute Teillastfähigkeit des Systems. Im Kälteleistungsbereich ab 2 kW wird für das Gesamtsystem bereits ein Energy Efficiency Ratio ( $EER_{\text{Kälte}}$ ), welches das Verhältnis des elektrischen Verbrauchs zur Kälteproduktion darstellt, zwischen 8 und 12 erreicht. Bei sehr geringen Kälteleistungen von weniger als 1 kW sinkt das  $EER_{\text{Kälte}}$  stark ab (Abb. 3), da in diesem Bereich die Pumpleistung etc. nicht wie notwendig weiter reduziert werden können.

In der Übergangszeit von Sommer zu Winter dienen die Flachkollektoren als direkte Wärmequelle für die Gebäudeheizung (Temperatur ca. 35°C) oder als Niedertemperaturwärmequelle für die Absorptionswärmepumpe, welche in diesem Fall mittels Fernwärme angetrieben wird. Über sie kann der Pufferspeicher bis auf eine Temperatur von etwa 5°C abgekühlt werden. Somit ist es auch in der Übergangszeit möglich, trotz geringer Einstrahlung und niedriger Umgebungstemperaturen einen signifikanten Solarertrag zu erwirtschaften. Während der Heizperiode liegt der  $COP_{\text{Wärme}}$  der Wärmebereitstellung zwischen 1,4 und 1,6 und der  $EER_{\text{Wärme}}$  der Wärmebereitstellung zwischen 15 und 20. Die Gesamteffizienz des Systems ist somit bereits im ersten Betriebsjahr sehr positiv zu bewerten.

Das Energiesystem wird vom ZAE Bayern weiterhin wissenschaftlich betreut und hinsichtlich solarem Deckungsanteil und Hilfsenergiebedarf optimiert.

and 1.6, its  $EER_{\text{heat}}$  between 15 and 20. The system's overall efficiency during the first year can therefore be regarded very positively.

ZAE Bayern will carry on the scientific supervision of the system and its optimisation in terms of solar energy coverage and demand for auxiliary energy.

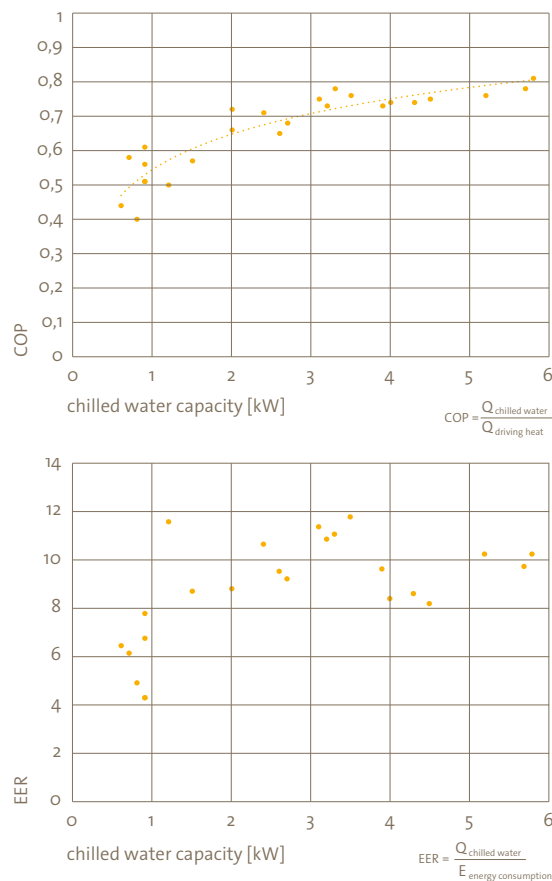


Abb. 2: Coefficient of Performance (COP) der Kältebereitstellung in Abhängigkeit der Kälteleistung

Fig. 2: Coefficient of performance (COP) depending on chilled water capacity

Abb. 3: Energy Efficiency Ratio (EER) der Kältebereitstellung in Abhängigkeit der Kälteleistung

Fig. 3: Energy Efficiency Ratio (EER) depending on chilled water capacity

#### Literatur | References

- [1] F. Reda et al., Energy assessment of solar cooling thermally driven system configuration for an office building in a Nordic country, *Applied Energy* 166, pp. 27–43, 2016.
- [2] P. Osgyan et al., Universelle ökonomische Zweitabdeckung zur Steigerung der Leistung von Flachkollektoren, 26. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, April 2016.
- [3] F. Herzog et al., Experimentelle Untersuchung von Schichtladeeinrichtungen großer Solarspeicher, 22. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2012.

## 2.4 MULTIFUNKTIONALE TESTRÄUME AM ENERGY-EFFICIENCY-CENTER MULTIFUNCTIONAL TESTING ROOMS AT THE ENERGY EFFICIENCY CENTER

Autor | Author

S. Weismann, M. Reim,  
B. Chhugani

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Phys. Stephan Weismann  
Gruppenleiter  
Energieoptimierte Gebäude  
Head of Group  
Energy-Optimised Buildings

Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564-338  
stephan.weismann@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirt-  
schaft und Energie (03ET1245A)

Kooperationspartner | Partners

Lang Hugger Rampp GmbH  
PGG GmbH – Planungsgruppe  
für Gebäudetechnik  
Siemens AG  
Warema Renkhoff SE

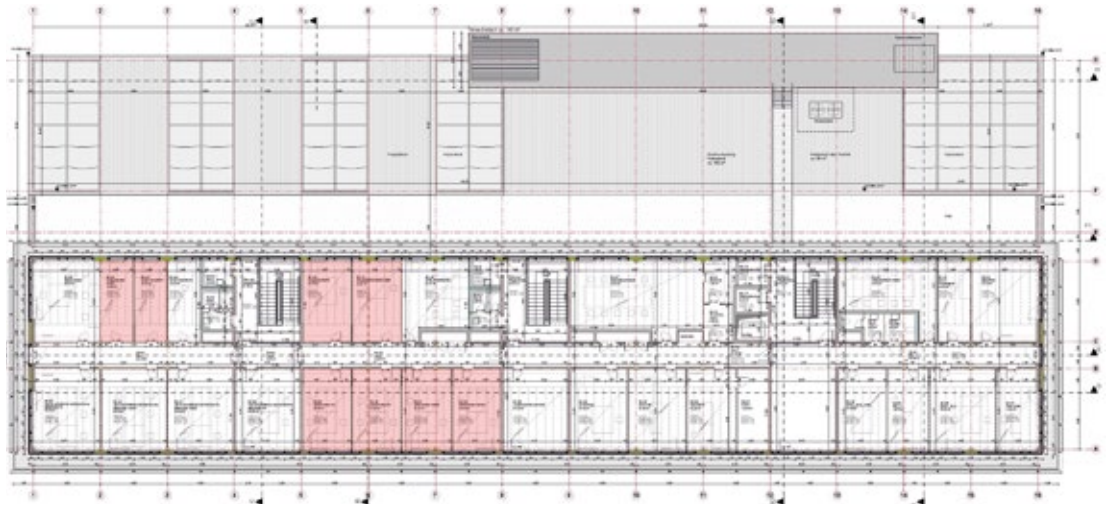


Abb. 1: Monitoring-Räume am EEC (rot hervorgehoben): 2 (fast) baugleiche Raumpaare auf der Nordseite und 4 (fast) baugleiche Räume auf der Südseite

Fig. 1: Monitoring rooms of the EEC (highlighted in red), two (almost) identical rooms on the north side, four on the south side

Im Energy Efficiency Center (EEC) in Würzburg ist der Bereich Energieeffizienz des ZAE Bayern untergebracht. Das Forschungs- und Experimentiergebäude beinhaltet Büroräume, Labor- und Technikräume sowie die nötige Infrastruktur für die Forschungsaktivitäten des ZAE Bayern. Das EEC wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Forschungsprojekts „EnOB – Forschung für Energieoptimiertes Bauen“, vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie aus Mitteln des Konjunkturpakets II sowie der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern und Landesmitteln gefördert.

Zahlreiche Innovationen, die am ZAE Bayern entwickelt wurden, sind im EEC unter einem Dach implementiert. Als passive Komponenten sind beispielsweise ein Membrandach, Vakuumisulationspaneele und hochdämmende, aerogelgefüllte Tageslichtelemente verbaut. An aktiver Technik kommen Lüftungsanlagen mit Sorptionstechnik, eine energieeffiziente regenerative Kälteanlage (PINC) sowie eine Heiz-/Kühldecke mit Phasenwechselmaterialien zum Einsatz [1]. Um sowohl die installierten Systeme als auch künftige Technologien möglichst einfach und schnell im realen Gebäudebetrieb testen zu können, sind im EEC einige Büroräume mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. Bereits bei der Grundrissplanung wurden diese sog. Monitoringräume berücksichtigt,

The Energy Efficiency Center (EEC), located in Würzburg, is home to ZAE Bayern's division Energy Efficiency. The research and experimentation site contains office spaces, laboratories, and utility rooms as well as the necessary infrastructure for ZAE's research activities. The EEC was funded by the German Ministry for Economic Affairs and Energy as part of the project "EnOB", by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, by the high-tech offense *Zukunft Bayern*, and with state funds.

Several innovations developed by ZAE Bayern were implemented under one roof at the EEC. Passive components are, for example, a membrane roof, vacuum insulation panels, and highly insulating aerogel-filled daylight elements; active ones are a ventilation system with sorption technology, an energy-efficient regenerative refrigeration system (PINC), and heating/cooling ceilings with phase change materials (PCM) [1]. To allow for the quick and simple testing of the installed as well as of future technologies under realistic conditions, several offices in the EEC have been equipped with extensive measuring technology. These so-called monitoring rooms were already considered during the planning phase of the building, so they would be as identical as possible and available for both main orientations (North and South) (Fig. 1). The rooms have been equipped with temperature

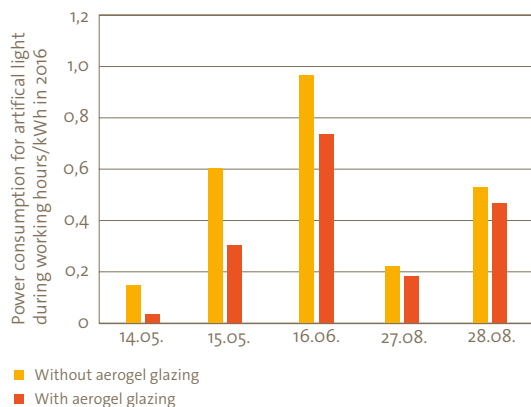


Abb. 2: Vergleich des elektrischen Strombedarfs für die Beleuchtung von zwei identischen Räumen, einem mit und einem ohne Aerogelverglasung

Fig. 2: Comparison of the power consumption for the illumination of two identical rooms with and without aerogel glazing

damit stets möglichst baugleiche Räume für die Hauptorientierungen (Nord und Süd) zur Verfügung stehen (Abb. 1). Die Räume sind mit Temperatursensoren und Wärmeflussmessern in Wänden und Decken, Beleuchtungsstärke Sensoren und Präsenzdetectoren ausgestattet. Der Wärme- und Kältebedarf sowie der Nutzereingriff in die Sollwerte für Temperatur und Sonnenschutz werden ebenfalls raumweise aufgezeichnet.

Im Jahr 2016 wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Warema Renkhoff SE die Steuerung des Sonnenschutzes und der Wochenendabsenkung in der Übergangszeit optimiert. Dies erfolgte auf Basis der Ergebnisse einer Nutzerumfrage zu Temperatur und Sonnenschutz unter den Mitarbeitern des ZAE [2]. Unter anderem wurde die Anzahl der Nutzereingriffe bei vergleichbaren Wetterbedingungen [3] ausgewertet. So konnte die Wirksamkeit der Optimierung kontrolliert werden (Abb. 2). Weiterhin wurde der Einfluss der in der Raumtiefe angebrachten, horizontalen Aerogelverglasung auf den Strombedarf für Beleuchtung gemessen. Exemplarisch ist der Strombedarf in Abb. 2 für fünf Tage während der Arbeitszeit dargestellt. Ergänzend zu den technischen Messgrößen wird in den Räumen seit Mitte 2016 die Nutzerzufriedenheit erfasst. Dies geschieht am EEC durch regelmäßiges Abfragen des Komfortempfindens über Pop-Up-Fenster an den PC-Arbeitsplätzen.

sensors, heat flow meters in the walls and ceilings, illumination sensors, and presence detectors. Heating and cooling demand as well as user interventions concerning temperature and sun shading are also recorded for each room individually.

In 2016, in cooperation with Warema Renkhoff SE, the control strategy for the sun shading and weekend reduction were optimised for the transitional period. This was based on the outcome of a user poll on temperature and sun shading among ZAE's employees [2]. Among others, the number of user interventions at comparable weather conditions was evaluated [3]. This way, the efficiency of the optimisation was verified (Fig. 2). Also, the influence of the horizontal aerogel glazing on the amount of energy consumed for lighting was measured. Fig. 2 shows an example of the consumption during the working hours of five days. In addition to the technical measures, since mid-2016 the user friendliness has also been taken into account and measured. This is accomplished at the EEC with the help of periodic user queries via pop-up windows on the employees' computers.

#### Literatur | References

- [1] S. Weismann et al., Demonstration von Energieeffizienz und des Einsatzes erneuerbarer Energieträger am Neubau eines innovativen Forschungsgebäudes, Schlussbericht, FKZ 0327879A, 2014.
- [2] M. Reim et al., Daylighting and Shading of the Energy Efficiency Center – Monitoring Results and User Acceptance, Proc. CISBAT 2015 - Vol. I, 247–252.
- [3] M. Reim et al., Control Strategies and User Acceptance of Innovative Daylighting and Shading Concepts, EUROSUN 2016, Palma de Mallorca, Spain, 11.–14.10.2016.

## 2.5

# UNTERSUCHUNG DER THERMISCHEN SPEICHERFÄHIGKEIT ANWENDUNGSNAHER KOMponentEN

## ANALYSIS OF THE THERMAL STORAGE CAPACITY OF APPLICATION-ORIENTED COMPONENTS

Autor | Author

**M. Brütting, S. Vidi**

Ansprechpartner | Contact

**Dipl.-Phys. Stephan Vidi**

Gruppenleiter  
Thermische Analyse  
Head of Group  
Thermal Analysis

Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

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

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
(FKZ 03ESP230A)

Kooperationspartner | Partners

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)  
Netzsch Gerätebau GmbH

Die Speicherung von Wärme und Kälte gewinnt vor dem Hintergrund des Ausbaus erneuerbarer Energiequellen zunehmend an Bedeutung. Der Verwendung von Phasenwechselmaterialien (engl. Phase Change Material – PCM) wird dabei von vielen Seiten großes Potenzial zugesprochen. Mit PCM kann Wärme reversibel in einem Phasenübergang eines Materials gespeichert werden (üblicherweise fest-flüssig). In der Messtechnik mangelt es allerdings aktuell an einer Methode, die gespeicherte Wärmemenge exakt zu bestimmen. Es gibt einerseits Kalorimeter, die nur für sehr kleine PCM-Probenmengen geeignet sind, andererseits Testräume und Demonstrationsobjekte für vollständige Systeme mit PCM. Somit standen bisher keine exakten Kenngrößen zur Verfügung, die es ermöglichten, Entwicklungszyklen zu verkürzen und Fehlinvestitionen auf Entwickler- und Verbraucherseite zu vermeiden. Daher besteht auch weiterhin erhebliches Einsparpotential hinsichtlich Energie, Zeit und Geld. Das ZAE Bayern hat nun, im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts „Entwicklung einer Messmethodik zur thermischen Charakterisierung von PCM-Wärmespeicherkomponenten (PCM Metro)“, diese messtechnische Lücke geschlossen.

Die im Projekt neu entwickelten kalorimetrischen Messmethoden sind die Heat-Flow-Meter-Kalorimetrie, die Makro-Dynamische Differenzkalorimetrie (Makro DSC), die Twin-Bath-Kalorimetrie und die Cut-Bar-Kalorimetrie. Zusammen mit den bereits etablierten Methoden wie DSC und T-History ist es nun möglich, die gespeicherte Wärmemenge und den Temperaturbereich der Speicherung von Proben im Bereich weniger Milliliter bis zu einigen Litern genau zu bestimmen. Hierbei können verschiedenste Probengeometrien und sogar beliebig geformte Probekörper untersucht werden. Dies ermöglicht es, anwendungsnahe Materialien und Systeme aus vielen Bereichen wie z. B. Gebäude, Automotive oder Gastronomie zu untersuchen. Die neuen Messmethoden beschränken sich dabei nicht auf die Untersuchung PCM basierter Materialien, sondern können zur kalorimetrischen Bestimmung beliebiger Proben und Systeme genutzt werden.

Neben der kalorischen Untersuchung ist es mit den neu entwickelten Messmethoden auch möglich, zeitlich beliebige, an die jeweiligen Anwendungen angepasste, Randbedingungen einzustellen und so

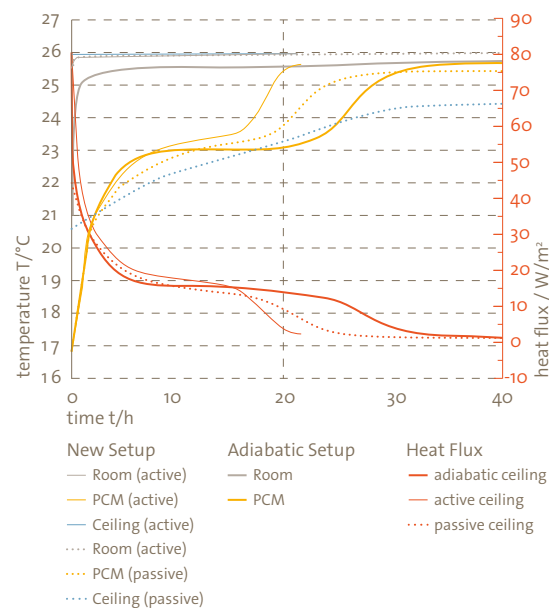


Abb. 1: Verlauf der Temperatur und des Gesamtwärmestroms in einem passiven Kühldeckenelement während eines Aufheizzyklus bei aktiver, passiver und adiabater Randbedingung

Fig. 1: Measured temperatures and heat fluxes in a passive cooling ceiling element during a heating cycle for active, passive and adiabatic ceiling boundary condition

As renewable energy sources are gaining importance, so does the storage of heat and cold. In this field, phase change materials (PCM) are generally considered to have great potential. They store heat reversibly in a phase change, usually from solid to liquid, of a material. Metrology, however, is momentarily lacking a comprehensive method to exactly quantify the amount of heat stored in samples. There are, on the one hand, calorimeters which are only usable for very small samples and, on the other hand, testing rooms and full-size demonstrators for full-size systems. Thus, there has been a lack of exact parameters for the shortening of development cycles and avoidance of misinvestments for, both, the developer and consumer. Consequently, there is still significant potential for saving energy, time, and money. ZAE Bayern has now closed this metrological gap within the project “Development of measuring methods for the thermal characterization of PCM heat storage components (PCM Metro)”, funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

The calorimetric methods newly developed within the project are heat-flow-meter calorimetry, macro

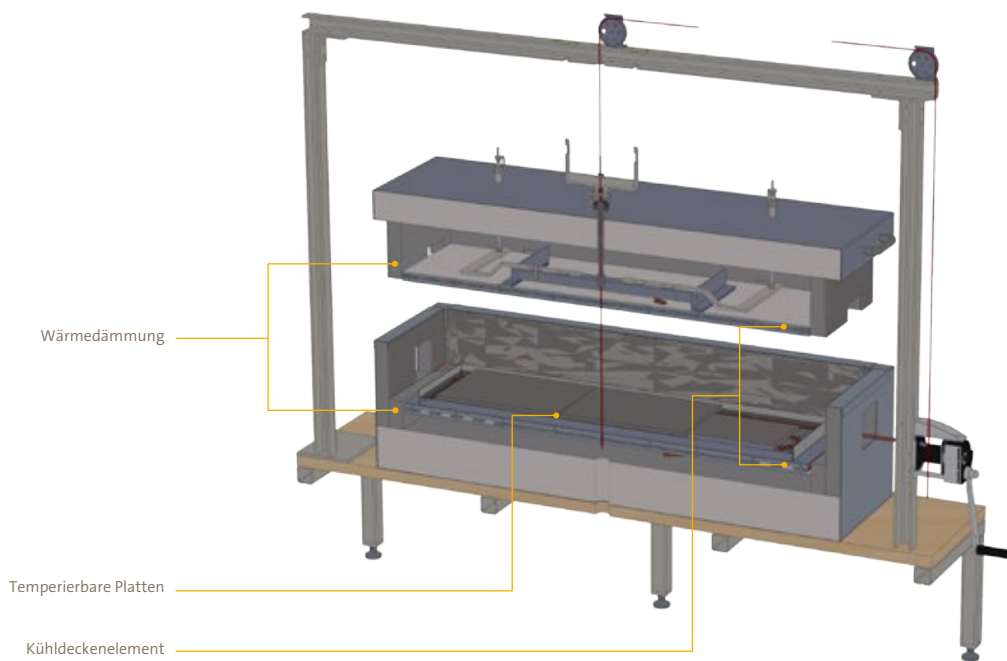


Abb. 2: Schnittzeichnung des Aufbaus zur dynamischen Charakterisierung von Kühldeckenelementen mit PCM  
 Fig. 2: Sectional drawing of the heat-flow-meter calorimeter used for characterization of PCM cooling ceilings

die Dynamik eines Systems im Anwendungsfall zu betrachten. Beispielsweise wurde das dynamische Verhalten der im Energy Efficiency Center verbauten Kühldeckenelemente in einem neu aufgebauten Heat-Flow-Meter-Kalorimeter untersucht, um den Einfluss der Elemente auf den Raum besser quantifizieren zu können.

DSC, twin bath calorimetry, and cut bar calorimetry. With the addition of already established methods, such as DSC (Differential Scanning Calorimetry) and T-History, the amount of stored heat and temperature range of the storage can now be accurately measured for sample sizes ranging from a few millilitres to several litres. Various sample geometries, even arbitrary ones, can be subject to this kind of testing. Thus, materials and systems actually used in sectors like building, automotive or catering can be analysed. The new methods are not only suitable for PCM based materials but for the calorimetric analysis of any sample or system.

Furthermore, the newly developed methods allow for the definition of boundary conditions specifically tailored to the respective application, to gain insight into the system's dynamic behaviour under working conditions. For example, the dynamic behaviour of the cooling elements installed to the Energy Efficiency Center's ceilings was examined using a newly built heat-flow-meter calorimeter in order to better quantify the influence various elements have on the room.

#### Literatur | References

- [1] C. Konstantidou et al., Eurotherm Seminar #99 Advances in Thermal Energy Storage, Lleida, Spain, 28.–30.05.2014.
- [2] M. Brütting et al., 11th IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18.–20.05.2016.
- [3] M. Brütting et al., Int. J. Thermal Sci., 100 (2016) 423–429.

## 2.6 HAUSHALTSSPEICHER UND IHR ZUKUNFTSPOTENTIAL RESIDENTIAL ENERGY STORAGES AND THEIR FUTURE POTENTIAL

Autor | Author

**J. Bogenrieder**

Ansprechpartner | Contact

**Dr. Philipp Luchscheider**

Gruppenleiter  
Smart Grids  
Head of Group  
Smart Grids

Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 9131 9398-404  
philipp.luchscheider@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft und Medien,  
Energie und Technologie  
(FKZ 20-3066-3/15)

Kooperationspartner | Partners

Areva  
Bayernwerk  
Fraunhofer IIS  
Fraunhofer IISB  
Friedrich-Alexander Universität  
Gildemeister energy solutions  
Hof Energie+Wasser GmbH  
Hochschule Hof  
IBC SOLAR AG  
Rauschert  
Rehau Energy Solutions GmbH  
SMA Solar Technology AG  
Stadt Hof  
Stadt Arzberg  
WAGO Kontakttechnik GmbH  
& Co. KG



Abb. 1: Einbau einer Haushaltsspeicheranlage

Fig. 1: Residential energy storage

PV-Hausdachanlagen wurden mit der ursprünglichen EEG-Förderung oft mit der individuell größtmöglichen Leistung installiert, da der durch die Anlage generierte Gewinn direkt vom Energieertrag abhing. In neuerer Zeit werden aber aufgrund sinkender Vergütungen, fallender Systempreise und steigender Strombezugspreise zunehmend Anlagen zur Deckung des Eigenverbrauchs verbaut, um Stromkosten zu senken. Damit die während des Tages überschüssig erzeugte Energie zur Deckung des Stromverbrauchs am Abend und in der Nacht genutzt werden kann, werden oft zusätzliche Haushaltsspeicher installiert (Abb. 1). Das ZAE Bayern entwickelte im Projekt „Smart Grid Solar“ geeignete Strategien zum netzdienlichen Betrieb solcher Speicher. Dazu wurden im Jahr 2015 zehn Haushalte mit vorhandenen PV-Anlagen zusätzlich mit Haushaltsspeichersystemen (maximale Leistung 4,6 kW, nutzbare Kapazität von 4 kWh) ausgestattet und mit Smart-Metern in hoher zeitlicher Auflösung vermessen.

Grundlage der Strategieentwicklung waren der Verlauf der Netznutzung ohne Speicher und das daraus resultierende Potential zur Verschiebung. Abb. 2 zeigt beispielhaft den Verlauf der Verbraucherleistung, der PV-Einspeisung sowie des Residuallastgangs eines Haushaltes mit einer 5 kWp PV-Anlage. Auf Basis dieser Erkenntnis wurden die Speichersysteme zunächst werkseitig mit einer eigenverbrauchsmaximierenden Steuerung betrieben. Der Speicher nimmt bei dieser sogenannten gierigen Strategie jegliche überschüssige Energie auf und gleicht Unterdeckungen durch Entladung aus. Die einzigen Beschränkungen sind dabei die maximale Leistung und nutzbare Kapazität des Speichers. Abb. 3 zeigt den beispielhaften Residuallastgang bei Einsatz eines Speichers mit gieriger Ladestrategie. Diese Betriebsweise garantiert eine maximale Eigenverbrauchssteigerung und somit minimierten Strombezug aus dem Netz. Nachteilig

Due to formerly high EEG funding, residential PV systems used to be installed with maximum possible capacity since the profit they generated depended directly on their power output. Recently however, because of lower funding, falling system prices, and rising electricity cost, an increasing number of systems have been designed to cover self-consumption and reduce electricity expenses. To make the excess energy produced over the day available in the evenings and at night, residential storage systems are likely to be installed as part of the system (Fig. 1). During the project “Smart Grid Solar”, ZAE Bayern has developed strategies for grid-friendly operation of such systems. For this purpose, in 2015 ten households with PV systems were equipped with an additional residential storage (maximum power of 4.6 kW, usable capacity of 4 kWh) measured with smart meters at a high temporal resolution.

The strategy development was based on the grid usage measured without the storage and the resulting potential for shifting. Fig. 2. shows the courses of load, PV electricity generation, and residual load for a household with a 5 kWp PV system. Based on these findings, the systems were first run with a strategy aimed at maximising self-consumption. For this so-called greedy strategy, the storage absorbs any excess energy and compensates shortfalls by discharging. Limiting factors in this are only the maximum output and capacity of the storage. Fig. 3 exemplary shows the residual load for a storage with greedy loading strategy. This mode of operation guarantees maximised self-consumption and, therefore, minimised grid usage. A negative effect of the strategy, however, are unwanted effects on the grid. Using the greedy strategy, the loading is congruent with the PV energy surplus. This causes a reduction of fluctuating grid feed during the morning hours. But as soon as the storage is fully loaded, it cannot accept any more excess energy. This causes a steep rise in power feed-in. Compared to a storageless scenario (Fig. 2), the quantitative rise in grid feeding is shifted temporally but significantly steeper and has the same maximum. Due to reaching the state of full load sooner and the storage’s self-discharge, trickle charging over the course of the day is usually needed to return to full load in the evening.

Alternatively, storage systems can be operated with a peak shaving strategy. For this, forecasts are used to



wirkt sich allerdings aus, dass es zu unerwünschten Netzrückwirkungen kommt. So folgt bei der gierigen Ladung die Speicherladung dem Anstieg des PV-Überschusses. Dies führt zunächst zu einer Reduktion der fluktuierenden Netzeinspeisung in den Morgenstunden. Sobald das Kapazitätslimit erreicht ist, kann die überschüssige Energie jedoch nicht weiter in den Speicher geladen werden. Daraus ergibt sich ein steiler Anstieg der Einspeiseleistung. Im Vergleich zum Szenario ohne Speicher (Abb. 2) wird die Leistungsrampe der Netzeinspeisung dadurch zwar zeitlich verschoben, ist jedoch deutlich steiler und weist den gleichen Maximalwert auf. Aufgrund des frühen Zeitpunktes der Vollladung und der Selbstentladung des Speichers sind zudem während des restlichen Tages Erhaltungsladungen möglich, so dass der Speicher in den Abendstunden vollgeladen ist.

Alternativ können Speicher mit einer Betriebsstrategie mit Peak Shaving betrieben werden. Dabei wird unter Zuhilfenahme von Prognosen die maximale Einspeiseleistung reduziert und eine ähnlich hohe Eigenverbrauchssteigerung wie bei der gierigen Strategie erreicht. In Abb. 4 ist der Residuallastgang bei Peak Shaving und einer 100%-Prognose zu sehen. Auffallend ist, dass die Einspeiseleistung dem Anstieg der PV-Leistung folgt. Während der Mittagszeit wird die überschüssige Energie in den Speicher geladen. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung der maximalen Einspeisung. Eine Vollladung des Speichers wird erst zu einem späteren Zeitpunkt erreicht. Daher sind weniger Erhaltungsladungen erforderlich. Allerdings wirken sich die notwendigen Prognosen nachteilig aus, die aufgrund ihrer Ungenauigkeiten zu geringeren Eigenverbrauchsquoten führen. Bisher gibt es keinen finanziellen Anreiz, Speicher durch Peak Shaving netzdienlich zu betreiben. Erforderlich sind daher neue, leistungsorientierte Tarifstrukturen bzw. Vergütungen. Damit könnte ein netzdienlicher Einsatz von Speichersystemen erfolgen und diese könnten zukünftig einen wichtigen Beitrag zur weiteren Integration Erneuerbarer Energien leisten.

Abb. 2: Verbrauch, PV-Erzeugung und Residuallast eines Haushaltes mit einer 5 kWp PV-Anlage

Fig. 2: Load, PV generation and residual load of a household with a 5 kWp PV plant

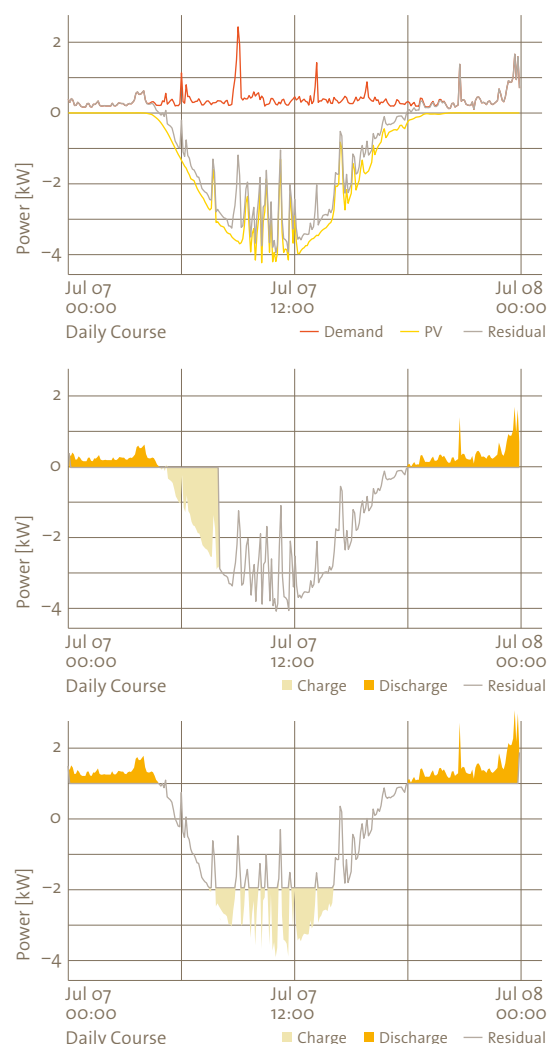
Abb. 3: Residuallastgang und Charge Level bei gieriger Speicherung

Fig. 3: Residual load and charge level for greedy strategy

Abb. 4: Residuallastgang und Charge Level bei Peak Shaving

Fig. 4: Residual load and charge level for peak shaving strategy

reduce the maximum feed to reach a rise in self-consumption comparable to the greedy strategy. Fig. 4 shows the residual load for peak shaving and a 100% forecast. Strikingly, the grid feed follows the rise in PV-generated power. Around noon, excess energy is loaded into the storage. This significantly reduces the maximum grid feed. Full load of the storage is reached at a later point, therefore less trickle charging is necessary. However, uncertainties in forecasting can lead to reduced self-consumption. There is no financial incentive yet for grid-oriented operation of storages with peak shaving. This calls for new, power oriented tariff and compensation structures. With such, storage systems could be run grid-oriented and play an important role in the future further integration of renewable energies.



## 2.7

LATENTWÄRMESPEICHER ZUR GEBÄUDEKÜHLUNG  
LATENT HEAT STORAGE FOR SPACE COOLING

## Autor | Author

C. Rathgeber, S. Hiebler

## Ansprechpartner | Contact

## Dr. Stefan Hiebler

Gruppenleiter  
Thermische Energiespeicher  
Head of Group  
Thermal Energy Storage

## Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-35  
stefan.hiebler@zae-bayern.de

## Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
(FKZ 03ESP138D)

## Kooperationspartner | Partners

Vaillant GmbH

Aufgrund der meist geringen Temperaturdifferenzen zwischen Be- und Entladung eines Speichers bei der Gebäudekühlung ist Latentwärmespeicherung mittels Phasenwechselmaterialien (PCM) für diese Anwendung besonders vorteilhaft. In einem schmalen Bereich um die Phasenwechseltemperatur ist ihre Speicherkapazität signifikant höher als die eines sensiblen Speichers. Wird der PCM-Speicher so ausgelegt, dass die Schmelztemperatur möglichst nahe an der Nutzttemperatur der Anwendung liegt, sind sehr kompakte Bauformen möglich.

Ein Latentwärmespeicher auf Basis eines PCM mit 15°C Schmelztemperatur kann hierbei energetisch effizienter als Eis- oder Kaltwasserspeicher betrieben werden. Gerade PCM auf der Basis von Salzhydraten sind dabei, aufgrund ihrer relativ hohen Speicherkapazitäten, von großem Interesse. Im Projekt „PC-Cools\_S“ wurde am ZAE Bayern daher ein Salzhydrat mit einer Phasenwechseltemperatur von ca. 15°C entwickelt. Eine Mischung aus Calciumchlorid-Hexahydrat und Calciumbromid-Hexahydrat [1] wies in kalorimetrischen Messungen im Labormaßstab eine hohe Speicherkapazität auf. Die thermische Zyklenstabilität dieser Mischung unter Anwendungsbedingungen wird derzeit in einem Funktionsmusterspeicher im größeren Maßstab (ca. 200 l) untersucht. Bislang haben sich Speicherkapazität und Schmelztemperatur über etwa 90 Zyklen als konstant erwiesen.

Des Weiteren wurde am ZAE Bayern in Zusammenarbeit mit der Vaillant GmbH ein Speicher für das entwickelte Salzhydrat konzipiert und getestet. Der Wärmetauscher wird ins PCM eingetaucht und besteht aus in einem engen Raster angeordneten, dünnen Kunststoffkapillarrohren (Abb. 1). Der Speicher soll die bei der Warmwassererzeugung im Sommer anfallende Kälte einer Wärmepumpe aufnehmen und zur Gebäudekühlung, z. B. über eine Fußbodenheizung, wieder abgeben (Abb. 2).

Abb. 1: Am Wärmeübertrager erstarrendes PCM während der thermischen Zyklierung im Funktionsmuster

Fig. 1: PCM solidifying at the heat exchanger of a operational model during thermal cycling



Due to the usually small temperature difference between the loading and unloading of a storage in space cooling applications, latent heat storages with phase change materials (PCM) are particularly suitable for them. In a narrow range around the phase change temperature, they have a significantly higher storage capacity than sensible heat storages. If the PCM is designed to have a melting temperature close to the one needed in the application, very compact storage designs are possible.

A latent heat storage using a PCM with a melting temperature of 15 °C can be operated energetically more efficient than ice or cold water storages. Salt hydrate based PCM are particularly interesting in this context due to their comparably high storage capacity. Therefore, in the project “PC-Cools\_S”, ZAE Bayern developed a salt hydrate with a phase change temperature of approximately 15 °C. A mixture of calcium chloride hexahydrate and calcium bromide hexahydrate [1] showed high storage capacities in calorimetric measurements at laboratory scale. The thermal cycle stability of this mixture is currently being investigated in an operational model at a larger scale (approximately 200 l). So far, the storage capacity and melting temperature have been constant over about 90 cycles.

Furthermore, in collaboration with Vaillant GmbH, ZAE Bayern has designed and tested a storage for the developed salt hydrate. The heat exchanger is immersed in the PCM and consists of thin plastic capillary tubes arranged in a narrow grid (Fig. 1). The storage is supposed to collect the cold produced by a heat pump during hot water generation in summer and release it to cool a building, e. g. via a floor heating system (Fig. 2).

Today's most used heat and cold transfer fluid in buildings is water. Using ice slurry, a mixture of ice crystals, water, and an additive to lower the freezing point, the amount of latent heat stored in the phase transition water/ice can additionally be exploited, and higher storage capacities can be obtained for the same rise in temperature of the heat transfer fluid. Due to the higher capacity, pipe dimensions in the cooling network and/or the pumping power can be reduced noticeably. Combined with cooling ceilings, the increase in performance due to a constant temperature of the ceiling can help reduce the total area

Der Transport von Wärme und Kälte in Gebäuden wird heutzutage in erster Linie mit Wasser als Wärmeträgermedium realisiert. Bei Verwendung von Eis-Slurry, einer Mischung aus Eiskristallen, Wasser und einem Gefrierpunktsenkenden Zusatz, lässt sich zusätzlich die im Phasenübergang Wasser/Eis gespeicherte latente Wärme nutzen und eine höhere Speicherkapazität bei gleichem Temperaturhub des Mediums erzielen. So lassen sich die Rohrdimensionen im Kühlungsnetzwerk und/oder die Pumpleistung deutlich verringern. In Verbindung mit Kühldecken kann die Leistungssteigerung, aufgrund konstanter Temperaturen in der Kühldecke, zu einer Reduktion der notwendigen Kühlfläche beitragen. Phase-Change-Slurries (PCS), welche einen Phasenwechsel bei für die Gebäudekühlung geeigneteren Temperatur aufweisen, sind Gegenstand aktueller Forschung.

Zur Entwicklung von PCS auf Salzhydratbasis wurde am ZAE Bayern ein neuartiger Ansatz gefunden [3], welcher auf dem Einsatz von Salzhydraten mit sehr niedriger Kristallisationsgeschwindigkeit beruht (z. B. Dikaliumhydrogenphosphat-Hexahydrat mit einer Schmelztemperatur von ca. 14 °C). Die Kristallisation des Salzhydrats wird insofern beeinflusst, als dass die sich bildenden Kristalle, die bis zu einer Größe von ca. 1 mm anwachsen können, immer wieder zerkleinert werden, um wiederum als Kristallisationskeime zu dienen (Abb. 3). So erhöht sich der Anteil der festen Phase des Salzhydrats ohne eine Ausbildung makroskopischer Kristallblöcke. Nach Beendigung der Zerkleinerung endet praktisch auch das Kristallwachstum, wodurch der Anteil an auskristallisiertem Salzhydrat einstellbar wird. Für die Erzeugung des PCS kann auch ein sog. Scraped Surface Slurry Generator verwendet werden. Darin werden die Kristalle an einer gekühlten Fläche erzeugt und kontinuierlich von dieser abgekratzt (Abb. 4).

Abb. 4: Erzeugung von PCS mittels Scraped Surface Slurry Generator  
Fig. 4: PCS generation via Scraped Surface Slurry Generator



of cooling modules necessary. Phase change slurries (PCS) exhibiting a phase change at temperatures suitable for space cooling are the subject of current research.

A new approach for the development of PCS based on salt hydrates has been found by ZAE Bayern [3], using salt hydrates with a very low crystallisation speed (e. g. dipotassium phosphate hexahydrate with a melting temperature of approximately 14 °C). The crystallisation of the salt hydrate is influenced by repeated crushing of the forming crystals, which grow up to a size of approximately 1 mm, to again act as crystal nuclei (Fig. 3). This way, the solid fraction of the salt hydrate is increased without the formation of macroscopic crystal blocks. Ending the crushing process also ends crystal growth, making the share of crystallised salt hydrate adjustable. The generation of PCS can also be performed in a so-called scraped surface slurry generator, in which forming crystals are continually scraped off a cooling surface (Fig. 4).

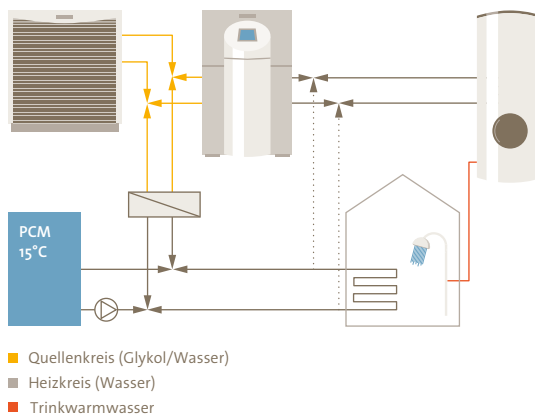


Abb. 2: Zentraler Latentwärmespeicher zur Gebäudekühlung ([2], Quelle: Vaillant GmbH)

Fig. 2: Latent heat storage for space cooling ([2], source: Vaillant GmbH)

Abb. 3: Verfahren zur Herstellung von PCS auf Basis langsam kristallisierender Salzhydrate

Fig. 3: Procedure for generation of PCS using slowly crystallising salt hydrates



#### Literatur | References

- [1] H. Schmit et al., Determination of the solid-liquid temperature-composition diagram of the pseudo-binary system  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  via T-History measurements, Greenstock 2015 – 13th IEA ECES Conference, Peking, China, 19.-21.05.2015.
- [2] C. Rathgeber et al., Latentwärmespeicher für Kälteanwendungen, Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015, Dresden, Germany, 18.-20.11.2015.
- [3] J. Linn,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  Phase Change Slurry: Generation and Determination of the Crystal Fraction, Master's Thesis, Technische Universität München, 2016.

## 2.8

# VANADIUM-REDOX-FLOW-BATTERIEN

## VANADIUM REDOX FLOW BATTERIES

Autor | Author

**T. Greese**

Ansprechpartner | Contact

**Tobias Greese, MSc.**

Elektrochemische Energiespeicher  
Electrochemical Energy Storage

Bereich | Division

Energiespeicherung  
Energy Storage

+49 89 329442-66

tobias.greese@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft und Medien,  
Energie und Technologie  
(FKZ 20-3400.00-03/12)

Kooperationspartner | Partners

Technische Universität Mün-  
chen, Lehrstuhl für Elektrische  
Energiespeichertechnik (Prof.  
Dr.-Ing. A. Jossen)  
Technische Universität Mün-  
chen, Lehrstuhl für Technische  
Elektrochemie (Prof. Dr. H. A.  
Gasteiger)

In Deutschland geraten Netzdienstleister, durch die immer umfangreichere Bereitstellung elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen, zunehmend in Situationen, in denen sie wegen eines Stromüberangebots bestehende Anlagen drosseln oder ganz vom Netz nehmen müssen. Um das zu vermeiden, kann elektrische Energie in Tagesphasen, in denen ein Überangebot herrscht, gespeichert werden, um sie in Phasen höherer Last im Stromnetz wieder einspeisen zu können.

Auf der Suche nach einer geeigneten Technologie, elektrische Energie in solchen Speichersystemen kontinuierlich verfügbar zu machen, hat sich in den vergangenen Jahren die Redox-Flow-Batterie (RFB) als wirtschaftliche, nachhaltige und flexibel einsetzbare Alternative zu den heute üblichen Lithium-Ionen-Batterien hervorgetan (Abb. 1). Dabei erweist sich die Vanadium-RFB als vorteilhaft in Bezug auf Investitions- und Betriebskosten sowie Langlebigkeit. Sie eignet sich hervorragend für stationäre Speicheranwendungen bei Privatkunden und Industriebetrieben (2–20 kW, 10–100 kWh) sowie, im großen Maßstab, bei Netzdienstleistungen als Alternative zu kostenintensiven Gaskraftwerken (2–20 MW, 10–100 MWh). Als besonders vorteilhaft an RFB ist hervorzuheben, dass diese individuell an die benötigte Spitzenleistung und Maximalkapazität der jeweiligen Anwendung anpassbar sind. Dies ergibt sich aus der unabhängigen Skalierbarkeit von Leistung und speicherbarer Energiemenge in der Batterie. Dadurch kann eine, bei bisher gängigen Batterieformen notgedrungen in Kauf genommene, Überdimensionierung einer dieser beiden Systemgrößen vermieden werden.

Im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie mit 8 Mio. Euro geförderten Projekts „Bayerisches Zentrum für Angewandte Energiespeicher-Technologien (ZAE-ST)“ wird die Technologie der Redox-Flow-Batterien sowohl experimentell als auch auf systemischer Ebene weiterentwickelt. Dazu wurde ein Batterieteststand für Einzelzellen im Labormaßstab (Abb. 2) konstruiert, der es ermöglicht, alle für die Batterieperformance relevanten Einflussgrößen zu regeln und zu vermessen; hierzu zählen die Temperatur des Elektrolyten, der Druckabfall pro Einzelzelle sowie der flächenspezifische Volumenstrom.

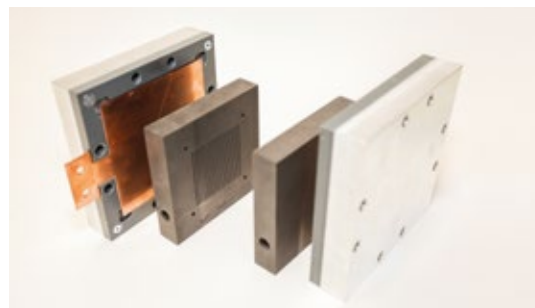


Abb. 1: Neues Design einer Redox-Flow-Einzelzelle

Fig. 1: New design for a redox flow cell

Due to the rising amount of electricity gained from renewable sources, German electricity providers experience more and more situations in which they are forced to throttle existing plants or take them off the grid. In order to avoid such situations, electricity can be stored during phases of surplus over the day to be able to feed it back into the grid during phases of higher load.

During the search for an appropriate technology to make electricity continually available in such storage systems, over the past years the redox flow battery (RFB) has proven itself an economical, sustainable, and flexible alternative to today's standard, the lithium ion battery (Fig. 1). The vanadium RFB has proven advantageous in terms of investment and running cost as well as longevity. It is very well suited for stationary storage applications of private and industrial size (2–20 kW, 10–100 kWh) as well as, on a bigger scale, in grid services as an alternative to cost intensive gas-fired plants (2–20 MW, 10–100 MWh). An especially advantageous aspect of RFBs is their customisability to the peak loads and maximum capacities needed for individual applications. This results from the independent scalability of power output and capacity of the battery, which helps avoiding an oversizing of one of the two factors, which used to be reluctantly accepted for the common battery types.

In the project “Bayerisches Zentrum für Angewandte Energiespeicher-Technologien (ZAE-ST)”, funded with € 8 m by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, the redox flow battery technology is developed further on experimental and systemic scale. Therefore, a testing rig for single cells at laboratory scale was designed (Fig. 2),



Abb. 2: Testumgebung zur Vermessung von Redox-Flow-Einzellen  
 Fig. 2: Testing rig for the measuring of redox flow cells

Durch eine neu konzipierte aktive Temperaturkontrolle kann der bisher unvermeidliche graduelle Anstieg der Systemtemperatur aufgrund des Wärmeeintrags durch den Zellbetrieb vermieden werden. Diese und andere Neuerungen lassen nun Vergleichsmessungen hoher Reproduzierbarkeit zu (Abb. 2) und ermöglichen es, computerbasierte Simulationen, beispielsweise des Druckverlustes und der Zellperformance, zu validieren und daraus zuverlässig Optimierungspotentiale abzuleiten.

So konnten im Berichtsjahr bereits einige Bauteile (wie z.B. Flussfelder) weiterentwickelt und erprobt werden. Zukünftig wird verstärkt auch das Optimierungspotential von Elektroden- und Membranmaterialien analysiert werden.

allowing for the measuring and regulation of all variables relevant for battery performance, such as the temperature of the electrolyte, the pressure drop per individual cell, and the area specific volume flow.

Using a newly developed active temperature control unit, the previously unavoidable rise in system temperature caused by heat influx from the cell's activity is avoided. This and other improvements now allow for highly reproducible comparing measurements and the validation of computer based simulations of, e. g., the pressure drop and cell performance for the reliable pointing out of potential for optimisation.

This way, during the reported year, certain components (such as flow patterns) could be improved and tested. In the future, analysis will focus more strongly on the optimisation potential of electrode and membrane materials.

## 2.9

## NEUARTIGE SOLARTHERMISCHE FLACHKOLLEKTOREN MIT GLAS-FOLIEN-VERBUND

## NOVEL SOLAR THERMAL FLAT PLATE COLLECTOR WITH GLASS-FILM COMPOSITE

## Autor | Author

T. Beikircher, P. Osgyan

## Ansprechpartner | Contact

## Dr. Thomas Beikircher

Projektleiter

Solarthermie und Geothermie

Project Manager

Solar Thermal and Geothermal

## Dipl.-Ing. Peter Osgyan, M.Sc.

Projektleiter

Solarthermie und Geothermie

Project Manager

Solar Thermal and Geothermal

## Bereich | Division

Energiespeicherung

Energy Storage

+49 89 329442-49

thomas.beikircher@

zae-bayern.de

+49 89 329442-46

peter.osgyan@zae-bayern.de

## Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (FKZ 0329280A)Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
(FKZ 0325987A, FKZ 03ET1231A)

## Kooperationspartner | Partners

Sonnenkraft GmbH

Vaillant GmbH

Savosolar GmbH

Nowofol GmbH

Das ZAE Bayern konnte im Rahmen zweier öffentlich geförderter Forschungsprojekte der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) sowie für Wirtschaft und Energie (BMWi) solarthermische Flachkollektoren im ökonomisch sinnvollen Rahmen signifikant verbessern. Eine unter der Glasabdeckung gespannte, hochtransparente Polymerfolie verringert dabei die thermischen Verluste um etwa ein Viertel, während sich die solare Durchlässigkeit um nur ca. 5% verschlechtert [1], [2], [3]. Damit wird der übliche Anwendungsbereich einfacher Flachkollektoren von 40 bis 80 °C auf bis zu 120 °C erweitert. In Kombination mit einem Vollflächenabsorber können so Wirkungsgrade von bis zu 50% bei 120 °C Arbeitstemperatur erzielt werden [4]. Die Mehrkosten liegen bei lediglich bei 5 bis 10 € pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Die Verringerung des thermischen Verlusts wird dabei durch Verhinderung der Luftkonvektion zwischen Absorber und Glasscheibe bewirkt. Bisher scheiterte die kommerzielle Umsetzung daran, dass eine in den Kollektor integrierte Folienbefestigung fehlte. Diese muss, bei moderaten Kosten, die nötige Vorspannung einbringen, um die Folie bis zur maximal im Kollektor erreichbaren Temperatur (Stagnationstemperatur) von ca. 200 °C faltenfrei zu halten. Auch fehlte bisher ein einfaches Fertigungsverfahren, das auf kommerzielle Flachkollektoren anwendbar ist und in eine laufende Produktion nachträglich eingefügt werden kann.

In two research projects funded by the German Ministries for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMU) as well as for Economic Affairs and Energy (BMWi) ZAE Bayern has significantly improved solar thermal flat plate collectors. A highly transparent polymer film, mounted underneath the glass cover, reduces thermal losses by about 25% while solar transmission is reduced by only about 5% [1], [2], [3]. This measure raises the operating temperature of standard flat plate collectors from about 40–80 °C to a maximum of about 120 °C. Combined with a full area absorber, efficiencies as high as 50% at 120 °C operating temperature are possible [4]. The additional cost of this improvement is only at about 5–10 € per m<sup>2</sup> of collector area. The decrease in thermal loss is caused by stopping the convection of air between absorber and glass. Hitherto, commercial implementation has failed due to lack of a collector integrated mount for the polymer film. At moderate cost, this mount needs to keep the film free of wrinkles through tension at temperatures as high as the collector's maximum of 200 °C. Also, a simple manufacturing process suitable for commercial flat plate collectors and retrofittable into running production did not exist.

The first step of the new concept is to join glass and polymer film. For this purpose, the film is held at a defined, optimised distance to the glass with the help



Abb. 1: Neuartiger Glas-Folien-Verbund in verschiedenen Varianten  
Fig. 1: Different variants of newly developed glass-film composite

Das neuartige Konzept besteht darin, zunächst einen Glas-Folien-Verbund zu schaffen. Hierzu wird die Folie, durch ein an der Glasscheibe befestigtes Rahmenprofil, in einem definierten, optimalen Abstand zur Glasscheibe gehalten. Das Spannen der Folie erfolgt in einem patentierten Montageverfahren mittels eines Hilfsrahmens [5]. Anschließend wird die Folie fixiert und der Folienüberstand abgeschnitten. Hierbei nimmt die Glasscheibe die gesamte Spannkraft der Folie auf. Das fertige Element kann nun, anstelle der Glasscheibe, auf nahezu jedes konventionelle Kollektorgehäuse aufgesetzt werden, das so gleichzeitig versiegelt wird. Details und Varianten der Konstruktion zeigt Abb. 1.

Durch diesen am ZAE entwickelten Glas-Folien-Verbund kann der Jahresertrag in Anwendungen zur Heizungsunterstützung um 7-10 %, bei solarer Kühlung um 20 % ( $T_{\text{Antrieb}}=75^{\circ}\text{C}$ ) und bei solarer Prozesswärmeerzeugung um 50 % ( $T_{\text{Prozess}}=100^{\circ}\text{C}$ ) gesteigert werden, jeweils gegenüber dem gleichen, aber nur einfach abgedeckten Flachkollektor. Flachkollektoren mit Glas-Folien-Verbund sind im Bereich zwischen 80 und 120°C deutlich ökonomischer als Doppelglas-, Hochvakuum- oder konzentrierende Kollektoren, die bisher zum Einsatz kamen.

Das Verbundelement wurde erfolgreich in einem deutsch-finnischen Projekt zur solaren Klimatisierung in nördlichen europäischen Ländern erprobt (s. Kap. 2.3): in Mikkeli, Finnland wird der Heiz- und Kühlbedarf eines Bürogebäudes über eine solar angetriebene Absorptionswärmepumpe (Antriebstemperatur 90°C) gedeckt (Abb. 2). In diesem Projekt konnte sowohl die Effizienzsteigerung durch die frontseitige Foliendämmung als auch deren mechanische Beständigkeit über einen Zeitraum von zwei Jahren nachgewiesen werden.



Abb. 2: Pilotanlage zur solaren Klimatisierung in Mikkeli, Finnland mit Flachkollektoren und Glas-Folien-Verbund

Fig. 2: Pilot plant for solar climatisation in Mikkeli, Finland, using flat plate collectors with glass-film composite

of a frame profile. The film is then stretched with an auxiliary frame in a patented mounting procedure [5]. In a final step, the film is fixated and excess is cut off. At this point, the glass cover absorbs the entire tension force of the film. The resulting composite can now replace the glass of virtually any standard collector casing and, at the same time, seal it. Details and variants of the construction are shown in Fig. 1.

This glass-film composite, developed at ZAE Bayern, can, compared to a conventional, glass covered collector, raise the annual thermal output in heating support applications by 7–10 %, in solar cooling ( $T_{\text{drive}}=75^{\circ}\text{C}$ ) by 20 %, and in solar process heat applications ( $T_{\text{process}}=100^{\circ}\text{C}$ ) by 50 %. For the temperature range from 80 to 120°C, flat plate collectors with glass-film composite are significantly more economic than double glazed, high vacuum or concentrating collectors, which have been used so far.

The composite element was successfully tested in a German-Finnish cooperation on solar climatisation in northern European countries (Ch. 2.3): In Mikkeli, Finland, the heating and cooling demand of an office building is covered by a solar driven heat pump with an input temperature of 90°C (Fig. 2). A rise in efficiency due to the frontal foil insulation as well as its mechanical durability were proven over a time span of two years within the project.

#### Literatur | References

[1] [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische\\_Infos/projekt\\_0810\\_engl\\_internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_0810_engl_internetx.pdf), BINE, 2010, last access: January 2017.

[2] P. Osgyan, T. Beikircher, M. Möckl, G. Streib, M. Reuß, Universelle ökonomische Zweitabdeckung zur Steigerung der Leistung von Flachkollektoren, 26. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, April 2016.

[3] T. Beikircher, Hocheffizienter Flachkollektor mit Foliendämmung und Überhitzungsschutz für Betriebstemperaturen von 70–100°C, Garching, 2010.

[4] T. Beikircher, M. Möckl, P. Osgyan, G. Streib, Advanced solar flat plate collectors with full area absorber, front side film and rear side vacuum super insulation, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 141, Pages 398–406, October 2015.

[5] Patentschrift DE102013208608B3 <https://register.dpma.de/DPMAregister/pat/PatSchrifteneinsicht?docid=DE102013208608B3>

## 2.10 PEROWSKIT-PHOTOVOLTAIK: INNOVATIONEN AUS DER GRUNDLAGENFORSCHUNG PEROVSKITE PHOTOVOLTAICS: INNOVATION FROM BASIC RESEARCH

Autor | Author

**A. Baumann**

Ansprechpartner | Contact

**Dr. Andreas Baumann**

Gruppenleiter  
Solar-Hybride Systeme  
Head of Group  
Solar Hybrid Systems

Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564-342  
Andreas.Baumann@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (BMBF)  
(FKZ 03SF0514B)

Kooperationspartner | Partners

Julius-Maximilians-Universität  
Würzburg  
Technische Universität Chemnitz  
Universidad de València

Die Perowskit-Photovoltaik (PV) hat in den letzten Jahren für enormes Aufsehen in der PV-Forschung gesorgt. Mit einem Anstieg des elektrischen Umwandlungsgrads von 3,8% im Jahr 2009 [1] auf heute 22,1% [2] hat die Perowskit-PV eine in dieser Branche bisher einzigartige technologische Entwicklung erlebt. Kostengünstige Halbleitermaterialien sowie die Möglichkeit, Perowskitsolarzellen mittels Massendruckverfahren aus der Flüssigphase oder mit Vakuumabscheidungsverfahren in großem Maßstab herzustellen, versprechen äußerst niedrige Herstellungskosten.

Das ZAE Bayern forscht seit einigen Jahren auf dem Gebiet dieser neuartigen Dünnschicht-PV. Forschergruppen weltweit untersuchen intensiv Themenfelder wie etwa den Ladungstransport und die Ladungsträgerrekombinationsmechanismen in den Solarzellen. Am ZAE Bayern werden in Zusammenarbeit mit der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und der Technischen Universität Chemnitz grundlegende Fragestellungen im Rahmen des Forschungsprojekts „Potential der Perowskit-Photovoltaik: Untersuchung relevanter physikalischer Parameter und Materialeigenschaften sowie effizienzlimitierender Faktoren in Hybrid-Perowskit-Solarzellen (HYPER)“ intensiv behandelt. Ein Ziel des Projekts ist es, den Einfluss des Kristallwachstums und der dazugehörigen Korngrenzen der polykristallinen Schicht auf Prozesse wie Ladungstransport und -rekombination zu erkennen. Dazu wurden bereits erste millimetergroße Perowskitkristalle

Over the last years, perovskite photovoltaics (PV) have attracted enormous attention within the field of PV research. With an increase in power conversion efficiency from 3.8% in 2009 [1] to a current 22.1% [2], perovskite PV has made a step forward in development which is unprecedented for this sector. Low prices for semiconductor materials as well as the possibility to mass produce perovskite solar cells through printing from solutions or vacuum deposition promise very low production cost.

For several years now, ZAE Bayern has focused its research on this new kind of thin-film PV. Research groups worldwide are intensively analysing matters such as the charge carrier transport and recombination mechanisms in perovskite cells. ZAE Bayern, in collaboration with the University of Würzburg and the Technical University of Chemnitz, is working intensively to answer fundamental questions within the project HYPER. One goal of the project is to understand the influence of crystal growth and the related grain size of the polycrystalline layer on processes such as charge carrier transport and recombination. In this context, millimeter-sized perovskite crystals have been grown from solution (Fig. 1). Although the thickness of the perovskite semiconductor layer in highly efficient perovskite solar cells ranges between no more than 300–400 nm, these larger crystals allow for a detailed analysis of material properties. Fig. 2 shows a scanning electron microscopy image of a

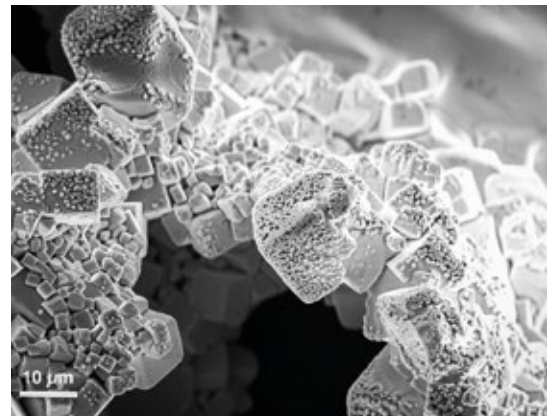
*Abb. 1: Vom Mineral zur Solarzelle: verschiedene Perowskit-Solarzellen und im Rahmen des HYPER-Projektes aus Lösung gewachsene Perowskitkristalle*

*Fig. 1: From mineral to solar cell: various perovskite solar cells and perovskite crystals grown from solution within the framework of the HYPER project*



*Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ -Kristalls*

*Fig. 2: Scanning electron microscopy image of the surface of a  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$  crystal*





aus Lösung gezüchtet (Abb. 1). Obwohl in den hocheffizienten Perowskitsolarzellen Schichtdicken von nur 300–400 nm Perowskithalbleiter verwendet werden, dienen die großen Kristalle dazu, Materialeigenschaften der Halbleiter im Detail zu untersuchen. Abb. 2 zeigt eine Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines Perowskitkristalls. Gut zu erkennen ist die polykristalline Natur des Kristalls. Im Rahmen des HYPER-Projekts wurde an Perowskitkristallen aus Methylammonium-Bleiodiod ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ), sowie -Bleibromid ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ) der Transport von Ladungsträgern mittels der Time-of-Flight (TOF) Messmethode untersucht. Die TOF-Messungen ergaben dabei eine Beweglichkeit der Elektronen von  $151\text{ cm}^2/\text{Vs}$  und der Löcher von bis zu  $243\text{ cm}^2/\text{Vs}$  bei Raumtemperatur (Abb. 3) [3], welche, im Vergleich zur Ladungsträgerbeweglichkeit in Silicium (Si) oder Galliumarsenid (GaAs), um den Faktor 10 bis 100 kleiner ist. Generell gilt: je höher die Ladungsträgerbeweglichkeit, desto effizienter lassen sich die Ladungsträger extrahieren und somit Strom produzieren.

In Kooperation mit der Universidad de València wurden durch gezielte Variation ladungsträgerselektiver Schichten die Bauteileigenschaften, gerade im Schwachlichtverhalten, erheblich verbessert. Bei Beleuchtungsstärken von über 530 mV konnte eine Leerlaufspannung gemessen werden, die in etwa dem zehnmillionsten Teil der solaren Einstrahlung entspricht [4].

Wichtige zukünftige Forschungsschwerpunkte sind die Verbesserung der Langzeitstabilität von Perowskit-Solarzellen sowie die Erforschung solaraktiver Perowskithalbleiter ohne Schwermetalle wie Blei.

perovskite crystal's surface. The polycrystalline nature of the surface is clearly visible. Within the HYPER project, the charge carrier transport in perovskite crystals made of methylammonium lead iodide ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ), and methylammonium lead bromide ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ) was studied using the Time-of-Flight (TOF) method. The TOF measurements revealed mobility values of  $151\text{ cm}^2/\text{Vs}$  for the electrons and of up to  $243\text{ cm}^2/\text{Vs}$  for the holes at room temperature (Fig. 3) [3], which is smaller by a factor of 10 or 100 than the charge mobility in Si or GaAs. In general, higher charge carrier mobility leads to more efficient charge carrier extraction and, thus, more efficient power generation.

In collaboration with the University of Valencia, the variation of the charge selective layers has helped to improve component properties, especially for weak light conditions. An open circuit voltage of more than 530 mV was observed at light intensities as low as a ten millionth of a sun [4].

Future research will focus on the improvement of the long-term stability of perovskite solar cells, but also on the development of new types of perovskite solar cells free from heavy metals such as lead or tin.

#### Literatur | References

- [1] A. Kojima et al., J. Am. Chem. Soc., 131. 2009. 6050–6051.
- [2] National Renewable Energy Laboratory, Efficiency chart. 2016, www.nrel.gov.
- [3] A. Baumann et al., Bulk charge transport properties in hybrid perovskite studied by transient photoconductivity, MRS Fall meeting 2016, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016.
- [4] L. Tvingstedt et al., submitted to ACS Energy Letters. 2016.

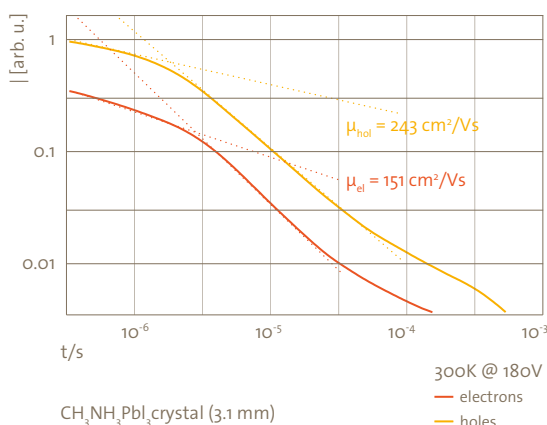


Abb. 3: TOF Messungen an einem 3,1 mm großen Perowskitkristall ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ). Aus dem Schnittpunkt der zwei Tangenten an die jeweilige Transiente (blau: Elektronen, rot: Löcher) lässt sich die Beweglichkeit der Ladungsträger bestimmen  
 Fig. 3: TOF measurements on a 3.1 mm thick perovskite ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) crystal. The charge carrier mobility can be determined from the intersection of the two tangents to the respective transient (blue: electrons, red: holes)

## 2.11 TINTENSTRAHLDRUCK ORGANISCHER PV-MODULE IN DER SOLARFABRIK DER ZUKUNFT INKJET PRINTING OF ORGANIC PV MODULES IN THE SOLAR FACTORY OF THE FUTURE

Autor | Author

H.-J. Egelhaaf, P. Maisch,  
E. Tam

Ansprechpartner | Contact

**Dr. Hans-Joachim Egelhaaf**  
Gruppenleiter  
Solarfabrik der Zukunft  
Head of Group  
Solar Fab of the Future

Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 911 56854-9350  
hans-joachim.egelhaaf@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft und Medien,  
Energie und Technologie  
(FKZ 20-3043.5)  
Bayerisches Staatsministerium  
für Umwelt und Verbraucherschutz  
(FKZ TEU01EU-63134)  
Europäischer Fonds für regionale  
Entwicklung (EFRE)  
Bayerische Forschungsstiftung  
(FKZ AZ-1006-11)  
Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (FKZ 03EK35011)  
3 Industrieprojekte

Kooperationspartner | Partners

Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg  
BELECTRIC OPV GmbH  
BGT Bischoff Glastechnik AG  
Cambrios Advanced Materials  
Durst Phototechnik Digital  
Technology GmbH  
Eckart GmbH  
Energie Campus Nürnberg (EnCN)  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg (FAU)  
Karlsruher Institut für Techno-  
logie (KIT)  
LEONHARD KURZ Stiftung &  
Co. KG  
Merck KGaA  
PolyLIC GmbH & Co. KG  
Siemens AG  
Webasto Roof & Components SE  
Zentrum für Sonnenenergie-  
und Wasserstoff-Forschung  
Baden-Württemberg (ZSW)  
und weitere Partner aus Indus-  
trie und Forschung

Die Solarfabrik der Zukunft ist eine Technologieplatt-  
form und gleichnamige Gruppe des ZAE Bayern. Sie  
entwickelt am Standort Nürnberg u. a. industrie-  
relevante Produktionstechnologien für die Herstellung  
organischer Photovoltaik(OPV)-Module mittels Tinten-  
strahlendruck. Dies bietet die Möglichkeit, sich schnell  
an individuelle Kundenwünsche anzupassen und so  
neue Märkte zu erschließen. Es können z. B. Form und  
Farbe der Module einfach per Mausklick variiert wer-  
den. Dank dieser und weiterer Vorteile der OPV, wie  
z. B. der Möglichkeit, Module semitransparent zu ge-  
stalten, findet diese Technologie zunehmend Einzug  
in Anwendungsgebiete wie die gebäudeintegrierte  
Photovoltaik.

Die Herstellung aller Schichten einer OPV-Zelle mit-  
tels Inkjet- bzw. Druckverfahren wurde erst kürzlich  
realisiert. Dabei zählte der Druck semitransparen-  
ter Elektroden zu den größten Herausforderungen. Um  
in hocheffizienten Solarzellen eingesetzt werden zu  
können, müssen die Elektroden neben niedrigen Flä-  
chenwiderständen einen hohen Lichttransmissions-  
grad aufweisen. Aufgrund der guten Prozessierbar-  
keit wird derzeit noch häufig das Material PEDOT:PSS  
verwendet. Nachteilig an dieser Polymermischung  
ist jedoch ihre geringe Leitfähigkeit. Daher müssen  
beim Einsatz des Materials meist zusätzlich dünne  
Metallfinger auf die Solarzelle gedruckt werden, um  
den Anforderungen an semitransparente Elektroden  
gerecht zu werden. Die Metallfinger schatten aber  
einen Teil des Lichtes ab, was den Kurzschlussstrom  
der Solarzellen reduziert. Hohe Prozesstemperaturen  
beim Konvertieren der Metalltinten können außer-  
dem zu einer Schädigung der Aktivschicht der Zelle  
führen. Nicht zuletzt beeinträchtigen die sichtbaren  
Metallfinger die Ästhetik semitransparen-  
ter Module. Diese Nachteile führen dazu, dass PEDOT:PSS/Metall-  
finger-Kombinationen das teure Indiumzinnoxid (ITO)  
in den unteren Elektroden nicht zufriedenstellend  
ersetzen können.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden,  
wurde in der Solarfabrik der Zukunft eine tinten-  
strahlgedruckte Silbernanodrahtelektrode (AgNW)  
als Alternative entwickelt [1]. Durch den Zusatz eines  
hochsiedenden Additivs zu einer alkoholbasierten  
Tinte konnte ein schnelles Verstopfen der Düsen  
verhindert und erstmals ein stabiler Druckprozess von  
Silbernanodrahtelektroden mit einer durchschnitt-  
lichen Länge von weniger als 10  $\mu\text{m}$  realisiert wer-

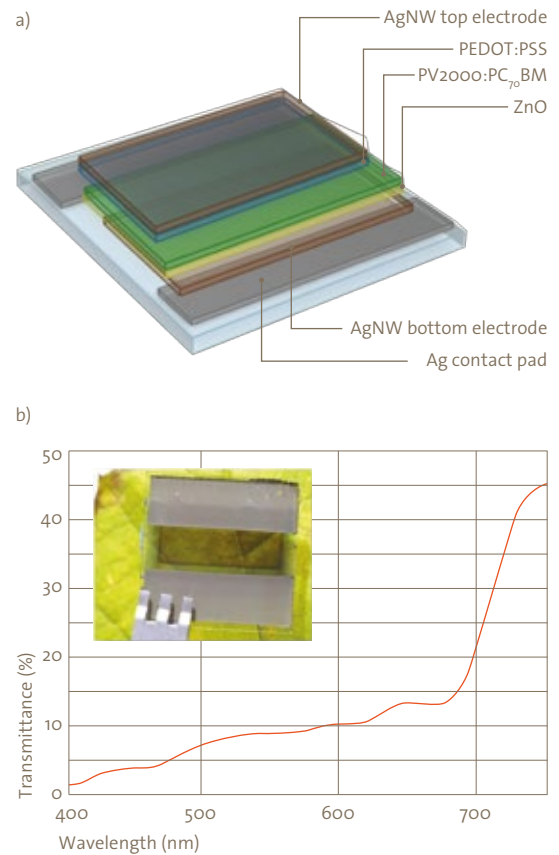


Abb. 1: (a) Schematische Darstellung der Architektur einer vollstän-  
dig tintenstrahlgedruckten Solarzelle mit AgNW Elektroden (b) Transmissionsspektrum und Foto der eingekapselten semitransparen-  
ten metallfingerfreien Solarzelle [1]

Fig. 1: (a) Schematic architecture of a semitransparent, fully  
inkjet-printed solar cell with AgNW electrodes (b) Spectral  
transmittance of the encapsulated device. Inset: Photograph of  
semitransparent fully inkjet-printed cell free of metal strips [1]

The Solar Factory of the Future is a technology plat-  
form and, simultaneously, a group at ZAE Bayern.  
Located in Nuremberg, it works on the development  
of, among other things, techniques for the industrial  
production of organic photovoltaic (OPV) modules via  
inkjet. This allows for quick adaptation to customers'  
wishes and, consequently, the opening of new mar-  
kets. For example, shape and colour of the modules  
can be adjusted very easily. Combined with other  
advantages of OPV, such as the possibility of semi-  
transparent modules, this technology has become  
increasingly popular in fields of application like build-  
ing-integrated photovoltaics.

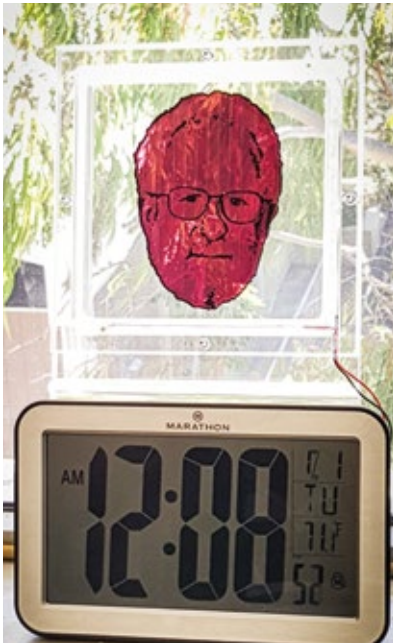


Abb. 3: Tintenstrahlgedrucktes Solarmodul als Portrait von Prof. Alan J. Heeger, welches ihm, integriert in eine Funkuhr, als Geschenk zu seinem 80. Geburtstag überreicht wurde

Fig. 3: Inkjet-printed photovoltaic module, driving a digital clock. The module was presented to nobel laureate Prof. Alan Heeger on the occasion of his 80th birthday

den. Der nicht-wässrige Charakter der Tinte erlaubt außerdem die Abscheidung auf sensitiven Oberflächen wie PEDOT:PSS oder Perovskiten. Die Analyse der Schichten ergab eine gleichmäßige Verteilung der Nanodrähte und ein exzellentes Verhältnis von Leitfähigkeit zu Transmission. Mit UV/Vis-Messungen wurde die diffuse Lichtstreuung (Haze) bestimmt. Der niedrige Wert von 2,3% erlaubt einen klaren Blick durch semitransparente Solarzellen, die mit dieser Elektrode ausgestattet sind. Eine ausreichende Leitfähigkeit wird hierbei auch ohne visuell störende Metallfinger erreicht. Abb. 1 und 2 zeigen den Einsatz der neu entwickelten tintenstrahlgedruckten Elektrode. Die erzielte Effizienz von 4,3% ist der weltweit höchste demonstrierte Wert für vollständig Inkjet-gedruckte, organische Solarzellen. Das Potential des vollständig tintenstrahlbasierten Drucks ist in Abb. 3 verdeutlicht. Das Freiformmodul zeigt ein Portrait des Nobelpreisträgers Prof. Alan J. Heeger, des Entdeckers der leitfähigen Polymere. Das ZAE Bayern überreichte Prof. Heeger diesen funktionsfähigen Demonstrator zu seinem 80. Geburtstag.

The manufacturing of all the layers of an OPV cell via print or inkjet has only been successfully put in to practice very recently. One of the biggest challenges in this was to print semitransparent electrodes. To be suitable for highly efficient solar cells, these electrodes need to show low sheet resistance as well as high transmittance. Due to its good processibility, PEDOT:PSS is the current material of choice for this. The disadvantage of this polymer compound, however, is its low conductivity. Therefore, when using it, thin metal strips need to be additionally printed onto the solar cell in order to meet the expectations towards semitransparent electrodes. These metal strips, however, block part of the light, reducing the cells' short-circuit current. Also, the high temperatures necessary for annealing the metallic inks can damage the active layer of the cell. Finally, the visible metal strips impair the look of semitransparent modules. These disadvantages make it impossible for a combination of PEDOT:PSS and metal strip to adequately replace the more expensive indium tin oxide (ITO) in the lower electrodes.

To conquer these challenges, the Solar Factory of the Future has developed an inkjet-printed silver nanowire electrode (AgNW) as an alternative [1]. By adding a component with a high boiling point to an alcohol-based ink, quick clogging of the nozzles was prevented and, for the first time, silver nanowire electrodes with an average length of more than 10  $\mu\text{m}$  could be printed in a stable process. Moreover, the non-aqueous nature of the ink allows for printing on water-sensitive substrates such as PEDOT:PSS or perovskites. The analysis of the AgNW's layers revealed even distribution of the nanowires and an excellent conductivity-to-transmittance ratio. Diffuse transmission (haze) was determined via UV/Vis measurement. The low value of 2.3% allows for a clear view through semitransparent solar cells. Sufficient conductivity is achieved without visibly disruptive metal strips. Fig. 1 and 2 show the newly developed, inkjet-printed electrode in use. Its efficiency of 4.3% is the highest demonstrated value for organic, fully inkjet-printed solar cells worldwide. The potential for full inkjet printing is depicted in Fig. 3. The freely formed module resembles the face of Nobel laureate Alan J. Heeger, discoverer of conductive polymers, to whom it was presented by ZAE Bayern for his 80th birthday.

#### Literatur | References

- [1] P. Maisch, K.C. Tam, L. Lucera, H.-J. Egelhaaf, H. Scheiber, E. Maier, et al., Inkjet printed silver nanowire percolation networks as electrodes for highly efficient semitransparent organic solar cells, *Org. Electron.* (2016) doi:10.1016/j.orgel.2016.08.006.

## 2.12 OPTISCHES PRÜFVERFAHREN FÜR DEN POLY- MER-VERNETHUNGSGRAD IN PV-MODULEN OPTICAL METHOD TO EVALUATE THE POLY- MER-CROSSLINKING IN PV-MODULES

Autor | Author

S. Jäger

Ansprechpartner | Contact

**Dr. Sebastian Jäger**  
PV-Systeme  
PV Systems

Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 9131 9398-156  
sebastian.jaeger@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie  
(FKZ 16KN040131)

Kooperationspartner | Partners

Sunset Solar GmbH & Co KG

Für heutige Photovoltaikmodule sind Lebensdauern von mehr als 25 Jahren vorgesehen. Ein Polymer, das die Zellen umschließen und über einen solchen Zeitraum schützen soll, muss seine Eigenschaften langfristig beibehalten. Das für solche Aufgaben meistverwendete Polymer ist Polyethylen-Vinylacetat (EVA) [1] mit einem Vinylacetat-Massenanteil von 28 bis 33%. EVA ist im Rohzustand ein Thermoplast und reagiert, mit Hilfe peroxydischer Vernetzungsreagenzien, während der Lamination zu einem Elastomer mit den benötigten Eigenschaften. Als Maß für den Erfolg der Vernetzungsreaktion dient der Vernetzungsgrad des EVA. Das bisherige Standardverfahren zur Messung dieses Vernetzungsgrades ist der Gel-Content-Test, eine zerstörende, nasschemische Methode, die in einer DIN-Norm festgelegt ist [2].

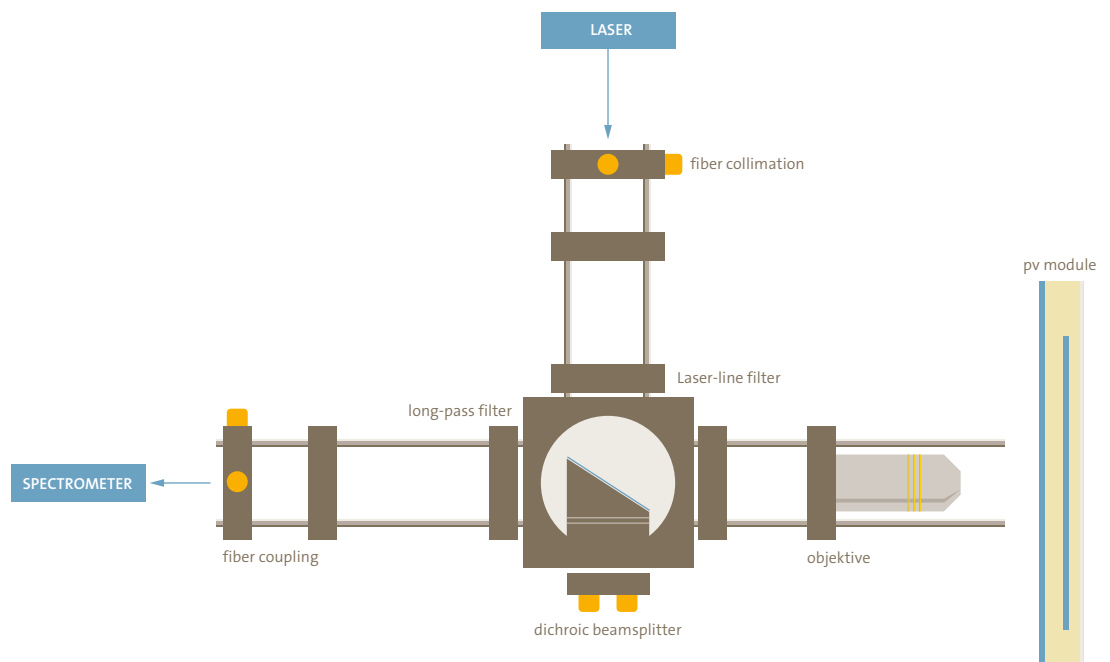
Am ZAE Bayern wurde nun, im Rahmen des Projekts InoVEVA, eine neuartige Methode für die zerstörungsfreie, ortsaufgelöste Messung des Vernetzungsgrades von EVA entwickelt und getestet. Ansatz des Verfahrens ist die Nutzung von Ramanspektroskopie, die den Vorteil der zerstörungsfreien Messung durch das Frontglas des Moduls hindurch bietet und auch auf Glas-Glas Module anwendbar ist (Abb. 1).

Today's photovoltaic modules are expected to exceed a lifetime of 25 years. A polymer, supposed to envelop these cells and protect them, needs to retain its physical properties over this entire time span. The polymer most widely used in such applications is polyethylene-vinyl acetate (EVA) [1] with a mass fraction of 28 to 33% of vinyl acetate. Raw EVA is thermoplastic and goes through a crosslinking reaction, triggered by a peroxide agent, during the lamination process, changing into an elastomeric rubber with the desired properties. The success of this reaction is quantified by the degree of crosslinking in the EVA. Up until now, the standard method of measuring this is the gel-content test, specified in a DIN standard as a destructive wet chemical testing procedure [2].

Framed by the InoVEVA project, ZAE Bayern has now developed and tested a new method for the non-destructive, spatially resolved measurement of the degree of crosslinking in EVA. The idea of the method is to use Raman spectroscopy, offering the advantage of non-destructive measurement through the module's front glass and being applicable also to glass-glass modules (Fig. 1). With Raman spectroscopy, chemical information about a specimen can be gained with the

Abb. 1: Schematischer Aufbau der Raman Messkopfes

Fig. 1: Scheme of used Raman probe



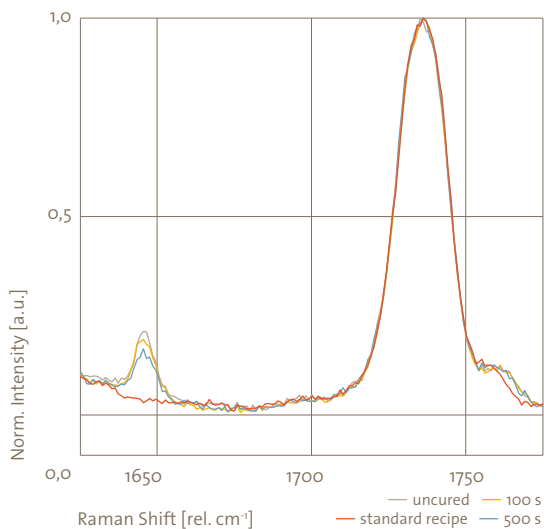


Abb. 2: Hochauflösendes Ramanspektrum von EVA mit den für das Verfahren verwendeten Banden. Mit zunehmender Laminationszeit wird der Peak bei  $1649\text{ cm}^{-1}$  kleiner

Fig. 2: High resolution Raman spectra of EVA showing the relevant bands. Increasing lamination time results in a lower peak at  $1649\text{ cm}^{-1}$

Die Ramanspektroskopie ermöglicht es, mit Hilfe sichtbaren Lichts chemische Informationen aus einer Probe zu ziehen. Hierbei wird die Probe mit einem Laser bestrahlt und das durch sie gestreute Licht spektroskopisch analysiert. Die im Ramanspektrum sichtbaren scharfen Linien repräsentieren Molekül- oder Gitterschwingungen einer bestimmten Substanz. Die für die Bestimmung des Vernetzungsgrades interessanten Linien liegen bei  $1649\text{ cm}^{-1}$  und  $1724\text{ cm}^{-1}$  und können den Schwingungen der C=C-Doppelbindungen bzw. der C=O-Gruppen zugeordnet werden. Bei steigendem Vernetzungsgrad nimmt die Zahl der C=C-Doppelbindungen und somit die Intensität der entsprechenden Schwingung im Ramanspektrum ab. Um exakte Ergebnisse zu erzielen, wird die Intensität der C=C-Schwingung ins Verhältnis zur Intensität der sich nicht verändernden C=O-Schwingungsbande gesetzt (Abb. 2). Dieses Verhältnis steht in direktem Zusammenhang mit dem Vernetzungsgrad von EVA (Abb. 3).

Für kleine Testmodule bis zu einer Größe von  $25 \times 25\text{ cm}$  arbeitet der Teststand bereits sehr gut. Momentan wird ein Raman-Sensor entwickelt, der auch serienmäßige Messungen an Modulen mit marktüblichen Abmessungen erlaubt.

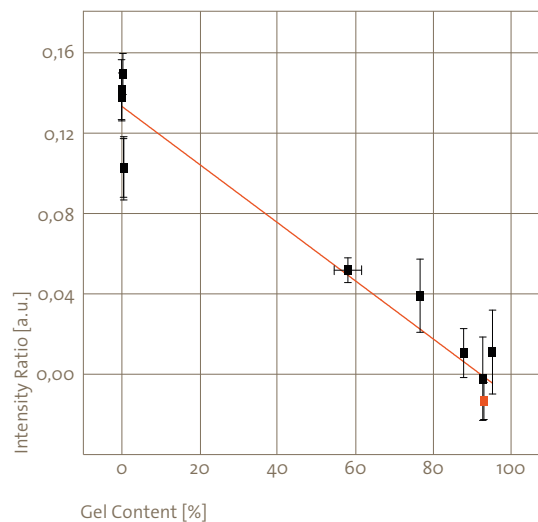


Abb. 3: Intensitätsverhältnis der Schwingungsbande bei  $1649\text{ cm}^{-1}$  und  $1724\text{ cm}^{-1}$  gegen den Vernetzungsgrad von EVA in verschiedenen Testmodulen. Deutlich ist ein direkter Zusammenhang sichtbar

Fig. 3: Intensity at vibration bands of  $1649\text{ cm}^{-1}$  and  $1724\text{ cm}^{-1}$  in respect to the degree of crosslinking of EVA in different test modules. A direct relation is visible

help of visible light. The sample is irradiated by a laser, the light scattered by it is analysed spectroscopically. The lines sharply visible in the Raman spectrum represent molecular or lattice vibrations of substances. The important lines for determining the crosslinking of EVA are at  $1649\text{ cm}^{-1}$  and  $1724\text{ cm}^{-1}$ . They represent the vibrations of C=C double bonds and C=O groups. The number of C=C double bonds and, thereby, the intensity of the respective vibration decreases with increasing crosslinking. For exact results, the intensity of the C=C vibration band is considered in relation to the constant intensity of the C=O vibration band (Fig. 2). Their ratio correlates directly with the degree of EVA-crosslinking (Fig. 3).

For small test modules, up to a size of  $25 \times 25\text{ cm}$ , the developed test method already works well. At the moment, a new Raman probe, capable of measurements on fully-sized standard modules is in development.

#### Literatur | References

- [1] C. Peike, C. Peike, I. Hädrich, K. Weiß, I. Dürr, and F. Ise, *Photovoltaics International*, vol. 22 (2013) 85.
- [2] DIN EN ISO 10147:2011, *Rohre und Fittings aus vernetztem Polyethylen (PE-X) - Berechnung des Grades der Vernetzung durch Bestimmung des Gel-Gehaltes (ISO 10147:2011)*.
- [3] S. Jäger, S. Wittmann, M. Heindl, A. Linsenmeyer, T. Kunz, C. Camus, and C. J. Brabec, *A new approach to determine the crosslinking in polyethylene-vinyl acetate via Raman spectroscopy*, in *EU PVSEC Proceedings*, (2016), 1815.

## 2.13 AUTOMATISIERTE QUALITÄTSKONTROLLE VON SOLARMODULEN AUTOMATED QUALITY CONTROL FOR SOLAR MODULES

Autor | Author

**A. Vetter, J. Hepp**

Ansprechpartner | Contact

**Dr. Andreas Vetter**

Gruppenleiter  
Bildgebende Verfahren und  
Thermosensorik  
Head of Group  
Imaging and Thermosensorics

Bereich | Division

Erneuerbare Energien  
Renewable Energies

+49 9131 9398-188  
andreas.vetter@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundeswirtschaftsministerium  
(FKZ 0325724A)

Kooperationspartner | Partners

Manz CIGS Technology GmbH  
Bosch Solar CISTech GmbH  
Forschungszentrum Jülich  
Hochschule Ulm  
Universität Oldenburg

Solarmodule leisten mittlerweile einen substantiellen Beitrag zu den Erneuerbaren Energien. Ein zentraler Baustein für diesen Erfolg sind die gesunkenen Kosten für die Modulherstellung. Aber je innovativer und komplexer die Zelltypen werden, desto wichtiger wird auch die Qualitätskontrolle. Insbesondere bildgebende Verfahren wie Infrarot-Thermographie ermöglichen eine schnelle Lokalisation von Defekten noch während der Herstellung, insbesondere bei Dünnschicht-Solarmodulen. Bisher erfolgte die Auswertung dieser Bilder noch visuell. Eine automatisierte Bilderkennung von IR-Aufnahmen wäre jedoch ein signifikanter Vorteil bei der schnellen und reproduzierbaren Analyse der großen Datenmengen, die bei bildgebenden Verfahren anfallen. Zur automatisierten Bildanalyse müssen sowohl Ausmaß und Lage des Moduls auf dem Bild, als auch die Defektstellen auf dem Infrarotbild, die sich durch lokale Erwärmungen (Hot Spots) äußern, erkannt werden. Am ZAE Bayern konnte ein Algorithmus entwickelt werden, der beide Problemstellungen erfolgreich löst.

Eine Herausforderung war dabei, dass Thermographiebilder bei geringer Signalstärke ein relativ hohes Rauschen aufweisen. Der neu entwickelte Algorithmus erwies sich als sehr robust bei kleinen Signalstärken. Dies konnte anhand von Dünnschicht-CIGS-Solarmodulen überprüft werden [1]. Zudem ist der Algorithmus unempfindlich gegen räumliche Rotation: Trotz schwacher Signale wurden Ausrichtung und Lage des Solarmoduls immer automatisch richtig erkannt.

Das neue Verfahren zur automatisierten Erkennung lokaler Defekte wurde erstmalig auf innovativen, semi-transparenten OPV-Modulen (Abb. 1) angewandt, die im ZAE-Technikum Solarfabrik der Zukunft hergestellt wurden. Die Performance der Solarmodule wird durch elektrische Kurzschlüsse auf deren Oberfläche reduziert. Die dabei entstehenden lokalen Erwärmungen sind sehr gut im IR-Bild erkennbar. Eine automatisierte Erkennung der Defekte ist allerdings über eine einfache Standard-Schwellenwertbildung nicht möglich, da die Verteilung der Intensität der Erwärmungen nicht bimodal ist (Abb. 2). Um diese Problematik zu umgehen, haben die Forscher am ZAE Bayern einen speziellen Algorithmus entwickelt, der die stark nicht bimodale Verteilung verarbeiten kann.



Abb. 1: Foto eines semitransparenten OPV-Moduls hergestellt am ZAE-Technikum Solarfabrik der Zukunft

Fig. 1: Image of a semi-transparent OPV module produced at the ZAE-lab Solar Factory of the Future

By now, solar modules are a substantial part of the renewable energy sector. A key reason for this success is the reduced production cost. But the more innovative and complex the cells become, the more focus needs to be put on quality control. Especially imaging techniques like infrared thermography allow for a quick localisation of defects in thin film solar modules, even during production. The evaluation of these images, however, had to be done visually hitherto. Automated image detection of IR-images would mean a significant advantage for the quick and reproducible analysis of the large amounts of data which accumulate when using these techniques. Automated image analysis software needs to be able to detect size and position of the module as well as defects, visible as so-called Hot Spots, within the infrared image. The algorithm developed by ZAE Bayern solves both these problems.

One particular problem was the relatively high noise found in thermographic images of comparably weak signals. The new algorithm turned out to work very well for such, as confirmed through testing of thin layer CIGS modules [1]. Also, the algorithm is indifferent to spatial rotation: Despite weak signals, the position and orientation of the modules were always recognised correctly.

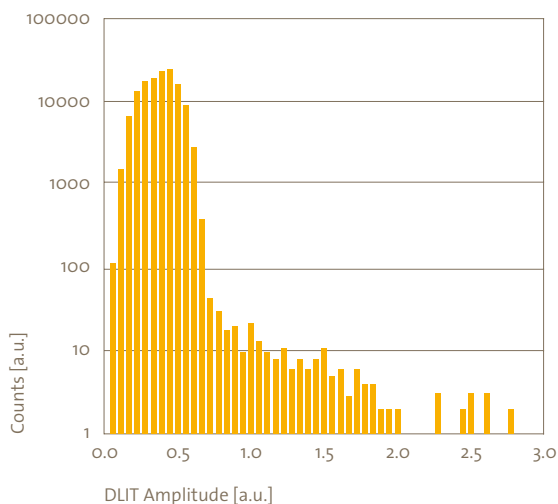


Abb. 2: Intensitätshistogramm einer typischen IR-Aufnahme (DLIT)  
Fig. 2: Intensity histogram of a typical IR-image (DLIT)

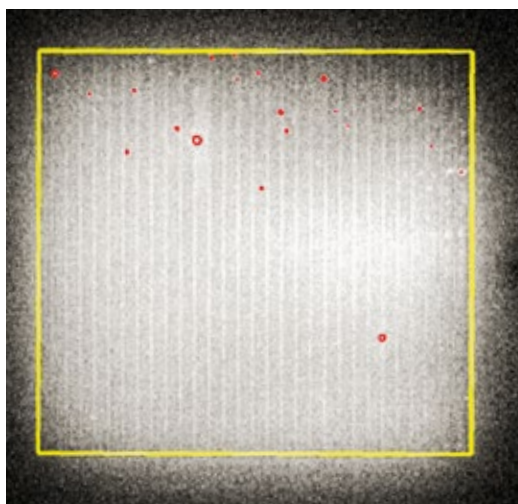


Abb. 3: IR-Bild (DLIT) eines OPV-Moduls bearbeitet mit dem neuen Bilderkennungsalgorithmus. Gelbe Linien zeigen die automatisch detektierte Modulkante, rote Kreise kennzeichnen Defekte  
Fig. 3: DLIT image of an OPV-module analysed with the newly developed detection algorithm (yellow indicates the module edges, red line is the contour of hot spots or defects)

#### Literatur | References

- [1] A. Vetter, J. Hepp, and C. J. Brabec, Automated segmentation of photovoltaic modules in IR-images with extreme noise, *Infrared Phys. Technol.*, vol. 76, pp. 439–443, 2016 DOI: 10.1016/j.infrared.2016.03.020.
- [2] J. Hepp, F. Machui, H. Egelhaaf, C. J. Brabec, and A. Vetter, Automated analysis of IR-images of photovoltaic modules and its use for quality control of solar cells, *Energy Sci. Eng.*, pp. 363–371, 2016 DOI: 10.1002/ese3.140.

Die zwei Methoden wurden dann zu einem Gesamtalgorithmus zusammengefügt, der sowohl die Lage des Solarmoduls als auch die der Hot Spots automatisch erkennt (Abb. 3). Mit dieser automatisierten Bilderkennung können nun IR-Bilder ausgewertet werden, um elektrisch relevante Parameter wie die offene Klemmenspannung ( $V_{oc}$ ) oder die maximale Leistung ( $P_{mpp}$ ) berührungsfrei zu bestimmen [2]. Dieses zerstörungsfreie bildgebende Verfahren ermöglicht der Industrie eine automatisierte, produktionsintegrierte Qualitätskontrolle mit hohem Durchsatz und großer Zuverlässigkeit.

The new procedure for automated detection of local defects was first applied to innovative, semi-transparent OPV modules (Fig. 1), manufactured at ZAE's lab Solar Factory of the Future. The solar modules' performance is reduced by short circuits on their surface. The localised heating caused by this is clearly visible in IR images. However, automated recognition of these defects via standard thresholding is not possible, since the intensity distribution is not bimodal (Fig. 2). To avoid this problem, ZAE Bayern has developed a special algorithm, able to deal with the strongly non-bimodal distribution.

The two methods were then combined into one algorithm, able to automatically detect the position of the solar modules as well as of Hot Spots (Fig. 3). This automated image recognition now allows for the evaluation of IR images for relevant parameters like open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) or maximum power point ( $P_{mpp}$ ) in a non-contact manner [2]. This nondestructive imaging technique enables industrial companies to use automated quality control at high throughput and reliability.

## 2.14 NANOPORÖSE, ADSORPTIONSGESTEUERTE AKTUATOREN UND SENSOREN NANOPOROUS, ADSORPTION-DRIVEN ACTUATORS AND SENSORS

Autor | Author

G. Reichenauer, C. Balzer

Ansprechpartner | Contact

Dr. Gudrun Reichenauer

Gruppenleiterin  
Nanomaterialien  
Head of Group  
Nanomaterials

Bereich | Division

Energieeffizienz  
Energy Efficiency

+49 931 70564-328  
gudrun.reichenauer@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (FKZ RE1148/10-1)

Kooperationspartner | Partners

Paris Lodron Universität Salzburg (PLUS)  
Montanuniversität Leoben (MUL)  
New Jersey Institute of Technology (NJIT)  
State University of New Jersey (Rutgers)

Der Effekt, den ein Holzkeil verursacht, der in einen Felspalt gesteckt und anschließend mit Wasser getränkt wird, ist weithin bekannt: Der Fels wird durch eine große, unsichtbare Kraft gespalten. Solche Effekte basieren auf Absorption von Molekülen in und/oder Adsorption an einem Werkstoff, die eine Spannung bzw. Deformation des Materials bewirken. Während man unter Absorption die Aufnahme von Molekülen in eine Festkörpermatrix versteht, bezeichnet Adsorption die Anreicherung von Molekülen an der Feststoffoberfläche. Dieser Effekt ist bei nanoporösen Materialien mit spezifischen Oberflächen in der Größenordnung von 100 bis 1000 m<sup>2</sup>/g besonders ausgeprägt. Obwohl es viele Materialien gibt, die Absorption zeigen (z.B. Polymere), haben Adsorptionskontrollierte Effekte zwei Vorteile gegenüber ihren Absorptionskontrollierten Pendanten, wenn es um ihren Einsatz in Stallelementen, sog. Aktuatoren oder Sensoren, geht: Einerseits ist Absorption im Allgemeinen ein langsamerer Prozess als Adsorption, andererseits ist die Empfindlichkeit von Absorption gegenüber äußeren Bedingungen wie Feuchte nur schwer auf die Anforderungen spezifischer Anwendungen einstellbar.

Aufgrund dieser Nachteile der Absorptionsprozesse werden aktuell Adsorptionsgesteuerte Komponenten auf Basis nanoporöser Materialien untersucht [1-2]. Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung empfindlicher, molekülselektiver Sensoren oder Aktuatoren, die, im Gegensatz zu piezoaktiven Stallelementen, mit niedrigen Spannungen (Elektroadsorption) oder direkt über Gasdruck (z. B. relative Feuchte) steuerbar sind. Obwohl bestimmte nanoporöse Materialien bereits interessante Kandidaten für entsprechende Anwendungen sind, werden die Grund-

The effect of a wooden wedge, driven into a crack in a rock and soaked in water, is widely known: The rock is split by a tremendous yet invisible force. Such phenomena are based on absorption of molecules in and/or adsorption on a solid, causing tension in or deformation of the material. While absorption is the dilution of fluid molecules within a solid matrix, adsorption is the accumulation of fluid molecules on a solid surface. This effect is especially strong in nanoporous materials with specific surface areas ranging from 100 to 1000 m<sup>2</sup>/g. Although many materials show absorption (e. g. polymers), adsorption controlled effects offer two specific advantages over their adsorption controlled counterparts when it comes to serving as actuators or sensors: On the one hand, adsorption is generally a slower process than absorption, on the other hand, the sensitivity of adsorption to external conditions, such as relative humidity, makes them difficult to adapt to the requirements of specific applications.

Therefore, the development of adsorption-driven components based on porous materials is currently worked on [1-2]. The goal of this research is the development of sensitive, molecule selective sensors or actuators which, contrary to piezo active actuators, can be controlled through very low voltages (electrical adsorption) or gas pressure (e. g. relative humidity). Although certain nanoporous materials are already considered interesting for certain applications, the understanding of adsorption-induced deformation and its correlation to material properties is still vividly discussed within the scientific community. The key question is: How are tension and deformation influenced and how should the properties of nanomaterials be designed to fit a given application?

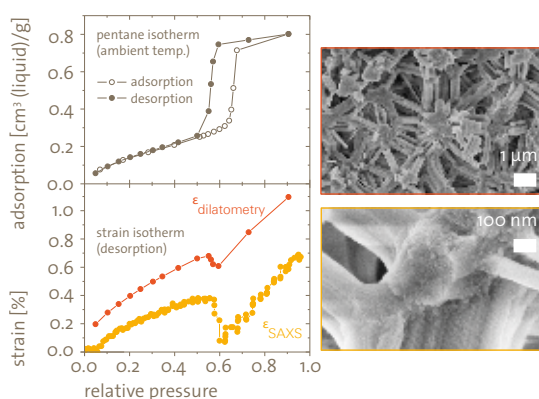


Abb. 1: Links oben: Pentan-Isotherme einer hierarchisch strukturierten Silicaprobe. Links unten: entsprechende Deformationen der monolithischen Probe (dilatometry) sowie der Nanoporen (SAXS: small angle X-ray scattering) [3]. Rechts: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der entsprechenden Silicaprobe auf der Längenskala des makroporösen Netzwerks (oben) sowie Zoom in eine einzelne Strebe, die aus einem Bündel zylindrischer Nanoporen besteht (unten)

Fig. 1: Top left: pentane adsorption isotherm of a hierarchically structured silica sample. Bottom left: respective deformations recorded for the monolithic sample (dilatometry) and the nanopores (SAXS: small angle X-ray scattering) [3]. Right: scanning electron microscopy images of the corresponding silica sample on the scale of the macroporous network (top) and zoom into an individual strut composed of bundles of cylindrical nanopores (bottom)



lagen der Adsorptionsinduzierten Deformation und ihr Zusammenhang mit Materialeigenschaften in der Wissenschaftsgemeinde noch lebhaft diskutiert. Die Schlüsselfrage ist hierbei: Was bestimmt Spannung und Deformation und wie sollten die Eigenschaften eines Nanomaterials in Richtung einer vorgegebenen Anwendung konzipiert werden?

Um die Schlüsselmechanismen für Adsorptionsgesteuerte Deformation zu identifizieren und damit eine gerichtete Materialentwicklung für Adsorptionskontrollierte Komponenten zu ermöglichen, kooperiert das ZAE Bayern eng mit österreichischen und amerikanischen Wissenschaftlern. So werden die spezifischen Expertisen der Gruppen in den Bereichen „Synthese nanoporöser Materialien“, „Adsorption“, „Kleinwinkelstreuung“ und „Dilatometrie“ (beide auch in-situ während der Adsorption) sowie „theoretische Modellierung von Festkörper-Fluid-Wechselwirkungen“ miteinander kombiniert.

Erste experimentelle Ergebnisse sind die Deformationen hierarchisch strukturierter, poröser Silica-Monolithe während der Adsorption von Pentan, sowohl auf der Skala des Monolithen als auch auf der Skala der hochgeordneten Bündel zylindrischer Nanoporen (Durchmesser ca. 7 nm), welche die Streben eines dreidimensionalen Netzwerks bilden [3]. Abb. 1 zeigt die Pentan-Adsorptionsisotherme und die zugehörigen Deformationen bestimmt über in-situ-Dilatometrie (Netzwerk) und in-situ-Röntgen-Kleinwinkelstreuung (Nanoporen) sowie die elektronenmikroskopischen Aufnahmen der entsprechenden Strukturen. Der Vergleich der Adsorptionsinduzierten Deformation auf den beiden Längenskalen erlaubt ein tieferes Verständnis der Übertragung der Deformation von ihrem mikroskopischen Ursprung in den Nanoporen auf die Netzwerkstruktur des Monolithen.

Aktuell werden im Rahmen der Kooperation mit oben genannten Partnern mehrere Aspekte detaillierter bearbeitet: die Entwicklung hierarchisch strukturierter Silica-Monolithe mit anisotroper Netzwerkstruktur [4], die Erweiterung quantitativer thermodynamischer Modelle für Spannungen und Deformationen in nanoporösen Materialien [5], Finite-Elemente-Simulationen der Deformationen und die Entwicklung von Aufbauten zur simultanen Messung von in-situ-Dilatometrie und Streudaten bei unterschiedlichen Gasen [6].

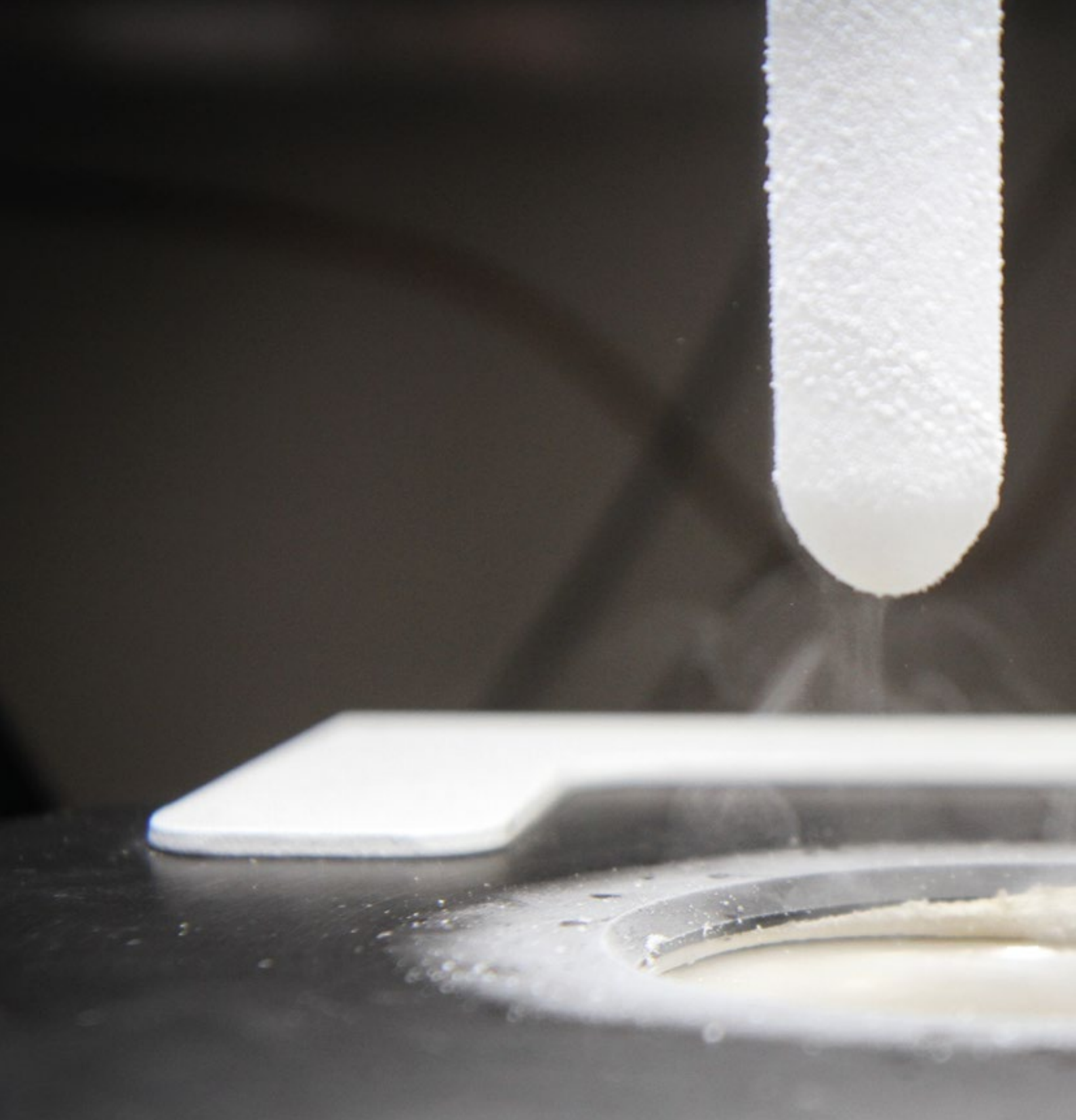
In order to identify the key mechanisms of adsorption-induced deformation and thus allowing for the targeted development of materials for adsorption-driven components, ZAE Bayern cooperates closely with Austrian and American scientists. This cooperation brings together the different groups' specific expertises on the synthesis of nanoporous materials, adsorption, small angle scattering, and dilatometry (both also in-situ during adsorption), as well as theoretical modelling of solid-fluid interaction.

First results obtained are the deformations of hierarchically structured, porous silica monoliths during pentane adsorption, on the scale of both, the monolith and the highly ordered bundles of cylindrical nanopores (about 7 nm in diameter) forming the struts of a three-dimensional network [3]. Fig. 1 shows the pentane adsorption isotherm and the respective deformations as obtained through in-situ dilatometry (network), in-situ small angle X-ray scattering (nanopores), and scanning electron microscope images of the respective structures. The comparison between the adsorption-induced deformations on both length scales allows for a deeper understanding of the transfer of deformation from its microscopic origin within the nanopores onto the network structure of the monolith.

Several aspects are currently viewed in higher detail in the cooperation with said partners: The development of hierarchically structured silica monoliths exhibiting anisotropic network structures [4], the refinement of quantitative thermodynamic models for tensions and deformations within nanoporous materials [5], finite element modelling of deformations and the design of experimental setups, capable of simultaneously performing in-situ dilatometry and in-situ scattering measurements on different vapors [6].

#### Literatur | References

- [1] D. Van Opdenbosch et al., *Adv. Mater.* 28 (2016) 5235.
- [2] M. Boudot et al., *ACS Nano*, (2016) accepted for publication.
- [3] C. Balzer et al., *Z. Phys. Chem.* 229 (2015) 1189.
- [4] F. Putz et al., *Adv. Mater.* (in preparation).
- [5] C. Balzer et al., *Langmuir* (in preparation).
- [6] S. Braxmeier et al., *J. Appl. Cryst.* (in preparation).





3.0  
VERÖFFENTLICHUNGEN  
PUBLICATIONS

## 3.1 VORTRÄGE UND POSTER PRESENTATIONS AND POSTERS

### 3.1.1

#### Eingeladene Plenarvorträge Plenary Invited Lectures

- A. Baumann, **Tutorial: Charge Carrier Generation and Recombination in Organic and Hybrid Perovskite Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- C.J. Brabec, **Bulkheterojunction Solar Cells**, Heeger Symposium Linz, Linz, Austria, 21.03.16
- C.J. Brabec, **Burn-in Effect Instabilities in Organic and Hybrid Solar Cells**, International Workshop on Organic Electronics and Photovoltaics, Porquerolles, France, 25.05.2016
- C.J. Brabec, **Energy Materials for a Renewable Future**, IMRE Singapur, Singapur, 24.06.2016
- C.J. Brabec, **Exploring the Lifetime Limitations of Organic Solar Cells**, 3<sup>rd</sup> International Fall School on Organic Electronics (IFSOE-2016), Moscw, Russia, 18.–23.09.2016
- C.J. Brabec, **Lifetime and Stability of Hybrid and Organic Solar Cells**, THINFACE Conference, Paris, France, 20.04.2016
- C.J. Brabec, **Material and Stability Aspects of Perovskite Solar Cells**, International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics (HOPV16), Swansea, United Kingdom, 01.07.2016
- C.J. Brabec, **Materials and Concepts for Printed Photovoltaics Technologies**, Nanotextology 2016, Thessaloniki, Greece, 05.07.2016
- C.J. Brabec, **Non Fullerene Acceptors for Organic Electronics**, Conference “Fundamentals and Device Physics of Organic Semiconductors”, Milano, Italy, 08.11.2016
- C.J. Brabec, **Novel Concepts for Photovoltaic Facades**, World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 24.02.2016
- C.J. Brabec, **On the Photo- and Device Physics of Non Fullerene Acceptors**, 3<sup>rd</sup> Next Generation Solar Energy Conference, Erlangen, Germany, 23.11.2016
- C.J. Brabec, **Overcoming Burn-in Losses in Organic Solar Cells**, ICSM 2016, Guangzhou, China, 26.06.–01.07.2016
- C.J. Brabec, **Stability and Lifetime of Photovoltaics**, Nature Energy Conference, Wuhan, China, 13.06.2016
- A. Baumann, P. Rieder, D. Kiermasch, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Charge Carrier Dynamics in Perovskite Solar Cells**, 5<sup>th</sup> International SolTech Conference, München, Germany, 05.–08.04.2016
- V. Dyakonov, D. Kiermasch, P. Rieder, K. Tvingstedt, A. Baumann, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, International Conference on Solution Processed Innovative Solar Cells (SPIN), Berlin, Germany, 07.–09.09.2016
- V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, XX<sup>th</sup> International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics, Nischni Novgorod, Russia, 14.–18.03.2016
- V. Dyakonov, A. Sperlich, O.G. Poluektov, J. Niklas, J.L. Delgado, N. Martin, **Charge Generation in Bulk-Heterojunctions Based on Fullerene Heterodimers**, 229<sup>th</sup> ECS Meeting, San Diego, USA, 29.05.–03.06.2016
- V. Dyakonov, **Color Centers for Quantum Applications**, 2016 Gordon Conference on Defects in Semiconductors, New London, USA, 14.–19.08.2016
- V. Dyakonov, P. Rieder, D. Kiermasch, K. Tvingstedt, A. Baumann, **Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, ISFOE16 – 9<sup>th</sup> International Symposium on Flexible Organic Electronics, Thessaloniki, Greece, 04.–07.07.2016
- V. Dyakonov, **Organic Optoelectronics**, iNOW 2016 – International Nano-Optoelectronics Workshop, München, Würzburg, Germany, 26.07.–05.08.2016
- H. P. Ebert, **Technologie-Perspektiven und Gebäudeinnovationen**, Innovationsforum Energie: Gebäudetechnologien, Linz, Austria, 13.06.2016
- R. Gurtner, **Abwärmennutzung in einer Gießerei durch thermische Energiespeicherung**, 8. Darmstädter Energiekonferenz, Darmstadt, Germany, 03.03.2016
- J. Hauch, H. Egelhaaf, **Continuous Additive Manufacturing of Printed Solar Cells**, Rapid Tech 2016, Erfurt, Germany, 14.–16.06.2016
- J. Hauch, W. Bergholz, N. Fabricius, **Progress in Standardization for OPV**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 21.–24.06.2016
- A. Hauer, **Energy Conservation Energy Storage Annex 28 – DESIRE – Distributed Energy Storage for the Integration of Renewable Energies**, IEA Symposium on Demand Flexibility and RES Integration (SMART GRIDS Week 2016), Linz, Austria, 09.–13.05.2016
- A. Hauer, **Energy Storage – Technologies and Applications**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEnC 2016), Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016
- A. Hauer, **Energy Storage in the Building Sector**, Energy Storage Europe 2016, Düsseldorf, Germany, 15.–17.03.2016
- A. Hauer, **Energy storage R&D: The role of ZAE Bayern**, Energy storage in Germany – R&D for the energy systems transformation, Garching, Germany, 01.03.2016
- A. Hauer, **Neue Möglichkeiten der Abwärmennutzung**, 8. Clariant-Energieforum, Straubing, Germany, 11.10.2016

A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen oder die Rolle thermischer Energiespeicher in der Energiewende**, OTTI 5. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 30.06. – 01.07.2016

A. Hauer, **Thermal Energy Storage – Technologies & Applications**, Energy Storage Summit Japan 2016, Tokyo, Japan, 08. – 09.11.2016

A. Hauer, **Thermal Energy Storage: Status and Ways Forward**, 3<sup>rd</sup> Swiss Symposium Thermal Energy Storage, Luzern, Switzerland, 22.01.2016

A. Hauer, **Überblick zu internationalen F&E Aktivitäten und Anwendungsfällen für kompakte thermische Energiespeicher**, 2. Tagung „Kompakte thermische Energiespeicher“, Wien, Austria, 14.09.2016

A. Hauer, A. Thess, F. Hüsing, J. Steinweg, T. Nagel, **Was können Energiespeicher zum Gelingen der Energiewende beitragen?**, Forschung für die Energiewende – Die Gestaltung des Energiesystems (FVEE-Jahrestagung 2016), Berlin, Germany, 02. – 03.11.2016

V. Kolb, J. Pflaum, **Cavity coupled organic films and nanostructures**, International Symposium on New Trends and Faces IV, Stellenbosch, South Africa, 07. – 11.11.2016

A. Krönauer, F. Fischer, C. Rathgeber, E. Lävemann, **Saisonale Speicherung – technische und ökonomische Randbedingungen**, OTTI 5. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 30.06. – 01.07.2016

P. Luchscheider, J. Hauch, **Smart Grid Solar Pilot Project Hof & Arzberg**, Intersolar Europe, München, Germany, 21.06.2016

U. Müller, J. Pflaum, **Photon Correlation Measurements on Organic Macrocycles**, International Symposium on New Trends and Faces IV, Stellenbosch, South Africa, 07. – 11.11.2016

J. Pflaum, **Transport in Organic Single Crystals: New Insights on an Old Subject**, Workshop in Memoriam of Carlo Taliani, Bologna, Italy, 08. – 10.06.2016

C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **Economic Evaluation of Thermal Energy Storages by Top-down and Bottom-up Approach**, Joint Conference and 2<sup>nd</sup> Workshop „Thermal Energy Storage – Perspectives and Applications in an Industrial Environment“, Frankfurt, Germany, 03.05.2016

C. Rathgeber, E. Lävemann, A. Hauer, **Wirtschaftlichkeit Thermischer Energiespeicher**, OTTI 5. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 30.06. – 01.07.2016

G. Reichenauer, B. Milow, **Aerogel Based Thermal Insulations – Principles and Applications**, Seminar on Aerogels, Sophia-Antipolis, France, 22. – 23.09.2016

G. Reichenauer, C. Balzer, **Learning from Adsorption Induced Deformation of Monolithic Porous Solids on Different Length Scales**, XVIII. POROTEC Workshop über die Charakterisierung von feinteiligen und porösen Festkörpern, Bad Soden, Germany, 08. – 09.11.2016

A. Sperlich, S. Väh, V. Dyakonov, **Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, Condense Matter Seminar of the University of Utah, Salt Lake City, USA, 23.08.2016

A. Sperlich, S. Väh, V. Dyakonov, **Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, Chemical Physics Seminar of the Argonne National Laboratory, Chicago, USA, 22.09.2016

### 3.1.2

#### Fachvorträge Contributed Talks

M. Angerer, M. Djukow, K. Riedl, S. Gleis, H. Spliethoff, **Simulation of Cogeneration Combined Cycle Plant Flexibilization by Thermochemical Energy Storage**, 29<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2016), Portorož, Slovenia, 19. – 23.06.2016

K. Anneser, S. Braxmeier, A. Baumann, G. Reichenauer, V. Dyakonov, **Development of a Photocapacitor Based on Printed Solar Cells and Supercapacitor**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06. – 11.03.2016

K. Anneser, S. Braxmeier, J. Reichstein, G. Reichenauer, **Solid Electrolytes for Supercapacitors – a Reasonable Idea?**, Electrochemistry, Goslar, Germany, 26. – 28.09.2016

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Ambipolar Charge Transfer in Single-Wall Carbon Nanotube Based Bulk-Heterojunctions**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06. – 11.03.2016

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Ambipolar Charge Transfer in Single-Wall Carbon Nanotube Based Bulk-Heterojunctions**, SPP1601 Young Researchers Workshop, Konstanz, Germany, 11. – 14.04.2016

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Doping of (6,5)-Single-Wall Carbon Nanotubes Determined by Quantitative Electron Paramagnetic Resonance**, GRK 2112 Workshop, Niederstetten, Germany, 28. – 29.09.2016

A. Baumann, S. Kiesmüller, M. Grüne, S. Väh, V. Dyakonov, **Bulk Charge Transport Properties in Hybrid Perovskites Studied by Transient Photoconductivity**, MRS Fall meeting, Boston, USA, 27.11. – 02.12.2016

- A. Baumann, D. Kiermasch, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination Dynamics in Perovskite Solar Cells**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics (PSCO), Genova, Italy, 26.–28.09.2016
- A. Baumann, P. Rieder, S. Vath, K. Tvingstedt, M. Fischer, D. Kiermasch et al., **Trap Spectroscopy of Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells via Thermally Stimulated Current**, MRS Fall meeting, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016
- M. Bernt, H.A. Gasteiger, **Influence of Ionomer Content in IrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Electrodes on PEM Water Electrolyser Performance**, 229<sup>th</sup> Meeting of the Electrochemical Society, San Diego, USA, 29.05.–02.06.2016
- J. Bogenrieder, **Erfahrungsbericht mit einer Smart Meter Infrastruktur aus dem Projekt Smart Grid Solar**, Smart Metering: Vom Zähler zum Abrechnungssystem, Regensburg, Germany, 10.–11.10.2016
- J. Bogenrieder, P. Hösch, C. Sölch, **Orientation of Modules with a High Proportion of Photovoltaics in Germany**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEneC 2016), Nürnberg, Germany, 11–12.07.2016
- C.J. Brabec, **Next Generation Solar Energy Concepts**, Cambridge, Siemens Technology Council, Cambridge, United Kingdom, 08.02.2016
- C.J. Brabec, **The Future of Renewable Energies in Germany**, 3<sup>rd</sup> Generation Solar Energy Conference, Erlangen, Germany, 17.–22.11.2016
- M. Brendel, E. Ahmed, I. Minda, H. Schwoerer, J. Pflaum, **Correlating the Donor/Acceptor Interface Energetics with Electronic Dynamics in Organic Bilayer Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- M. Brütting, T. Hagen, S. Vidi, F. Hemberger, **Kalorische Messungen mit der Longitudinal Heat Flow Methode**, Jahrestagung des Arbeitskreises Thermophysik, Wien, Austria, 25.–26.04.2016
- M. Brütting, T. Hagen, S. Vidi, F. Hemberger, H. P. Ebert, **Measurement of Thermal Conductivity and Heat Capacity of Phase Change Materials with the Longitudinal Heat Flow Method**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning 2016, Karlsruhe, Germany, 18.–20.05.2016
- C. Buerhop-Lutz, **Inspecting PV-Plants Using Infrared IR-Thermography Mounted at Unmanned Aerial Vehicles (UAV)**, Intersolar Europe, München, Germany, 21.–23.06.2016
- C. Buerhop-Lutz, **Instandhaltung von Photovoltaikanlagen nach VDI 2883**, 3. Deutsche Photovoltaik-Betriebs- und Sicherheitstagung, Berlin, Germany, 06.10.2016
- C. Buerhop, T. Pickel, T. Blumberg, J. Adams, S. Wrana, M. Dalsass et al., **IR-Images of PV-Modules with Potential Induced Degradation (PID) Correlated to Monitored String Power Output**, SPIE Optics + Photonics for Sustainable Energy, San Diego, USA, 28.08.–01.09.2016
- C. Buerhop, T. Pickel, H. Scheuerpflug, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **Statistical Overview of Findings by IR-Inspections of PV-Plants**, SPIE Optics + Photonics for Sustainable Energy, San Diego, USA, 28.08.–01.09.2016
- C. Buerhop-Lutz, **VDI-Richtlinie 2883 "Instandhaltung von PV-Anlagen"**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 09.–11.03.2016
- C. Camus, C. Buerhop-Lutz, S. Wrana, J. Adams, T. Pickel, H. Scheuerpflug et al., **Direct Evidence for Hot-Cell-Induced Modifications in PV Module Encapsulants**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016
- C. Camus, R. Auer, A. Baumann, H. P. Ebert, H.J. Egelhaaf, U. Hoyer et al., **New Challenges and Requirements for BIPV Modules beyond Power Generation**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEneC 2016), Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016
- M. Demharter, T. Beikircher, **Hocheffiziente Dämmung bei sensiblen Speichern**, OTTI 5. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 30.06.–01.07.2016
- A. Derakhshan, S. Hörlin, H. Medl, C.J. Brabec, T. Kunz, C. Camus, **Supply of Cooling Energy for a Research Building Directly Powered by Photovoltaics**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEneC 2016), Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016
- V. Dyakonov, P. Rieder, D. Kiermasch, K. Tvingstedt, A. Baumann, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, International Conference on the Science and Technology of Synthetic Metals 2016 (ICSM2016), Guangzhou, China, 26.–01.07.2016
- V. Dyakonov, A. Sperlich, O.G. Poluektov, J. Niklas, J.L. Delgado, N. Martin, **Charge Generation in Bulk-Heterojunctions Based on Fullerene Heterodimers**, 229<sup>th</sup> ECS Meeting, San Diego, USA, 29.05.–03.06.2016
- V. Dyakonov, M. Heiber, S. Väh, H. Kraus, A. Sperlich, **Morphology and Temperature Dependent Triplet Exciton Loss Pathways in Bulk Heterojunction Solar Cells**, MRS Fall meeting, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016

- H. J. Egelhaaf, M. Salvador, A. Distler, C. J. Brabec, **Antioxidants Increase Resilience of Organic Photovoltaic Polymers and Blends towards Photooxidation**, ICSM2016, Guangzhou, China, 27.06.–01.07.2016
- T. Ferschke, N.H. Hansen, T. Schmeiler, J. Pflaum,  **$\mu$ -Photoluminescence Studies on the Interaction between Charge Carriers and Excitonic States in Organic Semiconductors**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- G. Gor, C. Balzer, A. Waag, N. Bernstein, A.V. Neimark, N. Hüsing et al., **Adsorption-Induced Deformation of Hierarchical Mesoporous Structures: Stresses Normal to the Pore Walls and Along the Pore Walls**, AIChE Annual Meeting, San Francisco, USA, 13.–18.11.2016
- M. Grüne, S. Väh, A. Bauman, V. Dyakonov, **Fabrication and Characterisation of Solution Processed Perovskite Solar Cells with Various Transport Layers**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- R. Gurtner, **Dual-Media High Temperature Thermal Energy Storage for Industrial Waste Heat Recovery**, 10<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2016), Düsseldorf, Germany, 15.–17.03.2016
- R. Gurtner, **Dual-Media High Temperature Thermal Storage for Industrial Waste Heat Recovery**, eceee's Industrial Efficiency 2016, Berlin, Germany, 12.–14.09.2016
- S. Hammer, J. Pflaum, **Exciton Transport and Dissociation at Organic Single Crystal Interfaces**, FOR1809 Workshop, Niederstetten, Germany, 24.–25.11.2016
- S. Harrer, C. Dotterweich, J. Hartmann, M.H. Zink, T. Schnitzler, H.P. Ebert et al., **Paraffine als Phasenwechselmaterialien in der elektrischen Isolierung von Hochspannungsbau teilen**, ETG-Fachtagung, Berlin, Germany, 14.–16.11.2016
- S. Harrer, C. Dotterweich, J. Hartmann, M.H. Zink, F. Hemberger, H.P. Ebert et al., **Phase Change Materials for Use in Thermally and Electrically Stressed Insulation for High Voltage Applications**, IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 19.–22.06.2016
- J. Hauch, H. Egelhaaf, **Continuous Additive Manufacturing of Printed Solar Cells**, Rapid. Tech 2016, Erfurt, Germany, 14.06.2016
- J. Hauch, W. Bergholz, N. Fabricius, **Progress in Standardization for OPV**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 22.06.2016
- M.C. Heiber, K. Kister, A. Baumann, V. Dyakonov, C. Deibel, T.Q. Nguyen, **The Effect of Tortuosity on Charge Transport in Bulk Heterojunction Blends**, MRS Fall meeting, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016
- P. Hennemann, A. Krönauer, S. Pöllinger, S. Hiebler, F. Bailly, K. Baysal et al., **Intelligent Thermal Energy Storage as Switchable Loads for Grid Stress Reduction**, 10<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2016), Düsseldorf, Germany, 15.–17.03.2016
- S. Kahlert, H. Spliethoff, **Flexibilitätspotential von industriellen KWK-GuD-Anlagen in Deutschland**, EnInnov 2016, Graz, Austria, 10.–12.02.2016
- D. Kiermasch, S. Väh, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Recombination of Photogenerated Charge Carriers in Planar Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- F. Klinker, **Betriebserfahrungen mit PCM-Kühldecken und PCM-Wandelementen im Energy Efficiency Center**, PCM-Symposium 2016 – Einsatz von PCM in Gebäuden, Kassel, Germany, 19.–20.10.2016
- V. Kolb, J. Pflaum, **Photoluminescence Enhancement by Laterally Ordered Ag/Alq<sub>3</sub>:ZnPc/Ag Nanocavities**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- V. Kolb, J. Pflaum, **Pronounced Photoluminescence Enhancement in Periodically Ordered Ag/Alq<sub>3</sub>:ZnPc/Ag Nanocavities**, MRS Spring meeting, Phoenix, USA, 28.03.–01.04.2016
- T. Kunz, **Schnelle Prüfung des Vernetzungsgrades von EVA in Solarmodulen mittels Raman-Spektroskopie**, Qualitätsgipfel Kunststoff, Würzburg, Germany, 28.–30.11.2016
- I. Lederer, M. Wiener, S. Braxmeier, C. Balzer, G. Reichenauer, **Structure-Capacitance Relationship of Carbonaceous Supercapacitor Electrodes**, Electrochemistry, Goslar, Germany, 26.–28.09.2016
- P. Luchscheider, **Smart Grid Solar**, Smart Grids Week, Linz, Austria, 09.–13.05.2016
- P. Luchscheider, **Smart Grid Solar – H<sub>2</sub>-Speicherung**, 3. Energiemesse elemente, Hirschaid, Germany, 12.–13.03.2016
- P. Luchscheider, **Smart Grids**, Hannovermesse, Hannover, Germany, 25.–29.04.2016
- L. Ludescher, F. Putz, M.S. Elsaesser, G. Reichenauer, N. Hüsing, O. Paris, **Investigation of Local Pore Structure and Sorption Induced Deformation in Hierarchical Mesoporous Silica by Nanobeam X-Ray Diffraction**, 8<sup>th</sup> International Conference on Porous Media & Annual Meeting, Cincinnati, USA, 09.–12.05.2016
- P. Maisch, K.C. Tam, F.W. Fecher, H.J. Egelhaaf, H. Scheiber, E. Maier, C.J. Brabec, **Inkjet Printing of Highly Conductive Nanoparticle Dispersions for Organic Electronics**, Internationaler Kongress Molded Interconnect Devices 2016 (MID), Würzburg, Germany, 28.–29.09.2016

- P. Maisch, K.C. Tam, L. Lucera, F.W. Fecher, H.J. Egelhaaf, H. Scheiber, E. Maier, C.J. Brabec, **Inkjet Printing of Semitransparent Electrodes for Photovoltaic Applications**, SPIE Optics + Photonics, San Diego, USA, 28.08–01.09.2016
- P. Maisch, K.C. Tam, L. Lucera, P. Kubis, H.J. Egelhaaf, C.J. Brabec, **Scalable Organic Solar Module Fabrication – a Comparison of Digitally Printed and LASER Patterned Interconnects**, MRS Fall Meeting 2016, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016
- J. Manara, M. Arduini, J. Hartmann, **A Novel Approach for Non-Destructive Testing of the Adhesion of Thermal Barrier Coatings**, 8<sup>th</sup> International Gas Turbine Conference (IGTC 2016), Bruxelles, Belgium, 12.–13.10.2016
- J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, J. Hartmann, H. P. Ebert, **Berührungslose Charakterisierung von Schichtsystemen bei hohen Temperaturen zur Erfassung von infrarot-optischen und morphologischen Größen**, Jahrestagung 2016 des Arbeitskreises Thermophysik, Wien, Austria, 25.–26.04.2016
- J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, H. P. Ebert, A. Tutschke et al., **Development and Validation of a Long Wavelength Infrared (LWIR) Radiation Thermometer for Contactless Temperature Measurements in Gas Turbines During Operation**, The EVI-GTI and PIWG Joint Conference on Gas Turbine Instrumentation (GTI 2016), Berlin, Germany, 27.–29.09.2016
- J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, H. P. Ebert, A. Tutschke et al., **Long Wavelength Infrared Radiation Thermometry for Non-Contact Temperature Measurements in Gas Turbines**, XIII. International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science (TEMPMEKO 2016), Zakopane, Poland, 26.06.–01.07.2016
- J. Manara, M. Arduini, M. Reim, W. Körner, **Membrane Systems with Improved Thermal Insulation and Translucency for Energy Efficient Textile Architecture**, Central Europe towards Sustainable Buildings 2012 (CESB 2016), Prague, Czech Republic, 22.–24.06.2016
- R.J. Morak, F. Putz, A. Waag, M. Elsaesser, G. Popovski, C. Balzer et al., **Sorption-Induced Deformation of Silica Monoliths with Hierarchical and Anisotropic Porosity**, 40<sup>th</sup> International Conference & Exposition on Advanced Ceramics & Composites, Daytona Beach, USA, 24.–29.01.2016
- U. Müller, P. Spenst, M. Stolte, F. Würthner, J. Pflaum, **Photon-Correlation Studies on Single Para-Xylylene Bridged Perylene Bisimide Macrocycles**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- U. Müller, P. Spenst, M. Stolte, F. Würthner, J. Pflaum, **Studies on Single Para-Xylylene Bridged Perylene Bisimide Macrocycles at Strong Photo-Excitation**, GRK 2112 Workshop, Niederstetten, Germany, 28.–29.09.2016
- A. Muzha, A. Krueger, I. Lederer, G. Reichenauer, **Composites Based on Nanodiamonds and Carbon Xerogels for Electrode Applications**, NanoCarbon Annual Conference, Würzburg, Germany, 23.–24.02.2016
- F. Putz, M. Elsässer, C. Balzer, G. Reichenauer, R. Morak, O. Paris et al., **Hierarchically Organized and Anisotropic Porous Silica Monoliths**, Seminar on Aerogels, Sophia-Antipolis, France, 22.–23.09.2016
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **Acceptable and Realised Storage Capacity Costs of Thermal Energy Storages**, INNOSTORAGE Conference, Be'er Scheva, Israel, 16.–18.02.2016
- C. Rathgeber, A. Hauer, W. van Helden, **Material and Component Development for Thermal Energy Storage – An IEA Technology Network Activity**, IV<sup>th</sup> International Symposium on Innovative Materials for Processes in Energy Systems (IMPRES 2016), Taormina, Italy, 23.–26.10.2016
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **Top-Down and Bottom-Up Analysis of the Economics of Thermal Energy Storages**, 10<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2016), Düsseldorf, Germany, 15.–17.03.2016
- G. Reichenauer, C. Balzer, A.M. Waag, S. Gehret, O. Paris, R. Morak et al., **Investigations of Adsorption-Induced Deformation in Hierarchically Structured Silica**, Fundamentals of Adsorption (FOA 2016), Friedrichshafen, Germany, 30.05.–03.06.2016
- M. Reim, W. Körner, D. Gerstenlauer, S. Weismann, D. Kranl, H. Weinläder, **Control Strategies and User Acceptance of Innovative Daylighting and Shading Concepts**, 11<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, Palma, Spain, 11.–14.10.2016
- M. Reim, M. Hegazy, M. Yasin, D. Büttner, S. Weismann, **Passive Infrared Night Cooling (PINIC) at the Energy Efficiency Center**, 11<sup>th</sup> Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 10.–11.10.2016
- P. Rieder, A. Baumann, S. Väth, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Analysis of Electronic Trap States in Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells via Thermally Stimulated Current**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- P. Rieder, A. Baumann, S. Väth, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Analysis of Electronic Trap States in Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells via Thermally Stimulated Current**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics, Genova, Italy, 26.–28.09.2016



- C. Römer, F. Klinker, H. Weinläder, **Cooling Ceilings with PCM in the Energy Efficiency Center**, 11<sup>th</sup> Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 10. – 11.10.2016
- C. Römer, H. Weinläder, S. Weismann, S. Vidi, J. Wachtel, **Switchable Thermal Insulation for Increasing Energy Efficiency of Building Facades**, 11<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, Palma, Spain, 11. – 14.10.2016
- H. Schmit, M. Frank, J. Linn, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Investigation of K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-6H<sub>2</sub>O as Phase Change Slurry (PCS)**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18. – 20.05.2016
- H. Schmit, P. Hennemann, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Tool for the Estimation of the Melting Enthalpy of PCM Based on Binary Mixtures of Salt + Water**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18. – 20.05.2016
- A. Solodovnyk, C. Kick, A. Osvet, H.J. Egelhaaf, E. Stern, M. Batentschuk et al., **Computational Optimization and Solution-Processing of Thick and Efficient Luminescent Down-Shifting Layers for Photovoltaics**, SPIE Photonics West 2016, San Francisco, USA, 13. – 18.02.2016
- A. Sperlich, S. Väh, N. Bunzmann, S. Weißenseel, M. Auth, V. Dyakonov, **Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, SPP1601 Workshop, Hirschegg, Austria, 04. – 08.10.2016
- A. Sperlich, A. Fritze, L. Kudriashova, M. Grüne, V. Dyakonov, **Time Resolved Microwave Conductivity on Organic and Hybrid Systems**, FOR1809 Workshop, Niederstetten, Germany, 24. – 25.11.2016
- A. Sperlich, S. Väh, H. Kraus, V. Dyakonov, **Triplet and Charge Transfer Excitons in Organic Solar Cells: Influence of Energetics and Morphology**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06. – 11.03.2016
- L. Staudacher, **Einsatzmöglichkeiten von CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden**, 15. Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Bad Staffelstein, Germany, 18. – 19.04.2016
- L. Staudacher, D. Schink, R. Zorn, H. Steger, **Shallow Geothermal Switch Point Heating System**, 8<sup>th</sup> International Conference SNOW ENGINEERING, Nantes, France, 14. – 17.06.2016
- C. Stegner, J. Bogenrieder, P. Luchscheider, C.J. Brabec, **First Year of Smart Metering with a High Time Resolution – Realistic Self-Sufficiency Rates for Households with Solar Batteries**, 10<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2016), Düsseldorf, Germany, 15. – 17.03.2016
- C. Stegner, A. Blockinger, J. Bogenrieder, P. Luchscheider, **Solving the Community Storage Dilemma – Higher Utilization by Multiple usage**, 6<sup>th</sup> International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems (SIW 2016), Wien, Austria, 14. – 15.11.2016
- K.C. Tam, P. Maisch, L. Lucera, H.J. Egelhaaf, H. Scheiber, E. Maier, C.J. Brabec, **Inkjet Printed Silver Nanowire Electrodes for Visually Non-Obstructive and Efficient Semitransparent Organic Solar Cells and Modules**, International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE 2016), Yonezawa, Japan, 06. – 08.09.2016
- K.C. Tam, P. Maisch, L. Lucera, H.J. Egelhaaf, C.J. Brabec, **Inkjet Printed Silver Nanowire Electrodes for Visually Non-Obstructive and Efficient Semitransparent Organic Solar Cells and Modules**, MRS Fall Meeting 2016, Boston, USA, 27.11. – 02.12.2016
- K. Tvingstedt, L. Gil-Escrig, C. Momblona, P. Rieder, A. Baumann, V. Dyakonov et al., **Removing Leakage Recombination Current in Planar Perovskite Solar Cells**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics (PSCO), Genova, Italy, 26. – 28.09.2016
- S. Väh, H. Kraus, V. Cherpak, M. Heiber, A. Sperlich, V. Dyakonov, **On the Role of Spin States in Donor-Acceptor Based Solar Cells and Light Emitting Diodes**, International Meeting on Spins in Organic Semiconductors (SpinOS VI), Chicago, USA, 16. – 20.10.2016
- S. Väh, A. Sperlich, A. Baumann, V. Dyakonov, **Quantifying Spin-Dependent Recombination in Organic Bulk Heterojunction Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06. – 11.03.2016
- S. Weismann, F. Klinker, H. Weinläder, D. Büttner, **Energy Efficient Building Cooling by Combining a Regenerative Cooling System, a Large TES and a Phase Change Material Cooling Ceiling**, 11<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, Palma, Spain, 11. – 14.10.2016
- M. Yasin, H. Weinläder, F. Klinker, **Passive Cooling Ceiling Potential of Two Different PCM Cooling Ceilings in the Energy Efficiency Center**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18. – 20.05.2016
- M. Yasin, **Simulation and Validation of PCM-Chilled Ceilings and PCM-Wallboards**, TRNSYS Experience Seminar, Kaiserslautern, Germany, 26. – 27.02.2016
- M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, J. Manara, J. Hartmann, H. P. Ebert, **Messapparatur zur Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften von Gasen unter extremen Bedingungen**, Jahrestagung 2016 des Arbeitskreises Thermophysik, Wien, Austria, 25. – 26.04.2016

M. Zipf, J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H. P. Ebert, J. Hartmann, **Non-Contact Temperature Measurement of Combustion Gases at High Temperatures and High Pressures**, XIII<sup>th</sup> International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science (TEMPMEKO 2016), Zakopane, Poland, 26.06.–01.07.2016

### 3.1.3

#### Poster Posters

J. Adams, B. Doll, C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, J. Teubner, C. Camus et al., **Non-Stationary Outdoor EL-Measurements with a Fast and Highly Sensitive InGaAs Camera**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016

K. Anneser, S. Braxmeier, A. Baumann, G. Reichenauer, V. Dyakonov, **Development of a Photocapacitor Based on Printed Solar Cells and Supercapacitor**, Bunsentagung, Rostock, Germany, 05.–07.05.2016

K. Anneser, J. Reichstein, S. Braxmeier, A. Baumann, G. Reichenauer, V. Dyakonov, **Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology: Organic Solar Cell Meets Supercapacitor**, Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology, Erlangen, Germany, 23.–25.11.2016

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Ambipolar Charge Transfer in Single-Wall Carbon Nanotube Based Bulk-Heterojunctions**, SPP1601 Workshop, Hirschegg, Austria, 04.–08.10.2016

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Doping of (6,5)-Single-Wall Carbon Nanotubes Determined by Quantitative Electron Paramagnetic Resonance**, GRK 2112 Workshop, Niederstetten, Germany, 28.–29.09.2016

A. Baumann, S. Kiesmüller, M. Grüne, S. Väh, V. Dyakonov, **Bulk Charge Transport Properties in Hybrid Perovskites Studied by Transient Photoconductivity**, 2<sup>nd</sup> International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics (PSCO), Genova, Italy, 26.–28.09.2016

J. Bogenrieder, P. Luchscheider, A. Schmutzer, C. Stegner, **Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren bei der Auslegung von Speichersystemen**, 3. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin, Germany, 26.–27.01.2016

J. Bogenrieder, C. Camus, M. Dalsass, J. Ermer, S. Müller, U. Hoyer et al., **Vergleich verschiedener Modultechnologien unter realen Betriebsbedingungen**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 09.–11.03.2016

C. Buerhop, T. Pickel, M. Dalsass, H. Scheuerpflug, C. Camus, C.J. Brabec, **aIR-PV-Check – A Quality Inspection of PV-Power Plants Without Operation Interruption**, 43<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Portland, USA, 06.–10.06.2016

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, H. Scheuerpflug, C. Dürschner, C. Camus, J. Hauch et al., **aIR-PV-Check of Thin-Film PV-Plants – Detection of PID and Other Defects in CIGS Modules**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016

C. Buerhop, T. Pickel, H. Scheuerpflug, **Elektrische und thermische Wechselwirkung defekter PV-Module in Modulstrings**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 09.–11.03.2016

C. Buerhop, H. Scheuerpflug, **Inspection of PV-Modules and PV-Generators under Real Operating Conditions Using IR-Thermography and UAVs**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEneC 2016), Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016

C. Buerhop-Lutz, J. Dettelbacher, T. Pickel, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **IR-Images of Defective PV-Modules Influenced by Short-Time Changes of the Electric System**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, T. Pickel, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **IR-Imaging a Tracked PV-Plant Using an Unmanned Aerial Vehicle**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016

C. Buerhop, H. Scheuerpflug, T. Pickel, C. Camus, **Thermographische Überprüfung von PV-Anlagen aus der Luft mittels Oktokopter – aIR-PV-check**, Sensoren und Messsysteme 2016, Nürnberg, Germany, 10.–11.05.2016

N. Bunzmann, S. Weißenseel, M. Auth, S. Väh, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Investigation of Spin States in Organic Light Emitting Diodes Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence via Multi-Frequency ELDMR and EDMR Techniques**, SPP1601 Workshop, Hirschegg, Austria, 04.–08.10.2016

N. Bunzmann, S. Weißenseel, M. Auth, S. Väh, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Spin-Sensitive Investigation of Organic Light Emitting Diodes based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, GRK 2112 Workshop, Niederstetten, Germany, 28.–29.09.2016

K. Burlafinger, A. Vetter, C.J. Brabec, **Ultrafast Screening Method for Assessing the Photo-Stability of Thin Film Solar Cells**, Integration of Sustainable Energy Conference (iSEneC 2016), Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016

M. Dalsass, S. Dotenco, P.L. Winkler, T. Würzner, **Algorithmus zur automatischen Erkennung von defekten PV-Modulen in IR-Luftaufnahmen von PV-Freiflächenanlagen**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 09.–11.03.2016

- M. Dalsass, S. Dotenco, P.L. Winkler, T. Würzner, **Algorithmus zur automatischen Erkennung von defekten PV-Modulen in IR-Luftaufnahmen von PV-Freiflächenanlagen**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 09.–11.03.2016
- M. Dalsass, H. Scheuerpflug, F.W. Fecher, C. Buerhop-Lutz, C. Camus, C.J. Brabec, **Correlation Between the Generated String Powers of a Photovoltaic Power Plant and Module Defects Detected by Aerial Thermography**, 43<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Portland, USA, 05.–10.06.2016
- M. Dalsass, S. Deitsch, P. Luchscheider, F. Gallwitz, C.J. Brabec, **Performance of a Module and Defect Detection Algorithm for Aerial Infrared Images as a Function of the Flying Altitude**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016
- B. Doll, U. Hoyer, M. Hofer, T. Pickel, C. Buerhop-Lutz, C. Camus et al., **Non-Uniformity Measurements of a Steady State Solar Simulator Using the Hishikawa-Hashimoto Method and Subsequent Improvement**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016
- F. W. Fecher, T. Pickel, C. Buerhop-Lutz, C. Camus, C.J. Brabec, **Failure Classification of Defective PV Modules Based on Maximum Power Point Analysis**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016
- T. Ferschke, T. Schmieler, J. Pflaum, **Investigation of Charge Carrier Distribution in OLEDs by Means of Molecular Photoluminescence Nano-Probes**, FOR1809 Workshop, Niederstetten, Germany, 24.–25.11.2016
- M. Geiger, A. Rohwer, M. Dressel, U. Zschieschang, H. Klauk, J. Pflaum et al., **Transient Localization in Rubrene**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- T. Greese, F. Friedrich, H.A. Gasteiger, **Synthesis and Validation of Carbon Model Surfaces for the Vanadium (IV/V) Redox Reaction**, International Flow Battery Forum 2016, Karlsruhe, Germany, 07.–09.06.2016
- M. Grüne, L. Kudriashova, A. Fritze, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Dynamics of Photo-Excited Charge Carriers in Self-Organized Organic Volume Semiconductors**, FOR1809 Workshop, Niederstetten, Germany, 24.–25.11.2016
- M. Grüne, S. Väth, A. Bauman, V. Dyakonov, **Fabrication and Characterisation of Solution Processed Perovskite Solar Cells with Various Transport Layers**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016
- S. Hammer, T. Schmeiler, J. Pflaum, **Exciton Transport and Dissociation at Organic Single Crystal Surfaces**, GRK 2112 Workshop, Niederstetten, Germany, 28.–29.09.2016
- S. Jäger, S. Wittmann, M. Heindl, A. Linsenmeyer, T. Kunz, C. Camus, **A New Approach to Determine the Crosslinking in Polyethylene-Vinyl Acetate via Raman Spectroscopy**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20.–24.06.2016
- D. Kiermasch, P. Rieder, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Enhancement of Charge Carrier Lifetime in Planar Perovskite Solar Cells by Incorporation of Bromine**, MRS Fall meeting, Boston, USA, 27.11.–02.12.2016
- D. Kiermasch, P. Rieder, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Enhancement of Charge Carrier Lifetime in Planar Perovskite Solar Cells by Incorporation of Bromine**, BMBF-Verbundtreffen Perowskit-Photovoltaik, Würzburg, Germany, 04.–05.10.2016
- I. Lederer, M. Wiener, G. Reichenauer **Structure-Capacitance Relationship of Model Carbon Electrodes for Supercapacitors**, Seminar on Aerogels, Sophia-Antipolis, France, 22.–23.09.2016
- P. Luchscheider, J. Bogenrieder, A. Schmutzer, C. Stegner, **Dezentrale Nutzung von PV-Überschusseinspeisung mit Hilfe eines Quartierspeichers**, 3. Konferenz Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien, Berlin, Germany, 26.–27.01.2016
- L. Ludescher, R. Morak, O. Paris, N. Hüsing, F. Putz, S. Braxmeier et al., **Simultaneous Measurement of Macroscopic Strain and Mesopore Deformation of Silicas with Hierarchical Porosity**, 8<sup>th</sup> International Conference on Porous Media & Annual Meeting, Cincinnati, USA, 09.–12.05.2016
- J. Manara, M. Arduini, J. Hartmann, **An Attempt to Non-Destructively Qualify the Adhesion of Thermal Barrier Coatings**, XIII. International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science (TEMPMEKO 2016), Zakopane, Poland, 26.06.–01.07.2016
- F. Putz, M. Elsässer, C. Balzer, G. Reichenauer, R. Morak, O. Paris et al., **Hierarchically Organized and Anisotropic Porous Silica Monoliths**, 25. Diskussionstagung Anorganisch-Technische Chemie, Frankfurt, Germany, 25.–26.02.2016
- G. Reichenauer, C. Balzer, **In-Situ Dilatometry – a Tool to Access Adsorption-Induced Deformation of Nanoporous Materials**, Fundamentals of Adsorption (FOA 2016), Friedrichshafen, Germany, 30.05.–03.06.2016
- P. Rieder, D. Kiermasch, S. Kiesmüller, A. Baumann, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Preparation and Characterization of Methylammonium Lead Halide Perovskite – From Crystals to Solar Cells**, BMBF-Verbundtreffen Perowskit-Photovoltaik, Würzburg, Germany, 04.–05.10.2016
- O. Schneider, U. Müller, J. Pflaum, **Single Molecule Spectroscopy in a Tunable Cavity System**, DPG Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 06.–11.03.2016

K. Swimm, S. Vidi, G. Reichenauer, H. P. Ebert, **Learning About Coupling of Gaseous and Solid Phase Thermal Transport in Porous Solids**, Seminar on Aerogels, Sophia-Antipolis, France, 22. – 23.09.2016

A. Vetter, **Imaging for Quality Analysis of Solar Cells**, ILMaging 2016, Ilmenau, Germany, 09. – 10.11.2016

### 3.1.4

#### Kolloquien, Seminare, Foren Colloquia, Seminars, Forums

A. Baumann, **Perovskite Solar Cells**, PO-CAONTAS Workshop, Würzburg, Germany, 04. – 05.04.2016

J. Bogenrieder, **Smart Metering: Technische Herausforderungen und Potentiale bei der Integration von Photovoltaik und Speichersystemen**, Messeforum Heim+Handwerk Smart Home, München, Germany, 25.11.2016

C. J. Brabec, **Advanced Material Concepts for Photovoltaic Energy Conversion**, University de Valle, Physics Department, Colombia, Colombia, Spain, 30.11.2016

C. J. Brabec, **Next Generation Materials and Concepts for Photo and X-Ray Detectors**, Center of Advanced Materials, Univ Heidelberg, Heidelberg, Germany, 04.02.2016

C. J. Brabec, **Organic and Hybrid Energy Materials**, Energiematerialien, HZB, Berlin, Berlin, Germany, 10.10.2016

C. J. Brabec, **Organic Photovoltaics: Fundamentals, Microstructure, Materials and Aspects**, University de Valle, Materials Cluster, Colombia, Colombia, Spain, 28.11.2016

C. J. Brabec, **Solution Processed Semiconductor Composites for Energy Applications**, SFB 951 Hybrid Structures, Humboldt Universität Berlin, Berlin, Germany, 12.05.2016

C. J. Brabec, **Über die Zukunft der PV**, FHG Conference Series "Mensch und Technik", Erlangen, Germany, 13.07.2016

V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, Seminar, EPFL Valais Wallis, Sion, Switzerland, 04.02.2016

V. Dyakonov, **On the Role of Spin States in Donor-Acceptor Based Solar Cells and Light Emitting Diodes**, Seminar, University of Bordeaux, Bordeaux, France, 17.11.2016

V. Dyakonov, **Perowskit-Solarzellen erobern die Photovoltaik – kann das ungewöhnliche Material Silizium toppen?**, Physik am Samstag, Würzburg, Germany, 08.10.2016

V. Dyakonov, **Transient Electrical Studies Probing Charge Carrier Recombination in Organic and Hybrid Solar Cells**, Seminar, RU Groningen (RUG), Groningen, Netherlands, 26.02.2016

H. P. Ebert, **Cutting-Edge Gebäudetechnologien**, Fujitsu Partnertage 2016, Würzburg, Germany, 20.04.2016

H. P. Ebert, **Die Bedeutung der Energieeffizienz**, Vortragsreihe im Kultur- und Kommunikationszentrum (KuK), Dettelbach, Germany, 10.06.2016

H. J. Egelhaaf, **Printed Organic Photovoltaics for BIPV**, TPPV Workshop „Druckbare Fensterschichten und Kontakte“, Wien, Austria, 06.06.2016

J. Hauch, **Die Zukunft der Photovoltaik**, Lohnt sich Eigenversorgung durch Photovoltaik im Gewerbe? Unternehmer berichten, Nürnberg, Germany, 21.04.2016

J. Hauch, **Die Zukunft der Photovoltaik**, Umweltcluster meets Energietechnik, Erlangen, Germany, 16.09.2016

J. Hauch, **Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs des PV erzeugten Stroms und ein Ausblick in die Zukunft der Photovoltaik**, Betrieb optimieren. Kosten reduzieren. Münchner Unternehmen verbessern ihre Energieeffizienz, München, Germany, 12.05.2016

A. Hauer, **Energiespeicher – Überblick über Technologien und Anwendungen**, Vortragsreihe – Energiewende und Klimaschutz im Kitzinger Land, Kitzingen, Germany, 12.01.2016

M. Helm, M. Riepl, M. Reuß, **Solar Thermal Cooling**, District Heating Days, Mikkeli, Finland, 24. – 25.08.2016

S. Hiebler, **Salzhydrate – Anforderungen an die Verkapselung**, Workshop „Herausforderungen bei der Verkapselung von PCM“, Dresden, Germany, 01.07.2016

R. Kunde, **Examples of Best Practice Regarding Industrial Waste Heat Utilization in Germany**, Deutsch-Brasilianisches Seminar zur Energieeffizienz in der Industrie, São Paulo, Brazil, 21. – 25.11.2016

P. Luchscheider, **Mehrfachnutzung von Ortsnetzespeichern im Verteilnetz**, ETP-Fachforum „Innovative Netzplanung und -steuerung“, Berlin, Germany, 05. – 06.10.2016

J. Manara, **Anwendung von nanoskaligen Trübungsmitteln in Dämmstoffen**, FachDialog Nanotechnologien im Baubereich, Berlin, Germany, 23. – 24.11.2016

J. Manara, **Low-e Beschichtung vom Labor in die Baupraxis**, Sommerkolloquium Bauphysik 2016, Stuttgart, Germany, 10.06.2016

J. Pflaum, **Electronic and Excitonic Transport in Organic Single Crystals**, Department Seminar, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin, Germany, 06.06.2016

- M. Pröll, H. Karrer, P. Osgyan, **CPC PVT Flachkollektoren**, Workshop PVT Technologien, Bad Staffelstein, Germany, 19.04.2016
- G. Reichenauer, **Elektroden für Superkondensatoren – Erkenntnisse aus der Analyse von Modell-Materialien**, Congress Material innovativ, Würzburg, Germany, 23.02.2016
- G. Reichenauer, **Nanoporous Materials for Energy Technologies**, POCONTAS Summer School 2016, Würzburg, Germany, 04.04.2016
- G. Reichenauer, **Thermal Superinsulations – Principles and Strategies**, Institutsseminar, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Leipzig, Germany, 29.06.2016
- C. Scherdel, **Nanostrukturanalyse mit dem neuen SAXS-Gerät am ZAE Bayern – Informationen für potentielle Nutzer**, Energieseminar, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg, Germany, 26.10.2016
- A. Sperlich, S. Väth, V. Dyakonov, **Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, Condense Matter Seminar of the University of Utah, Salt Lake City, USA, 23.08.2016
- A. Sperlich, S. Väth, V. Dyakonov, **Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, Chemical Physics Seminar of the Argonne National Laboratory, Chicago, USA, 22.09.2016
- A. Sperlich, S. Väth, H. Kraus, N. Bunzmann, S. Weißenseel, V. Dyakonov, **On the Role of Spin States in Donor-Acceptor Based Solar Cells and Light Emitting Diodes**, Physikalisches Kolloquium der Universität Dresden, Dresden, Germany, 22.11.2016
- H. Spliethoff, **Bedarf und Auslastung konventioneller Kraftwerke im Zuge der Energiewende: Eine Metastudie**, COORETEC Beiratssitzung, Bonn, Germany, 03.11.2016
- L. Staudacher, **Potenziale von Wärmepumpen in Kombination mit PV**, VDI Wissensforum – Technikforum Effiziente Wärmepumpen, Würzburg, Germany, 26.–27.10.2016
- A. Vetter, **Imaging for Quality Analysis of Solar Cells**, ILMaging 2016, Ilmenau, Germany, 09.–10.11.2016

## 3.2 VERÖFFENTLICHUNGEN PUBLICATIONS

### 3.2.1

#### Referierte Veröffentlichungen Peer-Reviewed Publications

A. Anisimov, D. Simin, V. Soltamov, S. Lebedev, P. Baranov, G.V. Astakhov, V. Dyakonov, **Optical Thermometry Based on Level Anti-crossing in Silicon Carbide**, *Sci. Rep.*, 6, 2016, 33301, doi: 10.1038/srep33301

M. Arduini, J. Manara, C. Vo, **Modeling of Radiative Properties of Polystyrene Foams Containing IR-Opacifiers**, *Cell. Polym.*, 35 (2), 2016, 49–66

C. Balzer, R. Cimino, G.Y. Gor, A.V. Neimark, G. Reichenauer, **Deformation of Microporous Carbons During N<sub>2</sub>, Ar, and CO<sub>2</sub> Adsorption: Insight from the Density Functional Theory**, *Langmuir*, 32 (32), 2016, 8265–8274, doi: 10.1021/acs.langmuir.6b02036

P. Baranov, V. Dyakonov, **Spin Physics, Spin Chemistry and Spin Technology**, *Appl. Magn. Reson.*, 47 (7), 2016, 655–656, doi: 10.1007/s00723-016-0802-8

T. Beikircher, V. Berger, M. Möckl, **Real-Size Experiments on Reverse Natural Air Convection Between Inclined Parallel Plates for New Insulation Methods in Solar Flat-Plate Collectors**, *J. Sol. Energy Engineering*, 139 (2), 2016, 021003, doi: 10.1115/1.4035024

M. Bernt, H.A. Gasteiger, **Influence of Ionomer Content in IrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Electrodes on PEM Water Electrolyzer Performance**, *J. Electrochem. Soc.*, 163, 2016, F3179–F3189, doi: 10.1149/2.0231611jes

C. Bronnbauer, N. Gasparini, C.J. Brabec, K. Forberich, **Guideline for Efficiency Enhancement in Semi-Transparent Thin-Film Organic Photovoltaics with Dielectric Mirrors**, *Adv. Opt. Mater.*, 4 (7), 2016, 1098–1105, doi: 10.1002/adom.201600080

C. Bronnbauer, A. Osvet, C.J. Brabec, K. Forberich, **Semitransparent Organic Light Emitting Diodes with Bidirectionally Controlled Emission**, *ACS Photonics*, 3 (7), 2016, 1233–1239, doi: 10.1021/acsp Photonics.6b00234

S. Brückner, R. Arbter, M. Pehnt, E. Lävemann, **Industrial Waste Heat Potential in Germany – a Bottom-Up Analysis**, *Energy Effic.*, 9, 2016, 1–13, doi: 10.1007/s12053-016-9463-6

M. Brütting, F. Hemberger, S. Vidi, J. Wachtel, H. Mehling, H.P.Ebert, **Determination of Heat Capacity by Means of Longitudinal Guarded Comparative Calorimeter – Correction Methods**, *Int. J. Thermal Sci.*, 100, 2016, 423–429, doi: 10.1007/s3-540-29527-5

A. Buttler, H. Spliethoff, **Bedarf und Auslastung konventioneller Kraftwerke im Zuge der Energiewende: Eine Metastudie**, *VGB Powertech*, 3, 2016, 41–47

A. Buttler, F. Dinkel, F. Simon, H. Spliethoff, **Variability of Wind and Solar Power – An Assessment of the Current Situation in the European Union Based on the Year 2014**, *Energy*, 106, 2016, 147–161, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.041

M. Calderoni, P.N. Melograno, R. Fedrizzi, M. D'Antoni, M. Helm, M. Riepl, **Quality for Solar Cooling on Component Level**, *Energy Procedia*, 91, 2016, 736–746, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.237

S. Chen, Y. Hou, H. Chen, M. Richter, F. Guo, S. Kahmann et. al., **Exploring the Limiting Open-Circuit Voltage and the Voltage Loss Mechanism in Planar CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> Perovskite Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 6 (18), 2016, 1600132, doi: 10.1002/aenm.201600132

H. Chen, Y. Hou, C.E. Halbig, S. Chen, H. Zhang, N. Li et al., **Extending the Environmental Lifetime of Unpackaged Perovskite Solar Cells Through Interfacial Design**, *J. Mater. Chem. A*, 4 (30), 2016, 11604–11610, doi: 10.1039/c6ta03755k

L.M. Chepyga, G. Jovicic, A. Vetter, A. Osvet, C.J. Brabec, M. Batentschuk, **Photoluminescence Properties of Thermographic Phosphors YAG:Dy and YAG:Dy, Er Doped With Boron and Nitrogen**, *Appl. Phys. B*, 122, 2016, 212, doi: 10.1007/s00340-016-6487-8

C.L. Chochos, R. Singh, M. Kim, N. Gasparini, A. Katsouras, C. Kulshreshtha et al., **Enhancement of the Power Conversion Efficiency in Organic Photovoltaics by Unveiling the Appropriate Polymer Backbone Enlargement Approach**, *Adv. Funct. Mater.*, 26 (11), 2016, 1840–1848, doi: 10.1002/adfm.201504953

A. Demilecamps, M. Alves, A. Rigacci, G. Reichenauer, T. Budtova, **Nanostructured Interpenetrated Organic-Inorganic Aerogels with Thermal Superinsulating Properties**, *J. Non-Cryst. Solids*, 452, 2016, 259–265, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2016.09.003

S. Eyerer, C. Wieland, A. Vandersickel, H. Spliethoff, **Experimental Study of an ORC (Organic Rankine Cycle) and Analysis of R1233zd-E as a Drop-In Replacement for R245fa for Low Temperature Heat Utilization**, *Energy*, 103, 2016, 660–671, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.034

H. Fink, J. Friedl, U. Stimming, **Composition of the Electrode Determines Which Half-Cell's Rate Constant is Higher in a Vanadium Flow Battery**, *J. Phys. Chem.*, 120 (29), 2016, 15893–15901, doi: 10.1021/acs.jpcc.5b12098

N. Gasparini, X. Jiao, T. Heumueller, D. Baran, G.J. Matt, S. Fladischer et al., **Designing Ternary Blend Bulk Heterojunction Solar Cells with Reduced Carrier Recombination and a Fill Factor of 77%**, *Nature Energy*, 1, 2016, 16118, doi: 10.1038/nenergy.2016.118

- M. Geisler, S. Vidi, H.P. Ebert, **Study on the Principle Mechanisms of Heat Transfer for Cryogenic Insulations: Especially Accounting for the Temperature-Dependent Deposition-Evacuation of the Filling Gas (Self-Evacuating Systems)**, *Int. J. Thermophys.*, 37 (11), 2016, 105, doi: 10.1007/s10765-016-2114-5
- M. Geisler, H.P. Ebert, **Thermal Characterization and Effect of Deposited CO<sub>2</sub> on a Cryogenic Insulation System Based on a Spherical Powder**, *Int. J. Thermophys.*, 37 (8), 2016, 20.03.00, doi: 10.1007/s10765-016-2087-4
- S. Halama, H. Spliethoff, **Reaction Kinetics of Pressurized Entrained Flow Coal Gasification: Computational Fluid Dynamics Simulation of a 5 MW Siemens Test Gasifier**, *J. Energy Res. Technol.*, 138 (4), 2016, 042204, doi: 10.1115/1.4032620
- A. Hashemi, G. Jovicic, M. Batentschuk, C.J. Brabec, A. Vetter, **Contactless Temperature Determination Using Dual-Channel Lock-In Phosphor Thermometry**, *Meas. Sci. Technol.*, 28 (2), 2016, 027001, doi: 10.1088/1361-6501/aa5010
- F. Reda, M. Viot, K. Sipila, M. Helm, **Energy Assessment of Solar Cooling Thermally Driven System Configurations for an Office Building in a Nordic Country**, *Appl. Energy*, 166, 2016, 27–43, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.119
- J. Hentschel, U. Babić, H. Spliethoff, **A Parametric Approach for the Valuation of Power Plant Flexibility Options**, *Energy Reports*, 2, 2016, 40–47, doi: 10.1016/j.egy.2016.03.002
- J. Hepp, C.J. Brabec, A. Vetter, **Automatized Analysis of IR-images of Photovoltaic Modules and its Use for Quality Control of Solar Cells**, *Energy Sci. Eng.*, 4 (6), 2016, 363–371, doi: 10.1002/ese3.140
- T. Heumueller, W.R. Mateker, A. Distler, U.F. Fritze, R. Checharoen, W.H. Nguyen et al., **Morphological and Electrical Control of Fullerene Dimerization Determines Organic Photovoltaic Stability**, *Energy Environ. Sci.*, 9 (1), 2016, 247–256, doi: 10.1039/C5EE02912K
- Y. Hou, W. Chen, D. Baran, T. Stubhan, N.A. Luechinger, B. Hartmeier et al., **Overcoming the Interface Losses in Planar Heterojunction Perovskite-Based Solar Cells**, *Adv. Mater.*, 28 (25), 2016, 5112–5120, doi: 10.1002/adma.201504168
- S. Kahmann, D. Fazzi, G.J. Matt, W. Thiel, M.A. Loi, C.J. Brabec, **Polarons in Narrow Band Gap Polymers Probed over the Entire Infrared Range: A Joint Experimental and Theoretical Investigation**, *J. Phys. Chem. Lett.*, 7 (22), 2016, 4438–4444, doi: 10.1021/acs.jpcl.6b02083
- L. Ke, J. Min, M. Adam, N. Gasparini, Y. Hou, J.D. Perea et al., **A Series of Pyrene-Substituted Silicon Phthalocyanines as Near-IR Sensitizers in Organic Ternary Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 6 (7), 2016, 1502355, doi: 10.1002/aenm.201502355
- L.S. Khanzada, I. Levchuk, Y. Hou, H. Azimi, A.Osvet, R. Ahmad et al., **Effective Ligand Engineering of the Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Nanocrystal Surface for Increasing Hole Transport Efficiency in Perovskite Solar Cells**, *Adv. Funct. Mater.*, 26 (45), 2016, 8300–8306, doi: 10.1002/adfm.201603441
- D. Kiermasch, P. Rieder, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Improved Charge Carrier Lifetime in Planar Perovskite Solar Cells by Bromine Doping**, *Sci. Rep.*, 6, 2016, 39333, doi: 10.1038/srep39333
- U. Kleinhans, R. Ruck, S. Schmid, T. Haselsteiner, H. Spliethoff, **Alkali Vapor Condensation on Heat Exchanging Surfaces: Laboratory-Scale Experiments and a Mechanistic CFD Modeling Approach**, *Energy Fuels*, 30 (11), 2016, 9793–9800, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b01658
- P. Kowalczyk, C. Balzer, G. Reichenauer, A.P. Terzyk, P.A. Gauden, A.V. Neimark, **Using In-Situ Adsorption Dilatometry for Assessment of Micropore Size Distribution in Monolithic Carbons**, *Carbon*, 103, 2016, 263–272, doi: 10.1016/j.carbon.2016.02.080
- H. Kraus, M.C. Heiber, S. Vãth, J. Kern, C. Deibel, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Analysis of Triplet Exciton Loss Pathways in PTB7:PC71BM Bulk Heterojunction Solar Cells**, *Sci. Rep.*, 6, 2016, 29158, doi: 10.1038/srep29158
- M.P. Kurowski, H. Spliethoff, **Deposition and Slag Flow Modeling with SPH for a Generic Gasifier with Different Coal Ashes Using Feasibility Data**, *Fuel*, 172, 2016, 218–227, doi: 10.1016/j.fuel.2016.01.020
- M.P. Kurowski, H. Spliethoff, **Deposition and Slagging in an Entrained-Flow Gasifier with Focus on Heat Transfer, Reactor Design and Flow Dynamics with SPH**, *Fuel Process. Technol.*, 152, 2016, 147–155, doi: 10.1016/j.fuproc.2016.06.029
- I. Levchuk, Y. Hou, M. Gruber, M. Brandl, P. Herre, X. Tang et al., **Deciphering the Role of Impurities in Methylammonium Iodide and Their Impact on the Performance of Perovskite Solar Cells**, *Adv. Mater. Interfaces*, 3 (22), 2016, 1600593, doi: 10.1002/admi.201600593
- I. Levchuk, C. Würt, F. Krause, A. Osvet, M. Batentschuk, U. Resch-Genger et al., **Industrially Scalable and Cost-Effective Mn<sup>2+</sup> Doped ZnxCd1-xS/ZnS Nanocrystals with 70% Photoluminescence Quantum Yield as Efficient Down-Shifting Materials in Photovoltaics**, *Energy Environ. Sci.*, 9 (3), 2016, 1083–1094, doi: 10.1039/C5EE03165F
- L. Lucera, F. Machui, P. Kubis, H.D. Schmidt, J. Adams, S. Strohm et al., **Highly Efficient, Large Area, Roll Coated Flexible and Rigid OPV Modules with Geometric Fill Factors up to 98.5% Processed with Commercially Available Materials**, *Energy Environ. Sci.*, 9 (1), 2016, 89–94, doi: 10.1039/C5EE03315B

- Y.N. Luponosov, J. Min, A.N. Solodukhin, O.V. Kozlov, M.A. Obrezkova, S.M. Peregudova et al., **Effects of Electron-Withdrawing Group and Electron-Donating Core Combinations on Physical Properties and Photovoltaic Performance in D- $\pi$ -A Star-Shaped Small Molecules**, *Org. Electron.*, 32, 2016, 157–168, doi: 10.1016/j.orgel.2016.02.027
- Y.N. Luponosov, J. Min, A.N. Solodukhin, A.V. Bakirov, P.V. Dmitryakov, M.A. Shcherbina et al., **Star-Shaped D- $\pi$ -A Oligothiophenes with a Tris(2-methoxyphenyl)amine Core and Alkyldicyanovinyl Groups: Synthesis and Physical and Photovoltaic Properties**, *J. Mater. Chem. C*, 4 (29), 2016, 7061-7076, doi: 10.1039/c6tc01530a
- P. Maisch, K.C. Tam, L. Lucera, H.J. Egelhaaf, H. Scheiber, E. Maier et al., **Inkjet Printed Silver Nanowire Percolation Networks as Electrodes for Highly Efficient Semitransparent Organic Solar Cells**, *Org. Electron.*, 38, 2016, 139–143, doi: 10.1016/j.orgel.2016.08.006
- R.G. Martinez, E. Goiti, G. Reichenauer, S.Zhao, M. Koebel, A. Barrio, **Thermal Assessment of Ambient Pressure Dried Silica Aerogel Composite Boards at Laboratory and Field Scale**, *Energy Build.*, 128, 2016, 111–118, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.071
- J. Min, C. Bronnbauer, Z.G. Zhang, C.H. Cui, Y.N. Luponosov, I. Ata et al., **Fully Solution-Processed Small Molecule Semitransparent Solar Cells: Optimization of Transparent Cathode Architecture and Four Absorbing Layers**, *Adv. Funct. Mater.*, 26 (25), 2016, 4543–4550, doi: 10.1002/adfm.201505411
- J. Min, X. Jiao, V. Sgobba, B. Kand, T. Heumüller, S. Rechberger et al., **High Efficiency and Stability Small Molecule Solar Cells Developed by Bulk Microstructure Fine-Tuning**, *Nano Energy*, 28, 2016, 241–249, doi: 10.1016/j.nanoen.2016.08.047
- J. Min, O.K. Kwon, C. Cui, J.H. Park, Y. Wu, S.Y. Park et al., **High Performance All-Small-Molecule Solar Cells: Engineering the Nanomorphology: Via Processing Additives**, *J. Mater. Chem. A*, 4 (37), 2016, 14234–14240, doi: 10.1039/c6ta05303c
- J. Min, C. Cui, T. Heumueller, S. Fladischer, X. Cheng, E. Spiecker et al., **Side-Chain Engineering for Enhancing the Properties of Small Molecule Solar Cells: A Trade-off Beyond Efficiency**, *Adv. Energy Mater.*, 6 (14), 2016, 1600515, doi: 10.1002/aenm.201600515
- J. Min, X.C. Jiao, I. Ata, A. Osvet, T. Ameri, P. Bauerle et al., **Time-Dependent Morphology Evolution of Solution-Processed Small Molecule Solar Cells during Solvent Vapor Annealing**, *Adv. Energy Mater.*, 6 (10), 2016, 1502579, doi: 10.1002/aenm.201502579
- L. Miro, S. Brueckner, R. McKenna, L.F. Cabeza, **Methodologies to Estimate Industrial Waste Heat Potential by Transferring Key Figures: A Case Study for Spain**, *Appl. Energy*, 169, 2016, 866–873, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.089
- D. Niesner, M. Wilhelm, I. Levchuk, A. Osvet, S. Shrestha, M. Batentschuk et al., **Giant Rashba Splitting in CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> Organic-Inorganic Perovskite**, *Phys. Rev. Lett.*, 117 (12), 2016, 126401, doi: 10.1103/PhysRevLett.117.126401
- J.D. Perea, S. Langner, M. Salvador, J. Kontos, G. Jarvas, F. Winkler et al., **Combined Computational Approach Based on Density Functional Theory and Artificial Neural Networks for Predicting the Solubility Parameters of Fullerenes**, *J. Phys. Chem. B*, 120 (19), 2016, 4431–4438, doi: 10.1021/acs.jpcc.6b00787
- M. Proell, H. Karrer, C.J. Brabec, A. Hauer, **The Influence of CPC Reflectors on the Electrical Incidence Angle Modifier of c-Si Cells in a PVT Hybrid Collector**, *Sol. Energy*, 126, 2016, 220–230, doi: 10.1016/j.solener.2016.01.012
- C.O. Ramírez Quiroz, C. Bronnbauer, I. Levchuk, Y. Hou, C.J. Brabec, K. Forberich, **Coloring Semitransparent Perovskite Solar Cells via Dielectric Mirrors**, *ACS NANO*, 10 (5), 2016, 5104–5112, doi: 10.1021/acs.nano.6b00225
- H.H. Ramanitra, S. Dowland, B. Bregadiolli, M. Salvador, H. Santos Silva, D. Begue et al., **Increased Thermal Stabilization of Polymer Photovoltaic Cells with Oligomeric PCBM**, *J. Mater. Chem. C*, 4 (34), 2016, 8121–8129, doi: 10.1039/C6TC03290G
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, P. Dolado, J. Gaisa, A. de Gracia et al., **IEA SHC Task 42/ECES Annex 29 – A Simple Tool for the Economic Evaluation of Thermal Energy Storages**, *Energy Procedia*, 91, 2016, 197–206, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.203
- F. Reda, M. Viot, K. Sipilä, M. Helm, **Energy Assessment of Solar Cooling Thermally Driven System Configurations for an Office Building in a Nordic Country**, *Appl. Energy*, 166, 2016, 27–43, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.119
- D. Riedel, T. Wehlius, T.C.G. Reusch, C.J. Brabec, **Polymer-Based Scattering Layers for Internal Light Extraction from Organic Light Emitting Diodes**, *Org. Electron.*, 32, 2016, 27–33, doi: 10.1016/j.orgel.2016.02.004
- A. Ristić, S. Furbo, C. Moser, H. Schranzhofer, A. Lázaro, M. Delgado et al., **IEA SHC Task 42/ECES Annex 29 WG A1: Engineering and Processing of PCMs, TCMs and Sorption Materials**, *Energy Procedia*, 91, 2016, 207–217, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.205
- M. Rommel, A. Hauer, W. van Helden, **IEA SHC Task 42/ECES Annex 29 Compact Thermal Energy Storage**, *Energy Procedia*, 91, 2016, 226–230, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.208



- A. Schindler, G. Neumann, D. Stobitzer, S. Vidi, **Accuracy of a Guarded Hot Plate (GHP) in the Temperature Range Between-160 Degrees C and 700 Degrees C**, High Temp. High Press., 45 (2), 2016, 81–96
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Calorimetric Investigation of the Concentration Dependent Enthalpy Change Around Semicongruent Melting CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O**, Thermochem. Acta, 635, 2016, 26–33, doi: 10.1016/j.tca.2016.04.023
- D. Simin, V.A. Soltamov, A.V. Poshakinskiy, A.N. Anisimov, R.A. Babunts, V. Dyakonov et al., **All-Optical dc Nanotesla Magnetometry Using Silicon Vacancy Fine Structure in Isotopically Purified Silicon Carbide**, Phys. Rev. X, 6 (3), 2016, 031014, doi: 10.1103/PhysRevX.6.031014
- A. Solodovnyk, C. Kick, A. Osvet, H.J. Egelhaaf, E. Stern, M. Batentschuk et al., **Optimization of Solution-Processed Luminescent Down-Shifting Layers for Photovoltaics by Customizing Organic Dye Based Thick Films**, Energy Technol., 4 (3), 2016, 385–392, doi: 10.1002/ente.201500404
- K. Speth, M. Murer, H. Spliethoff, **Experimental Investigation of Nitrogen Species Distribution in Wood Combustion and Their Influence on NO<sub>x</sub> Reduction by Combining Air Staging and Ammonia Injection**, Energy Fuels, 30 (7), 2016, 5816–5824, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b00943
- K. Speth, M. Murer, R. von Raven, H. Spliethoff, **Influence of Stoichiometry and Mixing on NO Reduction in Waste-to-Energy Plants**, Energy Fuels, 30 (12), 2016, 10893–10899, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b02318
- G.D. Spyropoulos, C.O. Ramirez Quiroz, Y. Hou, N. Gasparini, M. Salvador, P. Schweizer et al., **Organic and Perovskite Solar Modules Innovated by Adhesive Top Electrode and Depth-Resolved Laser Patterning**, Energy Environ. Sci., 9 (7), 2016, 2302–2313, doi: 10.1039/C6EE01555G
- C. Stegner, J. Bogenrieder, P. Luchscheider, C.J. Brabec, **First Year of Smart Metering with a High Time Resolution – Realistic Self-Sufficiency Rates for Households with Solar Batteries**, Energy Procedia, 99, 2016, 360–369, doi: org/10.1016/j.egypro.2016.10.126
- X. Tang, M. Brandl, B. May, I. Levchuk, Y. Hou, M. Richter et al., **Photoinduced Degradation of Methylammonium Lead Triiodide Perovskite Semiconductors**, J. Mater. Chem. A, 4 (41), 2016, 15896–15903, doi: 10.1039/c6ta06497c
- A. Tournebize, M. Seck, A. Vincze, A. Distler, H.J. Egelhaaf, C.J. Brabec et al., **Photodegradation of Si-PCPDTBT:PCBM Active Layer for Organic Solar Cells Applications: A Surface and Bulk Investigation**, Sol. En. Mater. Sol. Cells, 155, 2016, 323–330, doi: 10.1016/j.solmat.2016.06.026
- I.A. Tsanakas, L.D. Ha, C. Buerhop, **Faults and Infrared Thermographic Diagnosis in Operating c-Si Photovoltaic Modules: A Review of Research and Future Challenges**, Renew. Sustain. Energy Rev., 62, 2016, 695–709, doi: 10.1016/j.rser.2016.04.079
- T. Uekert, A. Solodovnyk, S. Ponomarenko, A. Osvet, I. Levchuk, J. Gast et al., **Nanostructured Organosilicon Luminophores in Highly Efficient Luminescent Down-Shifting Layers for Thin Film Photovoltaics**, Sol. En. Mater. Sol. Cells, 155, 2016, 1–8, doi: 10.1016/j.solmat.2016.04.019
- W. van Helden, M. Yamaha, C. Rathgeber, A. Hauer, F. Huaylla, N. Le Pierrès et al., **IEA SHC Task 42/ECES Annex 29 – Working Group B: Applications of Compact Thermal Energy Storage**, Energy Procedia, 91, 2016, 231–245, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.210
- S. Väh, K. Tvingstedt, M. Auth, A. Sperlich, A. Dabuliene, V. Dyakonov et al., **Direct Observation of Spin States Involved in Organic Electroluminescence Based on Thermally Activated Delayed Fluorescence**, Adv. Optical Mater., 2016, 1600926, doi: 10.1002/adom.201600926
- S. Väh, K. Tvingstedt, A. Baumann, M.C. Heiber, A. Sperlich, J. A. Love et al., **Triplet Excitons in Highly Efficient Solar Cells Based on the Soluble Small Molecule p-DTS(FBTTh<sub>2</sub>)<sub>2</sub>**, Adv. Energy Mater., 2016, 1602016, doi: 10.1002/aenm.201602016
- A. Vetter, J. Hepp, C.J. Brabec, **Automatized Segmentation of Photovoltaic Modules in IR-Images With Extreme Noise**, Infrared Phys. Technol., 76, 2016, 439–443, doi: 10.1016/j.infrared.2016.03.020
- A. Vetter, K. Burlafinger, C.J. Brabec, **Ultrafast Screening Method for Assessing the Photostability of Thin-Film Solar Cells**, Electri. Eng., 98 (4), 2016, 341–345, doi: 10.1007/s00202-016-0418-x
- Y. Wang, J.M. Kuckelkorn, F.Y. Zhao, M. Mu, D. Li, **Evaluation on Energy Performance in a Low-Energy Building Using New Energy Conservation Index Based on Monitoring Measurement System with Sensor Network**, Energy Build., 123, 2016, 79–91, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.04.056
- H. Weinläder, F. Klinker, M. Yasin, **PCM Cooling Ceilings in the Energy Efficiency Center – Passive Coolingpotential of two Different System Designs**, Energy Build., 119, 2016, 93–100, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.03.031
- C. Wieland, D. Meinel, S. Eyerer, G. Spliethoff, **Innovative CHP Concept for ORC and its Benefit Compared to Conventional Concepts**, Appl. Energy, 183, 2016, 478–490, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.193

H. Zhang, W.Y. Tan, S. Fladischer, L. Ke, T. Ameri, N. Li et al., **Roll to Roll Compatible Fabrication of Inverted Organic Solar Cells with a Self-Organized Charge Selective Cathode Interfacial Layer**, *J. Mater. Chem. A*, 4 (14), 2016, 5032–5038, doi: 10.1039/C6TA00391E

H. Zhang, R.C. Shallcross, N. Li, T. Stubhan, Y. Hou, W. Chen et al., **Overcoming Electrode-Induced Losses in Organic Solar Cells by Tailoring a Quasi-Ohmic Contact to Fullerenes via Solution-Processed Alkali Hydroxide Layers**, *Adv. Energy Mater.*, 6 (9), 2016, 1502195, doi: 10.1002/aenm.201502195

A. Vetter, F.S. Babbe, B. Hofbeck, P. Kubis, M. Richter, S.J. Heise et al., **Visualizing the Performance Loss of Solar Cells by IR Thermography – an Evaluation Study on CIGS with Artificially Induced Defects**, *Prog. Photovolt.*, 24 (7), 2016, 1001–1008, doi: 10.1002/pip.2749

L. Viani, A. Minoia, J. Cornil, D. Beljonne, H.J. Egelhaaf, J. Gierschner, **Resonant Energy Transport in Dye-Filled Monolithic Crystals of Zeolite L: Modeling of Inhomogeneity**, *J. Phys. Chem. C*, 120 (48), 2016, 27192–27199, doi: 10.1021/acs.jpcc.6b10038

### 3.2.2

#### Referierte Tagungsbandbeiträge Conference Papers

J. Adams, B. Doll, C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, J. Teubner, C. Camus et al., **Non-Stationary Outdoor EL-Measurements with a Fast and Highly Sensitive InGaAs Camera**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2173–2176, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.4.1

J. Bogenrieder, P. Hösch, C. Sölch, C.J. Brabec, **Impact of a Large-Scale Market Integration on the Orientation of Photovoltaic Modules**, 13<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market (EEM), Porto, Portugal, 06–09.2016, doi: 10.1109/EEM.2016.7521343

M. Brütting, T. Hagen, S. Vidi, F. Hemberger, H. P. Ebert, **Measurement of Thermal Conductivity and Heat Capacity of Phase Change Materials with the Longitudinal Heat Flow Method**, Refrigeration Science and Technology (11<sup>th</sup> IIR Conference), Karlsruhe, Germany, 18–20.05.2016, p. 62–69, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0007

C. Buerhop, T. Pickel, M. Dalsass, H. Scheuerpflug, C. Camus, C.J. Brabec, **aIR-PV-Check – A Quality Inspection of PV-Power Plants Without Operation Interruption**, 43<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Portland, USA, 06–10.06.2016, doi: 10.1109/PVSC.2016.7749909

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, H. Scheuerpflug, C. Dürschner, C. Camus, J. Hauch et al., **aIR-PV-Check of Thin-Film PV-Plants – Detection of PID and Other Defects in CIGS Modules**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2021–2026, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.2.51

C. Buerhop-Lutz, J. Dettelbacher, T. Pickel, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **IR-Images of Defective PV-Modules Influenced by Short-Time Changes of the Electric System**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2027–2029, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.2.53

C. Buerhop, T. Pickel, T. Blumberg, J. Adams, S. Wrana, M. Dalsass et al., **IR-Images of PV-Modules with Potential Induced Degradation (PID) Correlated to Monitored String Power Output**, SPIE Optics + Photonics for Sustainable Energy, San Diego, USA, 28.08–01.09.2016, doi: 10.1117/12.2237800

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, T. Pickel, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **IR-Imaging a Tracked PV-Plant Using an Unmanned Aerial Vehicle**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2016–2020, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.2.50

C. Buerhop, T. Pickel, H. Scheuerpflug, C. Camus, J. Hauch, C.J. Brabec, **Statistical Overview of Findings by IR-Inspections of PV-plants**, SPIE Optics + Photonics for Sustainable Energy, San Diego, USA, 28.08–01.09.2016, doi: 10.1117/12.2237821

C. Camus, C. Buerhop-Lutz, S. Wrana, J. Adams, T. Pickel, H. Scheuerpflug et al., **Direct Evidence for Hot-Cell-Induced Modifications in PV Module Encapsulants**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 1548–1551, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BO.10.6

M. Dalsass, H. Scheuerpflug, F.W. Fecher, C. Buerhop-Lutz, C. Camus, C.J. Brabec, **Correlation Between the Generated String Powers of a Photovoltaic: Power Plant and Module Defects Detected by Aerial Thermography**, 43<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Portland, USA, 06–10.06.2016, p. 3113–3118, doi: 10.1109/PVSC.2016.7750239

M. Dalsass, S. Deitsch, P. Luchscheider, F. Gallwitz, C.J. Brabec, **Performance of a Module and Defect Detection Algorithm for Aerial Infrared Images as a Function of the Flying Altitude**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2036–2040, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.2.60

- B. Doll, U. Hoyer, M. Hofer, T. Pickel, C. Buerhop-Lutz, C. Camus et al., **Non-Uniformity Measurements of a Steady State Solar Simulator Using the Hishikawa-Hashimoto Method and Subsequent Improvement**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 1837–1841, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.1.15
- S. Dotenco, M. Dalsass, L. Winkler, T. Wurzner, C. J. Brabec, A. Maier et al., **Automatic Detection and Analysis of Photovoltaic Modules in Aerial Infrared Imagery**, IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2016), Lake Placid, USA, 07–10.03.2016, doi: 10.1109/WACV.2016.7477658
- F.W. Fecher, T. Pickel, C. Buerhop-Lutz, C. Camus, C. J. Brabec, **Failure Classification of Defective PV Modules Based on Maximum Power Point Analysis**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 2252–2254, doi: 10.4229/EU-PVSEC20162016-5BV.4.27
- S. Gschwander, T. Haussmann, G. Hagelstein, C. Barreneche, G. Ferrer, L.F. Cabeza et al., **Standardization of PCM Characterization via DSC**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18–20.05.2016, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0008
- S. Harrer, C. Dotterweich, J. Hartmann, M.H. Zink, F. Hemberger, H. P. Ebert et al., **Phase Change Materials for Use in Thermally and Electrically Stressed Insulation for High Voltage Applications**, IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 19–22.06.2016, p. 605–608, doi: 10.1109/EIC.2016.7548675
- B. Jaeckel, B. Weinreich, C. Buerhop-Lutz, U. Jahn, **Outdoor Non-Destructive Infrared Thermography of Photovoltaic Modules and Plants for Inspection: IEC 62446-3**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 1741–1745, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5DO.12.3
- S. Jäger, S. Wittmann, M. Heindl, A. Linsenmeyer, T. Kunz, C. Camus, **A New Approach to Determine the Crosslinking in Polyethylene-Vinyl Acetate via Raman Spectroscopy**, 32<sup>nd</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), München, Germany, 20–24.06.2016, p. 1815–1818, doi: 10.4229/EUPVSEC20162016-5BV.1.5
- W. Liu, C. Wieland, D. Meinel, H. Spliethoff, **Optimal Heat Source Temperature For Supercritical Organic Rankine Cycle**, 16<sup>th</sup> International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, USA, 11–14.07.2016, <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1670>
- L. Lucera, F. Machui, P. Kubis, H.J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **Highly Efficient, Large Area, Roll Coated Flexible and Rigid Solar Modules: Design Rules and Realization**, 43<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Portland, USA, 06–10.06.2016, 234–237, doi: 10.1109/PVSC.2016.7749585
- P. Maisch, K.C. Tam, F.W. Fecher, H.J. Egelhaaf, C. J. Brabec, H. Scheiber et al., **Inkjet Printing of Highly Conductive Nanoparticle Dispersions for Organic Electronics**, 12th International Congress Molded Interconnect Devices – Scientific Proceedings (MID 2016), Würzburg, Germany, 28–29.09.2016, doi: 10.1109/ICMID.2016.7738932
- P. Maisch, K.C. Tam, L. Lucera, F.W. Fecher, H.J. Egelhaaf, H. Scheiber et al., **Inkjet Printing of Semitransparent Electrodes for Photovoltaic Applications**, SPIE Optics + Photonics, San Diego, USA, 28.08–01.09.2016, doi: 10.1117/12.2236968
- J. Manara, M. Arduini, J. Hartmann, **A Novel Approach for Non-Destructive Testing of the Adhesion of Thermal Barrier Coatings**, 8<sup>th</sup> International Gas Turbine Conference (IGTC 2016), Bruxelles, Belgium, 12–13.10.2016, p. 1–7, Paper ID-Number: 36-IGTC16
- J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, H. P. Ebert, A. Tutschke et al., **Development and Validation of a Long Wavelength Infrared (LWIR) Radiation Thermometer for Contactless Temperature Measurements in Gas Turbines During Operation**, The EVI-GTI and PIWG joint conference on Gas Turbine Instrumentation (GTI 2016), Berlin, Germany, 27–29.09.2016, doi: 10.1049/cp.2016.0845 (gelistet bei Scopus)
- J. Manara, M. Arduini, M. Reim, W. Körner, **Membrane Systems with Improved Thermal Insulation and Translucency for Energy Efficient Textile Architecture**, CESB 2016 – Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future, Praha, Czech Republic, 22–24.06.2016, p. 1183–1190, wird gelistet bei Scopus und ISI Web of Science
- P. Osgyan, T. Beikircher, M. Möckl, M. Reuß, G. Streib, **Universelle ökonomische Zweitableckung zur Steigerung der Leistung von Flachkollektoren**, 26. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 20–22.04.2016
- H. Schmit, M. Frank, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Investigation of K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O as Phase Change Slurry (PCS)**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18–20.05.2016, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0026

- H. Schmit, P. Hennemann, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Tool for the Estimation of the Melting Enthalpy of PCM Based on Binary Mixtures of Salt + Water**, 11<sup>th</sup> IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe, Germany, 18.–20.05.2016, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0025
- A. Solodovnyk, C. Kick, A. Osvet, H.J. Egelhaaf, E. Stern, M. Batentschuk et al., **Computational Optimization and Solution-Processing of Thick and Efficient Luminescent Down-Shifting Layers for Photovoltaics**, SPIE Photonics West 2016, San Francisco, USA, 13.–18.02.2016, 97430G-7, doi: 10.1117/12.2211737
- L. Staudacher, **Einsatzmöglichkeiten von CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonden**, 15. Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Bad Staffelstein, Germany, 18.–19.04.2016
- L. Staudacher, **Potenziale von Wärmepumpen in Kombination mit PV**, VDI Wissensforum – Technikforum Effiziente Wärmepumpen, Würzburg, Germany, 26.–27.10.2016
- L. Staudacher, D. Schink, R. Zorn, H. Steger, **Shallow Geothermal Switch Point Heating System**, 8<sup>th</sup> International Conference SNOW ENGINEERING, Nantes, France, 14.–17.06.2016
- C. Stegner, J. Bogenrieder, .P. Luchscheider, C.J. Brabec, **First Year of Smart Metering with a High Time Resolution – Realistic Self-Sufficiency Rates for Households with Solar Batteries**, 10<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2016), Düsseldorf, Germany, 15.–17.03.2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.10.126
- H. Weinläder, F. Klinker, **Monitoring of PCM-systems for Building Applications**, Refrigeration Science and Technology (11<sup>th</sup> IIR Conference), Karlsruhe, Germany, 18.–20.05.2016, p. 86–93, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0011
- H. Weinläder, F. Klinker, M. Yasin, **Passive Cooling Potential of Two Different PCM Cooling Ceilings in the Energy Efficiency Center**, Refrigeration Science and Technology (11<sup>th</sup> IIR Conference), Karlsruhe, Germany, 18.–20.05.2016, p. 77–85, doi: 10.18462/iir.pcm.2016.0009
- 
- ### 3.2.3
- #### Referierte Tagungsbandbeiträge
- #### Conference Papers
- 
- M. Brütting, S. Vidi, **Entwicklung einer Messmethodik zur thermischen Charakterisierung von PCM-Wärmespeicherkomponenten**, Schlußbericht zum BMWi-Verbundprojekt PCM-Metro, FKZ O3ESP230A, Würzburg, 12/2016
- C. Buerhop, T. Pickel, H. Scheuerpflug, **Elektrische und thermische Wechselwirkung defekter PV-Module in Modulstrings**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 09.–11.03.2016
- J. Conrad, M. Dronia, M. Hinterstocker, P. Luchscheider, **Netzentlastung durch Laufwasserkraftwerke, Residuallastglättung zur Integration erneuerbarer Energien**, eBWK – Das Energie-Fachmagazin, BWK 68 (2016) Nr. 10, Düsseldorf, 06.10.2016, p. 52–54
- M. Dalsass, S. Dotenco, P.L. Winkler, T. Würzner, **Algorithmus zur automatischen Erkennung von defekten PV-Modulen in IR-Luftaufnahmen von PV-Freiflächenanlagen**, OTTI 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 09.–11.03.2016
- H. P. Ebert, T. Kuhn, C. Maurer, M. Krus, D. Schmidt, **Chancen und Potenziale innovativer Wärmedämmung**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 70–74, ISSN 0939-7582
- H. P. Ebert, C. Stark, C. Römer, J. Wachtel, M. Reim, S. Vidi et al., **Entwicklung innovativer Materialien und Komponenten zur energetischen Optimierung von Feuchte-, Licht- und Wärmetechnik in Gebäuden**, Schlußbericht zum BMWi-Verbundprojekt ENOTEC, FKZ O3ET1061A, Würzburg
- F. Giovannetti, R. Pitz-Paal, K. Kramer, W. Kramer, M. Reuß, T. Beikircher et al., **Solare Wärme: Bedeutung, Potenzial, Forschungsaufgaben**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 94–102, ISSN 0939-7582
- S. Glaser, B. Büttner, S. Hippeli, H. Weinläder, S. Beisel, T. Kroyer et al., **Flexibler Randverbund für Vakuumisolierverglas-Systeme**, Schlußbericht zum BMWi-Verbundprojekt VIG-S, FKZ O3ET1147, Würzburg, 02/2016, doi: 10.2314/GBV:870810162
- R. Gurtner, **Forschungsvorhaben Industrielle Abwärmenutzung einer Gießerei durch thermische Energiespeicherung in Kombination mit einem Absorptionsprozess**, Forschungsjahresbericht 2016 des BMWi „Innovation durch Forschung“, Ausgabe 2016
- K. Habicht, K. Fritsch, C. Koch, A. Wörner, T. Bauer, J. Manara et al., **Materialforschung für die Wärmewende**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 85–90, ISSN 0939-7582
- S. Harrer, C. Dotterweich, J. Hartmann, M.H. Zink, T. Schnitzler, H. P. Ebert et al., **Paraffine als Phasenwechselmaterialien in der elektrischen Isolierung von Hochspannungsbau teilen**, Conference: VDE-Hochspannungstechnik 2016 – ETG-Fachtagung, 11/14/2016 – 11/16/2016 at Berlin, Deutschland, Proceedings: ETG-Fb. 150: VDE-Hochspannungstechnik 2016, Proc. ETG-Fb. 150: VDE-Hochspannungstechnik 2016, Pages: 6 Language: germanT, Berlin, 11/2016

- A. Hauer, **Geschirrspüler mit thermochemischem Wärmespeicher**, Nachhaltige Technologien, AEE, Gleisdorf, 03/2016, p. 22–23
- H. Karrer, A. Hauer, A. Bayer, C. Brandt, W. Dallmayer, P. Dotzauer et al., **Erweiterung des Energiespeicherlabors am ZAE Bayern zur Steigerung der Energieeffizienz und Integration Erneuerbarer Energien – ZAE-ES-Lab**, Schlußbericht zum BMWi-Verbundprojekt, FKZ 03ET1348A, Garching, August 2016, doi: 10.2314/GBV:874368200
- A. Krönauer, F. Fischer, C. Rathgeber, E. Lävemann, **Saisonale Speicherung – technische und ökonomische Randbedingungen**, OTTI 5. Fachforum Thermische Energiespeicher, Neumarkt i. d. Opf., 30.06.–01.07.2016, p. 103–109
- A. Krönauer, M. Riepl, **Solare Kühlung – Wie weiter?**, KI Kälte Luft Klimatechnik, Ausgabe 12/2016, p. 32–35, [http://www.ki-portal.de/wp-content/uploads/sites/14/2016/12/KI\\_2016\\_12\\_Forum.pdf](http://www.ki-portal.de/wp-content/uploads/sites/14/2016/12/KI_2016_12_Forum.pdf)
- I. Moeck, J.M. Kuckelkorn, **Tiefengeothermie als Grundlastwärmequelle in der Metropolregion München**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 91–93, ISSN 0939-7582
- R. Niepelt, O. Mercker, D. Büchner, B. Hoffschmidt, J. Schmiedt, S. Weismann et al., **Effiziente Wärmesysteme für Wohngebäude**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 55–60, ISSN 0939-7582
- A. Otto, T. Grube, A. Ortwein, S. Zunft, J. Kaiser, A. Krönauer et al., **Wärme und Effizienz für die Industrie**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 61–65, ISSN 0939-7582
- M. Pröll, H. Karrer, P. Osgyan, **Schwachkonzentrierender PV-T Kollektor für hohe Gesamteffizienz**, Schlußbericht zum BMWi-Verbundprojekt, FKZ 0325993A, Garching, Mai 2016, doi: 10.2314/GBV:870311867
- C. Rathgeber, A. Krönauer, P. Hennemann, H. Schmit, S. Hiebler, **Latentwärmespeicher für Kälteanwendungen**, KKA Kälte Klima Aktuell, Ausgabe 4/2016, p. 38–42, [http://www.kka-online.info/artikel/kka\\_Latentwaermespeicher\\_fuer\\_Kaelteanwendungen\\_2632326.html](http://www.kka-online.info/artikel/kka_Latentwaermespeicher_fuer_Kaelteanwendungen_2632326.html)
- G. Reichenauer, **Nanoporöse Materialien in der Energieforschung**, nanotechnologie aktuell – Ausgabe 9, Lampertheim, 02/2016, 14–20, ISSN 1866-4997
- A. Wörner, T. Fluri, S. Gschwander, J. Steinweg, S. Kranz, S. Hiebler, **Thermische Energiespeicher als sektorenübergreifende Querschnittstechnologie**, Forschung für die Wärmewende, FVEE, Berlin, Mai 2016, p. 75–79, ISSN 0939-7582

## 3.3 STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN DEGREE AND DOCTORAL THESES

### 3.3.1 Studienabschlussarbeiten Degree Theses

- L. de Alejandro Villareal, **Aging Modelling and Cost Evaluation of a Power-To-Gas System**, Technische Universität München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 12/2016, Master
- A. Blockinger, **Untersuchung der Mehrfachnutzung eines elektrischen Quartierspeichers**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 12/2016, Master
- R. Bönnighausen, **Integration von Vanadiumoxid-Dünnschichten als Lochtransportschicht in metallorganischen Perowskit-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 09/2016, Bachelor
- S. Brohm, **Entwicklung eines Beleuchtungssetups für das Leistungsmonitoring von organischen Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 09/2016, Bachelor
- J. Dumke, **Erstellen eines Modells zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades eines stationären Lithium-Ionen-Energiespeichers**, Hochschule Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 06/2016, Master
- T. Ehrmaier, **Hydraulische und thermodynamische Optimierung von Wasserkästen an Rohrbündelwärmetauschern unter Berücksichtigung strategischer und wirtschaftlicher Aspekte**, Hochschule München, Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik, 01/2016, Bachelor
- G. Fink, **Erhöhung des Eigenverbrauchs photovoltaisch angetriebener Heiz- und Kühlsysteme für Bürogebäude**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 11/2016, Master
- M. Fritscher, **Organische Photovoltaik und die Potentiale der Anwendung im Gebäude**, Universität Duisburg-Essen, Physik, 08/2016, Bachelor
- J. Garcin, **Dynamische Simulation von Optimierungstrategien zur Tiefen Erdwärmesonde Arnsberg-Erlenbach 2**, Technische Universität München, Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt, 05/2016, Master
- M. Haas, **Untersuchung eines Lichtrohres mit kombinierter Tages- und Kunstlichtfunktion zur energieeffizienten Erzeugung circadianer Lichtverhältnisse**, Management Center Innsbruck, Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik, 08/2016, Master
- T. Hagen, **Experimentelle Validierung eines Korrekturmodells zur Bestimmung der Wärmekapazität mittels der Longitudinal Guarded Heatflow Methode**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 05/2016, Master
- L. Geisel, **Die tiefe Erdwärmesonde Arnsberg-Erlenbach 2 – Eine Betrachtung der Geologie unter dem Aspekt der Gesteinsporosität**, Technische Universität München, Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt, 08/2016, Bachelor
- J. Hesselbach, **Modifizierung und Charakterisierung von Graphitfilz-Elektroden über einen Sol-Gel-Prozess für die Anwendung in Vanadium-Redox-Flow Batterien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 07/2016, Bachelor
- P. Hösch, **Ost-/Westausrichtung von Photovoltaik-Anlagen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 01/2016, Master
- C. Huber, **Bewertung eines PV-Wärmepumpen Heiz- und Kühlsystems für Bürogebäude**, Fachhochschule Technikum Wien, Erneuerbare Energien, 12/2016, Master
- L. Hörlin, **Impedanzspektroskopie an flüssig-prozessierbaren Perowskit-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 05/2016, Master
- M. Hüttner, **Technologieabhängige Performance verschiedener Photovoltaik Module bei realen Wetterszenarien**, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Maschinenbau/Umwelttechnik, 08/2016, Bachelor
- D. Kiermasch, **Untersuchung der Rekombination in organo-metallischen Perowskit-Solarzellen mittels transients Messmethoden**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 02/2016, Master
- J. Kiesel, **Infrarot-optisches Messverfahren zur Materialcharakterisierung bei hohen Temperaturen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 07/2016, Bachelor
- M. Kausche, **Systemintegration eines direkt mit Biomasse befeuerten Hochtemperaturdesorbers**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 06/2016, Master
- S. Kiesmüller, **Wachstum und Bestimmung der Ladungsträgermobilitäten von organo-metallischen Perowskitkristallen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 07/2016, Bachelor
- J. Lambers, **Aufbau einer Apparatur zur Dampfdruckmessung konzentrierter Salzlösungen für die Entwicklung von PCM**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 11/2016, Master
- E. Lebossé, **Technical Simulation and Economical Comparison of Redox-Flow Battery Systems**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 08/2016, Master

- J. Kremser, **Charakterisierung der infrarot-optischen Eigenschaften von Membrankonstruktionen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 07/2016, Bachelor
- J. Linn, **K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-6H<sub>2</sub>O Phase Change Slurry: Generation and Determination of the Crystal Fraction**, Technische Universität München, Physik, 10/2016, Master
- A. Maußner, **Modellierung und Simulation eines Energiesystems zur Nutzung von Niedertemperaturabwärme mit Hilfe von Wärmetransformationstechnologien**, Management Center Innsbruck, Umwelt-, Verfahrens- & Energietechnik, 12/2016, Master
- S. Nayak, **Performance Optimization of the All-Vanadium Redox Flow Battery for Large Scale Applications**, Technische Universität München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 11/2016, Master
- L. Mabikounou, **Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Kohlenstoffaerogelen mittels des Laserflash-Verfahrens**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 07/2016, Bachelor
- T. Odemer, **Automatic Classification of Defects in Photovoltaic Modules Using Electroluminescence Imaging**, Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Informatik, 03/2016, Bachelor
- O. Ödemis, **Anwendung von MQTT als Schnittstelle zwischen Teilnehmern zukünftiger Smart Grid Szenarien**, Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Informatik, 12/2016, Master
- I. Paulke, **Spektraloptische Messungen an CIGS-Solarzellen zur Inline-Qualitätskontrolle**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 04/2016, Diplom
- J. Reichstein, **Superkondensatoren auf der Basis von Kohlenstoff-Komposit-Elektroden und Feststoffelektrolyten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 07/2016, Bachelor
- J. Röder, **Erweiterung der Energiesystemsimulation eSYS.pro um ein detailliertes Kraftwerksmodell und Untersuchung von Szenarien bis 2050**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 01/2016, Master
- T. Rosenberger, **Betriebswirtschaftliche Optimierungsvorschläge innovativer Gebäudekomponenten am Beispiel einer Passiven-Infrarot-Nachtkühlung**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg – Schweinfurt, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, 09/2016, Diplom
- A. Samoli, **Dynamic Simulation of a Parabolic Trough Process Heat Plant: Comparison with Experimental Data and Simulated Results of a Linear Fresnel Collector**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 05/2016, Master
- E. Scheidemantel, **Simulation von PCM-Kühldecken im Energy Efficiency Center in Würzburg und Validierung mittels Monitoringdaten**, Technische Universität München, Architektur, 07/2016, Master
- F. Schwarz, **Herstellung und Verarbeitung mesoporöser Perowskit-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 09/2016, Bachelor
- M. Sheng, **Untersuchung der energetischen Performance von PCM-Kühldecken in Kombination mit konventioneller Kälteerzeugung am Energy Efficiency Center anhand TRNSYS-Simulationen**, Westsächsische Hochschule Zwickau, Fakultät für Kraftfahrzeugtechnik, 09/2016, Diplom
- D. Spies, **Bestimmung der Leistungsperformance von Solarmodulen anhand ihrer Elektrolumineszenz-Aufnahmen**, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Ingenieurwissenschaften, 11/2016, Master
- M. Seitz, **Adsorption und Lösung von Gasen in Resorcin-Formaldehyd Xerogelen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 04/2016, Bachelor
- V. Stolovytskyi, **Probabilistic Simulation of Residential Household's Load Profiles**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2016, Master
- J. Weller, **Maßnahmen zur Integration von PV-Anlagen in Niederspannungsnetze**, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Elektrotechnik, Medien und Informatik, 03/2016, Master
- M. Straßner, **Sensitivitätsanalyse von geothermischen Eigenschaften der Tiefen Erdwärmesonde Arnsberg-Erlenbach 2**, Technische Universität München, Ingenieur-fakultät Bau Geo Umwelt, 08/2016, Bachelor
- E. Wagenhäuser, **Vergleich von Speicherszenarien zur Erhöhung des Eigenverbrauchs**, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Elektrotechnik und Informationstechnik, 12/2016, Master
- S. Wirsching, **Analyse der Rissbildung in Silizium-Solarmodulen bei mechanischer Belastung mit Hilfe bildgebender Elektrolumineszenz**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 12/2016, Master
- Y. Yang, **Ermittlung der Kältemenge und Kühllastverschiebung von PCM-Kühldecken**, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Maschinenbau und Versorgungstechnik, 08/2016, Bachelor

S. Wrana, **Thermospannungen im Mehrschichtsystem einer Siliziumsolarzelle**, Hochschule Ansbach, Angewandte Ingenieurwissenschaften, 06/2016, Bachelor

Q. Yan, **Design-Tool für solar betriebene Heiz- und Kühlsysteme – Konzipierung und Anwendung**, Technische Universität München, Maschinenwesen, 06/2016, Master

---

### 3.3.2

#### Dissertationen

##### Doctoral Theses

---

J. Bachmann, **Organic Plastic Solar Modules Characterized by Thermal Methods**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Werkstoffwissenschaften, 11/2016

L. Lucera, **Closing the Efficiency Gap Between Lab-Produced Organic Solar Cells and Roll-to-Roll Printed Solar Modules**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2016

A. Solodovnyk, **Design and In-Depth Optical Studies of Advanced Material Concepts for Luminescent Down-Shifting Coatings for Photovoltaics**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 07/2016

K. Swimm, **Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur gasdruckabhängigen Wärmeleitfähigkeit von porösen Materialien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 12/2016

C. Weber, **Electrochemical Energy Storage: Carbon Xerogel-Manganese Oxide Composites as Supercapacitor Electrode Materials**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 02/2016



## 3.4

# PATENTE

## PATENTS

M. Arduini, J. Manara, **Verfahren zur Herstellung einer flüssig-prozessierten, niedrigemittierenden und transparenten Beschichtung**, DE102015005494A1

C. Balzer, S. Duckwitz, G. Reichenauer, W. Spickermann, **Feuchtespeicherndes Stoffgemisch und Bauplatte daraus**, DE102014018799A1

H. Beyrichen, R. Caps, U. Passon, C. Römer, M. Schumm, J. Wachtel, **Schaltbares Vakuumdämmelement**, DE102015007085A1

Energiespeicherung, **Außenwärmedämmelement, nachmontierbare, modular aufgebaute Außenwärmedämmung mit solchen Außenwärmedämmelementen sowie Wärmespeicher hiermit**, DE202016102001U1

T. Kunz, S. Wittmann, **Verfahren zur Bestimmung des Vernetzungsgrads einer Polyethylenverbindung**, DE102015200648A1

P. Osgyan, **Glas-Folien-Verbundelement**, DE202016103466U1

## 3.5 MITARBEIT IN GREMIEN MEMBERSHIP IN COMMITTEES

<b>R. Auer</b>	Netzwerkkoordinator, <b>Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien des BMWi</b>	<b>M. Brütting</b>
Mitglied, <b>Fachausschuss Sachverständigenwesen Photovoltaik (PV) und Photovoltaische Anlagentechnik (PVAT)</b> , IHK Mittelfranken	Principal Investigator, <b>GRK 1896 “In-Situ Microscopy with Electrons, X-Rays and Scanning Probes”</b> , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Expert Task 42 Annex 29, <b>International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”</b> , Annex 29 “Compact Thermal Energy Storages – Material Development and System Integration”
<b>Prof. Dr. C.J. Brabec</b>	Member of the Board, <b>International Conference on Organic Electronics (ICOE)</b>	Vertreter des ZAE Bayerns, <b>RAL Gütegemeinschaft PCM e. V.</b>
Chairman of the Editorial Board, <b>Advanced Energy Materials</b> , Wiley VCH	Mitglied des Programmkomitees, <b>iSEneC 2016 – Integration of Sustainable Energy Conference</b> , Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016	
Principal Investigator, <b>Cluster of Excellence “Engineering of Advanced Materials (EAM)”</b> , Erlangen	Editor, <b>Journal of Photonics for Energy</b> , SPIE	<b>Dr. C. Buerhop-Lutz</b>
Member of the Scientific Advising Board, <b>CRANN AMBER, Trinity College</b> , Dublin, Ireland	Vorstand, <b>Kompetenznetzwerk Wasser und Energie Oberfranken-Ost e. V.</b> , Hof	Mitarbeiterin, <b>Anwendungsrichtlinie – Photovoltaik</b> , RDS-PP
Principal Investigator, <b>CRC 953 “Carbon Allotropes”</b> , Erlangen	Representative, <b>Material Science Department in the Board of the Technical Faculty</b> , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Mitarbeiterin, <b>Arbeitskreis DKE/AK 373.0.30 Infrarot Messtechnik</b> , DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
Collaborating Principal Investigator, <b>CSC “111” Initiative of the Heeger Center</b> , Beijing, China	Member of Scientific Board, <b>Next Generation Solar Energy Conference 2016</b> , Nürnberg, Germany, 23–25.11.2016	Stellvertretende Vorsitzende, <b>Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit sog. UAVs</b> , VDI-GPL Fachausschuss 202.5
Spokesman, <b>Department of Material Science</b> , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Member of Scientific Board, <b>PE Graduate School, Imperial College</b> , London, UK	Stellvertretende Vorsitzende, <b>Instandhaltung von PV-Anlagen, Thermographie, VDI-Richtlinie 2883</b> , VDI-GPL Fachausschuss 202.2
Member of the Editorial Board, <b>Emerging Materials Research</b> , ice publishing	Member of the Editorial Board, <b>Progress in Photovoltaics</b> , Wiley VCH	Mitarbeiterin, <b>Outdoor Infrared Thermography of Photovoltaic Modules and Plants</b> , IEC 62446-3 IR
Deputy Spokesman, Member of the Academic Heads, Member of the Steering Committee, <b>Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN)</b> , Nürnberg	Mitglied des Programmkomitees, <b>PVSEC 2016 – Photovoltaic Solar Energy Conference 2016</b>	<b>Prof. Dr. V. Dyakonov</b>
Member of the Board of Directors, <b>Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN)</b> , Nürnberg	Principal Investigator, <b>Solar Technologies Go Hybrid (SolTech)</b>	Mitglied des Beirats, <b>Bayerischer Cluster „Energietechnik“</b> , Nürnberg
Member, <b>Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT)</b> , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg		Jurymitglied, <b>Bürgerenergiepreis Unterfranken 2016</b> , Bayernwerk
Expert Referee, <b>European Union (EU)</b>		Mitglied, <b>Direktorium des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE)</b> , Berlin

Mitglied, **External Advisory Board**, FP7 EU ICT Project “Sustainable Novel Flexible Organic Watts Efficient Reliability (Sunflower)”

Mitglied des Kuratoriums, **Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoffzentrum**, Würzburg

Mitglied, **Forschungsnetzwerk EE**, BMWi

Mitglied, **Industrie-, Technologie- und Forschungsausschuss der IHK Würzburg-Schweinfurt**

Editorial Advisory Board, **Int. Journal Solar RRL**, Wiley

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

Sprecher, **Schwerpunkt Organische Photovoltaik, Verbund „UmweltNanoTech“**, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München

Editorial Advisory Board, **Scientific Reports**, Springer-Nature

---

#### Dr. H–P. Ebert

---

Mitglied, **Energie- und Umweltausschuss der IHK Würzburg-Schweinfurt**

Gutachterliche Tätigkeit, **Europäische Union (EU)**

Mitglied International Organizing Committee, **European Conference on Thermophysical Properties (ECTP)**

Mitglied, **Industrie-, Technologie- und Forschungsausschuss der IHK Würzburg-Schweinfurt**

Vorsitz, **Lenkungsausschuss Arbeitskreis Thermophysik**, Gesellschaft für thermische Analyse e. V. (GEFTA)

Mitglied, **Prüfungsausschuss Physiklaboranten der IHK Würzburg-Schweinfurt**

Mitglied im Scientific Committee, **WSED next! Conference**

---

#### Dr. J. Hauch

---

Ständiger Gast, **Deutsche Kommission für Elektrotechnik GUK682.1: Gedruckte Elektronik**, DKE, Frankfurt

Mitglied, **Deutsche Kommission für Elektrotechnik K141: Nanotechnologie**, DKE, Frankfurt

Geschäftsführendes Vorstandsmitglied, **ENERGIEregion Nürnberg e. V.**, Nürnberg

Mitglied, **International Electrotechnical Commission TC113: Nanotechnology for electro-technical products and systems**, IEC, Genf, Switzerland

Stellvertretende wissenschaftliche Leitung, **iSEneC 2016 – Integration of Sustainable Energy Conference**, Nürnberg, Germany, 11.–12.07.2016

---

#### Dr. A. Hauer

---

Mitglied des Präsidiums, **Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)**, Berlin

Mitglied, **Energiewende-Plattform Forschung und Innovation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie**, Berlin

Editor in Chief, **Handbook on Energy Storage**, John Wiley & Sons Limited, Chichester, United Kingdom, 2016

Member of Advisory Group, **International Energy Agency IEA, “Grid Integration of Variable Renewables – GIVAR”**, Paris, France, 2016

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”

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 28 “Distributed Energy Storage for the Integration of Renewable Energy – DESIRE”

Tagungsbeirat, **IRES International Renewable Energy Storage Conference 2016**, Düsseldorf, Germany, 15.–17.04.2016

Member of the Editorial Board, **Journal of Energy Storage**, Elsevier, Frankfurt, 2016

Fachliche Leitung, **OTTI Fachforum „Thermische Energiespeicher“**, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 30.06.–01.07.2016

Tagungsbeirat, **OTTI Symposium „Thermische Solarenergie“**, Bad Staffelstein, Germany, 20.–22.04.2016

---

#### Dr. U. Heinemann

---

Subtaskleader, **IEA-EBC: International Energy Agency IEA, Energy in Buildings and Communities Programme**, Annex 65 “Long-Term Performance of Super-Insulating-Materials in Building Components & Systems”

Mitglied im Advisory Board, **International Vacuum Insulation Symposium, IVIS**

Mitglied im Scientific Committee, **International Vacuum Insulation Symposium, IVIS**

---

#### Dr. S. Hiebler

---

Mitglied, **Arbeitsausschuss Thermische Energiespeicher ProcessNet**, Dechema

---

**H. Karrer**

---

Member, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”

---

**Dr. J.M. Kuckelkorn**

---

Session Chair, **4. VDI-Fachtagung “Dezentrale und Hybride Energiesysteme für Gebäude und Quartiere”**, Würzburg, 26.–27.10.2016

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren**, Berlin

Member, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”

---

**R. Kunde**

---

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 6012 Blatt 2.1 „Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude – Thermische Systeme; Biomasse-Feuerungsanlagen“**, Düsseldorf

---

**Dr. P. Luchscheider**

---

Jurymitglied, **Jurysitzung für Baden-Württemberg Programme**, PTKA-BWP

---

**Dr. J. Manara**

---

Mitglied, **Fachausschuss „Werkstoffe der Energietechnik“**, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)

Mitglied, **Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 2.51 „Angewandte Strahlungsthermometrie“**; Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE)

---

**L. Meyering**

---

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren**, Berlin

---

**S. Natzer**

---

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

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 3930 „Effiziente Nutzung der Abwärme von Abgasreinigungsanlagen“**, Düsseldorf

---

**Prof. Dr. J. Pflaum**

---

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

Scientific Committee, **International Conference on Organic Electronics (ICOE)**

Geschäftsführender Vorstand, **Physikalisches Institut**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

---

**M. Pröll**

---

Member, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”

---

**C. Rathgeber**

---

Expert Task 42/29, **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**

---

Mitglied, **DIN Ausschuss NA 082-00-20 AA „Thermische Energiespeicher für gewerbliche bzw. relevante Anwendungen“**, Berlin

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”

Fachliche Leitung, **OTTI 15. Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“**, Bad Staffelstein, Germany, 18.–19.04.2016

Mitglied, **VDI Fachausschuss Energiespeicher**, Düsseldorf

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 4610 „Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen – Wärme- und Kälteschutz“**, Düsseldorf

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

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 4657 „Planung und Integration von Energiespeichern“**, Düsseldorf

Mitglied, **VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU), FB 3 „Energiewandlung und -anwendung“**, Düsseldorf

---

#### M. Riepl

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

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren**, Berlin

Vorstand, **Green Chiller – Verband für Sorptionskälte e.V.**, Berlin

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

---

#### A. Solodovnyk

1<sup>st</sup> PhD Student Representative, Mitglied des Exekutivkomitees, **Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT)**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

---

#### Prof. Dr. H. Spliethoff

Mitglied, **Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung e. V. (DVV)**, Essen

Gutachter, **EU und diversen Forschungseinrichtungen**

Mitglied, **Fachausschuss Energieverfahrenstechnik der GVC, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC)**, Düsseldorf

President, **International Flame Research Foundation (IFRF)**, Italy, 2016

Jurymitglied, **M-Regeneratio**, Förderpreis der Stadtwerke München

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

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 3925 „Werkzeuge zur Bewertung von Abfallbehandlungsverfahren“**, Düsseldorf

Mitglied, **Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik (VEU)**, Duisburg

Mitglied, **Wissenschaftlicher Beirat der VGB (Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber)**

---

#### L. Staudacher

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren**, Berlin

Mitglied, **VDI Richtlinienausschuss VDI 3988 „Solarthermische Prozesswärme“**, Düsseldorf

---

#### Dr. H. Weinläder

Mitglied, **Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V.**

Mitglied, **Fachverband Transparente Wärmedämmung**

---

#### S. Weismann

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

## 3.6 VORLESUNGEN LECTURES

- C.J. Brabec, **Devices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C.J. Brabec, **How to Start a Company**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C.J. Brabec, **Kernfachseminar**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C.J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Anwendung**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C.J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Grundlagen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16, WS 2016/17
- C.J. Brabec, **Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und der Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16, WS 2016/17
- C.J. Brabec, **Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und der Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C.J. Brabec, **Seminar über Bachelor- und Masterarbeiten**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16, SS 2017, WS 2016/17
- C.J. Brabec, **Thin Films: Processing, Characterization and Functionalities**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- C. Camus, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2016/17
- V. Dyakonov, H. P. Ebert, J. Manara, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2016
- V. Dyakonov, G. Astakhov, **Opto-elektronische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2016
- V. Dyakonov, J. Fricke, J. Pflaum, **Seminar über Energieforschung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2015/16, SS 2016, WS 2016/17
- H.J. Egelhaaf, **Grundlagen der Photophysik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16, WS 2016/17
- H.J. Egelhaaf, **Organic Electronics Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2016
- J. Fricke, **Einführung in die Energietechnik**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2015/16, WS 2016/17
- T. Kunz, **Photovoltaik-Technologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16
- J. Manara, **Physikalische Grundlagen im Bereich der Medizintechnik**, Krankenpflegeschule an der Klinik Kitzinger Land, WS 2016
- J. Pflaum, **Moderne Physik 2**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2016/17
- J. Pflaum, **Quanteninformation**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2016
- H. Spliethoff, **Energiesysteme I**, Technische Universität München, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Energiesysteme II**, Technische Universität München, SS 2016
- H. Spliethoff, **Prozesstechnik und Umweltschutz in modernen Kraftwerken**, Technische Universität München, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme I**, Technische Universität München, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme II**, Technische Universität München, SS 2016
- H. Spliethoff, **Strom- und Wärmespeicher**, Technische Universität München, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Thermal Power Plants**, Technische Universität München, SS 2016
- A. Vetter, **Nanodevices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2016/17

## 3.7 AUSZEICHNUNGEN AWARDS

M. Dalsass, S. Dotenco, P.L. Winkler, T. Würzner,  
Preis, **3. Posterpreis**, OTTI 31. Symposium  
Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffel-  
stein, Germany, 09. – 11.03.2016

P. Maisch, K.C. Tam, F.W. Fecher, H.J. Egelhaaf,  
H. Scheiber, E. Maier, C.J. Brabec, Preis, **Best  
Paper Award**, 12. Internationaler Kongress:  
Molded Interconnect Devices 2016 (MID),  
Würzburg, Germany, 28. – 29.09.2016

ZAE Bayern, Bereich Energieeffizienz, **Bayeri-  
scher Energiepreis, Kategorie Produkte und  
Anwendungen**, Projekt „Mobiles Ug-Mess-  
gerät „Uglass““

## 3.8 SONSTIGES MISCELLANEOUS

C. Buerhop-Lutz, Organisation/Moderation,  
**Workshop „aIR-PV-check – Thermographische  
Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“**,  
Erlangen, Germany, 14.07.2016

V. Dyakonov, Interview, Dreharbeiten,  
**Abschlussfilm Projekt UMWELTnanoTECH**,  
Bay. Umweltministerium, StMUV, Abschluss-  
kongress, 23.–25.11.2016

V. Dyakonov, Organisation, **Symposium SYHP:  
Hybrid and Perovskite Photovoltaics**, DPG  
Frühjahrstagung 2016, Regensburg  
06.–11.03.2016

V. Dyakonov, Organisation, **Workshop on  
Perovskite Photovoltaics**, BMBF,  
04.–05.10.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Mitveranstalter, **BIPV-Workshop**, Nürnberg,  
Germany, 21.09.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **Energy Storage Europe**, Düsseldorf,  
Germany, 15.–17.03.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **Hannover Messe (Research &  
Technology)**, Hannover, Germany,  
25.–29.04.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **International Exhibition and  
Conference for the Printed Electronics In-  
dustry (LOPEC)**, München, Germany,  
06.–07.04.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **Intersolar Europe**, München,  
Germany, 22.–24.06.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **iSEneC 2016 – Integration of  
Sustainable Energy Conference**, Nürnberg,  
Germany, 11.–12.07.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **LOPEC**, München, Germany,  
05.–07.04.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Fernsehbeitrag, **Speichertestzentrum  
Arzberg – Taugt Wasserstoff als Energie-  
speicher?**, Frankenschau aktuell, Bayerisches  
Fernsehen, 02.05.2016

ZAE Bayern, Bereich Erneuerbare Energien,  
Aussteller, **Zuse-Tage „Forschung, die  
ankommt“**, Berlin, Germany, 07.–08.06.2016

A. Kirschbaum, Fernsehbeitrag, Fernseh-  
beitrag, **Holz: Alter Baustof – neu gedacht?  
(Monitoring der Plusenergieschule in  
Diedorf)**, “Faszination Wissen”, BR Fernsehen,  
13.12.2016 und “nano”, 3sat, 23.01.2017

P. Osgyan, Aussteller, **OTTI 26. Symposium  
Thermische Solarenergie**, Bad Staffelstein,  
Kloster Banz

A. Robrecht, Führung & Vortrag, **Energie-  
berater aus dem Raum Augsburg**,  
Schmuttertal-Gymnasium Diedorf am  
13.05.2016



ZAE BAYERN



# ADRESSEN ADDRESSES

## Würzburg

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg/Germany

Sitz des Vereins (VR 1386) | Registered Office

T +49 931 70564-500 | F +49 931 70564-600  
info@zae-bayern.de

Bereiche | Divisions

Energieeffizienz | Energy Efficiency  
T +49 931 70564-0 | F +49 931 70564-600  
ef@zae-bayern.de

Zentrale Verwaltung | Central Administration  
T +49 931 70564-351 | F +49 931 70564-600  
ca@zae-bayern.de



## Garching

Walther-Meißner-Str. 6  
85748 Garching/Germany

Bereiche | Divisions

Energiespeicherung | Energy Storage  
T +49 89 329442-0 | F +49 89 329442-12  
es@zae-bayern.de

Marketing, Kommunikation, IT |  
Marketing, Public Relations, IT  
T +49 89 329442-980 | F +49 89 329442-12  
mi@zae-bayern.de

Vorstandsbüro | Office of the Board  
T +49 89 329442-980 | F +49 89 329442-12  
manuela.stepputtis@zae-bayern.de





**Erlangen**

Immerwahrstr. 2  
91058 Erlangen/Germany

Bereich | Division

Erneuerbare Energien | Renewable Energies  
T +49 9131 9398-100 | F +49 9131 9398-199  
re@zae-bayern.de



**Nürnberg**

Fürther Str. 250, Auf AEG, Bau 16  
90429 Nürnberg/Germany

Bereich | Division

Erneuerbare Energien | Renewable Energies  
T +49 911 56854-9350 | F +49 911 56854-9351  
re@zae-bayern.de



**Hof**

Unterkotzauer Weg 25  
95028 Hof/Germany

Bereich | Division

Erneuerbare Energien | Renewable Energies  
T +49 9131 9398-400 | F +49 9131 9398-199  
re@zae-bayern.de

WIE VIEL BLEIBT UNS?  
LEBST DU AUF ZU GROSSEM FUSS?  
BIST DU SCHON REICH UND SAUBER?  
AN ODER AUS?  
UMWANDELN?  
ENERGIE?  
ENERGIEVERBRAUCH?



4 WIE VIEL BLEIBT UNS?

4

3 LEBST DU AUF ZU GROSSEM FUSS?



3

2 BIST DU SCHON REICH UND SAUBER?

2

15 AN ODER AUS?



15 AN ODER AUS?

15 AN ODER AUS?

15 AN ODER AUS?



Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie