

2015

**TÄTIGKEITSBERICHT
ANNUAL REPORT**



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

2015

TÄTIGKEITSBERICHT ANNUAL REPORT

ZAE BAYERN

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

www.zae-bayern.de

Der Vorstand | Executive Board

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

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov

Dr. Bernd Malkowski (Geschäftsführer | CEO)

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff

Stand: 31. Dezember 2015

Status: 31st December 2015



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

IMPRESSUM

IMPRINT

Herausgeber

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

Textbeiträge und Fotos

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

Redaktion und Bearbeitung

Marina Leibold, Anja Matern-Lang

ZAE Bayern

Magdalene-Schoch-Str. 3
97074 Würzburg

T +49 931 70564-500

F +49 931 70564-600

www.zae-bayern.de

pr@zae-bayern.de

Konzept und Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

Druck

bonitasprint GmbH, Würzburg

Copyright

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energie-
forschung e. V. (ZAE Bayern), Würzburg, April 2016

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem
Papier.

Editor

Bavarian Center for Applied Energy Research
(ZAE Bayern)

Articles and Photos

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

Coordination and Editing

Marina Leibold, Anja Matern-Lang

ZAE Bayern

Magdalene-Schoch-Str. 3
97074 Würzburg

T +49 931 70564-500

F +49 931 70564-600

www.zae-bayern.de

pr@zae-bayern.de

Concept and Design

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, Munich

Print

bonitasprint GmbH, Würzburg

Copyright

Bavarian Center for Applied Energy Research
(ZAE Bayern), Würzburg, April 2016

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



INHALT

CONTENT

| | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| 1.0 ALLGEMEINES | 9 | 1.0 GENERAL INFORMATION | 9 |
| 1.1 Überblick | 10 | 1.1 At a Glance | 10 |
| 1.2 Struktur des ZAE Bayern | 15 | 1.2 Structure of ZAE | 15 |
| 1.3 Das ZAE Bayern in Zahlen. | 16 | 1.3 ZAE Bayern in Facts & Figures | 16 |
| 1.4 Das ZAE Bayern als Kooperationspartner | 17 | 1.4 Cooperation with ZAE Bayern | 17 |
| 1.5 Die Organe des ZAE Bayern | 18 | 1.5 The Governing Bodies of ZAE Bayern | 18 |
| 1.6 Rückblick | 20 | 1.6 Review | 20 |
| 1.7 Bei uns zu Gast 2015 | 36 | 1.7 Official Visitors in 2015 | 36 |
| 2.0 FORSCHUNG AM ZAE BAYERN | 41 | 2.0 RESEARCH AT ZAE BAYERN | 41 |
| 2.1 Forschung am ZAE Bayern | 42 | 2.1 Research at ZAE Bayern | 42 |
| 2.2 Wasserelektrolyse: Neue Materialien und Systemanalyse | 44 | 2.2 Water Electrolysis: New Materials and System Analysis | 44 |
| 2.3 Gebäudedämmung der nächsten Generation?. | 46 | 2.3 Next-Generation Thermal Insulation for Building Applications?. | 46 |
| 2.4 Passivhaus-Neubau der Fachober- und Berufsoberschule Erding | 48 | 2.4 New Passive House Building for Technical & Vocational Secondary School of Erding. | 48 |
| 2.5 Monitoring von PCM-Systemen für Gebäude | 50 | 2.5 Monitoring of PCM Systems for Buildings | 50 |
| 2.6 Hocheffiziente Solarenergienutzung durch schaltbare Wärmedämmung | 52 | 2.6 Highly Efficient Use of Solar Energy with Switchable Thermal Insulation | 52 |
| 2.7 Schwach konzentrierender CPC-PVT Hybrid-Solarkollektor | 54 | 2.7 Low-Concentrating CPC PVT Hybrid Solar Collector | 54 |
| 2.8 In-situ-Vermessung von PV-Anlagen mit bildgebenden Verfahren | 56 | 2.8 In-situ Inspection of PV Plants Using Imaging Methods | 56 |
| 2.9 Rolle-zu-Rolle-Herstellung hocheffizienter und großflächiger Solarmodule | 58 | 2.9 Roll-to-Roll Manufacturing of Highly Efficient Large Area Solar Modules | 58 |
| 2.10 Untersuchung von elektronischen Defekten in neuartigen Perowskit-Solarzellen | 60 | 2.10 Identification of Electronic Defects in Novel Perovskite Solar Cells | 60 |
| 2.11 Optimierung bildgebender Messverfahren zur Charakterisierung von Solarzellen | 62 | 2.11 Optimisation of Imaging Methods for Characterisation of Solar Cells | 62 |
| 2.12 Smart Grid Solar: Akquise, Übertragung und Auswertung von Messdaten. | 64 | 2.12 Smart Grid Solar: Acquisition, Transmission, and Evaluation of Measured Data | 64 |
| 2.13 Plattenwärmeübertrager in kompakten Absorptionskälteanlagen. | 66 | 2.13 Plate Heat Exchangers in Compact Absorption Chillers | 66 |

| | | | |
|---|-----------|--|-----------|
| 2.14 Mobile Sorptionsspeicher zur Nutzung industrieller Abwärme | 68 | 2.14 Mobile Sorption Storages for Industrial Waste Heat | 68 |
| 2.15 Infrarot-optische Charakterisierung von Gasen unter extremen Bedingungen | 70 | 2.15 Infrared-optical Characterisation of Gases Under Extreme Conditions | 70 |
| 3.0 VERÖFFENTLICHUNGEN | 73 | 3.0 PUBLICATIONS | 73 |
| 3.1 Vorträge und Poster | 74 | 3.1 Presentations and Posters | 74 |
| 3.2 Veröffentlichungen | 85 | 3.2 Publications | 85 |
| 3.3 Studienabschlussarbeiten und Dissertationen | 92 | 3.3 Degree and Doctoral Theses | 92 |
| 3.4 Patente | 95 | 3.4 Patents | 95 |
| 3.5 Mitarbeit in Gremien | 96 | 3.5 Membership in Committees | 96 |
| 3.6 Vorlesungen | 100 | 3.6 Lectures | 100 |
| 3.7 Auszeichnungen | 101 | 3.7 Awards | 101 |
| 3.8 Sonstiges | 102 | 3.8 Miscellaneous | 102 |

VORWORT

FOREWORD

Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender
Prof. Dr. C. J. Brabec, Chairman of the Board



2015 haben wir in Deutschland Grundsatzdiskussionen begonnen, wie unser Energiemarkt in der Zukunft aussehen soll: Bleibt das Vertrauen der Politik in einen Energy-only-Markt 2.0 erhalten, oder kann die Einführung eines Kapazitätsmechanismus die Verteilungsgerechtigkeit und die Verteilungssicherheit erhöhen? Welches Modell auch gewählt wird, es muss in der Lage sein, so unterschiedliche Interessen wie ein europakompatibles Strommarktdesign mit den wirtschaftlichen Interessen von Stadtwerken und Kommunen unter einen Hut zu bringen. Durch den massiven Preisverfall der internationalen Energie-Rohstoffmärkte haben sich diese Diskussionen zwar kurzfristig entspannt, es wäre jedoch falsch anzunehmen, dass wir auch über 2016 hinaus Öl und Gas zu solch günstigen Preisen erhalten können. Auf mittlere und lange Sicht bieten alleine die erneuerbaren Energien ein wirtschaftlich und ökonomisch nachhaltiges Zukunftsszenario an. Weltweit hat sich der Ausbau der erneuerbaren Energien beschleunigt, alleine im Jahr 2015 wurden bis zu 60 GW an Photovoltaik zugebaut. Während China und die Vereinigten Staaten die Führungsrolle beim Ausbau der erneuerbaren Energien übernommen haben, ist der weitere Ausbau derartiger Technologien in der Bundesrepublik durch das im Rahmen der EEG-Novelle implementierte Ausschreibungsverfahren deutlich eingebrochen. Aufgrund der ausgezeichneten Arbeiten der letzten Jahre konnte Deutschland aber trotzdem ein Rekordergebnis erreichen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie schätzt den Anteil der erneuerbaren Energien aus Sonne, Wasser, Wind und Biomasse an der deutschlandweiten Stromproduktion auf über 30 %. Positivere Studien sprechen sogar von bis zu einem Drittel Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix. Dies sind die Er-

In 2015, a fundamental debate in Germany was started on how our energy market should look like in the future: does politics maintain its confidence in an energy-only market 2.0, or can an introduction of a capacity mechanism increase a fair and reliable distribution? Whatever model is chosen, it must be capable to combine such diverse interests like a Europe-compatible electricity-market design with the economic interests of public services and municipalities.

Due to a massive drop of the international energy commodity market prices, these discussions have relaxed short term, but it would be wrong to assume that we can buy oil and gas at such reasonable prices beyond 2016.

On medium and long term only renewable energies offer a commercially and economically sustainable future scenario. Globally, the development of renewable energy has accelerated; alone in 2015 up to 60 GW of photovoltaics were built. While China and the United States have taken the lead role in the development of renewable energies, the further expansion of renewable energy technologies in Germany has clearly collapsed through the tendering procedures implemented in the framework of the EEG amendment. Due to the excellent work of recent years Germany could still achieve a record result. The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy estimated the share of renewable energy from solar, water, wind and biomass to Germany's electricity production to over 30 %. More favourable studies even speak of up to one-third share of renewables in the German electricity mix. These are the results on which successful energy policy must be based and, encouraged by success, can actively shape the future.

The reports and analysis of the IPCC will further accelerate the transformation, which the world's energy

gebnisse, an denen sich eine erfolgreiche Energiepolitik orientieren muss und bestärkt durch den Erfolg die Zukunft aktiv gestalten kann.

Die Berichte und Analysen des Weltklimarates IPCC werden zu einer weiteren Beschleunigung der Transformation führen, mit der das weltweite Energiesystem reformiert wird. Nach jahrelangen, oftmals nicht nachvollziehbaren Diskussionen hat sich die Weltklimakonferenz in Paris erstmals auf ein Klimaschutzabkommen verständigt, das alle Länder in die Pflicht nimmt. Die Weltgemeinschaft hat sich im Dezember 2015 völkerrechtlich verbindlich auf das Ziel geeinigt, die Erderwärmung auf unter zwei Grad zu begrenzen. Des Weiteren soll die Welt ab 2050 treibhausgasneutral werden. Dieser unglaubliche Durchbruch bedeutet den Abschied von fossilen Energien und den weltweiten Wechsel zu erneuerbaren Energien.

Am 20. Oktober hat Bayerns Wirtschaftsministerin Ilse Aigner ein neues Energieprogramm für den Freistaat vorgestellt. Das aktuelle Energieprogramm bestätigt die ambitionierten Ausbauziele für Bayern, bis 2025 bis zu 70 % des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien herzustellen. Gleichzeitig wurde eine neue Energie-Effizienz-Offensive ausgerufen. Das Flaggschiff dieser Offensive ist das 10.000 Häuser Programm, bei dessen Erstellung das ZAE Bayern mit seiner langjährigen Expertise in der erneuerbaren Energieerzeugung, der Energiespeicherung und der Energieeffizienz das Bayerische Wirtschaftsministerium unterstützen durfte.

Wir blicken mit Spannung auf 2016. Die aktuelle humanitäre Flüchtlingskatastrophe verlangt unser aller größte Aufmerksamkeit und Unterstützung. Bisher war der Freistaat in der Lage, diese Situation vorbildlich zu meistern und wir wünschen uns alle, dass wir die Herausforderungen 2016 mit Größe bewältigen werden.

Zum Schluss möchte ich unseren Mitarbeitern, Gruppen- und Bereichsleitern zu den großartigen Leistungen im Jahr 2015 gratulieren und mich bei Ihnen für Ihr Engagement und Ihren großen Einsatz bedanken. 2015 war ein Jahr reich an Erkenntnissen, Preisen und Auszeichnungen, und es war eine Freude, das ZAE durch dieses erfolgreiche Jahr zu führen.

Ihnen allen, den Kooperationspartnern und Unterstützern des ZAE wünsche ich viel Spaß beim Lesen unseres Tätigkeitsberichts. Wir freuen uns auf Ihren Input und die Herausforderungen, die sie uns 2016 stellen werden.

system will be reformed with. After years of often incomprehensible discussions, the world climate conference has coincided on a climate agreement in Paris that takes all countries into duty for the first time. In December 2015, the global community agreed, under international law, to limit global warming to below two degrees. Furthermore, the world shall be greenhouse gas neutral from 2050 on. This incredible breakthrough means a farewell to fossil fuels and the global shift towards renewables.

On 20th October Bavaria's Minister for Economic Affairs, Ilse Aigner, introduced a new energy programme for Bavaria. The current energy programme confirms the ambitious expansion goals for Bavaria to produce up to 70 % of the electricity generated from renewable energy sources by 2025. At the same time, a new energy-efficiency offensive was proclaimed. The flagship of this offensive is the 10,000 houses programme. When it was created, ZAE Bayern was able to assist the Bavarian Ministry of Economic Affairs with its many years of experience in the renewable energy production, in energy storage, and in energy efficiency.

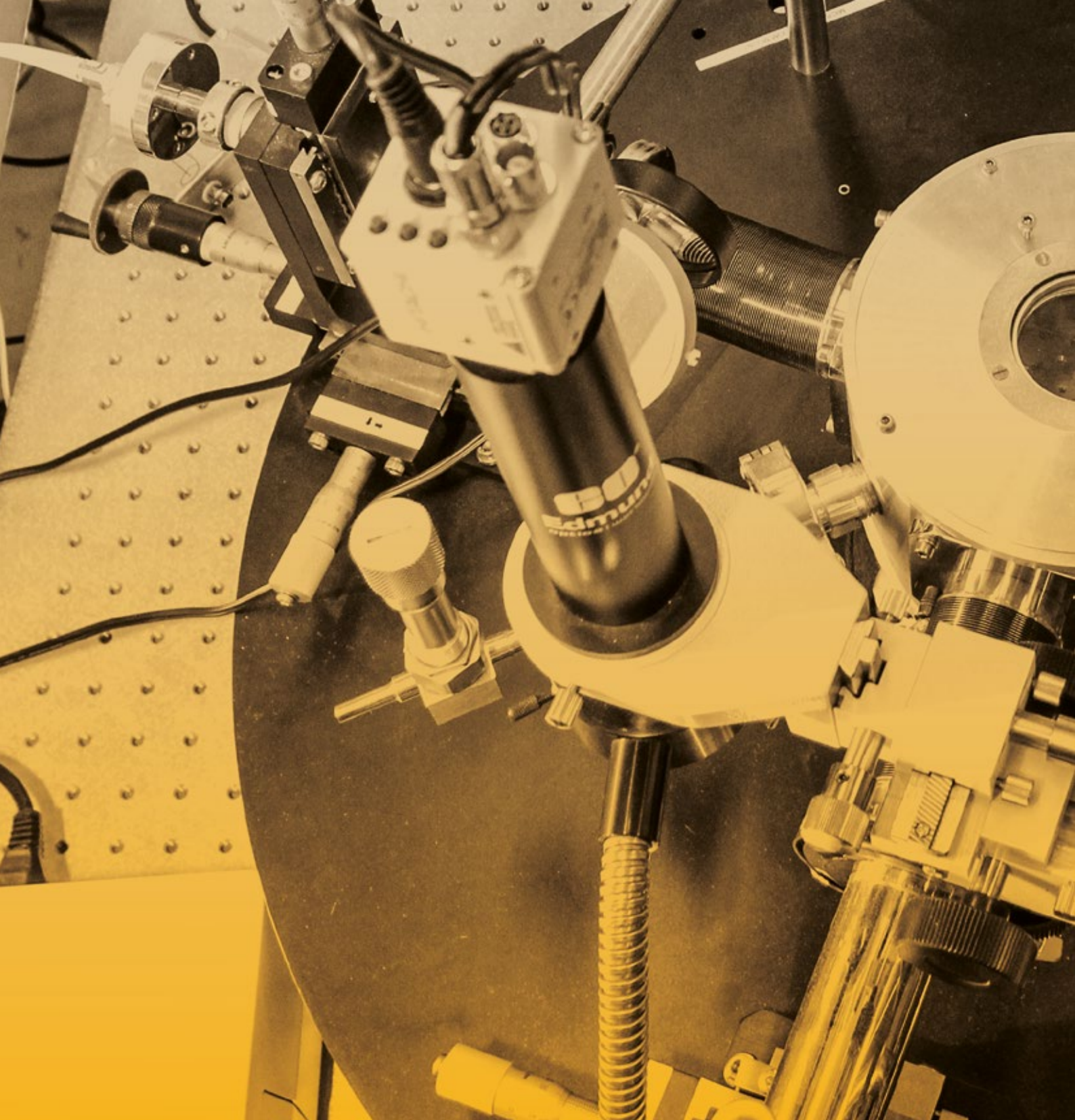
With excitement we are looking forward to 2016. The current humanitarian refugee disaster requires our utmost attention and support. So far, the Bavarian State has been able to overcome this situation exemplarily and we all hope that we will meet the challenges of 2016 with grandeur.

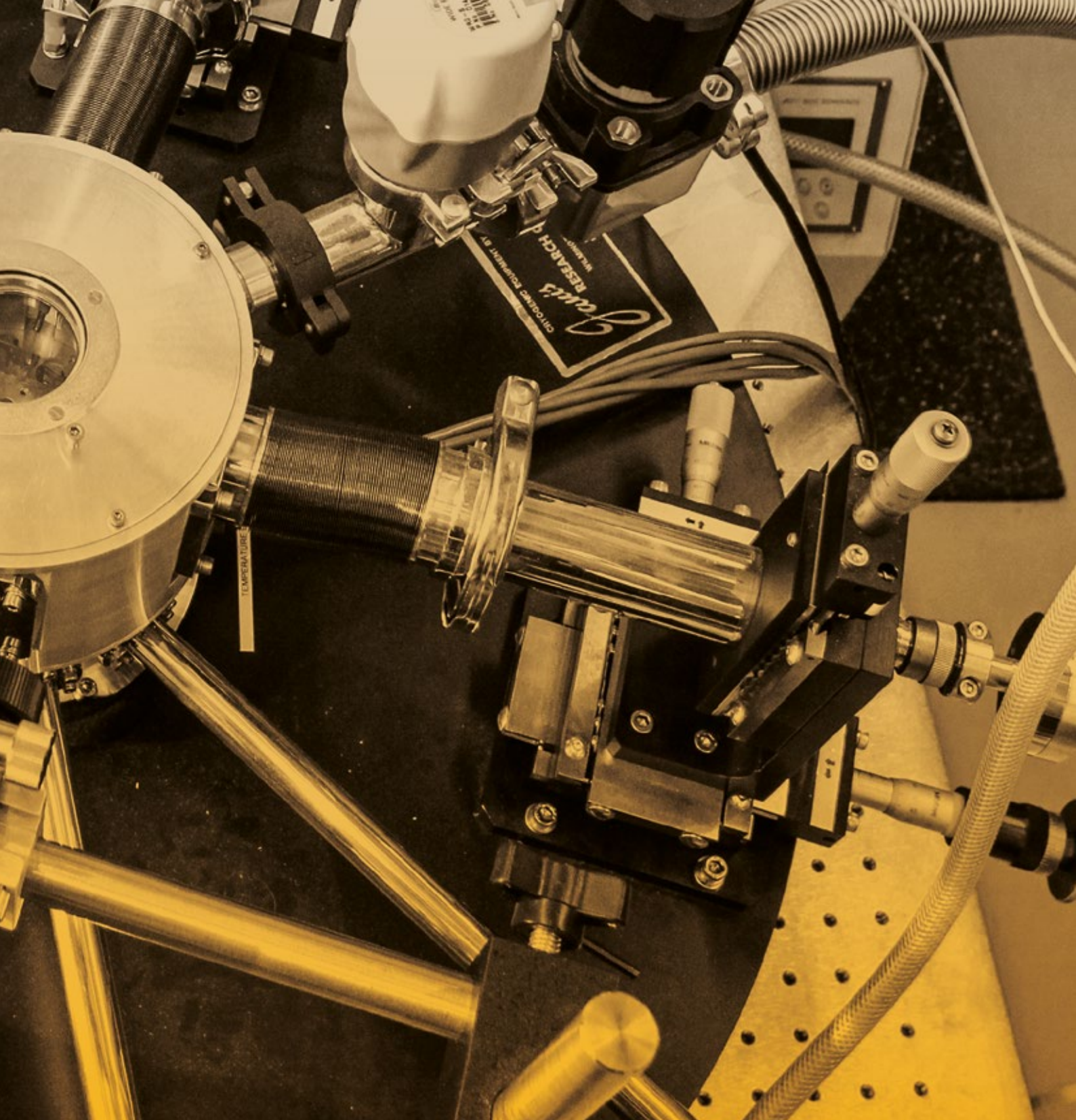
Finally, I would like to congratulate our staff, head of groups and divisions to the great achievements in 2015, and thank them for their dedication and their great commitment. 2015 was a year rich in insights, prizes and awards, and it was a joy to lead ZAE through this successful year.

All you partners and supporters of ZAE, I hope you enjoy reading our annual report. We all look forward to your input and the challenges that they will provide us with in 2016.

Ihr/Yours
Christoph Brabec







1.0
ALLGEMEINES
GENERAL INFORMATION

1.1 ÜBERBLICK AT A GLANCE



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



Prof. Dr. V. Dyakonov
Wissenschaftlicher Leiter
Scientific Director



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



Dr. B. Malkowski
Geschäftsführer
Managing Director

SATZUNGS-AUFTRAG

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) ist ein eingetragener, gemeinnütziger Verein mit Sitz in Würzburg. Zweck der Gründung ist die Förderung der Energieforschung, der Aus-, Fort- und Weiterbildung sowie der Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten, die für die Energieforschung bedeutsam sind. Der Verein unterhält ein wissenschaftliches Forschungsinstitut mit den Standorten Würzburg, Garching, Erlangen, Nürnberg und Hof, an welchen über 200 Wissenschaftler, technische Mitarbeiter, Verwaltungsangestellte sowie Studenten tätig sind. Seit Gründung des ZAE Bayern im Jahr 1991 hat sich das ZAE zu einer national und international anerkannten Forschungseinrichtung entwickelt.

INSTITUTSPROFIL

Das ZAE Bayern arbeitet an der Schnittstelle zwischen erkenntnisbasierter Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung. Jährlich führt das Institut eine große Zahl von Projekten mit der Industrie, vom KMU bis zum Großkonzern, sowie mit universitären und außeruniversitären Forschungspartnern durch. Seit seiner Gründung hat das ZAE seine Kompetenzen konsequent ausgebaut und bietet heute in den Bereichen Energieeffizienz, Energiespeicherung und erneuerbare Energien ein umfangreiches Spektrum von Forschungs-, Entwicklungs- und Beratungsleistungen, messtechnischen Dienstleistungen und Seminaren an. Energieeffizienz, Energiespeicherung und erneuerbare Energien sind die zentralen Kompetenzbereiche des ZAE. Auf diesen Gebieten befasst sich das ZAE unter anderem mit

CHARTERED OBJECTIVES

The Bavarian Center for Applied Energy Research (ZAE Bayern) is a registered, non-profit association. The association was founded in December 1991 and has its registered office in Würzburg. The association was established to promote energy research as well as education, further training, consultation, information and documentation in all fields significant to energy research. The association supports a scientific research institute with divisions in Würzburg, Garching, Erlangen, Nuremberg and Hof, employing more than 200 scientists, technicians, administrative personnel and students. Since the founding of ZAE Bayern in 1991, ZAE has become a both nationally and internationally recognized research institute.

INSTITUTE PROFILE

ZAE Bayern works on the interface between evidence-based fundamental and applied industrial research. Every year the institute performs a great number of projects with the industry, from SME to large groups, as well as with university and non-university research partners. Since the foundation, ZAE has strengthened its competences consistently. Today it offers a wide spectrum of research, development and consulting services, metrological services and seminars in the areas of energy efficiency, energy storage and renewable energies. The core competences of ZAE are energy efficiency, energy storage and renewable energies. In these areas ZAE deals, amongst other things, with thermal and electrochemical energy storage, energy optimised buildings and urban quarters,



Dr. A. Hauer
Bereichsleiter
Head of Division



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



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



Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo
Bereichsleiter
Head of Division

thermischen und elektrochemischen Energiespeichern, energieoptimierten Gebäuden und Stadtquartieren, energieeffizienten Prozessen, Photovoltaik, Solarthermie, Geothermie, Messtechnik, Nanomaterialien, Smart Grids und Energiesystemen. Dabei bilden Materialkompetenz, Theorieverständnis, Bauteil- und Komponentenentwicklung und schließlich die Optimierung dieser Komponenten in Energiesystemen eine lückenlose, erkenntnisbasierte Wertschöpfungskette. Sowohl die Vernetzung der einzelnen thematischen Schwerpunkte als auch die Vernetzung innerhalb der Wertschöpfungskette ermöglichen dem ZAE Bayern wertvolle Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien zu liefern. Zahlreiche Projekte am Institut werden standortübergreifend bearbeitet und sind nur durch eine enge Vernetzung der einzelnen Arbeitsgruppen mit ihren Kompetenzen möglich. Aus- und Weiterbildung bilden eine weitere Säule der Tätigkeit des ZAE. Rund 40 Diplomanden, Master- und Bacheloranden sowie Praktikanten fertigten im Jahre 2015 ihre Diplom-, Master-, Bachelor- bzw. Projektarbeiten in den ZAE-Laboratorien an.

KOOPERATIONEN

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

energy efficient processes, photovoltaics, solar thermal and geothermal systems, metrology, nano materials, smart grids and energy systems. Competence in materials science, theoretical understanding, and development of components and finally optimisation of the same within energy systems creates a continuous, knowledge-based chain of value. Our integrative approach to these individual focuses facilitates the task of finding effective solutions to increase energy efficiency and boost the use of renewable energy sources. Projects realised at the institute take advantage of interdivisional cooperation and benefit from the competences within the close network of research groups within each division. Education is a further pillar of ZAE Bayern's activities; around 40 graduands, master and bachelor students, as well as trainees completed their degree-, master- and bachelor thesis, or project work in 2015.

COOPERATIONS

ZAE Bayern promotes the practical application of scientific findings, constantly endeavoring to form cooperative partnerships with scientific and industrial organisations. Joint projects realised by the institute's divisions together with industrial partners profit from close networking and the resulting synergies. Thanks to success in raising third-party funds, ZAE Bayern is not only able to strengthen its activities of energy research, but is also experiencing growth in human resources and investments in technical equipment, in order to become nationally and internationally com-

werbung von Drittmitteln ermöglicht dem ZAE Bayern die Stärkung seiner Aktivitäten im Bereich der Energieforschung, ein Wachstum im Personalbereich sowie Investitionen in technische Geräte, um sich auch auf nationaler und auf internationaler Ebene nachhaltig zu positionieren. Das ZAE kooperiert in besonderer Weise mit der Technischen Universität München (TUM), der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). Das ZAE Bayern ist Mitglied im „ForschungsVerbund Erneuerbare Energien“ (FVEE), einer strategischen Partnerschaft außeruniversitärer Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Ferner ist das ZAE Gründungsmitglied des Energie Campus Nürnberg (EnCN). Der EnCN ist eine auf dem Gebiet der Energieforschung aktive Forschungs Kooperation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, der TH Nürnberg, der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung und des ZAE Bayern am Standort Nürnberg. Das ZAE Bayern ist außerdem Partner in der interdisziplinären Forschungsinitiative TUM.Energy.

ORGANISATION

Das Institut gliedert sich in drei wissenschaftliche Bereiche und die zentrale Verwaltungsorganisation. Der Bereich Energiespeicherung in Garching wird von dem Wissenschaftlichen Leiter Professor Dr.-Ing. H. Spliethoff und dem Bereichsleiter Dr. A. Hauer geleitet. Dort werden Forschungs- und Entwicklungsthemen auf den Gebieten Wärmespeicherung und -transformation, elektrochemische Wandlung und Speicherung sowie Systemanalyse bearbeitet. Weitere FuE-Schwerpunkte werden in den Bereichen Biomasse, Geothermie, Solarthermie gesetzt. Den Bereich Erneuerbare Energien in Erlangen leitet Professor Dr. C. J. Brabec zusammen mit Dipl.-Ing. R. Auer. Zu den Forschungsgebieten dort gehört die Entwicklung von Materialien und Prozessen für die gedruckte Photovoltaik. Zerstörungsfreie und bildgebende Messmethoden mit hoher Orts- und Zeitauflösung werden entwickelt und im eigenen akkreditierten Prüflabor genutzt um PV-Systeme zu optimieren. Die Forschung auf dem Gebiet intelligenter Stromnetze komplettiert das Forschungsspektrum des Bereiches. Der Bereich Energieeffizienz in Würzburg wird von Professor Dr. V. Dyakonov und Dr. H.-P. Ebert geleitet. FuE-Schwerpunkte werden unter anderem auf dem Gebiet der Sol-Gel basierten Materialien gesetzt. Dabei stehen sowohl Funktionsschichten mit integrierten Nanopartikeln als auch poröse Formkörper im Fokus

petitive. ZAE Bayern has special close ties with the Technical University of Munich (TUM), the University of Würzburg (Julius-Maximilians-Universität Würzburg) and the University of Erlangen (Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg) (FAU). ZAE Bayern is a member of the Renewable Energy Research Association (FVEE - ForschungsVerbund Erneuerbare Energien), a strategic partnership between non-university German research institutes working in the field of renewable energy. ZAE Bayern is a founding member of the Energy Campus Nuremberg (EnCN). EnCN is a research cooperation between the Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, the TH Nürnberg and the Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (Society for the Promotion of Applied Research) and ZAE Bayern's division in Nuremberg in the field of energy research. Furthermore, ZAE is a partner in the network Renewable Energies of the research initiative "TUM.Energy".

ORGANISATION

The institute comprises three scientific divisions and the central administrative organisation. In Garching the division Energy Storage is managed by the scientific director Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff and the head of division Dr. A. Hauer. The division develops and researches heat storage and conversion as well as electrochemical conversion and storage. Further R&D focuses are biomass as well as geothermal and solar thermal systems. The division Renewable Energies in Erlangen is headed by Prof. Dr. C. J. Brabec together with the head of division R. Auer (Dipl.-Ing.). The fields of research include the development of materials and processes for printed photovoltaics. New non-destructive and imaging measurement techniques with high spatial and temporal resolution are developed and utilised in our own accredited PV-testing lab to improve the performance of PV-systems. Research on smart grids, for efficient utilisation of renewable power, rounds off the division's spectrum of research.

The division Energy Efficiency in Würzburg is managed by Professor Dr. V. Dyakonov and head of division Dr. H.-P. Ebert. The field of solgel based materials presents a focus for the division's research and development, particularly functional coatings with integrated nanoparticles and porous moulded parts. Our work in material development involves improving thermophysical, optical and energy efficiency of buildings. The central administration team, headed by Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo, maintains liaison between the executive

der Arbeiten. Zielsetzung bei der Materialentwicklung ist die Optimierung ihrer Eigenschaften, z. B. bei der energetischen Optimierung des Gebäudebestands. Die zentrale Verwaltung arbeitet unter Leitung von Dipl.-Betriebswirt (FH) T. Pharo an der Schnittstelle von ZAE-Vorstand, den wissenschaftlichen Bereichen des ZAE und externen Kooperationspartnern. Von der zentralen Verwaltung wird auch die Arbeit von Vorstand, Kuratorium, Wissenschaftlichem Beirat und Trägerverein unterstützt und organisiert. Als hauptamtlicher Geschäftsführer und Mitglied des Vorstandes des ZAE Bayern ist Herr Dr. B. Malkowski tätig.

ORGANE DES VEREINS

Organe des ZAE Bayern sind die Mitgliederversammlung, das Kuratorium und der Wissenschaftliche Beirat. Ende 2015 hatte der Verein „Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.“ 37 Mitglieder, bestehend aus Mitgliedern von Amts wegen, natürlichen Personen, Unternehmen, Verbänden und Institutionen sowie Ehrenmitgliedern. Eine hohe und stabile Mitgliederzahl, auch in der Vergangenheit, ist ein Zeichen der Aktualität der Forschungsthemen und der sehr guten Qualität der Ergebnisse. Dies belegt auch die enge Partnerschaft und Geschäftsbeziehung zwischen dem ZAE Bayern und seinen Mitgliedern.

Die ordentliche Mitgliederversammlung des ZAE Bayern fand am 18. November 2015 im ZAE Bayern in Würzburg statt. Nach den Jahresberichten des Vorstandsvorsitzenden Prof. Dr. C. J. Brabec und des Kuratoriumsvorsitzenden Dr.-Ing. R. Hofer wurde dem Vorstand und dem Kuratorium für das Jahr 2014 die Entlastung erteilt. Das Kuratorium bestand zum 31.12.2015 aus 6 Vertretern aus den Bereichen der Forschung, der Wirtschaft und des öffentlichen Lebens. Es berät den Vorstand in allen wirtschaftlichen Belangen und steht ihm bei der Durchführung seiner Aufgaben beratend zu Seite. Der Wissenschaftliche Beirat (Vorsitz: Prof. Dr. M. Stamm) bestand am 31.12.2015 aus 10 Vertretern der Hochschulen, außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und der Industrie. Er führt regelmäßig eine interne wissenschaftliche Evaluierung des ZAE Bayern durch.

Der Institutsvorstand bestand zum 31.12.2015 aus den Professoren Dr. C. J. Brabec (Erlangen, Vorsitzender), Dr. V. Dyakonov (Würzburg), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching) und dem Geschäftsführer Dr. B. Malkowski. Der Vorstand des ZAE Bayern ist unter anderem für die Forschungs-, Ausbau-, Personal- und Finanzplanung verantwortlich.

board, the scientific divisions and external partners. They also support and organise the work of the board, the divisions, the trustees, the scientific advisory committee and the association. Dr. B. Malkowski acts as full time CEO and member of the board.

GOVERNING BODIES

The bodies of ZAE Bayern are the general meeting, the board of trustees and the scientific advisory board. At the end of 2015, the “Bavarian Center for Applied Energy Research” registered association had 37 members consisting of members ex officio, natural persons, companies, associations/institutions as well as honorary members. A constantly high number of members indicates the pertinence of our fields of research and the high quality of the results. This is also confirmed by the close partnership and business relations between ZAE and its members.

ZAE Bayern’s general assembly took place the 18th November 2015 at its division in Würzburg. After the annual reports were presented by chairman of the board, Prof. Dr. V. Dyakonov, and chairman of the board of trustees, Dr.-Ing. R. Hofer, the board of directors and board of trustees’ actions in 2014 were approved. The board of trustees composes of 6 representatives as of 31st December 2015 from the areas of research, economy, and public life. It advises the board of directors in all economic, as well as energy-policy issues, and provides advice in the execution of its work. The scientific advisory board consisted of 10 representatives from universities, non-university research institutions, and the industry by the end of 2014. It regularly conducts internal scientific evaluations of ZAE Bayern.

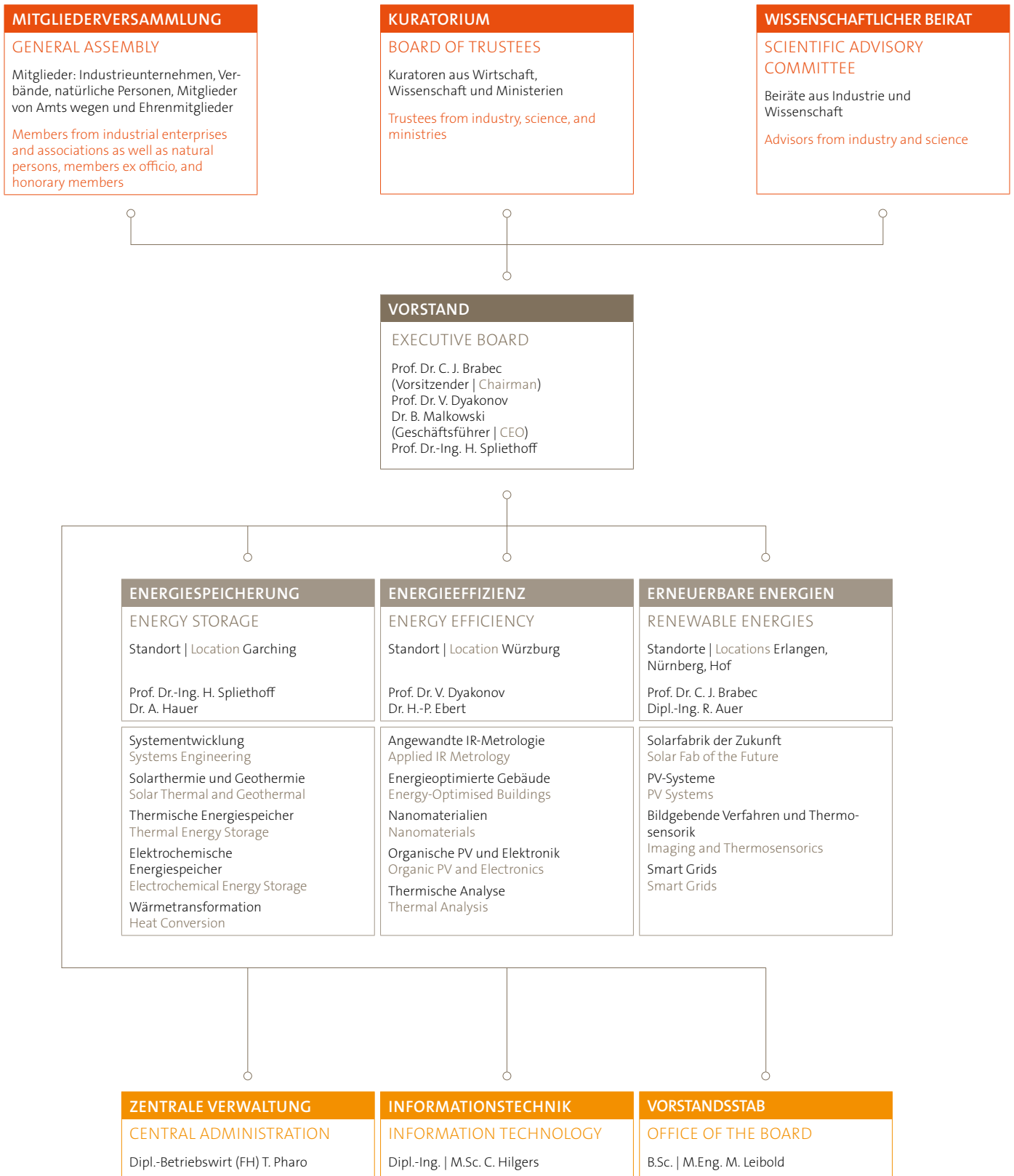
As of 31st December 2015 the institute’s executive board consisted of the professors Dr. C. J. Brabec (Erlangen, chairman), Dr. V. Dyakonov (Würzburg), Dr.-Ing. H. Spliethoff (Garching), and CEO Dr. B. Malkowski. The executive board of ZAE Bayern is responsible for planning research, expansion, personnel, and financing.



1.2

STRUKTUR DES ZAE BAYERN

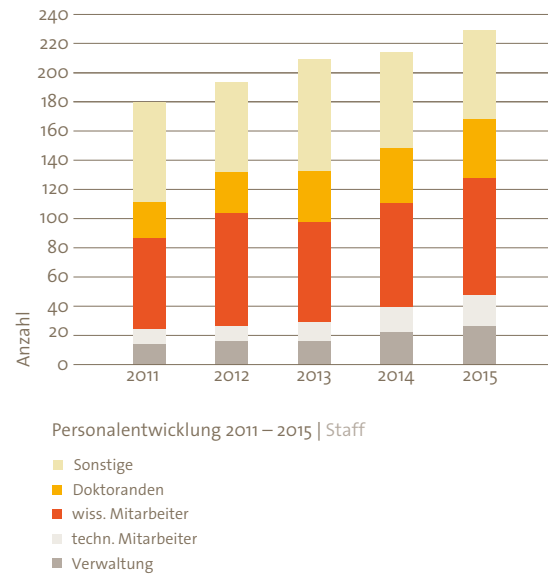
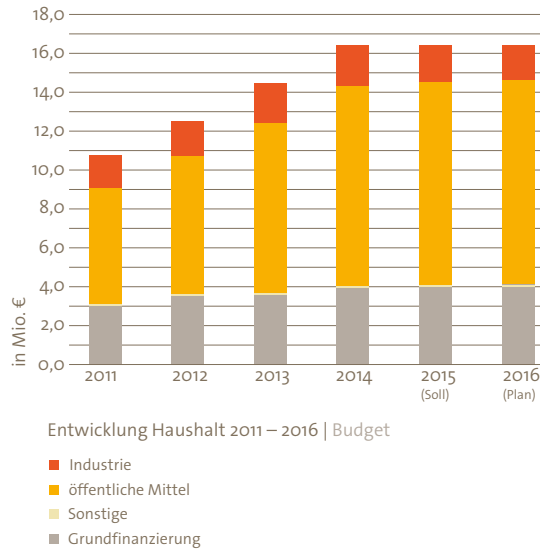
STRUCTURE OF ZAE



1.3

DAS ZAE BAYERN IN ZAHLEN

ZAE BAYERN IN FACTS & FIGURES



HAUSHALT UND FINANZEN

Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2015 auf ca. 16,5 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2011 bis 2016 weist für das Jahr 2015 eine Grundfinanzierung vom Bayerischen Wirtschaftsministerium (BayStMWi) in Höhe von 4,0 Mio. € aus. 12,4 Mio. € aus Drittmitteln sowie 0,1 Mio. € sonstige Einnahmen konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 10,5 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 1,9 Mio. € Industriemitteln zusammen.

Den Einnahmen stehen 9,0 Mio. € Personalausgaben, 3,0 Mio. € Sachausgaben sowie Investitionen in Höhe von 4,5 Mio. € gegenüber. Insgesamt wurden im Jahr 2015 261 Projekte mit 304 Partnern bearbeitet.

PERSONAL

Zum Jahresende 2015 waren am ZAE Bayern 231 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Energietechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 29,9 %. 41 Doktoranden, 12 Masteranden, 2 Bacheloranden und 8 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 28,1 % der Mitarbeiter in Ausbildung.

BUDGET AND FINANCES

In 2015, the institute's budget came to € 16.5 m. The development of income from 2011 to 2016 depicted in the diagram shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology (BayStMWi) provided basic funding amounting to € 4.0 m in 2015. € 12.4 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 € 1.9 m from industrial sources.

The institute's expenditure in 2015 comprises € 9.0 m in personnel costs, € 3.0 m in material costs and € 4.5 m in investments.

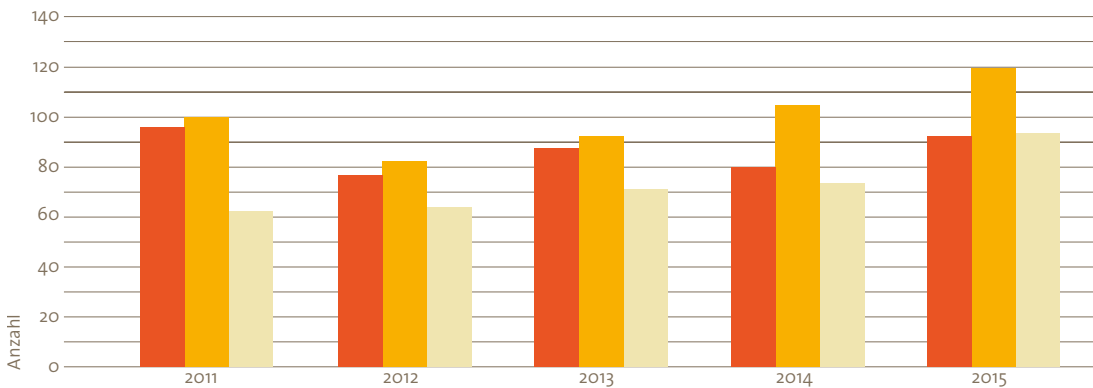
Research was carried out in a total of 261 projects involving 304 partners.

STAFF AND PREMISES

At the end of 2015, ZAE Bayern had 231 staff members. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering, and energy technology. Women made up 29.9 % of the staff. The institute provided 41 doctorate-, 12 master- and 2 bachelor students, and 8 trainees. Students and trainees constituted 28.1 % of the staff.

1.4

DAS ZAE BAYERN ALS KOOPERATIONSPARTNER COOPERATION WITH ZAE BAYERN



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

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

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

Das Leistungsangebot (z. B. apparative Ausstattung) unserer Bereiche finden Sie im Detail im Internetangebot des ZAE Bayern unter www.zae-bayern.de.

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

An important part of our work at ZAE Bayern is cooperating with small and medium-sized enterprises (SMEs). For several years, however, a close cooperation between ZAE Bayern and major enterprises and institutions, i. e. universities and independent research institutes, can be noticed (see Fig. above). In this vein, ZAE Bayern serves as an important link between university research and industrial development.

Details about the metrological techniques and facilities available at each of the ZAE Bayern divisions are published on our website www.zae-bayern.de.

1.5

DIE ORGANE DES ZAE BAYERN

THE GOVERNING BODIES OF ZAE BAYERN

Stand / Status
31.12.2015
31/12/2015

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, Rüdenshausen
 Dipl.-Ing. H. Kling, Lindau
 Dipl.-Ing. M. Portula, Berlin

- **Verbände und Institutionen**
- **Federations and Institutions**

CO₂ Initiative, Markt Schwaben
 Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Berlin

ENERGIEregion 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 2015 wie folgt zusammen:

At the end of 2015 the members of the board were:

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

KURATORIUM
BOARD OF TRUSTEES

Dr.-Ing. R. Hofer (Vorsitzender | Chairman),
 Bayernwerk AG, Regensburg
Dr. H. Binder, BTC Technologies GmbH, Ludwigsburg
Prof. Dr. R. Hellinger, Siemens AG, Erlangen
Ministerialrat Dr.-Ing. J. Schadl, Bayerisches
 Staatsministerium für Wirtschaft und Medien,
 Energie und Technologie, München
Ministerialrätin C. Scheuerecker, Bayerisches
 Staatsministerium für Bildung und Kultus,
 Wissenschaft und Kunst, München
Prof. Dr.-Ing. U. Wagner, Forschungsstelle für
 Energiewirtschaft e. V., München
 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
Dr.-Ing. J. Hollandt, Physikalisch-Technische
 Bundesanstalt Braunschweig und Berlin (PTB), Berlin
Prof. Dr. R. Iden, nanid Scientific Consulting,
 Dudenhofen
Prof. Dr.-Ing. M. Kaltschmitt, Institut für Umwelt-
 technik und Energiewirtschaft, TU Hamburg-Har-
 burg, 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 Ossietz-
 ky Universität Oldenburg, Oldenburg
Prof. Dr.-Ing. F. Ziegler, Institut für Energietechnik,
 TU Berlin, Berlin

Abb. 1: Neugierige kleine Nachwuchsforscher stellen dem Forscher Fragen

Fig. 1: Curious young researchers asking the scientist questions



1.6 RÜCKBLICK REVIEW

BESUCH DES BAYERISCHEN STAATSSSEKRETÄRS F. J. PSCHIERER AM ENERGIE CAMPUS NÜRNBERG

Der Bayerische Staatssekretär für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, F. J. Pschierer, besuchte am 9. Februar 2015 den Energie Campus Nürnberg (EnCN), um sich persönlich über den derzeitigen Stand der Energieforschung in der Metropolregion Nürnberg zu informieren. Der Staatssekretär zeigte sich beeindruckt von der institutions- und lehrstuhlübergreifenden Zusammenarbeit und Kommunikation sowie von der Vielfalt der im EnCN behandelten Themen. Er betonte die Wichtigkeit der Energieforschung für Bayern und die damit verbundene Notwendigkeit des Fortbestandes des EnCN über dessen ersten Förderzeitraum hinaus. Der Energie Campus Nürnberg ist eine interdisziplinäre Energieforschungsplattform, an der das ZAE Bayern, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, die Technische Hochschule Nürnberg sowie mehrere Fraunhofer-Institute beteiligt sind.

STAATSSSEKRETÄR MÜLLER ZU GAST IM ZAE IN ERLANGEN

Die Restrukturierung des bestehenden Energiesystems wird in rund zehn Jahren in die entscheidende Phase gehen. Durch den Ausstieg aus der Atomenergie werden alleine in Bayern in den nächsten sieben Jahren bis zu 40 Terrawattstunden an erzeugtem Strom wegfallen. Um diesen Fehlbedarf abdecken zu

VISIT FROM THE BAVARIAN STATE SECRETARY F. J. PSCHIERER TO THE ENERGY CAMPUS NUREMBERG

The State Secretary in the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, F. J. Pschierer, visited the Energy Campus Nuremberg (EnCN) on 2nd February 2015 in order to be informed on the current state of energy research in the Nuremberg Metropolitan Region. The State Secretary was impressed by the cooperation and communication crossing the borders of institutions and Chairs, and by the diversity of the topics treated at EnCN. He also stressed the importance of energy research for Bavaria and the consequential need for the continued existence of EnCN after its first funding period. The Energy Campus Nuremberg is an interdisciplinary energy research platform where ZAE Bayern, the University of Erlangen-Nuremberg, the Technical University of Nuremberg, and several Fraunhofer institutes are involved.

STATE SECRETARY MÜLLER VISITS ZAE IN ERLANGEN

The restructuring of the existing energy system will enter the decisive phase in about ten years. Up to 40 terawatt hours of generated power will be eliminated by the abandonment of nuclear energy in Bavaria alone over the next seven years. In order to meet this shortfall, solutions for resulting challenges must be presented today. The Parliamentary State Secretary

Abb. 1: Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern und Projektleiter „Solarfabrik der Zukunft“, F. J. Pschierer, Staatssekretär im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Prof. Dr. W. Arlt, Sprecher des EnCN und Dr. J. Hauch, Geschäftsführer des EnCN

Fig. 1: Prof. Dr. C. J. Brabec, board chairman and project manager of the project „Solar Factory of the Future“, F. J. Pschierer, State Secretary, Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology, Prof. Dr. W. Arlt, speaker of EnCN and Dr. J. Hauch, managing director of EnCN



Abb. 2: Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern und Projektleiter „Solarfabrik der Zukunft“, Dr. J. Hauch, Geschäftsführer des EnCN und F. J. Pschierer, Staatssekretär beim Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie

Fig. 2: Prof. Dr. C. J. Brabec, board chairman and project manager of the „Solar Factory of the Future“ project, Dr. J. Hauch, managing director of EnCN and F. J. Pschierer, State Secretary at the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology



können, müssen schon heute Lösungen für die sich hieraus ergebenden Herausforderungen präsentiert werden. Von den Fortschritten auf diesem Gebiet konnte sich der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung, S. Müller, bei seinem Besuch im ZAE in Erlangen am 13. Februar überzeugen. Unter anderem wird in der Solarfabrik der Zukunft eine neue Solarzellentechnologie entwickelt, die eine signifikante Kostenreduktion zur Folge hat, und es wird an konkreten Lösungen zur Flexibilisierung der erneuerbaren Energien gearbeitet, damit ein schnellerer und kostengünstiger Ausbau ermöglicht werden kann. „Die Energiewende bedeutet nicht weniger als einen völligen Umbau des heutigen Energiesystems. Dieser Umbau bietet große Chancen und Potenziale für unser Land. Denn: Erzeugung, Speicherung, Transport und Verteilung von Energie müssen neu organisiert und technisch gelöst werden. Forschung und Innovation sind Treiber für den Umbau der Energieversorgung und ein Fortschrittmotor für Bayern und Deutschland“, sagte der Parlamentarische Staatssekretär S. Müller anlässlich seines Besuches.

MODULPRÜFLABOR DES ZAE BAYERN ERHÄLT AKKREDITIERUNG

Das Prüflabor des ZAE Bayern hat die offizielle Akkreditierung durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) erhalten. Im einzigen unabhängigen, akkreditierten Prüflabor für Photovoltaik in Nordbayern können z. B. Gutachter, Versicherer, Anlagenbetreuer und Systemhäuser Solarmodule untersuchen und prüfen lassen. Damit gehört das ZAE zu den wenigen unabhängigen Forschungsinstituten in Deutschland mit einem eigenen akkreditierten Prüflabor. Um das hohe Qualitätsniveau auch in Zukunft garantieren zu können, wird die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 in regelmäßigen Abständen überprüft.

in the Federal Minister of Research and Education, S. Müller was able to convince himself during his visit at ZAE in Erlangen of the advances in this field on 13th February. Among other things, a new solar cell technology is under development in the Solar Factory of the Future resulting in a significant cost reduction. Concrete solutions to improve the flexibility of renewables are being made, so that a faster and more cost-effective development will be enabled. „The energy transition means nothing less than a complete remodelling of the current energy system. This conversion provides great opportunities and potential for our country. Production, storage, transport, and distribution of energy must be re-organised and solved technically. Research and innovation are boosting the conversion of the energy supply and are a progress-engine for Bavaria and Germany,“ the Parliamentary State Secretary S. Müller said on the occasion of his visit.

ZAE BAYERN'S MODULE TESTING LABORATORY OBTAINS ACCREDITATION

The testing laboratory of ZAE Bayern received official accreditation by the German Accreditation Body (DAkkS). Authorised experts, insurers, asset managers, and system vendors e.g., can have solar modules investigated and checked in the only independent, accredited test laboratory for photovoltaics in northern Bavaria. Thus, ZAE is one of the few independent research institutes in Germany with its own accredited testing laboratory. In order to guarantee a high quality level in the future, (according DIN EN ISO / IEC 17025) the accreditation is checked in regular intervals.

Abb. 3: Der Vorstandsvorsitzende des ZAE Bayern, Prof. Dr. C. J. Brabec mit dem Parlamentarischen Staatssekretär beim Bundesministerium für Bildung und Forschung, S. Müller und dem Geschäftsführer des ZAE Bayern, Dr. B. Malkowski im Rahmen des Besuches am Standort Erlangen.

Fig. 3: Board chairman of ZAE, Prof. Dr. C. J. Brabec together with the Parliamentary State Secretary at the Federal Minister for Education and Research S. Müller and Dr. B. Malkowski, managing director of ZAE



ZAE BAYERN NIMMT AN ENERGIEMESSE „MODELL-REGION ENERGIEVERSORGUNG 4.0“ TEIL

Vertreter des ZAE Bayern nahmen am 25. April 2015 an der Energiemesse „Modellregion Energieversorgung 4.0 – so geht Energiewende im Gleichschritt mit Industrie 4.0“ in Wunsiedel teil. Neben Fachvorträgen fand eine Podiumsdiskussion zum Thema „Energiewende auf bayerisch – Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft zusammendenken“ statt, an der neben I. Aigner, Staatsministerin für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, unter anderem Dr. B. Malkowski, Geschäftsführer des ZAE Bayern, teilnahm. Die Diskussion befasste sich damit, wie die Energiewende funktionieren kann und welche Schritte auf dem Weg zu einer Modellregion Energieversorgung 4.0 erforderlich sind.

ZAE BEI GREENSTOCK-KONFERENZ 2015 MIT ZWEI BEST PAPER AWARDS AUSGEZEICHNET

Forscher des ZAE wurden im Rahmen der International Conference on Energy Storage 2015 für ihre herausragenden Leistungen mit zwei Best Paper Awards ausgezeichnet. Die International Conference on Energy Storage ist die wichtigste Konferenzreihe zum Thema „Wärmespeicherung“. Sie wird im Turnus von drei Jahren vom Bereich „Energy Conservation through Energy Storage“ (ECES) der Internationalen Energieagentur (IEA) organisiert. Unter dem Namen „Greenstock 2015“ fand die diesjährige Konferenz vom 19. bis zum 21. Mai 2015 in Peking statt.

PROF. DR. C. J. BRABEC IN VORSTAND DES KOMPETENZNETZWERKS WASSER UND ENERGIE OBERFRANKEN-OST GEWÄHLT

Der Vorstandsvorsitzende des ZAE Bayern, Prof. Dr. C. J. Brabec, wurde am 8. Juni 2015 in den Vorstand des Kompetenznetzwerks Wasser und Energie Oberfranken-Ost e. V. gewählt. Der Verein hat den Zweck, die Kompetenzen der Vereinsmitglieder in den Bereichen Energie, Wasser und Abwasser zu bündeln. Schwerpunkte sind der technische Informationsaustausch, die Entwicklung von maßgeschneiderten Systemlösungen, die gemeinsame Bearbeitung von FuE-Projekten und die Nachwuchsförderung. Der Verein liefert einen essentiellen Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit Wasser- und Energieressourcen in Oberfranken-Ost und weltweit. Darüber hinaus fördert der Verein insbesondere die landkreisübergreifende Kooperation zur Realisierung einer Energie-Modellregion.

ZAE BAYERN PARTICIPATES IN THE ENERGY FAIR „MODEL REGION POWER-SUPPLY 4.0“

On 25th April 2015 representatives of ZAE Bayern took part in the energy fair „Modellregion Energieversorgung 4.0 – so geht Energiewende im Gleichschritt mit Industrie 4.0“ (model region energy supply 4.0 - this is how energy policy in lockstep with the industry goes 4.0) in Wunsiedel. In addition to lectures, a panel discussion on the subject of „Energiewende auf bayerisch – Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft zusammendenken“ (Bavarian Energy Revolution - Politics, Business, Science, and Society thinking together) took place. Bavarian State Minister of Economic Affairs and Media, Energy and Technology I. Aigner, and amongst others, Dr. B. Malkowski, managing director of ZAE Bayern, participated. The discussion dealt with how the energy transition can work and which steps on the way to a model-region energy supply 4.0 are required.

ZAE AWARDED AT GREENSTOCK CONFERENCE 2015 WITH TWO BEST PAPER AWARDS

Within the framework of the International Conference on Energy Storage 2015, ZAE researchers were awarded for their outstanding performance with two Best Paper Awards. The International Conference on Energy Storage is the most important series of conferences on the subject of thermal storage. It is organised every three years by the „Energy Conservation through Energy Storage“ (ECES) of the International Energy Agency (IEA). Under the name „Greenstock 2015“ this year's conference took place from 19th to 21st May 2015 in Beijing.

PROF. DR. C. J. BRABEC ELECTED ON THE BOARD OF KOMPETENZNETZWERK WASSER UND ENERGIE OBERFRANKEN-OST E. V. (COMPETENCE NETWORK WATER AND ENERGY UPPER FRANCONIA-EAST ASSOCIATION)

On 8th June 2015 ZAE Bayern's chairman, Prof. Dr. C. J. Brabec, was elected on the board of the Kompetenznetzwerk Wasser und Energie Oberfranken Ost e. V. (competence network water and energy east Upper Franconia association). The association has the purpose to bring together the skills of the members in the fields of energy, water and sanitation. Focuses are on the technical exchange of information, the development of tailor-made system solutions, the joint processing of R&D projects, and the promotion of young talents. The association provides an essen-

Abb. 4: M. Schöffel, MdL, Staatsministerin I. Aigner, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Moderatorin D. Vesper, M. Krasser, Geschäftsführer der Gasversorgung Wunsiedel GmbH, Dr. B. Malkowski, Geschäftsführer des ZAE und C. Leuchtweis, stellv. Geschäftsführer C.A.R.M.E.N bei der Podiumsdiskussion

Fig. 4: M. Schöffel, MdL (Member of the State Assembly), State Minister I. Aigner, presenter D. Vesper, M. Krasser, managing director of Gasversorgung Wunsiedel GmbH (gas supplier Wunsiedel), Dr. B. Malkowski, managing director of ZAE and C. Leuchtweis, deputy managing director of C.A.R.M.E.N. during the panel discussion



Abb. 5: Dr. H. Bottermann, Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, U. Scharf, Bayerische Staatsministerin für Umwelt und Verbraucherschutz, M. Föstl, stellv. Landrätin des Landkreises Ebersberg, G. Eichinger, 2. stellv. Landrätin des Landkreises Erding, H.-P. Kirchmann, Vorsitzender des Aufsichtsrates der kplan AG und Dr. A. Hauer, Bereichsleiter Energiespeicherung des ZAE Bayern bei der Übergabe des Abschlussberichtes

Fig. 5: Dr. H. Bottermann, General Secretary of the German Federal Environmental Foundation, U. Scharf, Bavarian State Minister for the Environment and Consumer Protection, M. Föstl, deputy of the County Authority of the County of Ebersberg, G. Eichinger, 2nd Deputy County Authority of the County of Erding, H.-P. Kirchmann, chairman of the board of kplan AG and Dr. A. Hauer, head of Energy Storage ZAE Bayern, at the handover of the final report



tial contribution to the sustainable use of water and energy resources in Upper Franconia-East and worldwide. In addition, the association particularly promotes the cooperation across county borders for the realisation of an energy model-region.

NEUBAU FACHOBER- UND BERUFSOBERSCHULE ERDING

Am 15. Juni 2015 fand an der Fachober- und Berufsoberschule Erding die feierliche Abschlusspräsentation des Projektes „Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf“ statt. Das ehrgeizige Projekt wurde von den Landkreisen Erding und Ebersberg finanziert und durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert. Nach Inbetriebnahme des Gebäudes am 14. März 2011 konnte das ZAE Bayern im Rahmen einer mehr als drei Jahre andauernden Monitoring- und Optimierungsphase umfangreiche Betriebsoptimierungen und -evaluierungen durchführen. Dank zahlreicher umgesetzter Maßnahmen im Gebäudebetrieb konnten Funktionalität, Raumkomfort und Energieeffizienz deutlich erhöht werden. Der Projekterfolg wurde anhand umfangreicher kontinuierlich aufgezeichneter Messdaten fortlaufend evaluiert und dokumentiert.

NEW BUILDING FOR THE TECHNICAL COLLEGE AND TRADE SCHOOL ERDING

On 15th June 2015, the final presentation of the project „Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf“ (Construction of the Technical College and Trade School in Erding: Sustainable Passive House with an Extremely low Overall Primary Energy Demand) took place at the technical college and trade school Erding. The ambitious project was funded by the district of Erding and Ebersberg and the Deutsche Bundesstiftung DBU (German Federal Environmental Foundation). After the commissioning of the building on 14th March 2011 ZAE Bayern was able to conduct extensive operational enhancements and evaluations within the framework of the monitoring and optimisation phase which took over three years. Thanks to numerous measures implemented in the building operational functionality, room comfort, and energy efficiency could be increased significantly. The project's success has been continually evaluated and documented with extensive continuously recorded measured data.

BINE WORKSHOP

Am 25. Juni 2015 fand am ZAE Bayern ein Workshop zum Thema „Chancen und Grenzen thermochemischer Speicherung“ statt. 21 Wissenschaftler trafen sich am Standort Garching, um sich über den neusten Stand der Forschung zu informieren und auszutauschen. Im Zuge dieses Workshops stellten die Forscher des ZAE unter anderem die Ergebnisse des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekts „Labor für thermochemische Speichermaterialien“ vor. Die umfangreiche Messtechnik, die am ZAE-Standort Garching vorhanden ist, ermöglicht unter anderem eine detaillierte Charakterisierung von Materialien für thermochemische Speicher.

Quelle: BINE Informationsdienst (<http://www.bine.info/themen/news/chancen-und-grenzen-thermochemischer-speicherung/>)

ZAE BAYERN VERANSTALTET WORKSHOP AIR-PV-CHECK

Fliegende Messsysteme mit Infrarot-Kameras werden heute gezielt zur systematischen und umfassenden Inspektion von Solarparks und zur Qualitätskontrolle installierter PV-Module genutzt. Am 16. Juli 2015 veranstaltete das ZAE Bayern zum ersten Mal den

BINE WORKSHOP

On 25th June 2015, a workshop on „Chancen und Grenzen thermochemischer Speicherung“ (Opportunities and Limits of Thermochemical Storage) took place at ZAE Bayern. 21 scientists met at the division in Garching, to inform themselves and exchange views on the latest state of research. In the course of this workshop, the ZAE researchers presented amongst others the results of the project „Labor für thermochemische Speichermaterialien“ (laboratory for Thermochemical Storage Materials) funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy. The extensive measuring technology, which is available at ZAE Garching permits, e.g. a detailed characterisation of materials for thermochemical storage.

Source: BINE Information Service (<http://www.bine.info/themen/news/chancen-und-grenzen-thermochemischer-speicherung/>)

ZAE BAYERN ORGANISES WORKSHOP AIR PV-CHECK

Flying measuring systems with infrared cameras are now used specifically for the systematic and comprehensive inspection of solar parks, and for quality control of installed PV modules. For the first time the workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspek-

Abb.6: 21 Wissenschaftler diskutierten am ZAE Bayern in Garching über die Potenziale thermochemischer Speicherung
Fig. 6: 21 scientists discussed about potentials of thermochemical storages at ZAE Bayern in Garching



Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“ am Standort Erlangen. Die 45 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Deutschland und der Schweiz wurden in verschiedenen Vorträgen umfassend über Grundlagen der Thermographie, neue wissenschaftliche Ergebnisse zu thermographischen Untersuchungen, Möglichkeiten der Bildinterpretation, Aspekte der wirtschaftlichen Rentabilität industrieller Anlagenprüfungen sowie über versicherungsrelevante Aspekte informiert. Ferner bestand die Möglichkeit zum Erfahrungsaustausch zwischen den Teilnehmern am Workshop. Sowohl Besucher als auch Veranstalter waren sehr zufrieden mit dem Workshop und sind sich einig, dass dieser im nächsten Jahr wieder abgehalten werden soll.

tion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“ (Air-PV-check - Thermographic Inspection of PV Systems with Flying Robots) was held by ZAE Bayern in Erlangen on 16th July 2015. The 45 participants from Germany and Switzerland were fully informed in various lectures on the basics of thermography, new scientific results to thermographic examinations, possibilities of image interpretation, aspects of the economic viability of industrial plant trials and insurance-related aspects. The participants of the workshop also had the opportunity to exchange experiences. Both visitors and organisers were very pleased with the workshop and agreed that it should be held again next year.

Abb. 7: H. Scheuerpflug, ZAE Bayern, informiert die Teilnehmer über die Grundlagen der Infrarot-Thermographie bei Fluganwendungen
Fig. 7: H. Scheuerpflug, ZAE Bayern, informs the participants on the basics of infrared thermography in flight applications



Abb. 8: Teilnehmer verfolgen interessiert die Liveübertragung der Anlageninspektion vom Teststand des ZAE am Monitor
Fig. 8: Participants watch interestedly the live broadcast of the plant inspection on the monitor of the test stand of ZAE



CLUSTER-FORUM MIT BEGLEITENDER FACHAUSSTELLUNG ZUM MODELLPROJEKT SMART GRID SOLAR

Unter Leitung des ZAE Bayern wird in den oberfränkischen Städten Hof und Arzberg das Modellprojekt „Smart Grid Solar“ durchgeführt, dessen Ergebnisse richtungweisend für die Energiewende in Deutschland sind. Um die Ergebnisse dieses Projektes einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, fand am 21. und 22. Juli 2015 in der Hofer Freiheitshalle ein Cluster-Forum mit begleitender Fachausstellung statt. Im Rahmen der Veranstaltung wurden die neuesten Ergebnisse des Projektes „Smart Grid Solar“ präsentiert. Unter anderem wurde dargestellt, wie dezentrale Kraftwerke möglichst effizient in Verteilnetze einspeisen und zur Versorgungssicherheit beitragen können. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere Aspekte der Netzoptimierung, der Speicherintegration und der Demand-Side-Integration erörtert. Ebenso widmete sich die Konferenz der benötigten Kommunikationsinfrastruktur und den erforderlichen Lösungen aus dem Bereich der Regelsysteme. Energierechtliche Fragestellungen und wirtschaftliche Bewertungen vervollständigten die Inhalte der Konferenz.

WDR DREHT BEITRAG ÜBER DIE FORSCHUNGSARBEIT DES ZAE UND DEN MAUS-TÜRÖFFNER-TAG

Einen kleinen Vorgeschmack davon, was den Besucher im ultramodernen Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg erwartet, gab es bei der Sendung mit der Maus am 9. August 2015. Einen ganzen Tag lang filmte das Kamerateam des WDR am 21. Juli im Energy Efficiency Center für den Beitrag. Inhalt des Films ist die Forschungsarbeit des ZAE und dessen Teilnahme am Maus-Türöffner-Tag, der auch 2015 wieder am 3. Oktober stattfand. Das ZAE nahm bereits zum dritten Mal an der Veranstaltung des WDR teil. 2015 informierten sich rund 600 Kinder über die Arbeit des Forschungszentrums. Der Maus-Türöffner-Tag wird seit 2011, dem 40. Geburtsjahr der Maus,

CLUSTER FORUM AND EXHIBITION FOR MODEL PROJECT SMART GRID SOLAR

Led by ZAE Bayern the pilot project „Smart Grid Solar“ is performed in the Upper Franconian cities Hof and Arzberg. The results are trend-setting for the energy turnaround in Germany. To bring the results of this project to a wider audience, a cluster forum with exhibition was held at the Hofer Freiheitshalle on 21st and 22nd July 2015. During the event, the latest results of the project „Smart Grid Solar“ were presented. Among other things, it was shown how decentralised power plants can be fed most efficiently into distribution networks and to contribute to supply security. In this context, particular aspects of network optimisation, storage and integration of demand-side integration were discussed. Likewise, the conference was dedicated to the required communications infrastructure and the necessary solutions in the field of control technology. Energy legal issues and economic assessments completed the contents of the conference.

WDR SHOOTS REPORT ABOUT RESEARCH DONE AT ZAE AND THE MOUSE TV OPEN DAY

An idea of what the visitor awaits in the ultramodern Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg, was aired on 9th August 2015 during „Die Sendung mit der Maus“ (Mouse TV). On 21st July the camera crew of the WDR (German TV station) spent a whole day filming in the Energy Efficiency Center for the report. Content of the film is the research of ZAE and its participation in the Mouse TV Open Day which again took place in 2015 also on 3rd October. ZAE already participated for the third time in this event of the WDR. In 2015 about 600 children got to know about the work of the research center. Since 2011, the 40th anniversary of Mouse TV, the Mouse TV Open Day is organised

Abb. 9: Staatssekretärin B. Zypries, MdB B. Rützel und MdB G. Rosenthal lassen sich ein neues Verfahren zur Bestimmung der thermischen Qualität von Fenstern erläutern

Fig. 9: State Secretary B. Zypries, MdB (Member of the Bundestag), B. Rützel and MdB (Member of the Landtag) G. Rosenthal get to know a new method for determining the thermal quality of windows





Abb. 10: Dr. H.-P. Ebert, Bereichsleiter des ZAE, V. Halbleib, MdL, Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE, Staatssekretärin B. Zypries, G. Rosenthal, MdL, und B. Rützel, MdB, bei ihrem Besuch im Energy Efficiency Center in Würzburg

Fig. 10: Dr. H.-P. Ebert, head of division of ZAE, V. Halbleib, MdL (Member of the Landtag), Prof. Dr. V. Dyakonov, member of the board of ZAE, State Secretary B. Zypries, G. Rosenthal, MdL (Member of the Landtag), and B. Rützel, MdB (Member of the Bundestag), during their visit in the Energy Efficiency Center in Würzburg

veranstaltet und bietet Kindern und Erwachsenen die Möglichkeit, einmal hinter die Kulissen von Einrichtungen und Unternehmen zu blicken, die sonst ihre Türen geschlossen halten.

B. ZYPRIES ZU BESUCH IM ZAE BAYERN

Kurz nach der parlamentarischen Sommerpause besuchte B. Zypries, parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, am 2. September 2015 das hochinnovative Forschungs- und Demonstrationsgebäude des ZAE Bayern in Würzburg und würdigte die Arbeiten des Forschungszentrums. Die parlamentarische Staatssekretärin ließ sich von Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE, und Dr. H.-P. Ebert, Leiter des Bereichs Energieeffizienz, über aktuelle Energieforschungsthemen informieren. Begleitet wurde die Staatssekretärin von B. Rützel, MdB, G. Rosenthal, MdL, und von V. Halbleib, MdL. Die Forscherinnen und Forscher des ZAE unterstrichen, dass der Steigerung der Energieeffizienz, insbesondere im Gebäudebereich, neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Schaffung von Energiespeichern für das Gelingen der Energiewende eine herausragende Bedeutung zukomme. Ein Höhepunkt des Besuches war die Führung durch die Labore im Energy Efficiency Center mit dem anschließenden Eintrag an der „Wall of Fame“.

and offers children and adults the opportunity to look behind the scenes of institutions and companies that would otherwise keep their doors closed.

B. ZYPRIES VISITS ZAE BAYERN

Shortly after the parliamentary summer recess B. Zypries, Parliamentary State Secretary in the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, visited the highly innovative research and demonstration building of ZAE Bayern in Würzburg and paid tribute to the work of the research centre on 2nd September 2015. The Parliamentary Secretary was informed by Prof. Dr. V. Dyakonov, chairman of ZAE, and Dr. H.-P. Ebert, head of the Energy Efficiency division, about current energy research topics. The State Secretary was accompanied by B. Rützel, MdB (Member of the Bundestag), G. Rosenthal, MdL (Member of the Landtag), and V. Halbleib, MdL. The researchers of ZAE underlined that the increase of energy efficiency, particularly in buildings, in addition to the expansion of renewable energy and the creation of energy storage systems was of outstanding importance for the success of the energy revolution. A highlight of the visit was the guided tour through the laboratories of the Energy Efficiency Center with the following entry on the „Wall of Fame“.



Abb. 11: W. Jäger (Mitte), Regierung von Unterfranken, mit den beiden „Gestalter der Energiewende“ Dr. H.-P. Ebert (links), Leiter des Bereichs Energieeffizienz des ZAE, und Prof. Dr.-Ing. A. Ackva (rechts), Institutsleiter am TTZ-EMO (© ergo Unternehmenskommunikation GmbH & Co. KG)

Fig.: 11: W. Jäger (middle), government of Lower Franconia, together with the two „Gestalter der Energiewende“ (Designers of the Energy Revolution) Dr. H.-P. Ebert (left), head of Energy Efficiency division of ZAE and Prof. Dr.-Ing. A. Ackva (right), director of the institute at TTZ-EMO (© ergo Unternehmenskommunikation GmbH & Co. KG)

THOMSON REUTERS HIGHLY CITED RESEARCHER - PROF. DR. C. J. BRABEC ERNEUT UNTER DEN WELTBESTEN MATERIALFORSCHERN

Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern, gehört nach wie vor zu den meistzitierten Forschern seines Faches. Auch nach dem aktuellen Ranking des Informationsdienstes Thomson Reuters konnte er sich in der Spitzengruppe im Bereich Materialwissenschaften platzieren. Im Ranking 2015 umfasst diese Gruppe weltweit 130 Forscher. Die Auszeichnung bestätigt, dass das ZAE nachhaltig am Puls der Zeit forscht und im internationalen akademischen Spitzenfeld exzellente Ergebnisse erreicht.

MAINFRANKEN-MESSE WÜRZBURG - PRAXISNAHE FORSCHUNG ALS ERFOLGSFAKTOR

Inwiefern ist Forschung wichtig für das Gelingen der Energiewende? Wie häufig gelingt es, dass aus Forschungsergebnissen marktreife Produkte werden? Solche und andere Fragen wurden im Rahmen eines Bühnendialoges auf dem Stand des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie am 26. September 2015 auf der Mainfranken-Messe Würzburg erörtert. Diskussions Teilnehmer waren Dr. H.-P. Ebert, Leiter des Bereichs



Abb. 12: Dr. H.-P. Ebert, Leiter des Bereichs Energieeffizienz des ZAE, im Gespräch mit A. Stifter, augsburg.tv, und Prof. Dr.-Ing. A. Ackva, Institutsleiter am TTZ-EMO (© ergo Unternehmenskommunikation GmbH & Co. KG)

Fig.: 12: Dr. H.-P. Ebert, head of Energy Efficiency division of ZAE in conversation with A. Stifter, augsburg.tv and Prof. Dr.-Ing. A. Ackva, director of the institute of TTZ-EMO (© ergo Unternehmenskommunikation GmbH & Co. KG)

THOMSON REUTERS HIGHLY CITED RESEARCHER - PROF. DR. C. J. BRABEC AGAIN AMONG THE WORLD'S TOP MATERIALS SCIENTISTS

Prof. Dr. C. J. Brabec, board chairman of ZAE Bayern, remains amongst the most cited researchers in his field. Even after the current ranking of the information service Thomson Reuters he was able to place himself among the leading group in the field of material sciences. In the ranking of 2015, this group comprises of 130 researchers worldwide. The award confirms that ZAE conducts lasting cutting-edge research and achieves excellent results in international academic forefront.

MAINFRANKEN-MESSE WÜRZBURG - PRACTICAL RESEARCH AS A FACTOR OF SUCCESS

To what extent is research important for the success of the energy transition? How often do research results turn into products that are ready for the market? These and other issues were discussed as part of a stage dialogue on the exhibition stand of the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology on 26th September 2015 on the Mainfranken-Messe Würzburg (Mainfranken Trade Fair Würzburg). Panelists were Dr. H.-P. Ebert, head of



Abb. 13: Maus-Türöffner-Tag am ZAE Bayern: für kleine Besucher gab es ein Geschenk von der Maus

Fig. 13: Mouse TV Open Day at ZAE Bayern: Young visitors received a gift from the mouse



Abb. 14: Wissenschaft ist cool: ZAE Forscher präsentierten den großen und kleinen Kindern eine Wissenschaftsshow rund um das Thema Kälte

Fig. 14: Science is cool: ZAE-researchers present a science show all about the topic cooling to big and small children

Energieeffizienz des ZAE Bayern, W. Jäger, Bereichsleiter Wirtschaft, Landesentwicklung und Verkehr der Regierung Unterfranken, und Prof. Dr.-Ing. A. Ackva, Institutsleiter am TTZ-EMO.

Energy Efficiency of ZAE Bayern, W. Jäger, head of Economics, Regional Development and Transport of the Government of Lower Franconia, and Prof. Dr.-Ing. A. Ackva, managing director of TTZ-EMO.

MAUS-TÜRÖFFNER-TAG BEIM ZAE BAYERN

Das ZAE Bayern öffnete am 3. Oktober 2015 die Türen seines Forschungs- und Demonstrationsgebäudes und bot Interessierten einen tiefen Einblick in die Arbeit des Energieforschungsinstituts. Kleine und große Mausfans besuchten das Energy Efficiency Center und konnten Energieforschung hautnah erleben. Auch in diesem Jahr war der Andrang groß – Gründe hierfür waren der im August ausgestrahlte Beitrag über das ZAE in der Sendung mit der Maus und die erstmalig angebotenen Kinderführungen. Dabei wurde mit und für die Kinder fleißig mit Seifenblasen, Infrarotkameras und flüssigem Stickstoff experimentiert. So wurde den Kindern veranschaulicht, wie sich die Form des textilen Membrandaches des Energy Efficiency Centers durch Minimalflächen ergibt und sich diese durch ein Seifenblasen-Experiment herstellen lassen. Der Einblick in die Labore war nicht nur für die Kinder, sondern auch für die Erwachsenen ein spannendes Erlebnis.

MOUSE TV OPEN DAY AT ZAE BAYERN

On 3rd October 2015 ZAE Bayern opened the doors to its research and demonstration building and offered an insight into the work of the energy research institute. Small and large Mouse fans visited the Energy Efficiency Center and were able to experience first-hand energy research. This year the crowd was large too - the reasons for this were the broadcast in August about ZAE in "Die Sendung mit der Maus" (Mouse TV) and the first children's tours of the labs. There, experiments were carried out with and for children, with soap bubbles, infrared cameras, and liquid nitrogen. This helped illustrate, how the form of the textile membrane roof of the Energy Efficiency Center consists of minimal surfaces and that these can be produced by a bubble experiment. The insight into the laboratories was an exciting experience not only for children but also for adults.

NETZWERKTREFFEN „INNOVATIVE PHOTOVOLTAIK FÜR ZUKÜNFTIGE MÄRKTE (PV-ZUM)“ - MITTELSTAND UND FORSCHUNG ENTWICKELN GEMEINSAM INNOVATIVE ANWENDUNGEN FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

Am 6. Oktober 2015 fand am ZAE in Erlangen ein Treffen des Netzwerks „Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte (PV-ZUM)“ statt. In diesem Verbund werden unter der Leitung des ZAE verschiedene Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung von Photovoltaiksystemen konzipiert und durchgeführt. Dem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten

NETWORK MEETING „INNOVATIVE PHOTOVOLTAIK FÜR ZUKÜNFTIGE MÄRKTE (PV-ZUM)“ MITTELSTAND UND FORSCHUNG ENTWICKELN GEMEINSAM INNOVATIVE ANWENDUNGEN FÜR DIE PHOTOVOLTAIK (INNOVATIVE PHOTOVOLTAICS FOR FUTURE MARKETS - MEDIUM-SIZED BUSINESSES AND RESEARCH JOINTLY DEVELOP INNOVATIVE APPLICATIONS FOR PHOTOVOLTAICS)

On 6th October 2015, a meeting of the network „Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte (PV-ZUM)“ took place at the ZAE division in Erlangen. In this network various research projects concerning further de-



Abb. 15: Teilnehmer des PV-ZUM Netzwerktreffens am 6. Oktober 2015
Fig. 15: Participants of the PV-ZUM network meeting on 6th October 2015

Netzwerk gehören mittlerweile elf mittelständische Unternehmen und drei Forschungseinrichtungen an. In den laufenden Projekten werden photovoltaikgespeiste Kühlsysteme für Gebäude, fliegende Infrarotthermographie-Systeme für die Überprüfung von PV-Anlagen, optische Inline-Prüfsysteme für die Kunststoffkomponenten in PV-Modulen sowie Lithium-Ionen-basierte modulare elektrochemische Speicher entwickelt.

4. INTERNATIONALE KONFERENZ „ORGANISCHE & GEDRUCKTE PHOTOVOLTAIK“

Das ZAE Bayern veranstaltete zusammen mit Bayern Innovativ bereits zum vierten Mal die internationale Konferenz „Organische und gedruckte Photovoltaik“, die am 9. Oktober 2015 am ZAE in Würzburg stattfand. Im Fokus standen dabei druckbare Solarzellen auf Basis organischer Farbstoffe und neuartiger Perowskite. „Perowskit“ bezeichnet dabei eine bestimmte

entwicklung von photovoltaic systems are designed and conducted under the lead of ZAE. The network which is funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy now consists of eleven medium-sized companies and three research institutes. In the ongoing projects photovoltaic-powered cooling systems for buildings, flying infrared thermography-systems for the inspection of PV systems, optical inline inspection-systems for plastic components in PV modules, and lithium-ion based modular electrochemical storages are developed.

4TH CONGRESS ON ORGANIC & PRINTED PHOTOVOLTAICS

Together with Bayern Innovativ, ZAE Bayern held the international conference “Organic and Printed Photovoltaics” for the fourth time. It took place on 9th October 2015, at the ZAE division in Würzburg. The focus was on printable solar cells based on organic dyes and novel perovskites. “Perovskite” denotes a specific crystal structure, which exists in a variety of different compositions in nature. That this material is extremely interesting for the production of cost-ef-

Kristallstruktur, die in einer Vielzahl verschiedener Zusammensetzungen in der Natur existiert. Dass dieses Material auch zur Herstellung von kostengünstigen und zudem sehr effizienten Solarzellen äußerst interessant ist, entdeckten die Wissenschaftler erst vor kurzem. Seitdem boomt die Forschung in diesem Bereich weltweit. In nur sechs Jahren konnte der Wirkungsgrad der Perowskit-Solarzellen von anfänglich knapp unter 4 % auf über 20 % im Jahr 2015 gesteigert werden, was diese Technologie zu einer der sich am rasantesten entwickelnden Technologien in der Geschichte der Photovoltaik macht.



Abb. 16: Teilnehmer der internationalen Konferenz „Organische und gedruckte Photovoltaik“ am ZAE Bayern in Würzburg

Fig. 16: Participants of the international conference “Organic and Printed Photovoltaics” at ZAE Bayern in Würzburg

Abb. 17: Prof. Dr. V. Dyakonov, Vorstand des ZAE Bayern, in der Diskussion mit Tagungsteilnehmern

Fig. 17: Prof. Dr. V. Dyakonov, member of the board of ZAE in a discussion with conference participants

INBETRIEBNAHME DES BATTERIESPEICHERS „ENERGY NEIGHBOR“ IN MOOSHAM – PROJEKT EEBATT

I. Aigner, Bayerische Staatsministerin für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, nahm am 16. Oktober 2015 den Batteriespeicher „Energy Neighbor“ im Ortsteil Moosham der Gemeinde Kirchdorf in Betrieb. Das ZAE Bayern entwickelte zusammen mit der TU München, der Kraftwerke Haag GmbH und der VARTA Storage GmbH im Projekt „EEBatt“ den stationären Batteriespeicher. Gefördert wurde das Projekt vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie.



fective and also very efficient solar cells was only discovered recently. Since then, the research in this area is booming worldwide. In just six years, the efficiency of the perovskite solar cells increased initially from just under 4% to over 20% in 2015, which makes this technology one of the most rapidly evolving technologies in the history of photovoltaics.

COMMISSIONING OF THE BATTERY STORAGE „ENERGY NEIGHBOR“ IN MOOSHAM - PROJECT EEBATT

On 16th October 2015, I. Aigner, Bavarian State Minister for Economic Affairs and Media, Energy and Technology, put the battery storage „Energy Neighbor“ in the district of the municipality Moosham Kirchdorf in operation. Together with the Technical University of Munich, the power plants Haag GmbH and VARTA Storage GmbH ZAE Bayern developed the stationary battery storage in the project „EEBatt“. The project was sponsored by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology.



Abb. 18: Bayerns Wirtschaftsministerin I. Aigner betätigt den Startknopf gemeinsam mit Dr. A. Hauer, Leiter des Bereichs Energiespeicherung des ZAE, Dr. U. Schwarz, Geschäftsführer Kraftwerke Haag GmbH, Prof. Dr.-Ing. A. Jossen, Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik an der TU München, H. Pongratz, Vizepräsident der TU München, H. Schein, Geschäftsführer VARTA Storage GmbH, A. Linner, 1. Bürgermeister Kirchdorf Obb., und M. Müller, Projektmanager EEBatt (© Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie)

Fig.: 18: The Bavarian Minister of Economic Affairs and Media, Energy and Technology I. Aigner presses the starting button together with Dr. A. Hauer, head of the Energy Storage division of ZAE, Dr. U. Schwarz, managing director of Kraftwerke Haag GmbH, Prof. Dr.-Ing. Jossen, chair of Electrical Energy Storage Technology at TUM (Technical University of Munich), H. Pongratz, vice president of TUM, H. Schein, managing director of VARTA Storage GmbH, A. Linner, first mayor of Kirchdorf Obb., and M. Müller, project manager of EEBatt (© Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie)

1. PV-GUTACHTERTAG AM ZAE BAYERN IN ERLANGEN

Am 16. Oktober 2015 veranstaltete das ZAE den 1. PV-Gutachterttag an seinem Standort Erlangen. Es fand ein reger Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Sachverständigen für Photovoltaik statt. In verschiedenen Vorträgen stellten Wissenschaftler des ZAE den Sachverständigen unter anderem den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung im Bereich der bildgebenden Verfahren für die Outdoor-Charakterisierung von Photovoltaik-Modulen vor.

MINISTERIN AIGNER ÜBERREICHT ZAE BESCHEID ÜBER DIE FÖRDERUNG DER DEMONSTRATIONSPHASE DES PROJEKTES „SMART GRID SOLAR“

I. Aigner, Bayerische Staatsministerin für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, überreichte am 19. Oktober 2015 in Hof den Zuwendungsbescheid für das Projekt „Modellversuch Smart Grid Solar in Hof und Arzberg – Förderung der Demonstrationsphase

1. PV-GUTACHTERTAG AT ZAE BAYERN IN ERLANGEN

On 16th October 2015, ZAE organised the 1. PV-Gutachterttag (1st PV Authorised Experts Day) at its division in Erlangen. There was a lively exchange of experience between scientists and experts for photovoltaics. In various speeches, ZAE scientists presented, amongst others, the current state of research and development in the field of imaging procedures for outdoor characterisation of photovoltaic modules.

MINISTER AIGNER PRESENTED THE GRANT NOTIFICATION ON THE FUNDING OF THE DEMONSTRATION PHASE OF THE PROJECT „SMART GRID SOLAR“
On 19th October 2015, I. Aigner, Bavarian State Minister for Economic Affairs and Media, Energy and Technology, presented the grant notification of the funding of the project „Modellversuch Smart Grid Solar in Hof und Arzberg – Förderung der Demonstrationsphase (FP II)“ (Pilot Project Smart Grid Solar in Hof and Arzberg – Funding of the Demonstration Phase

(FP II)“ an Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern. Finanzielle Mittel bis zu einer Höhe von 1.485.745 € wurden für diese Projektphase vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie bewilligt. Die Demonstrationsphase des Projektes „Smart Grid Solar“ beginnt am 1. Januar 2016.

(FP II) to Prof. Dr. C. J. Brabec, chairman of the board of ZAE Bayern. Financial resources up to an amount of € 1,485,745 have been approved for this phase of the project by the Bavarian Ministry of Economic Affairs and Media, Energy and Technology. The demonstration phase of the project „Smart Grid Solar“ starts on 1st January 2016.



Abb. 19: Präsentation von „Problemmodulen aus dem Feld“ durch die PV-Gutachter

Fig. 19: Presentation of „Problem Modules from the Field“ shown by the authorised experts

Abb. 20: Vortrag von Dr. C. Buerhop-Lutz zum Thema „Anwenden der Thermografie für PV-Gutachter“

Fig. 20: Lecture of Dr. C. Buerhop-Lutz concerning the „Application of Thermography for PV Authorised Experts“

Abb. 21: H. Scheuerpflug(rechts), Mitarbeiter des ZAE, erläutert den für die PV-Anlagenüberwachung eingesetzten Oktokopter des ZAE

Fig. 21: H. Scheuerpflug (right), employee of ZAE Bayern, explaining ZAE's octocopter which is used for plant monitoring



Abb. 22: Bayerns Wirtschaftsministerin I. Aigner mit T. Engel, Regierung von Oberfranken, und Prof. Dr. C. J. Brabec, Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern, bei der Übergabe des Förderbescheides und der Förderurkunde für das Projekt „Smart Grid Solar“ in Hof (© Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie)

Fig.: 22: The Bavarian Minister of Economic Affairs I. Aigner together with T. Engle, government of Upper Franconia, and Prof. Dr. C. J. Brabec, board chairman of ZAE at the handing over of the grant notification and the supporter's certificate for the project „Smar Grid Solar“ in Hof (© Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie)



BAYERISCHES FERNSEHEN BERICHTET ÜBER SOLARFABRIK DER ZUKUNFT DES ZAE BAYERN

Am 21. Oktober 2015 berichtete das Bayerische Fernsehen live aus der vom ZAE betriebenen Solarfabrik der Zukunft über aktuelle Forschungen des ZAE auf dem Gebiet der Photovoltaik. Die Aufgabe der Solarfabrik der Zukunft besteht darin, durch die Rolle-zu-Rolle-Fertigung von Solarmodulen eine Technologieplattform für neuartige Photovoltaik-Module zur Verfügung zu stellen. Ziel ist es, Solarmodule herzustellen, die Elektrizität für weniger als 0,05 €/kWh produzieren können. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Entwicklung digitaler Verfahren für den Druck von Solarmodulen.

Weitere Informationen unter <http://www.br.de/mediathek/video/sendungen/frankenschau-aktuell/schalte-energiecampus-trends-100.html>

ZAE BAYERN UND IHK FÜR MÜNCHEN UND OBERBAYERN VERANSTALTEN „FORSCHUNG ZUM FRÜHSTÜCK“

Das ZAE Bayern und die IHK für München und Oberbayern luden am 9. Dezember 2015 zur Veranstaltung „Forschung zum Frühstück“ am Standort Garching ein. Wissenschaftler des ZAE Bayern präsentierten Forschungsergebnisse zu den Themen Energiespeicherung und Energieeffizienz. Dr. U. Berger, für Industrie und Innovation zuständige Referatsleiterin der IHK für München und Oberbayern, und Dr. A. Hauer, Leiter des Bereichs Energiespeicherung des ZAE, begrüßten die Teilnehmer am Standort Garching. Nach

Abb. 23: Forscher des ZAE wurden für ihre herausragenden Leistungen mit dem Best Paper Award der Greenstock-Konferenz ausgezeichnet

Fig. 23: ZAE researchers were awarded for their outstanding achievements with the Best Paper Award of Greenstock Conference



BAYERISCHES FERNSEHEN REPORTS ABOUT ZAE BAYERN'S SOLAR FACTORY OF THE FUTURE

On 21st October 2015, the Bavarian television station Bayerisches Fernsehen reported live from the Solar Factory of the Future operated by ZAE on their current research in the field of photovoltaics. The mission of the Solar Factory of the Future is to provide a technology platform for new types of photovoltaic modules available through the roll-to-roll production of solar modules. The aim is to manufacture solar panels that can produce electricity for less than 0.05 € / kWh. Another focal point is the development of digital techniques for the printing of solar modules.

ZAE BAYERN AND IHK FOR MUNICH AND UPPER BAVARIA ORGANISE „FORSCHUNG ZUM FRÜHSTÜCK“ (RESEARCH FOR BREAKFAST)

On 9th December 2015, ZAE Bayern and the Chamber of Commerce for Munich and Upper Bavaria invited to the „Forschung zum Frühstück“ (Research for Breakfast) to the division in Garching. Scientists from ZAE Bayern presented research results in the area of energy storage and energy efficiency. Dr. U. Berger, responsible head of division for industry and innovation of the Chamber of Commerce for Munich and Upper Bavaria, and Dr. A. Hauer, head of energy storage division of ZAE, welcomed the participants at ZAE in Garching. After presentations on energy efficiency in industry and buildings, the laboratories and test stand of ZAE could be visited. Following there was a breakfast and the opportunity for a dialogue between the participants and scientists from ZAE.

Abb. 24: Ein Mitarbeiter des ZAE vor dem Stand auf der Hannover Messe

Fig. 24: An employee of ZAE in front of the stand at Hannover Messe (Hannover Fair)



Referaten zur Energieeffizienz in der Industrie und in Gebäuden konnten die Labore und Versuchsstände des ZAE besichtigt werden. Im Anschluss gab es ein Frühstück sowie die Gelegenheit zum Dialog zwischen den Teilnehmern und den Wissenschaftlern des ZAE.

DAS ZAE ZEIGT PRÄSENZ

Das ZAE Bayern intensiviert seine Messepräsenz und war 2015 bei verschiedenen Veranstaltungen als Aussteller und Partner vertreten. So konnten sich Besucher vom 9. bis 11. März 2015 in Düsseldorf am Stand des ZAE auf der weltweit führenden Plattform der Energiespeicherbranche, der Energy Storage, umfassend zu verschiedenen Speichertechnologien informieren. Die Messe fand erstmals gemeinsam mit der internationalen Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien (IRES 2015) und dem 6. StorageDay statt. Parallel wurde auch die 4. Power-to-Gas Conference sowie der 2. VDE Financial Dialogue durchgeführt. Damit wurden die wichtigsten Veranstaltungen aus dem Energiespeicherbereich am Standort Düsseldorf zusammengeschlossen.

Bei der internationalen Leitmesse für Forschung, Entwicklung und Technologietransfer, der Hannover Messe, war das ZAE vom 13. bis 17. April Mitaussteller am Gemeinschaftsstand Bayern Innovativ. Vom 22. bis 24. Juni präsentierte sich das ZAE in München bei der Intersolar, der weltweit führenden Fachmesse für die Solarwirtschaft und ihre Partner.

ZAE SHOWING PRESENCE

In 2015 ZAE Bayern invested in its visibility at trade fairs and showed presence at various events as exhibitor and partner. From 9th to 11th March 2015 visitors were able to obtain comprehensive information on various storage technologies on the world's leading platform of the energy storage sector, the Energy Storage in Düsseldorf. The fair was first held in conjunction with the International Conference for Renewable Energy Storage (IRES 2015) and the 6th StorageDay. At the same time the „4th power to gas Conference“ and the „2nd VDE Financial Dialogue“ were carried out. So, the main events from the energy storage field all took place in Dusseldorf. At the international trade fair for research, development and technology transfer, the Hannover Fair (13th to 17th April) ZAE participated as co-exhibitor at the Bayern Innovativ stand. From 22nd to 24th June, ZAE presented itself in Munich at the Intersolar, the world's leading trade fair for the solar industry and its partners.

Abb. 25: Besucher und Mitarbeiter am Gemeinschaftsstand mit Bayern Innovativ bei der Intersolar

Fig. 25: Visitors and employees at Intersolar at the joint stand together with Bayern Innovativ



1.7

BEI UNS ZU GAST 2015

OFFICIAL VISITORS IN 2015

BESUCHER IN GARCHING

- Kurs der VHS München (12.02.2015)
- Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zum Abschlussbericht des Projekts „TCM-Labor“ (25.06.2015)
- Chinesische Delegation der Tsingua University Peking (04.08.2015)
- Finnische Delegation im Rahmen einer AGFW Exkursion (25.09.2015)
- Chinesische Regierungsdelegation (08.12.2015)
- Teilnehmer der Veranstaltung „Forschung zum Frühstück“ (09.12.2015)

BESUCHER IN WÜRZBURG

- Kreisgruppe Würzburg des Bund Naturschutz Bayern e.V. (31.01.2015)
- Gästeführer der Stadt Würzburg (03.02.2015)
- Sponsoren des Energy Efficiency Center (26.02.2015)
- Partner des Netzwerks WISSEN² (04.03.2015)
- Teilnehmer der Aktion „Hausbesuche“ der Mediengruppe MAINPOST (19.03.2015)
- Bezirksverband Unterfranken des Bayerischen Bauindustrieverbandes e.V. (BBIV) (24.03.2015)
- Chinesische Delegation bw-i Zusammenarbeit (22.05.2015)
- Teilnehmer des deutsch-polnischen Begegnungsseminars der Akademie Frankenwarte (22.07.2015)
- B. Zypries, parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (02.09.2015)
- Delegation aus Bosnien und Herzegowina im Rahmen der Exportinitiative zum Thema Energieeffizienz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) (15.09.2015)
- Teilnehmer der AG Nachhaltiges Wirtschaften des Förderkreises Umweltschutz Unterfranken e.V. (24.09.2015)
- Ukrainische Delegation im Rahmen des Projekts „Prospects³“ (22.10.2015)
- Teilnehmerinnen der Aktion naturwissenschaftlich/technischen Schnuppertage für Mädchen der Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt (03.11.2015)

VISITORS TO GARCHING

- Adult evening class of VHS (adult education centre) Munich (12/02/2015)
- Representatives of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy for the final report of the project “TCM-Labor” (25/06/2015)
- Chinese delegation of Tsingua University Beijing (04/08/2015)
- Finnish delegation within the scope of an AGFW excursion (25/09/2015)
- Chinese government delegation (08/12/2015)
- Participants of the event “Forschung zum Frühstück” (research for breakfast) (09/12/2015)

VISITORS TO WÜRZBURG

- District group Würzburg of Bund Naturschutz Bayern e.V. (environmental organisation) (31/01/2015)
- Tour guides of the city of Würzburg (03/02/2015)
- Sponsors of Energy Efficiency Center (26/02/2015)
- Partners of the network WISSEN² (04/03/2015)
- Participants of the initiative “Aktion Hausbesuche” (campaign home visit) of Mediengruppe MAINPOST (media group Mainpost) (19/03/2015)
- District association of Lower Franconia of Bayerische Bauindustrieverband e. V. (bavarian construction industry association) (24/03/2015)
- Chinese delegation bw-i cooperation (22/05/2015)
- Participants of the German-Polish encounter seminar of Akademie Frankenwarte (academy Frankenwarte) (22/07/2015)
- B. Zypries, Parliamentary State Secretary at the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (02/09/2015)
- Delegation of Bosnia and Herzegovina within the framework of Exportinitiative Energieeffizienz (export initiative on energy efficiency) of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) (15/09/2015)
- Participants of AG Nachhaltiges Wirtschaften (working group sustainable economic management) of Förderkreis Umweltschutz Unterfranken e.V. (promotion group environmental protection Lower Franconia) (24/09/2015)
- Ukrainian delegation in the course of the project “Prospects³” (22/10/2015)
- Participants of the scientific/technical open days for girls of the University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt (03/11/2015)

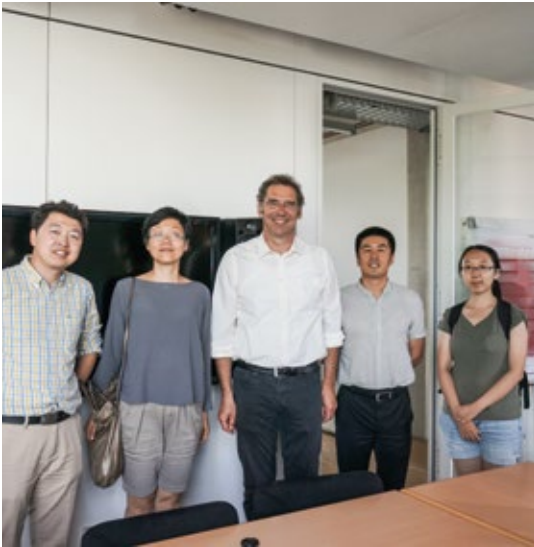


Abb. 1: Chinesische Delegation der Tsingua University Peking und Dr. A. Hauer, ZAE-Bereichsleiter (Mitte)

Fig. 1: Chinese delegation of Tsingua University Beijing and ZAE head of division Dr. A. Hauer (middle)



Abb. 2: Mitglieder des Bundes Naturschutz beim Rundgang durch das Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg

Fig. 2: Members of Bund Naturschutz during a guided tour at Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg



Abb. 3: Teilnehmer der «Aktion Hausbesuche» der Mediengruppe MAINPOST bei der Führung auf dem Versuchsdach des ZAE Bayern

Fig. 3: Participants of the initiative "Aktion Hausbesuche" (Campaign Home Visit) of Mediengruppe MAINPOST during the guided tour on the experimental roof of ZAE Bayern

BESUCHER IN ERLANGEN

- Staatssekretär S. Müller (13.02.2015)
- Projektpartner Netzwerk „Photovoltaik zukünftiger Märkte“ (03.03.2015, 06.10.2015)
- Lehramtsstudenten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) mit Prof. Dr. M. Hundhausen (09.07.2015)
- Photovoltaik-Sachverständige zum aIR-PV-check-Workshop (16.07.2015)
- Südafrikanische Wissenschaftler Prof. Dr. E. van Dyk und Dr. N. Vorster, Nelson Mandela Metropolitan University (10.09.2015)
- Zentralamerikanische Delegation von Wirtschaftsfachleuten (16.09.2015)

BESUCHER IN NÜRNBERG

- Prof. Dr. M. Tanemura, Nagoya Institute of Technology, NiTEch (24.02.2015)
- G. Heinrich, MdB, und M. Stamm-Fibich, MdB (01.04.2015)
- Delegation aus Chile (13.04.2015)
- Dr. S. Balleis, Alt-Oberbürgermeister von Erlangen (29.04.2015)
- Prof. Dr. C. Kemfert, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) (08.05.2015)
- H. E. Demitu Hambisa, Ministerin für Wissenschaft und Technologie Äthiopien mit Delegation (MoST) (11.06.2015)
- A. Tritthard, Landrat Erlangen-Höchstadt (19.06.2015)
- E. Bulling-Schröter, MdB, und H. Weinberg (13.07.2015)
- Delegation aus Malaysia (10.09.2015)
- H. von Pierer, ehem. Vorstand Siemens AG (24.09.2015)
- Schüler der Rudolf-Steiner-Schule zur Berufsorientierung (12.11.2015)

BESUCHER IN HOF

- Bürger von Epplas und Hof zur Informationsveranstaltung Projekt „Smart Grid Solar“ (16.04.2015)
- Vorstand der Ortsgruppe Hof des Bund Naturschutz (15.06.2015)
- Mongolische Delegation aus Vertretern der Energiebranche (24.06.2015)

VISITORS TO ERLANGEN

- State Secretary S. Müller (13/02/2015)
- Project partners of the network “Photovoltaik zukünftiger Märkte” (photovoltaics of future markets) (03/03/2015, 06/10/2015)
- Students of teaching of Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) together with Prof. Dr. M. Hundhausen, (09/07/2015)
- Photovoltaic experts for the aIR-PV-check-Workshop (16/07/2015)
- South African scientists Prof. Dr. E. van Dyk and Dr. N. Vorster, Nelson Mandela Metropolitan University (10/09/2015)
- Central American delegation of economic experts (16/09/2015)

VISITORS TO NUREMBERG

- Prof. Dr. M. Tanemura, Nagoya Institute of Technology, NiTEch, Japan (24/02/2015)
- G. Heinrich, MdB (member of the Bundestag) and M. Stamm-Fibich, MdB (01/04/2015)
- Delegation from Chile (13/04/2015)
- Dr. S. Balleis, former Mayor of Erlangen (29/04/2015)
- Prof. Dr. C. Kemfert, German Institute for Economic Research (DIW Berlin) (08/05/2015)
- H. E. Demitu Hambisa, Minister of Science and Technology of Ethiopia with delegation (MoST) (11/06/2015)
- A. Tritthard, District Administrator Erlangen-Höchstadt (19/06/2015)
- E. Bulling-Schröter, MdB (member of the Bundestag) and H. Weinberg (13/07/2015)
- Delegation from Malaysia (10/09/2015)
- H. von Pierer, former board member of Siemens AG (24/09/2015)
- Students of Rudolf-Steiner-Schule (Rudolf Steiner School) for occupational orientation (12/11/2015)

VISITORS TO HOF

- Citizens of Epplas and Hof at an information event in the framework of the project “Smart Grid Solar” (16/04/2015)
- Board of the local group Hof of Bund Naturschutz (environmental organisation) (15/06/2015)
- Mongolian delegation of representatives of the energy sector (24/06/2015)

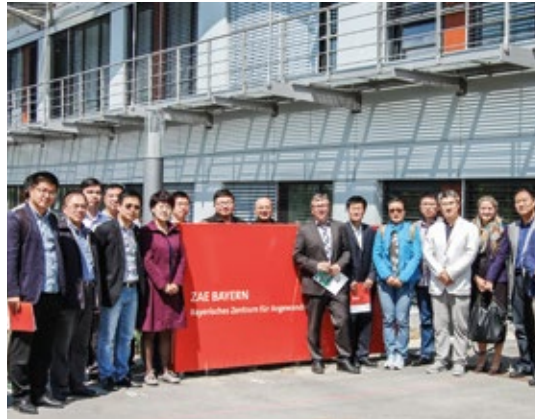


Abb. 4: Mitglieder des Bayerischen Bauindustrieverbandes e.V., Bezirksverband Unterfranken beim Rundgang durch das Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg

Fig. 4: Members of the district association of Lower Franconia of Bayerische Bauindustrieverband e. V. (bavarian construction industry association) during the guided tour through Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg

Abb. 5: Chinesische Delegation vor dem Energy Efficiency Center des ZAE Bayern in Würzburg

Fig. 5: Chinese delegation in front of Energy Efficiency Center of ZAE Bayern in Würzburg

Abb. 6: Delegation aus Bosnien und Herzegowina auf dem Versuchsdach des ZAE Bayern

Fig. 6: Delegation of Bosnia and Herzegovina on the experimental roof of ZAE Bayern

Abb. 7: H. E. Demitu Hambisa (2. v. l.), äthiopische Ministerin für Wissenschaft und Technologie mit Delegation am EnCN

Abb. 7: H. E. Demitu Hambisa (2nd f. l.), Ethiopian Minister of Science and Technology with a delegation at EnCN

Abb. 8: Dr. S. Balleis (2. v. l.) in der Solarfabrik der Zukunft in Nürnberg

Abb. 8: Dr. S. Balleis (2nd f. l.) at the Solar Factory of the Future in Nuremberg

Angewandte IR-Metrologie
Applied IR Metrology

Energieoptimierte Gebäude
Energy-Optimised Buildings

Nanomaterialien
Nanomaterials

Organische PV und Elektronik
Organic PV and Electronics

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

2.1 FORSCHUNG AM ZAE BAYERN RESEARCH AT ZAE BAYERN

Unser Energiesystem stellt in seiner Gesamtheit eine komplexe Struktur mit unterschiedlich stark vernetzten Komponenten bezüglich Energiebereitstellung, -speicherung, -transport und -verwendung dar. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt insbesondere in den interdisziplinär und bereichsübergreifend vernetzten Arbeitsgruppen, welche die Forschung von den Grundlagen bis hin zur Anwendung konsequent betreiben. Diese ungewöhnliche Breite resultiert aus der traditionellen Kooperation mit den benachbarten Hochschulen einerseits sowie aus der industrienahe Forschung andererseits. Grundlagenorientierte Forschungsprojekte (Förderung u. a. von DFG, EU und BMBF) werden ebenso wie konkrete Umsetzungsprojekte (Förderung u. a. von BMWi, EU, BayStMWi und Industriepartnern) durchgeführt. Die Kernthemen des ZAE Bayern zeichnen sich durch eine hohe gesellschaftliche Relevanz insbesondere in Hinblick auf die anstehende Energiewende aus. Dabei sind erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiespeicherung unabdingbar für eine erfolgreiche Wende, was sich auch in den Bereichsbezeichnungen des ZAE Bayern widerspiegelt.

Das ZAE zählt in seinen Tätigkeitsfeldern zu den Innovationstreibern und erfährt seit Jahren eine hohe nationale und internationale Anerkennung. Dabei ergänzen sich Wissenschaftler des ZAE Bayern aus verschiedenen Disziplinen (z. B. Physik, Chemie, Maschinenbau, Informatik, Geologie) und verschiedenen Standorten des ZAE. Die Stärke des ZAE Bayern liegt unter anderem darin, Wissen um die Funktionsweise von neuen Materialien und Einzelkomponenten mit der Betrachtung auf Systemebene kombinieren zu können. Viele Synergien in Forschung und Entwicklung können erst durch die Verknüpfung dieser beiden Ebenen erschlossen werden.

Forschungskreativität und -qualität äußern sich auf vielfältige Weise. Beispielsweise beweist ein Landesinstitut wie das ZAE Bayern durch einen traditionell hohen Anteil an eingeworbenen Drittmitteln seine Forschungsstärke. Anwendungsorientierte Forschung äußert sich z. B. durch Patentschriften. Die internationale Sichtbarkeit eines Forschungsinstituts sowie seine wissenschaftliche Innovationskraft werden jedoch meist anhand wissenschaftlicher Publikationen in internationalen Fachzeitschriften bewertet. Die statistische Analyse, z. B. durch Web of Science, belegt, dass das ZAE Bayern in seiner Kategorie anwendungs-

The energy system, seen as an entity, is a complex structure with components which exhibit different levels of interlinkage in terms of production, storage, transport, and use of energy. The reason for ZAE Bayern's strength in research lies particularly in its research groups who have an interdisciplinary approach and network with other ZAE groups, which systematically cover all stages of research from the basics to practical application. This unusually wide range results from the long-running cooperation with adjacent universities on the one hand, as well as joint research with industrial partners on the other. We perform basic research projects (funding a. o. by DFG, EU, BMBF) as well as demonstration projects (funding a. o. by BMWi, EU, BayStMWi, and industry partners). ZAE Bayern's core issues carry high social significance, especially with regard to the pending change in energy policy. The fields of renewable energies, energy efficiency, and energy storage are crucial factors for making this change a successful one. This too reflects in ZAE Bayern's division names.

For years now, ZAE has been one of the prime innovators of its fields and enjoyed high national and international recognition. To achieve this, scientists from various fields (e. g. physics, chemistry, mechanical engineering, informatics, geology) and from different divisions complement each other. Among others, ZAE Bayern's strength lies in the ability to combine specific know-how of new materials and components with a system level view. Many synergies in research and development can only be opened up with a linking of these two levels.

Creativity and quality of research find diverse manifestations. A state institute like ZAE Bayern, for example, proves its strength in research through the acquisition of a traditionally large amount of third party funds. Patents are an indicator of application-oriented work. However, a research institute's international visibility and drive for scientific innovation are usually judged on the basis of publications in international scientific journals. Statistical analysis, conducted via e. g. Web of Science, proves ZAE Bayern's top position in the field of application-oriented research institutes. Chapter 3 lists the past year's publications in peer-reviewed scientific journals as well as active participation of our employees in international and national conferences through talks and scientific posters. Our involvement in the international sci-

orientierter Institute eine Spitzenstellung innehat. Eine Übersicht der Veröffentlichungen in begutachteten Fachzeitschriften sowie die aktive Teilnahme von Mitarbeitern an internationalen und nationalen Konferenzen in Form von Fachvorträgen und wissenschaftlichen Postern im vergangenen Jahr finden Sie in Kapitel 3. Die Mitarbeit in Expertengremien (z. B. Internationale Energieagentur IEA, DIN-Ausschüsse, nationale Experten-Arbeitskreise) runden den wissenschaftlichen Austausch mit der weltweiten Forschungsgemeinschaft ab. In der breiteren Öffentlichkeit werden Wissenschaft und Forschung oft als sehr abstrakt wahrgenommen. Um dem zu begegnen, finden Sie im folgenden Kapitel einen Überblick zu aktuellen Forschungsaktivitäten des ZAE Bayern.

entific community is completed by memberships in expert committees (e. g. International Energy Agency IEA, DIN, national expert committees). Still, the general public tends to consider science and research very abstract matters. As a counter measure, the following chapter gives an overview of ZAE Bayern's current research activity.



2.2

WASSERELEKTROLYSE: NEUE MATERIALIEN UND SYSTEMANALYSE

WATER ELECTROLYSIS: NEW MATERIALS AND SYSTEM ANALYSIS

Autor | Author

M. Möckl, M. Bernt

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Ing. Maximilian MöcklElektrochemische Energiespeicher
Electrochemical Energy Storage**Dipl.-Phys. Maximilian Bernt**Elektrochemische Energiespeicher
Electrochemical Energy Storage

Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage+49 89 329442-77
maximilian.moeckl@
zae-bayern.de+49 89 329442-77
maximilian.bernt@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

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

Kooperationspartner | Partners

TU München, Lehrstuhl für Elek-
trische Energiespeichertechnik
(Prof. Dr.-Ing. A. Jossen)
TU München, Lehrstuhl für
Technische Elektrochemie
(Prof. Dr. H. A. Gasteiger)

Fortschreitender Klimawandel und weltweite Verknappung fossiler Energieträger zwingen zu einem flächendeckenden Umbau der Energieinfrastruktur. Wasserelektrolyse hat das Potenzial, eine Schlüsselkomponente in einem zukünftigen umweltverträglichen Energiesystem mit hohem Anteil regenerativer Stromerzeugung zu werden. Elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff kommen dabei langfristig mehrere zentrale Rollen zu. Er kann als chemisches Speichermedium für größte Energiemengen und lange Speicherzeiten bei niedrigen Selbstentladungsraten dienen, als CO₂-neutraler Rohstoff für vielfältige industrielle Prozesse eingesetzt werden und bietet als Kraftstoff im Mobilitätssektor die Möglichkeit, fossile Energieträger weitreichend zu substituieren. Aus Kostengründen erfolgen bisher nur etwa 4 % der weltweiten jährlichen Wasserstoffproduktion mittels elektrolytischer Verfahren [1]. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich der Anteil an elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff in den nächsten 30 Jahren durch Kostenreduktion (Technologiefortschritt und Skaleneffekte durch Massenproduktion) sowie Förderung CO₂-neutraler Technologien signifikant erhöhen wird.

Besonders die unter Verwendung von Polymer-Elektrolyt-Membranen erfolgende Elektrolyse (PEM-Elektrolyse) eignet sich durch ihre außerordentlich gute Teillastfähigkeit sowie ihre hohe Dynamik mit kurzen Ansprechzeiten (< 1 s von Stand-by bis Vollast) gut zur Koppelung an intermittierende regenerative Stromquellen, wie Wind- oder Solarenergie [2]. Um die Membran-Elektrolyse zur Netzstabilisierung und zur direkten Koppelung mit schwankenden Energiequellen wirtschaftlich einsetzen zu können, sind eine höhere Effizienz sowie niedrigere Kosten bei gleichzeitig verlängerter Lebensdauer im fluktuierenden Betrieb erstrebenswert. Die Entwicklung neuer, kostengünstigerer Materialien mit gleichbleibend hohem oder sogar gesteigertem Wirkungsgrad ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung. Zusätzlich sind neue systemtechnische Konzepte sowie optimal angepasste Betriebsstrategien notwendig, um Degradationseffekte und Leistungsabfall über die Lebensdauer so gering wie möglich zu halten.

Im Rahmen des Projektes „Bayerisches Zentrum für Angewandte EnergieSpeicher-Technologien (ZAE-ST)“ werden Membran-Elektrolysesysteme sowohl auf Material- als auch auf Systemebene intensiv erforscht. Der Schwerpunkt liegt derzeit auf Membran-Elektro-

Ongoing climate change and global shortage of fossil energy carriers call for an extensive conversion of the current energy infrastructure. Water electrolysis has the potential to become a key component of a future eco-friendly energy system with high shares of renewably produced electricity. In the long run, electrolytic hydrogen could fulfil several central functions. It can serve as a chemical storage medium for large amounts of energy over long durations at low self-discharge rates, as a CO₂-neutral resource in numerous industrial processes, and it allows for substitution of most fossil fuels in the mobility sector. Due to the comparably high cost, only about 4 % of the annual worldwide hydrogen production capacity is covered through electrolytic methods [1]. With a decline in cost (due to technological progress and mass production) and through public funding of CO₂-neutral technology, this share is expected to rise significantly over the next 30 years.

Solid polymer electrolyte electrolysis (SPE electrolysis) is particularly suitable for coupling with fluctuating renewable sources, like wind power or photovoltaics, because of its outstanding part load capability and its potential for highly dynamic operation (< 1 s from stand-by to maximum power) [2]. For a more economical use of SPE electrolysis for grid stabilisation and direct coupling to volatile power sources, higher efficiency and lower cost paired with high durability in intermittent operation are desirable. Lowering material cost while maintaining or even improving efficiency is one important step towards more widespread use of water electrolysis. Furthermore, new system concepts and optimally adapted operational strategies are necessary to minimise degradation and decrease of performance during service life.

In the project “Bavarian Center for Applied EnergyStorage-Technology (ZAE-ST)”, SPE electrolysis systems are subjected to close inspection on, both, material- and system level. The current research focus lies on membrane electrode assemblies (MEA) with anion exchange membranes. These MEAs are manufactured at ZAE and characterised electrochemically in an in-house developed high-pressure electrolysis cell. With the new MEAs, significant cost reduction for SPE electrolyzers is potentially possible since cheap, precious metal free catalysts as well as low price bipolar plates and gas diffusion layers made from chromium-nickel steel can be used. Addition-

den-Einheiten (MEA: Membrane-Electrode-Assembly) mit Anionen-Austauschmembranen. Diese MEAs werden am ZAE hergestellt und elektrochemisch in einer selbstentwickelten Druckelektrolysezelle untersucht. Mit diesen neuartigen MEAs sind potenziell hohe Kostenreduktionen bei Membran-Elektrolysesystemen möglich, da edelmetallfreie Katalysatoren sowie günstigere Bipolarplatten und Gasdiffusionsschichten auf Basis von Chrom-Nickel-Stählen eingesetzt werden können. Außerdem werden systemtechnische Überlegungen zur Hybridisierung von Elektrolyseanlagen mit Pufferspeichern angestellt, die es ermöglichen sollen, durch Reduktion von transienten Betriebszuständen die Lebensdauer von Elektrolyseuren bei direkter Koppelung mit fluktuierenden regenerativen Energiequellen zu verlängern.

ally, considerations about the hybridisation of electrolyzers with buffer storages are made in order to considerably prolong the service life of electrolyzers directly coupled to fluctuating sources, like wind power or photovoltaics, by reducing transient operational states.

Literatur | References

- [1] A. Godula-Jopek (eds.), *Hydrogen Production by Electrolysis*, Wiley-VCH, Weinheim, 2015, ISBN 978-3-527-33342-4.
- [2] E. Anderson, *Latest Advancements in PEM Electrolysis*, Technical Forum Group Exhibit Hydrogen + Fuel Cells + Batteries Hannover Messe 2014, Hannover, Germany, 07.04.2014.

Abb. 1: Elektronenmikroskopisches Schnittbild einer am ZAE Bayern gefertigten PEM-Elektrolyse Membran-Elektroden-Einheit (MEA)
Fig. 1: Scanning electron microscope cross-section image of a SPE electrolysis membrane electrode assembly (MEA) manufactured at ZAE Bayern

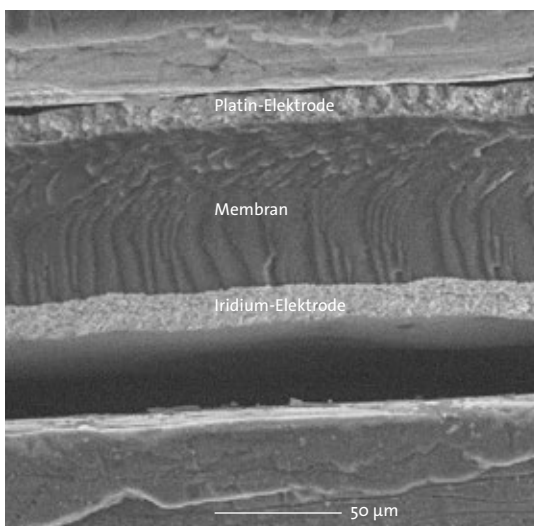
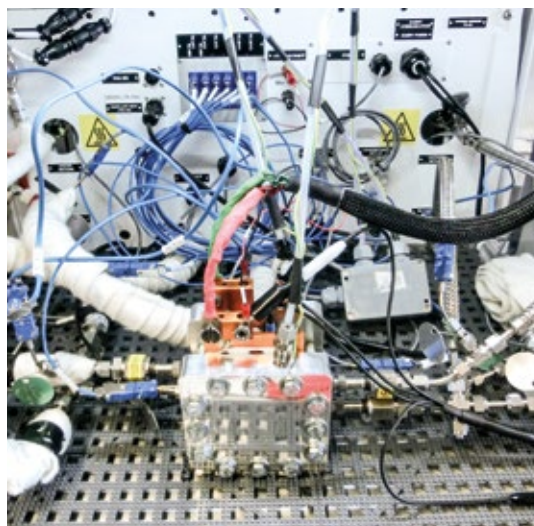


Abb. 2: Hochdruck-Elektrolyse-Teststand mit eigenentwickelter Zelle für elektrochemische Charakterisierung neuer Materialien
Fig. 2: High-pressure electrolysis test station with in-house developed cell for electrochemical characterisation of new materials



2.3 GEBÄUDEDÄMMUNG DER NÄCHSTEN GENERATION? NEXT-GENERATION THERMAL INSULATION FOR BUILDING APPLICATIONS?

Autor | Author

G. Reichenauer

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

Europäische Union (FKZ 260141)

Kooperationspartner | Partners

Fundación Tecnalia Research & Innovation (TECNALIA)
Association pour la Recherche et le Développement des Méthodes et Processus Industriels (ARMINES)
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA)
Teknologian Tutkimuskeskus (VTT)
Lodz University of Technology (TUL)
Produits Chimiques Auxiliaires et de la Synthèse SA (PCAS)
SEPARX S.A.S.
ACCIONA Infraestructuras SA

Die Bereitstellung deutlich verbesserter Wärmedämmmaterialien für Gebäude ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland und zu einer effizienteren Energienutzung allgemein. Energetisch betrachtet ist der Wärmedurchlasskoeffizient, also das Verhältnis von Wärmeleitfähigkeit zur Dicke der Wärmedämmschicht, die physikalische Größe, die die Energieeffizienz bestimmt. Allerdings sind der Dicke der Dämmschicht in der Praxis Grenzen gesetzt. Beispiele sind ein Übertreten von Grundstücksgrenzen bei der Altbausanierung oder im Neubau der Platzbedarf der Dämmung, der die nutzbare Wohnfläche reduziert. Außerdem werden im Gebäudebereich zusätzliche Anforderungen an die Wärmedämmung gestellt. Die Dämmung sollte nicht brennbar oder zumindest schwer entflammbar sein, ein atmungsaktiver Dämmstoff kann zudem weitere Vorteile bieten.

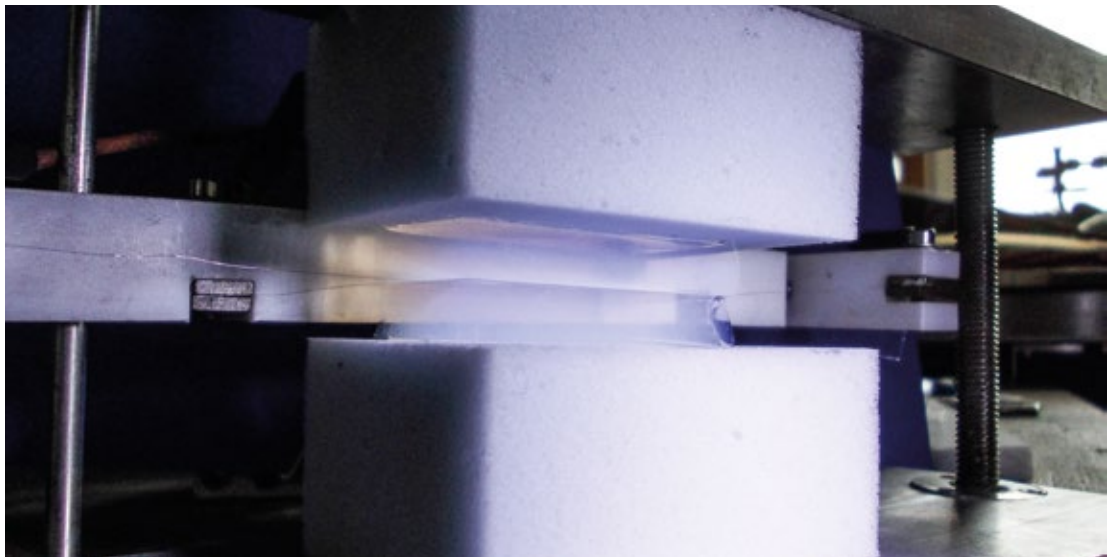
Ziel des Projekts „AEROCOINS“ [1] war es, ein neues, gebäudetaugliches Wärmedämmelement zu entwickeln, das nur die Hälfte der Wärmeleitfähigkeit von expandiertem Polystyrol aufweist und damit auf halbem Weg zwischen den aktuell eingesetzten Schäumen und thermischen Superisolationen, wie Vakuumisolationspaneele, liegt. Über eine Laufzeit von vier Jahren (2011-2015) arbeiteten neun Partner aus sechs europäischen Ländern an einer Silica-Aerogel-basierten Wärmedämmkomponente für den Gebäudebereich. Zielsetzung war dabei einerseits die Bereitstellung eines

Providing significantly improved thermal insulation materials for buildings is an essential step on the road to implementing the German energy turnaround and to a more efficient use of energy in general. From an energetic point of view, the thermal heat transfer coefficient, i. e. the ratio of thermal conductivity to thickness of the insulating layer, is the variable determining energy efficiency. However, the thickness of the insulating layer underlies practical limitations; examples are the transgression of property boundaries for refurbishment or the reduction of available living space for newly constructed buildings. Also, the building sector imposes additional demands on the insulation. It has to be non-combustible or at least flame retardant; breathable insulation may provide additional benefits.

The objective of the project “AEROCOINS” [1] was to develop a new thermal insulation element suitable for buildings having only half the thermal conductivity of expanded polystyrene and thus being halfway between the currently applied foams and high end superinsulation elements such as vacuum insulation panels. Over a period of four years (2011-2015), nine partners from six European countries worked on a

Abb. 1: Vermessung eines Silica-Aerogels in einer Hitzdraht-Anordnung

Fig. 1: Analysis of a silica aerogel in a hot-wire set-up



Literatur | References

[1] AEROCOINS
www.aerocoins.eu

mechanisch gut handhabbaren, staubarmen Dämmelementen und andererseits die Verbesserung des Herstellungsverfahrens in Hinblick auf Gesamtkosten sowie Energieverbrauch.

In einem umfangreichen Screening wurden zunächst unterschiedliche organisch/anorganische Aerogel-basierte Hybridsysteme und faserverstärkte Komposite synthetisiert sowie charakterisiert. Dabei erfolgte die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von über 500 Proben (meist mit Durchmessern kleiner 30 mm) am ZAE Bayern mit dem Hitzdrahtverfahren (Abb. 1). In einem zweiten Schritt wurde auf Basis eines der entwickelten Materialien eine Dämmkomponente konzipiert, die in zwei unterschiedliche Gebäudefassaden integriert und über mehrere Monate in heißem, trockenem Klima bzw. moderatem, feuchtem Klima evaluiert wurde (Abb. 2). Dazu fertigten die Partner im Rahmen des Projekts eine große Anzahl an Komposit-Platten mit Abmessungen von ca. 50 cm x 50 cm x 2 cm an.

Die hydrophoben Komponenten mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,017 W/(mK) lassen bei einer Dicke von 10 cm je nach Klimazone gegenüber Mineralwolle Energieeinsparungen von 30 kWh/m² (Finnland) bzw. 16 kWh/m² (Spanien) und gegenüber schaum-basierten Dämmungen von 8 kWh/m² (Finnland) bzw. 4 kWh/m² (Spanien) erwarten.

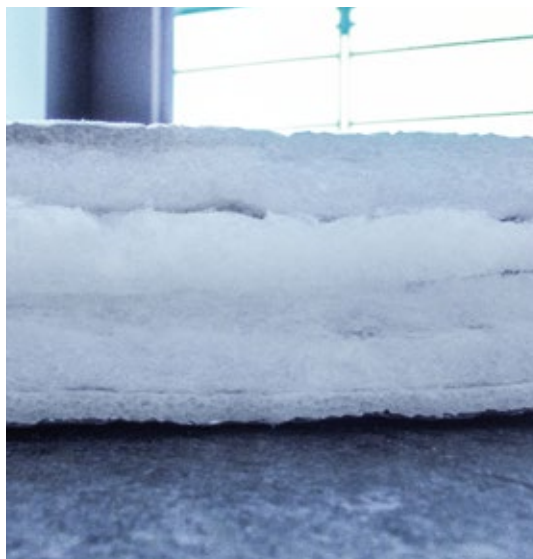
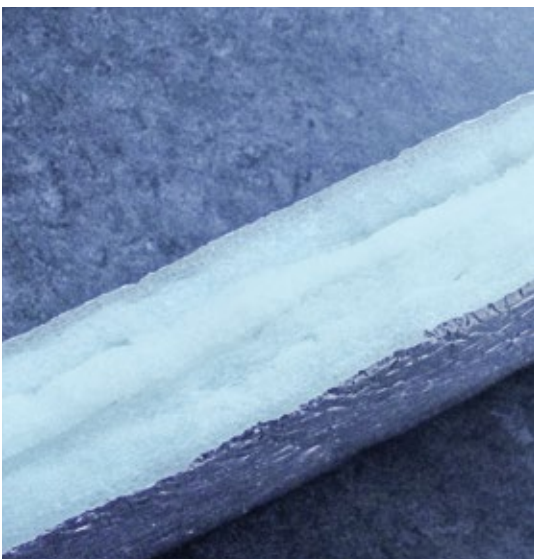
thermal insulation component for the building sector based on silica aerogel. The objective was, on the one hand, to provide a mechanically easy-to-handle, low-dust insulation element and, on the other hand, to improve the manufacturing process in terms of total cost and energy consumption.

Different organic/inorganic hybrid aerogel systems and fibre-reinforced composites were synthesised and characterised in an extensive screening. Measurement of the thermal conductivity of over 500 lab scale samples (most of them less than 30 mm in diameter) was realised through application of the hot wire method (Fig. 1). In a second step, an insulating component was designed based on one of the developed materials, integrated into two different building facades and evaluated over several months in hot, dry as well as moderate, humid climate (Fig. 2). For this, the project partners manufactured a large number of composite plates, measuring about 50 cm x 50 cm x 2 cm.

These hydrophobic components with a thermal conductivity of about 0.017 W/(mK), allow, at a thickness of 10 cm, energy savings of, depending on the climate, 30 kWh/m² (Finland) and 16 kWh/m² (Spain) over mineral wool, and 8 kWh/m² (Finland) or 4 kWh/m² (Spain) over foam-based insulation.

Abb. 2: Laminiertes faserverstärktes Silica-Aerogel Komposit (Probe: EMPA/ACCIONA)

Fig. 2: Laminated fibre-reinforced silica-aerogel composite (sample: EMPA/ACCIONA)



2.4

PASSIVHAUS-NEUBAU DER FACHOBER- UND
BERUFSOBERSCHULE ERDINGNEW PASSIVE HOUSE BUILDING FOR TECHNICAL
& VOCATIONAL SECONDARY SCHOOL OF ERDING

Autor | Author

J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum

Ansprechpartner | Contact

Dr. Jens M. Kuckelkorn
Gruppenleiter,
Systementwicklung
Head of Group,
Systems Engineering

B.Eng. Alexander Kirschbaum
Projektleiter,
Systementwicklung
Project Manager,
Systems Engineering

Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage

+49 89 329442-17
jens.kuckelkorn@zae-bayern.de

+49 89 329442-65
alexander.kirschbaum@
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Deutsche Bundesstiftung
Umwelt (AZ 26170/03-25)

Kooperationspartner | Partners

Landkreis Erding
kplan AG Aktiengesellschaft
für Projektentwicklung und
Gesamtplanung

Das von den Landkreisen Erding und Ebersberg finanzierte Projekt „Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf“ konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Seit Inbetriebnahme des Gebäudes am 14. März 2011 führte das ZAE Bayern in einer über dreijährigen Monitoringphase umfassende Betriebsoptimierungen und -evaluierungen durch. Dank zahlreicher umgesetzter Maßnahmen im Gebäudebetrieb konnten gleichzeitig eine gute Funktionalität, ein hoher Raumkomfort und eine hervorragende Energieeffizienz erreicht werden. Der Projekterfolg konnte anhand umfangreicher, kontinuierlich aufgezeichneter Messdaten fortlaufend evaluiert und dokumentiert werden.

Im Sommer wird das Gebäude nachts passiv mit Außenluft gekühlt. Diese gelangt über motorische Oberlichter in die Klassenräume und wird mittels energieeffizienter Dachventilatoren in einem Atrium wieder abgeführt. Die hohe Wärmekapazität der offenliegenden Betonkonstruktion wird dabei äußerst effektiv genutzt. In Kombination mit einer Verschattungsanlage konnte so im Sommer die Temperatur der meisten Räume unter 26 °C gehalten werden. Zusätzlicher Kühlbedarf für die aktive Kühlung der Zuluftvorkonditionierung, der EDV-Schulungsräume sowie des Serverraums wird durch eine thermische Grundwassernutzung gedeckt. Durch die Optimierungsmaßnahmen konnten sowohl der Grundwasser- als auch der Kühlbedarf erheblich reduziert werden. Für Raumlufttechnik und EDV-Schulungsräume wurden im Jahr 2014 nur 0,27 kWh/(m²a) Grundwasserkälte verbraucht.

Der Heizwärmebedarf wird im optimierten Betrieb mit dem Rücklauf der Geothermie-Fernwärme des Nachbargebäudes gedeckt. Der auf die Nettogrundfläche nach Energieeinsparverordnung (EnEV) bezogene rechnerische Heizenergiebedarf liegt mit rund 8 kWh/(m²a) unter dem Planwert. Der auf die Nettanutzfläche bezogene Grenzwert für Passivhäuser nach dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) in Höhe von 15 kWh/(m²a) wird mit rund 9 kWh/(m²a) deutlich unterschritten (Abb. 2). Das innovative Quelllüftungskonzept, die energiesparende Abluftführung über das Atrium sowie Rotationswärmeübertrager zur Wärme-/Kälterückgewinnung erwiesen sich nach der Optimierung als sehr energieeffizient. Der Stromverbrauch

The project “Newly Constructed Building for the Technical and Vocational Secondary School of Erding: Sustainable Passive House with Extremely Low Primary Energy Demand”, financed by the districts of Erding and Ebersberg, was successfully concluded. It was funded by the Deutsche Bundesstiftung Umwelt (German Federal Environmental Foundation).

ZAE Bayern has conducted comprehensive optimisation and evaluation of the building’s facilities during a monitoring period of more than three years, following its initial operation on 14th March 2011. Due to numerous measures implemented into building operations good functionality, high thermal comfort and excellent energy efficiency were achieved simultaneously. The project’s success was constantly documented and evaluated utilising extensive and continually recorded measurement data.

In summer, the building is cooled passively during nights with outside air which flows into the classrooms through motorised windows and is discharged by energy efficient roof fans from an atrium. This makes highly efficient use of the high thermal capacity of exposed concrete surfaces. With the addition of a shading system, the temperature of most rooms stayed below 26 °C over the summer. Additional cooling demand for active cooling of ventilation air, IT-classrooms and the server room was covered by thermal ground water use. Through these optimi-



Abb. 1: Passivhaus-Neubau der FOS/BOS Erding. Nordfassade des Schulgebäudes im April 2012. Am rechten Bildrand ist der leicht nach Westen versetzte Südriegel zu erkennen

Fig. 1: Newly built passive house of FOS/BOS Erding. North facade of the building in April 2012. Visible to the right is the southern wing, slightly offset to the west

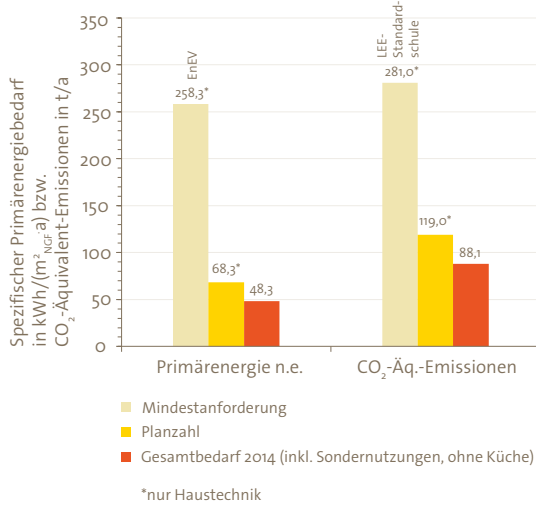
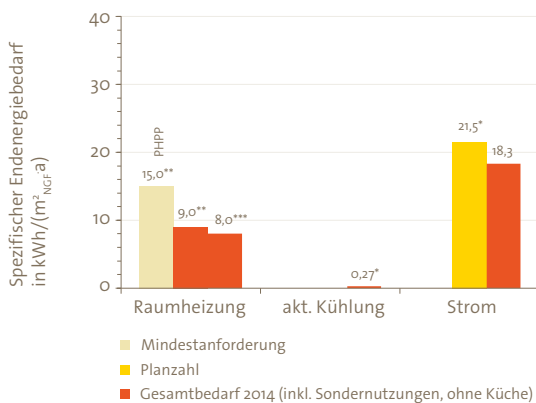


Abb. 2: Spezifischer Endenergiebedarf und spezifischer Primärenergiebedarf der FOS/BOS Erding, aufgegliedert nach Mindestanforderung, Planzahl und Gesamtbedarf 2014. Für die Raumheizung wurde der klimabereinigte Bedarf aus dem Wärmeverbrauch ermittelt

Fig. 2: Specific energy demand and specific primary energy demand of FOS/BOS Erding, subdivided into minimum requirement, planned consumption, and total consumption 2014. For heating the climatically adjusted demand was calculated from the heat consumption

sations, the demands for cooling and ground water were significantly reduced. For 2014, the combined consumption of ground water cooling energy for ventilation and IT-classrooms was only 0.27 kWh/(m²a).

During optimised operation, the heating demand is covered by the district heating return flow of the neighbouring building. The calculated specific heating demand (/net floor area), according to the German Energy Saving Ordinance EnEV, is, at about 8 kWh/(m²a), below the originally projected value. The heating demand of about 9 kWh/(m²a) is significantly below the limiting value for passive houses according to the German Passive House Planning Package (PHPP) of 15 kWh/(m²a) (Fig. 2). The innovative displacement ventilation concept, the energy efficient disposal of exhaust air via the atrium, and rotary heat exchangers for heating and cooling recovery have proven themselves highly efficient after optimisation. The building's electric energy consumption displays a very demand-oriented load profile. The over-the-year base load, partly caused by standby consumption, was reduced to less than 10 kW during the project. However, it still amounts to almost half of the overall electricity consumption. For 2014, this overall consumption (including all special applications, excluding kitchen) was below 18.3 kWh/(m²a) which is even lower than the figure of 21.5 kWh/(m²a) originally planned for building services alone (Fig. 2). Measurements and professional user surveys resulted in positive assessments of building comfort and acceptance by its occupants.

The fossil primary energy demand fell significantly below the original target of 68.3 kWh/(m²a) excluding all special applications (only building services). After the optimisation it was at 48.3 kWh/(m²a) including all special applications (excluding kitchen) (Fig. 2). This is a particular success of the project.

zeigt ein sehr bedarfsgerechtes Lastprofil. Die ganzjährige, teilweise durch Stand-by-Verbrauch verursachte Grundlast konnte im Projektverlauf unter 10 kW abgesenkt werden. Allerdings macht sie noch immer fast die Hälfte des Gesamtstromverbrauchs aus. Dieser lag im Jahr 2014 (inklusive Sondernutzungen, ohne Küche) unter 18,3 kWh/(m²a) und unterschritt damit sogar den ursprünglich alleine für die Haustechnik geplanten Wert von 21,5 kWh/(m²a) (Abb. 2).

Messwerte und professionelle Nutzerbefragungen zeigten nach der Optimierung positive Bewertungen bezüglich Behaglichkeit und Akzeptanz.

Der geplante fossile Primärenergiebedarf ohne Sondernutzungen (nur Haustechnik) von 68,3 kWh/(m²a) konnte deutlich unterschritten werden. Nach der Optimierung liegt dieser inklusive aller Sondernutzungen (ohne Küche) bei 48,3 kWh/(m²a) (Abb. 2). Dies stellt einen besonderen Erfolg des Projektes dar.

2.5

MONITORING VON PCM-SYSTEMEN FÜR GEBÄUDE

MONITORING OF PCM SYSTEMS FOR BUILDINGS

Autor | Author

H. Weigl

Ansprechpartner | Contact

Dr. Helmut Weigl
Gruppenleiter,
Energieoptimierte Gebäude
Head of Group,
Energy-Optimised Buildings

Bereich | Division

Energieeffizienz
Energy Efficiency

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

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 03ET1240A)

Kooperationspartner | Partners

Universität Kassel, Fachgebiet
Bauphysik
Ecowin GmbH
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser
GmbH
Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE
Deerns Deutschland GmbH
H.M. Heizkörper GmbH & Co. KG
Rubitherm Technologies GmbH
va-Q-tec AG

Der Einsatz von Phasenwechselmaterialien (PCM) in Gebäuden bietet ein hohes Potenzial zur Reduktion von Kühllasten und zur Pufferung von Temperaturspitzen. Während sich viele Untersuchungen auf reine Simulationsberechnungen oder Messungen im Labor- bzw. bestenfalls Testraummaßstab beziehen, sind relativ wenige Messdaten aus realen Anwendungen verfügbar. Aus diesem Grund fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie das Projekt „PCM in Demonstrationsanwendungen (PCM-Demo II)“ [1]. Das vom ZAE Bayern koordinierte und wissenschaftlich begleitete Verbundvorhaben startete im Sommer 2014 und ermöglicht mit einer Laufzeit von fünf Jahren die Untersuchung unterschiedlicher PCM-Systeme in realen Gebäuden:

- Aktive Kühldecken mit PCM
- Passive Wandelemente mit PCM
- PCM-Speicher für Lüftungs- und Heizsysteme

Im Rahmen eines ebenfalls vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Vorgängerprojektes führte das ZAE bereits ein Monitoring von PCM-Systemen durch. So zeigte sich im Vorgängerprojekt, dass das Nutzerverhalten oft größere Auswirkungen auf die Raumtemperatur hat als das PCM-System selbst. Dementsprechend wird im Projekt „PCM-Demo II“ ein zweistufiges Monitoringkonzept verfolgt [2]:

- Phase 1: Vermessung der PCM-Systeme unter künstlich definierten Bedingungen
- Phase 2: Vermessung der PCM-Systeme unter Realbedingungen

In Phase 1 erfolgt die Vermessung der PCM-Systeme unter Ausschluss des Nutzereinflusses und unter definierten Randbedingungen. Dazu werden Standardszenarien für verschiedene Raumnutzungen (z. B. Büro vs. Wohnen) festgelegt und entsprechende Lastprofile messtechnisch gezielt nachgestellt (z. B. durch künstliche interne Wärmequellen). Soweit es möglich ist, werden zusätzlich zu den Räumen mit PCM auch vergleichbare Räume ohne PCM-Systeme als Referenz vermessen. Ziel dieser Phase ist die Ermittlung vergleichbarer systemspezifischer Kennwerte.

In Phase 2 werden die PCM-Systeme unter Realbedingungen, also mit Nutzereinfluss und den Gegebenheiten

Die Integration von Phasenwechselmaterialien (PCM) in Gebäuden zeigt ein hohes Potenzial für die Reduktion von Kühllasten und die Pufferung von Temperaturspitzen. Während die meisten Untersuchungen auf Daten aus Simulationen oder Messungen im Labor- oder, bestenfalls, Testraummaßstab basieren, sind relativ wenige Messdaten aus realen Anwendungen verfügbar. Daher fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie das Projekt „PCM in realen Anwendungen (PCM-Demo II)“ [1]. Das Projekt, geleitet und wissenschaftlich koordiniert durch das ZAE Bayern, wurde im Sommer 2014 gestartet und ermöglicht über eine Laufzeit von fünf Jahren die Untersuchung unterschiedlicher PCM-Systeme in realen Gebäuden:

- aktive Kühldecken mit PCM
- passive Wandelemente mit PCM
- PCM-Speicher für Lüftung und Heizungssysteme

Während eines Vorgängerprojektes – ebenfalls unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – wurde bereits ein Monitoring von PCM-Systemen durchgeführt. Es zeigte sich, dass das Nutzerverhalten oft größere Auswirkungen auf die Raumtemperatur hat als das PCM-System selbst. Daher wird im Projekt „PCM-Demo II“ ein zweistufiges Monitoringkonzept verfolgt [2]:

- Stage 1: Messung der PCM-Systeme unter künstlichen Bedingungen
- Stage 2: Messung der PCM-Systeme unter Realbedingungen

In Phase 1 werden die PCM-Systeme unter Ausschluss des Nutzereinflusses und unter definierten Randbedingungen gemessen. Dazu werden Standardszenarien für verschiedene Raumnutzungen (z. B. Büro vs. Wohnen) festgelegt und entsprechende Lastprofile messtechnisch gezielt nachgestellt (z. B. durch künstliche interne Wärmequellen). Soweit es möglich ist, werden zusätzlich zu den Räumen mit PCM auch vergleichbare Räume ohne PCM-Systeme als Referenz vermessen. Ziel dieser Phase ist die Ermittlung vergleichbarer systemspezifischer Kennwerte.

In Phase 2 werden die PCM-Systeme unter Realbedingungen, also mit Nutzereinfluss und den Gegebenheiten

ten vor Ort vermessen. Auch hier werden soweit möglich baugleiche Räume ohne PCM als Referenz parallel untersucht. Ein Vergleich der für Räume mit PCM erhaltenen Daten mit den Werten für Räume ohne PCM ist in Phase 2 deutlich schwieriger als in Phase 1, da die Einflüsse von Nutzern etc. die Bewertung erschweren. Unter Umständen muss auf unterstützende Simulationen zurückgegriffen werden. Ziel von Phase 2 ist die Ermittlung des Systemverhaltens im realen Betrieb. Neben der Erfassung wissenschaftlich belastbarer Systemdaten und der energetischen Bewertung der PCM-Systeme steht auch der Wissenstransfer im Mittelpunkt des Projektes. In Symposien werden der Fachwelt die Projektergebnisse präsentiert, und es wird ein Überblick über die deutschlandweiten PCM-Aktivitäten gegeben.

become necessary. The goal of stage 2 is the determination of the system's performance under real-life conditions.

Another focus of the project, besides the acquisition of scientifically reliable system data and the energetic evaluation of the PCM systems, is knowledge transfer. The project results will be presented to other experts in symposia where there will also be given an overview of PCM activity in Germany.

Literatur | References

[1] Projekt PCM-Demo II
www.pcm-demo.info

[2] H. Weigl et al., Monitoring of PCM-Systems for Buildings, Proceedings of the 13th International Conference on Energy Storage Greenstock, Peking, China, 19.-21.05.2015.



Abb. 1: PCM-Kühldecke in einem Schulungsraum der Landesversicherungsanstalt Münster (© Deerns Deutschland GmbH)

Fig. 1: Cooling ceiling with PCM in a classroom of the regional pensions office in Münster (© Deerns Deutschland GmbH)

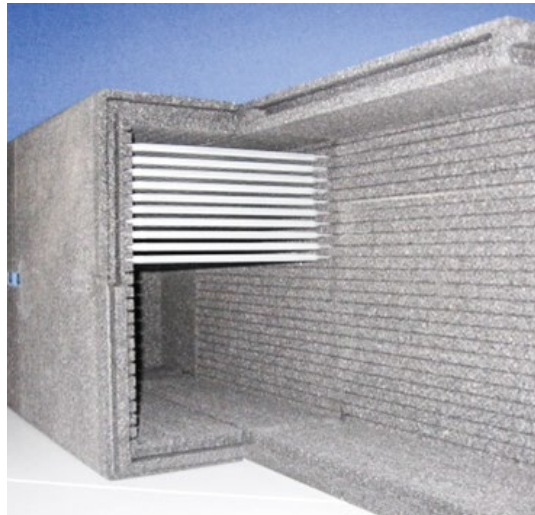


Abb. 2: PCM-Kompaktspeicher für Lüftungssysteme (© Rubitherm Technologies GmbH)

Fig. 2: Compact PCM storage for ventilation systems (© Rubitherm Technologies GmbH)



Abb. 3: Pilotanlage der Thermo Batterie – eines PCM-Speichers für Warmwasser – in der St. Franziskus-Schule in Halle (© H.M. Heizkörper GmbH & Co. KG)

Fig. 3: Pilot plant for the Thermo Battery – a PCM warm water storage – in the St. Franziskus school in Halle (© H.M. Heizkörper GmbH & Co. KG)

2.6 HOCHEFFIZIENTE SOLARENERGIENUTZUNG DURCH SCHALTBARE WÄRMEDÄMMUNG HIGHLY EFFICIENT USE OF SOLAR ENERGY WITH SWITCHABLE THERMAL INSULATION

Autor | Author

C. Römer, J. Wachtel

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 03ET1061A)

Herkömmliche Systeme zur thermischen Nutzung solarer Einstrahlung verwenden Flachkollektoren, um die Wärme mittels eines angeschlossenen hydraulischen Systems im Gebäude verfügbar zu machen. Der technische Aufwand für die Anlagenbereitstellung sowie der Fremdenenergiebedarf sind aus wirtschaftlicher Sicht in Relation zum Wärmegewinn dieser Systeme als hoch zu bewerten. Dementgegen stehen schaltbare Wärmedämmungen (SWD), die mit geringem Installationsaufwand in die Fassade integriert werden können. Solare Energieeinträge lassen sich hierbei mit hoher Effizienz passiv durch die Gebäudehülle in das Gebäude leiten. Im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung innovativer Materialien und Komponenten zur energetischen Optimierung von Feuchte-, Licht- und Wärmetechnik in Gebäuden (Enotec)“ wurden dazu zwei Lösungsansätze untersucht. Ein Ansatz arbeitet mit schaltbaren Vakuumisulationspaneelen, der andere mit Wärmerohren.

Ein Wandelement mit schaltbaren Vakuumisulationspaneelen wurde erfolgreich an einer Testfassade evaluiert (Abb. 1). Die SWD steht im thermischen Kontakt mit der äußeren Gebäudewand. Bei hinreichend starker Solarstrahlung kann durch den Schaltvorgang die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung um einen Faktor von über 40 gegenüber dem evakuierten Zustand erhöht [1] und dadurch ein nennenswerter Wärmeinput durch absorbierte Solarstrahlung ermöglicht werden. Das Schalten in den hochleitfähigen Zustand wird durch das Einstellen einer hochwärmeleitfähigen Wasserstoff-Atmosphäre im Paneel erreicht. Dabei wird durch ein elektrisches Heizsystem der Wasserstoff aus einem Gettermaterial ausgetrieben, das bei Raumtemperatur das Gas bindet und speichert. Die Heizleistung beträgt dabei ca. 5 W für ein Paneel der Fläche von einem Quadratmeter.

Beim zweiten Lösungsansatz wurde die Umsetzung einer ausschließlich passiven SWD auf Basis von Wärmerohren untersucht. Der prinzipielle Mechanismus der Wärmeübertragung basiert auf der Verdampfung und Kondensation einer Flüssigkeit (Arbeitsmedium) in einem geschlossenen System. Die effektive Wärmeleitfähigkeit von Wärmerohren kann die hohe Wärmeleitfähigkeit von Kupfer um weit über das 100-Fache übersteigen [2]. Durch die am Wandelement absorbierte solare Strahlung erwärmt sich das Arbeitsmedium in den Wärmerohren und verdampft. Der Dampf strömt zum Kondensationsbereich, wo die frei wer-



Abb. 1: Wandelement mit integriertem schaltbarem Vakuumisulationspaneel

Fig. 1: Wall element with integrated switchable vacuum insulation panel

Conventional systems for the thermal use of insolation use flat plate collectors to make heat available throughout buildings via a connected hydraulic system. Economically, the technical effort for installing the application and its additional energy demand are high in relation to their heat gain. Alternatively, switchable thermal insulations (SWD) can be integrated into facades at minimal installation effort. Solar energy input can thus be passively transported into the building through its hull at high efficiency. In the context of the joint project “Development of Innovative Materials and Components for Energy Optimisation of Moisture, Light and Heat Technology in Buildings (Enotec)” two different approaches were taken. One uses switchable vacuum insulation panels, the other heat pipes.

A wall element with switchable vacuum insulation panels has been successfully evaluated on a test facade (Fig. 1). The SWD is in thermal contact with the building’s outer wall. With sufficient solar radiation, the thermal conductivity of the thermal insulation can be increased to more than 40 times the value of its evacuated state [1] through switching. Thus, significant heat gain from absorbed insolation is made possible. Switching to the highly conductive state is achieved by creating a highly heat conductive hydro-

dende Wärme an den Innenraum abgegeben wird. Die Wärmerohre werden als Zweiphasen-Thermosiphons ausgelegt, bei welchen das Kondensat gravitativ zum Verdampfungsbereich transportiert wird (thermische Diode, Abb. 2). Es handelt sich dabei um einen Kreisprozess, der zu einer hocheffizienten Wärmeübertragung führt. Um das Wandelement schaltbar zu machen, wird eine Verschattung benötigt. Dadurch wird die solare Einstrahlung nicht absorbiert und der Kreisprozess innerhalb der Wärmerohre wird unterbrochen. Damit die Wärmerohre in diesem Zustand keine Wärmebrücken bilden, muss der adiabate Bereich einen möglichst hohen Wärmewiderstand darstellen.

gen atmosphere inside the panel. For this purpose, the hydrogen is driven out of a getter material, which binds and stores the gas at room temperature, using an electric heating system. The heating power amounts to about 5 W for a panel with a surface of one square metre.

For the second approach, the technology for a completely passive SWD based on heat pipes was examined. The fundamental mechanism of heat transfer is based on evaporation and condensation of a liquid (working fluid) in a closed system. The effective thermal conductivity of heat pipes can be more than 100 times higher than the already very high thermal conductivity of copper [2]. The insolation absorbed by the wall element heats the working fluid in the heat pipes and evaporates it. The vapour then flows to the condensation area, where the heat is released and transferred to the building interior. The heat pipes follow a two-phase thermosyphon design, in which gravitation transports the condensate to the evaporation region (thermal diode, Fig. 2). This cycle results in highly efficient heat transfer. Shading is required to make the wall element switchable. Thereby, the absorption of insolation is stopped and the cycle within the heat pipes interrupted. So the heat pipes do not build thermal bridges in this state the thermal resistance of the adiabatic section needs to be as high as possible.

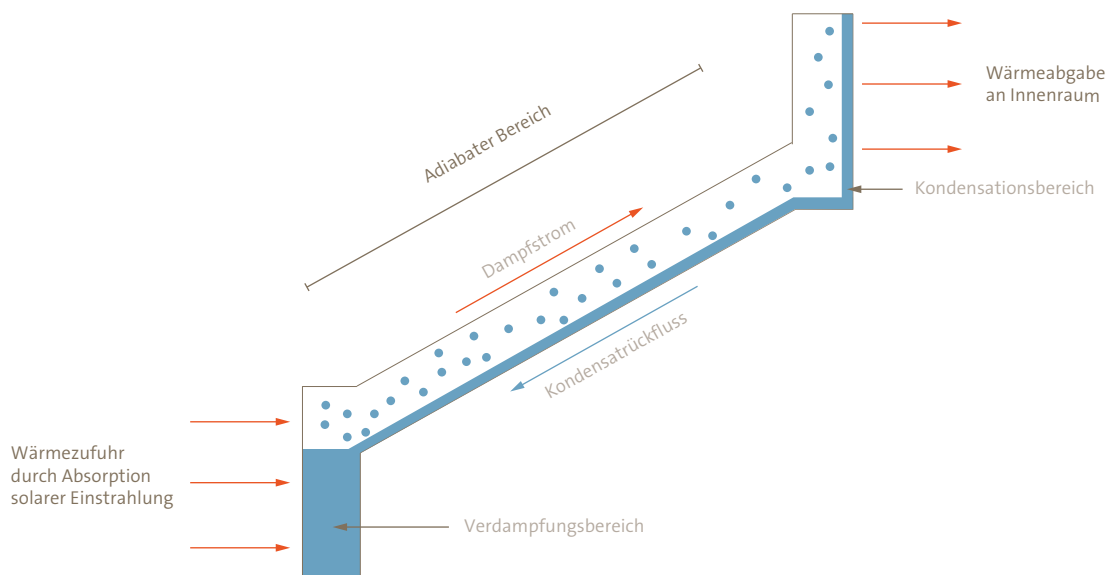
Literatur | References

[1] R. Horn, Entwicklung und Untersuchung einer schaltbaren Wärmedämmung zur Solarenergienutzung, Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2001, p. 3.

[2] D. Reay et al., Heat Pipes, 5. Auflage, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2006, p. 3, ISBN-10: 0-7506-6754-0.

Abb. 2: Funktionsweise eines Zweiphasen-Thermosiphons in einem Wandelement mit schaltbarer Wärmedämmung

Fig. 2: Functionality of a two-phase thermosyphon in a wall element with switchable thermal insulation



2.7

SCHWACH KONZENTRIERENDER CPC-PVT
HYBRID-SOLARKOLLEKTORLOW-CONCENTRATING CPC PVT HYBRID SOLAR
COLLECTOR

Autor | Author

M. Pröll

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Phys. Markus PröllProjektleiter,
Solarthermie und Geothermie
Project Manager,
Solar Thermal and Geothermal

Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage+49 89 329442-81
markus.proell@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 0325993A)

Ein photovoltaisch-thermischer Kollektor (PVT-Kollektor) oder Hybridkollektor ermöglicht die gleichzeitige Bereitstellung von Wärme und Elektrizität. Das Konzept entsteht aus der Motivation heraus, die flächenspezifische Gesamteffizienz solarer Nutzflächen zu maximieren. Die heute üblichen kristallinen Silizium-Solarmodule erreichen beispielsweise nur Wirkungsgrade bis etwa 20 %.

Um das Temperaturniveau der entstehenden Nutzwärme eines PVT-Kollektors zu erhöhen, wurden leicht konzentrierende CPC-Reflektoren eingesetzt (CPC: Compound Parabolic Concentrator), die die thermische Effizienz des Kollektors steigern. Diese projizieren sämtliche solare Einstrahlung innerhalb eines bestimmten Einfallswinkelbereichs $\pm \theta_A$ auf den PVT-Absorber, sodass der Kollektor nicht der Sonne nachgeführt werden muss (Abb. 1). Die durch die Strahlungskonzentration bedingte Reduktion der PVT-Absorberfläche ermöglicht, die Photovoltaik (PV)-Zellen vollflächig und direkt auf den thermischen Absorber zu laminieren. Dies garantiert eine optimale thermische Anbindung an das Wärmeträgermedium. Zudem können 50-65 % des benötigten PV-Materials eingespart werden.

Der CPC-PVT-Kollektor soll als Flachkollektor ausgeführt werden (Abb. 2). Durch die Bauart sowie die verbesserte thermische Effizienz gegenüber herkömmlichen PVT-Flachkollektoren können klassische Anwendungsgebiete der Solarthermie erschlossen werden und die spezifische Primärenergieeinsparung kann maximiert werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zuerst die Auswirkungen unterschiedlicher CPC-Reflektorgeometrien auf den Zellwirkungsgrad in einem separaten CPC-PVT-Versuchskollektor untersucht (Abb. 3) [1]. Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchungen wurde für den Bau des CPC-PVT-Prototypen eine 2,26-fache Strahlungskonzentration gewählt. Dies entspricht einem Akzeptanzwinkel von $\theta_A = 25^\circ$. Weiterhin konnte die Effizienzsteigerung der thermischen Zellanbindung in einem Laborversuch im Originalmaßstab nachgewiesen werden. Demnach erreicht der entwickelte PVT-Absorber eine Effizienzsteigerung von etwa 75 % [2].

Abb. 4 zeigt die thermische Effizienz bei offener Klemmspannung und die zugehörige elektrische Effizienz des CPC-PVT-Prototypen im Vergleich zu einem kommerziell erhältlichen PVT-Flachkollektor. Alle Messungen wurden am In-situ-Solarteststand am

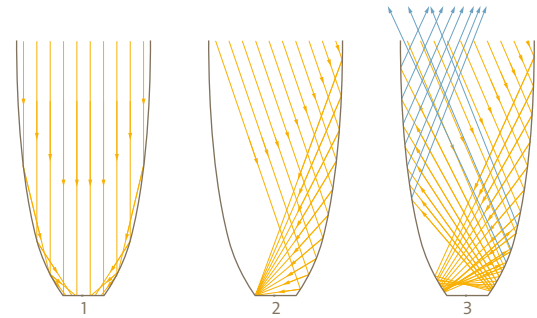


Abb. 1: Funktionsprinzip eines CPC-Reflektors. Solarstrahlung mit einem Einfallswinkel zwischen 0° (1) und θ_A (2) wird absorbiert. Strahlung aus einem Einfallswinkel größer θ_A (3) wird reflektiert
Fig. 1: Functional principle of a CPC reflector. Solar radiation with angle of incidence between 0° (1) and θ_A (2) is absorbed. Radiation at angles over θ_A (3) is reflected

A photovoltaic thermal collector (PVT collector) or hybrid collector aims for the co-generation of heat and electricity. Its purpose is to improve the overall efficiency of solar roofs. Current standard C-Si solar cells, for example, reach efficiencies of only about 20 %.

In order to raise the temperature level of the heat produced by a PVT collector, low concentrating CPC reflectors (CPC: Compound Parabolic Concentrator) were employed to increase the collector's thermal efficiency. These project all solar radiation from within an angular range of $\pm \theta_A$ onto the PVT absorber, eliminating the need to track the sun (Fig. 1). Due to this concentration of sunlight and the resulting reduction of PVT absorber surface area, the photovoltaic (PV) cells can be laminated directly onto the thermal absorber's entire surface, ensuring ideal thermal coupling between cell and heat carrying fluid. Moreover, these cells use 50-65 % less PV material.

The CPC PVT collector is supposed to be constructed in a flat plate design (Fig. 2). This design and the improved thermal efficiency compared to conventional PVT flat plate collectors allow for use in typical solar thermal applications and, at the same time, maximisation of savings in primary energy in relation to surface.

During the project, the effects of varying CPC reflector geometries on PV cell efficiency were examined using a separate CPC PVT experimental collector (Fig. 3) [1]. As a result, the final prototype was built with a solar concentration of 2.26, corresponding to an acceptance angle of $\theta_A = 25^\circ$. Furthermore, the increase in efficiency due to improved thermal coupling was verified in a full-scale lab experiment, according to which the PVT ab-



Abb. 2: CPC-PVT-Prototyp auf dem Solarteststand des ZAE Bayern
 Fig. 2: CPC PVT prototype on ZAE Bayern's solar test stand

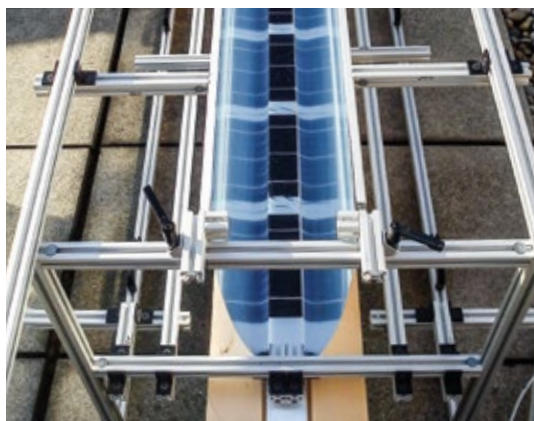


Abb. 3: CPC-PVT-Versuchskollektor
 Fig. 3: CPC PVT experimental collector

Literatur | References

- [1] M. Pröll et al., Schwach konzentrierender CPC PVT Flachkollektor – Projektergebnisse, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06.-08.05.2015.
- [2] H. Karrer et al., Thermische Anbindung von PV Zellen in einem CPC PVT Kollektor, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06.-08.05.2015.
- [3] Solimpeks Solar GmbH www.solimpeks.de/produkte/hybridkollektoren/pvtpowertherm.html

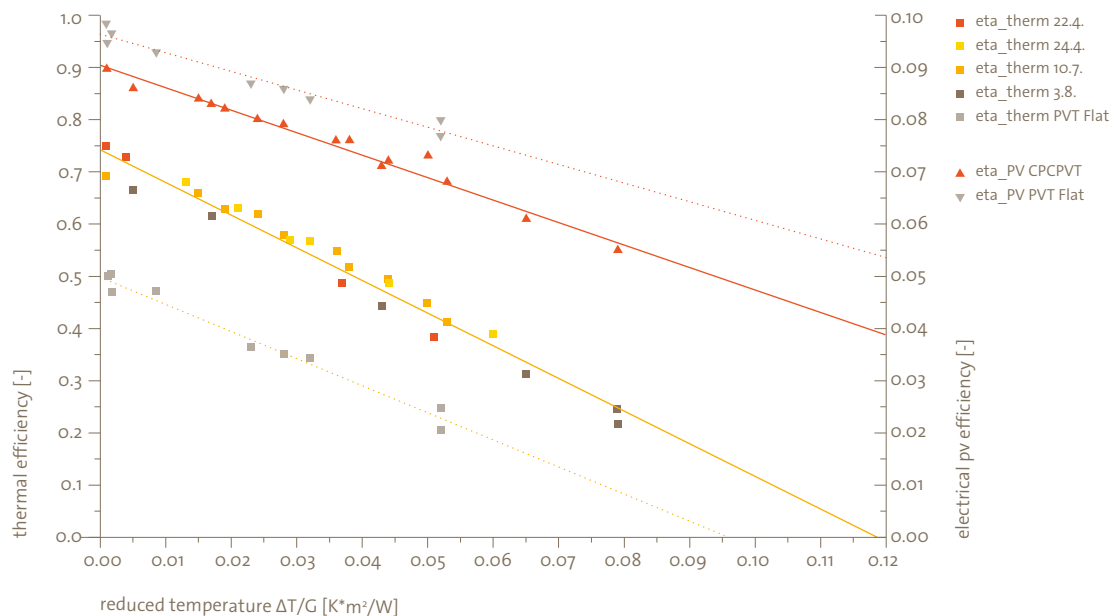
Standort Garching durchgeführt. Infolge der sehr guten thermischen Anbindung der PV-Zellen sowie der Strahlungskonzentration konnte vor allem für hohe Anwendungstemperaturen eine deutliche Steigerung der thermischen Effizienz festgestellt werden.

sorber built reached an increase in efficiency of about 75 % [2].

Abb. 4: Gemessene thermische und elektrische Effizienz des CPC-PVT-Prototypen sowie eines kommerziellen PVT-Flachkollektors (aus [3]), jeweils mit Ausgleichsgerade

Fig. 4: Thermal and electrical efficiency of the CPC PVT prototype and a commercial PVT model (from [3]), both with best-fit lines

Fig. 4 shows the thermal efficiency at open circuit voltage as well as the related electrical efficiency of the CPC PVT prototype, both compared to a commercially available PVT flat plate collector. All measurements were conducted at the in-situ solar test stand at location Garching. Due to the PV cells' highly efficient thermal coupling and the concentration of solar radiation thermal efficiency was significantly improved, especially for high-temperature applications.



2.8 IN-SITU-VERMESSUNG VON PV-ANLAGEN MIT BILDGEBENDEN VERFAHREN IN-SITU INSPECTION OF PV PLANTS USING IMAGING METHODS

Autor | Author

C. Buerhop-Lutz

Ansprechpartner | Contact

Dr. Claudia Buerhop-Lutz

Projektleiterin,
PV-Systeme
Project Manager,
PV Systems

Bereich | Division

Erneuerbare Energien
Renewable Energies

+49 9131 9398-177
claudia.buerhop-lutz@
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 16KN040125)

Kooperationspartner | Partners

EMPURON AG
IRCAM GmbH
Medea AV Multimedia und
Software GmbH
Pixelflieger.de UG
Technische Hochschule
Nürnberg Georg Simon Ohm

Die Überprüfung installierter Photovoltaik(PV)-Anlagen hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Im Fokus der Untersuchung stehen die technische Sicherheit, die ordnungsgemäße Funktion sowie der wirtschaftliche Ertrag. Da unterschiedliche Ursachen die Leistungsfähigkeit von PV-Modulen beeinträchtigen können, ist es von großem Interesse, bei der Wartung und Instandhaltung die Mängel und Schäden an installierten PV-Modulen zu finden sowie diese zu bewerten.

Bildgebende Verfahren, wie beispielsweise die Infrarot(IR)-Thermografie, die am ZAE Bayern zur In-situ-Inspektion von PV-Anlagen entwickelt und optimiert werden, sind zum Auffinden von Fehlern prädestiniert, da elektrisch wirksame Fehlstellen direkt anhand der Temperaturverteilung erkennbar sind. In Verbindung mit Fluggeräten ist das Verfahren leicht automatisierbar und PV-Anlagen können effizient bei realen Bedingungen ohne Betriebsunterbrechung überprüft werden [1]. Bisher werden IR-Aufnahmen meist qualitativ ausgewertet und zum Visualisieren von Fehlstellen genutzt.

Das Ziel aktueller Untersuchungen ist die quantifizierte Auswertung von IR-Aufnahmen in Hinblick auf Aussagen zur Leistung der abgebildeten PV-Module. Dafür wurde am Standort Erlangen ein Teststand aufgebaut, mit dem das Verhalten mehrerer PV-Module unter realen Betriebsbedingungen untersucht wer-

The inspection of installed photovoltaic (PV) plants has gained in importance over the last years. The investigation focuses on technical security, correct functionality, and economic return. Since various defects can impair the installed modules' performance, it is of crucial interest to detect and evaluate such defects and damages during maintenance.

Imaging techniques, such as infrared (IR) thermography, as developed and optimised for in-situ inspection of PV plants at ZAE Bayern, are predestined for the detection of defects since electrically effective damages are easily recognisable through variations in temperature distribution. Using unmanned aerial vehicles, the method can easily be automated and PV plants can be checked efficiently under realistic conditions during operation [1]. Up to now, IR images have most commonly been evaluated qualitatively and then employed to visualise defects.

Current investigations aim at a quantified evaluation of IR images with regard to electrical output. Therefore, a test facility for simultaneously studying the behaviour of several PV modules under realistic operating conditions was set up at our division in Erlangen. The measurement unit simultaneously and continually records temporally highly resolved IR images, weather data, and the corresponding electrical data of the individual modules. Power output and temperature distribution can be recorded simulta-

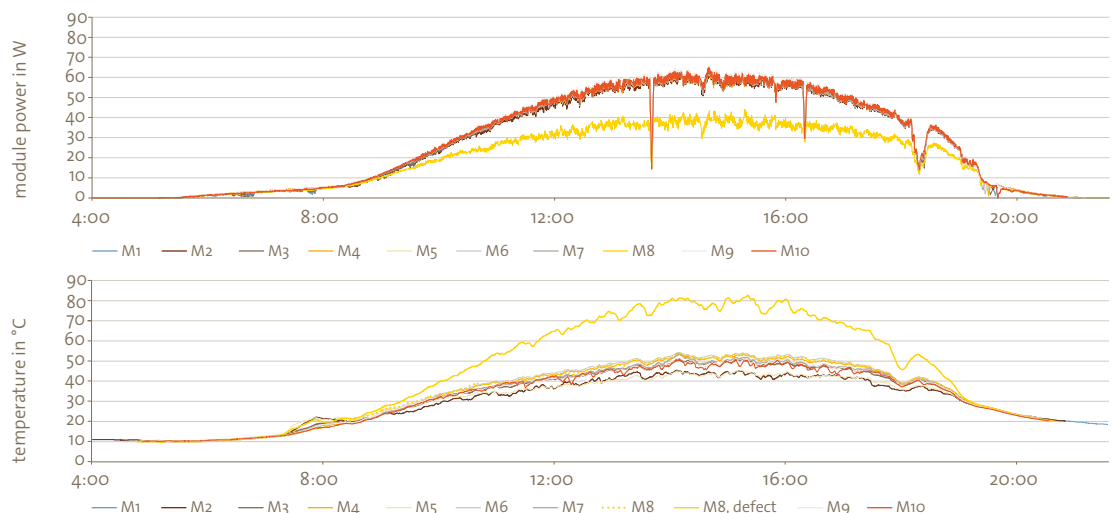


Abb. 1: Darstellung der gemessenen Leistungen und Temperaturen von zehn serienschalteten Modulen (M1-M10) inklusive eines fehlerhaften Moduls (M8) im Tagesverlauf

Fig. 1: Measured output powers and temperatures of 10 modules (M1-M10) connected in series including one defective module (M8) over one day

den kann. Dabei speichert eine speziell entwickelte Messeinheit zeitgleich und kontinuierlich Wetterdaten, zeitlich hochaufgelöste IR-Aufnahmen sowie elektrische Daten der einzelnen Module. Leistung und Temperaturverteilung von Modulstrings bis zu einer Stringlänge von $n = 20$ Modulen können synchron erfasst und ausgewertet werden. Abb. 1 stellt die gemessenen Leistungen sowie Temperaturen von zehn serienverschalteten Modulen inklusive eines fehlerhaften Moduls im Tagesverlauf dar. Deutlich zu erkennen ist, dass das fehlerhafte Modul (M8) eine geringere Leistung erzeugt sowie eine höhere Temperatur aufweist. Sowohl die relative Leistung als auch die Temperaturdifferenz zwischen Fehler- und Referenzstelle variieren abhängig von den sich ändernden Umgebungsbedingungen im Tagesverlauf. Abb. 2 zeigt die dazugehörige IR-Aufnahme.

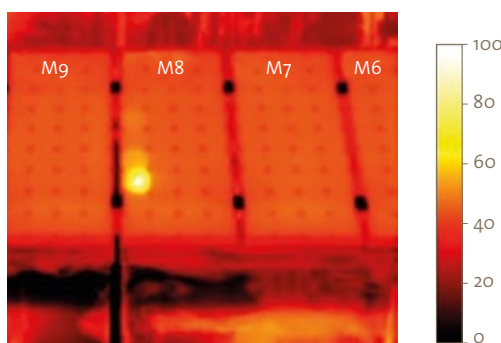


Abb. 2: IR-Aufnahme mehrerer serienverschalteter Module (M6-M9) des Teststandes am ZAE Bayern inklusive eines fehlerhaften Moduls (M8)

Fig. 2: IR image of several modules connected in series (M6-M9) including one defective module (M8) at the testing facility of ZAE Bayern

Für die quantifizierte Auswertung ist die Kenntnis der Ausprägung verschiedener Fehler auf die Leistung von PV-Modulen und die Temperaturverteilung bzw. die entsprechende IR-Aufnahme von Bedeutung [2]. Einfluss nehmen u. a. Meteorologie, Messbedingungen sowie Modul- und Anlagencharakteristika. So zeigt sich z. B., dass mit wachsender Stringlänge die Fehlstellentemperatur steigt, während die Modulleistung abnimmt [3-4]. Dieses Verhalten wird durch Simulationen mit LTspice bestätigt. Simulationen sowie Experimente zur Stringleistung zeigen, dass die reale Stringleistung aufgrund der Verschiebung des Arbeitspunktes niedriger ist als die aus den Einzelleistungen berechnete Stringleistung. Beispielsweise ergibt sich für die Minderleistung eines Strings von 20 Modulen mit einem fehlerhaften Modul, das unter Standardbedingungen (STC) nur noch 50 % seiner ursprünglichen STC-Leistung zeigt, ein Wert von ca. 2,5 % für die Berechnung mit Modularbeitspunkten und ca. 3,9 % unter Berücksichtigung eines optimierten Stringarbeitspunktes. Derartige Leistungsminderungen sind mit einem konventionellen Stringmonitoring nur schwer messbar, sodass für die zuverlässige Detektion solcher Module die IR-Thermografie eine geeignete Methode ist.

neously and evaluated for string lengths of up to $n = 20$ modules. Fig. 1 depicts the measured daytime performance and temperature of ten serially connected modules including one defective module. Clearly, the defective module (M8) has a lower output while running at higher temperature. The relative output as well as the temperature difference between the defective and reference modules vary with ambient conditions changing continually over the day. Fig. 2 shows the corresponding IR image.

For quantified evaluation, knowledge of the specific effects of different defects on module performance and temperature distribution as well as on the respective IR image is of importance [2]. Influencing factors are e. g. meteorology, measurement conditions, as well as module and plant specifications. For example, with increasing string length the defective module's temperature increases while its power output decreases [3-4]. Simulations using LTspice have confirmed this. Other simulations and experiments, however, reveal that the string's actual output is smaller than the sum of the individual cells' outputs because of the shifted working point. For example, the output reduction for a string of 20 modules, including one module running at 50 % of its potential under standard test conditions (STC), ranges around 2.5 % when calculated employing module working points, and around 3.9 % when using an optimised string working point. Such output reductions can hardly be measured via conventional string monitoring, so IR thermography is a suitable tool for their reliable detection.

Literatur | References

- [1] C. Buerhop-Lutz, Inspecting PV-Plants Using Aerial, Drone-Mounted Infrared Thermography System, 3rd Southern African Solar Energy Conference (SASEC), Kruger National Park, South Africa, 11.-13.05.2015.
- [2] Cl. Buerhop et al., Solar Energy Materials and Solar Cells, 107 (2012) 154-164.
- [3] C. Buerhop-Lutz, Comparison of IR-Images and Module Performance under Standard and Field Conditions, 29th European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Amsterdam, The Netherlands, 22.-26.09.2014.
- [4] C. Buerhop-Lutz, Defect Analysis of Installed PV-Modules – IR-Thermography and In-String Power Measurement, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Hamburg, Germany, 14.-18.09.2015.

2.9 ROLLE-ZU-ROLLE-HERSTELLUNG HOCHEFFIZIENTER UND GROSSFLÄCHIGER SOLARMODULE ROLL-TO-ROLL MANUFACTURING OF HIGHLY EFFICIENT LARGE AREA SOLAR MODULES

Autor | Author

H.-J. Egelhaaf, M. Voigt

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)
Industrieprojekt

Kooperationspartner | Partners

Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg
BELECTRIC OPV GmbH
BGT Bischoff Glastechnik AG
Durst Phototechnik Digital
Technology GmbH
ECKART GmbH
Energie Campus Nürnberg
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Karlsruher Institut für
Technologie (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
Industrie und Forschung

Druck- bzw. Beschichtungs-Prozesse im Rolle-zu-Rolle(R2R)-Verfahren sind aufgrund der geringen Investitionskosten die Methoden der Wahl für die Herstellung kostengünstiger Solarmodule.

Die Effizienzen gedruckter Solarzellen konnten in den vergangenen Jahren wesentlich gesteigert werden. Im Falle der organischen Photovoltaik (OPV) wurden Wirkungsgrade von mehr als 11 %, bei Perowskit-Solarzellen von über 20 % erreicht. Diese Rekordwerte wurden jedoch ausschließlich mit kleinflächigen ($\leq 1 \text{ cm}^2$) Solarzellen auf Glassubstraten erzielt. Diese werden außerdem mit kostspieligen Techniken hergestellt, die sich nicht zur Massenproduktion eignen. Großflächige, mit R2R-Verfahren hergestellte Solarmodule zeigen deutlich geringere Effizienzen. Verluste von insgesamt ca. 50 % treten vor allem beim Übergang von kleinen zu großen Flächen, von Glas- zu Plastiksubstraten sowie bei der Verschaltung der einzelnen Zellen zu Modulen auf.

Die Minimierung dieser Verluste und die Realisierung großflächiger hocheffizienter Solarmodule standen im Fokus der Forschung in der „Solarfabrik der Zukunft“. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden insbesondere numerische Simulationen durchgeführt, mit denen optische sowie elektrische Verluste identifiziert werden konnten.

Optische Verluste wurden zum einen dadurch verringert, dass das üblicherweise für die transparente Elektrode verwendete Indium-Zinn-Oxid (ITO) durch das Sandwich ITO/Metall/ITO ersetzt wurde, das bei gleicher Leitfähigkeit eine höhere Transparenz auf-

Roll-to-roll (R2R) methods for printing or coating are the methods of choice for producing inexpensive solar modules due to their low investment cost.

The efficiency of printed solar cells has been significantly increased over the last few years. Organic photovoltaics (OPV) have surpassed 11 % of efficiency, perovskite based modules exceed 20 %. These record figures, nevertheless, have been achieved solely for small area ($\leq 1 \text{ cm}^2$), glass-based cells. These are manufactured using expensive techniques unsuitable for large-scale production. Large area R2R modules are significantly less efficient. Losses of up to 50 % occur, mainly when switching from small to large areas, from glass to plastic substrates, and upon interconnecting the individual cells to form a module.

Minimising these losses and realising large-scale, highly efficient solar modules was the main goal of “Solar Factory of the Future”. It was mainly pursued through the execution of numerical simulations aiming to identify optical and electrical losses.

On the one hand, optical losses were decreased by replacing the usual transparent indium tin oxide (ITO) electrode with an ITO/metal/ITO sandwich construction which, at the same conductivity, has higher transparency. On the other hand, the thicknesses of the solar cells' individual layers were optimised, applying the simulation data, in such a way that losses caused by interference could be avoided for the most part.

To minimise electrical losses, the monolithic interconnection of the individual cells to one module was optimised using numerical simulations. Especially the

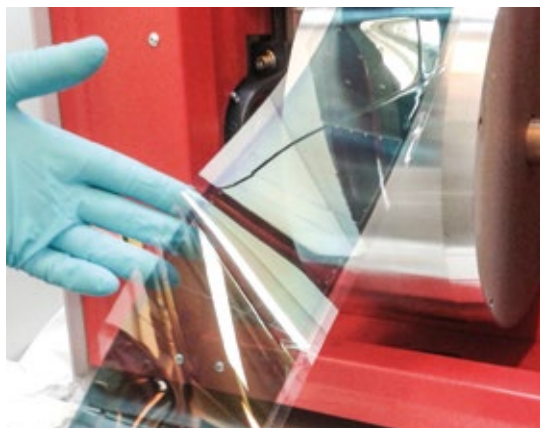


Abb. 1: Plastiksubstrat mit Aktivschicht, Beschichtung mit Schlitzdüsendruck (Slot-die)

Fig. 1: Slot-die coated plastic film of the photoactive layer

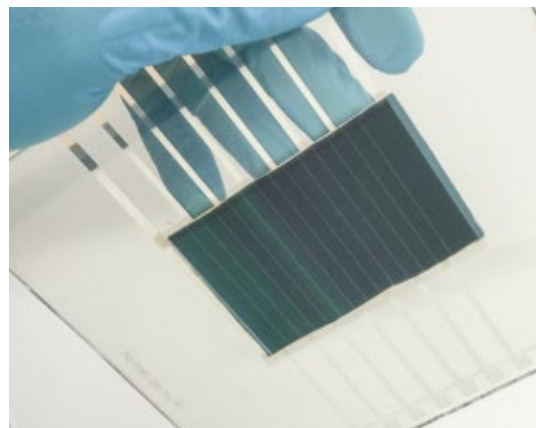


Abb. 2: Glasmodul mit einer aktiven Fläche von 35 cm²

Fig. 2: Glass module with an active area of 35 cm²

weist. Zum anderen wurden die Dicken der einzelnen aktiven Schichten der Solarzellen anhand der Simulationen so optimiert, dass durch Interferenzeffekte verursachte Absorptionsverluste weitgehend vermieden wurden.

Um elektrische Verluste zu minimieren, wurde die monolithische Verschaltung der einzelnen Solarzellen zu einem Modul mithilfe numerischer Simulationen optimiert. Vor allem durch die Verkleinerung der Flächen der Verschaltungszonen, die nicht zum Photostrom beitragen, konnten die elektrischen Verluste reduziert werden.

Nach Festlegung des Moduldesigns wurden die Module durch eine Kombination aus vollflächiger Beschichtung der Substrate und anschließender Laserstrukturierung hergestellt. Dazu wurden ausschließlich R2R-kompatible Methoden eingesetzt. Die Beschichtung mit den aktiven Materialien erfolgte mithilfe des leicht auf Industriemaßstab aufzukalierenden Schlitzgusses (Abb. 1). Die Strukturierung der zuvor aufgetragenen Schichten mittels Femtosekunden-Laser ermöglichte die platzsparende serielle Verschaltung der Zellen zum Modul. Auf diese Weise konnte die Breite der Verschaltungszonen von mehr als 1 mm auf unter 0,1 mm gesenkt werden. Der geometrische Füllfaktor (GFF), der das Verhältnis der photoaktiven Nutzfläche zur gesamten Beschichtungsfläche angibt, konnte so von ca. 80 % auf 98,5 % gesteigert werden, den höchsten bislang berichteten Wert.

Durch gezielte Verringerung der optischen und elektrischen Verluste, durch Steigerung des GFF sowie durch defektfreie Auftragung der einzelnen Schichten und ihre sorgfältige Trocknung konnten großflächige (35-210 cm²) Solarmodule mit Wirkungsgraden von bis zu 5,3 % auf Glas (Abb. 2) und von 4,2 % auf flexiblen Substraten (Abb. 3) hergestellt werden. Dieser Wert entspricht ca. 90 % der Effizienz kleinflächiger, auf Basis desselben aktiven Polymers hergestellter Referenzzellen. Er ist der höchste, der je für großflächige mit R2R-Verfahren gefertigte OPV-Module erreicht wurde.

Diese Ergebnisse ebnen den Weg für eine R2R-Produktion großflächiger organischer und hybrider Solarmodule ohne signifikante Wirkungsgradverluste gegenüber den Rekord-Zellen aus dem Labor. Die daraus resultierende Erhöhung der Wirkungsgrade industriell gefertigter Module auf über 5 % erleichtert ihren Einstieg in den Zielmarkt der bauwerkintegrierten Photovoltaik erheblich.



Abb. 3: Plastikmodul mit einer aktiven Fläche von 35 cm²
Fig. 3: Plastic module with an active area of 35 cm²

reduction of the “dead” area used up by the interconnects, which does not contribute to the photocurrent, helped reducing electrical losses.

After determining the design, the modules were manufactured combining full-area coating of the substrates followed by laser structuring. Only R2R-compatible methods were used. Application of the active material was performed using the slot-die method (Fig. 1), which can easily be upscaled to industrial proportions. Structuring of the applied layers via femtosecond-laser allowed for a space-saving serial interconnection of the individual cells to a module. This way, the width of the “dead” area was reduced from over 1 mm to under 0.1 mm. The geometrical fill factor (GFF), describing the ratio between the usable photoactive area and the module’s full surface area, was increased from about 80 % to about 98.5 % which, at this time, is the highest value ever reported.

By targeted reduction of optical and electrical losses, enhancement of the GFF, as well as defect-free application of the individual layers and careful drying, large area (35-210 cm²) solar modules reaching efficiencies of up to 5.3 % on glass (Fig. 2) and up to 4.2 % on flexible substrates (Fig. 3) were manufactured. This figure corresponds to about 90 % of the efficiency of small-scale reference cells based on the same photo-active material and is the highest ever reached for large-scale R2R manufactured OPV modules.

This outcome paves the way for R2R production of large-scale organic and hybrid solar modules without significant loss of efficiency compared to the most efficient cells available. The resulting increase of efficiency in industrially produced modules to over 5 % will significantly facilitate their entry into the market of building-integrated photovoltaics.

2.10

UNTERSUCHUNG VON ELEKTRONISCHEN DEFECTEN IN NEUARTIGEN PEROWSKIT-SOLARZELLEN

IDENTIFICATION OF ELECTRONIC DEFECTS IN NOVEL PEROVSKITE SOLAR CELLS

Autor | Author

A. Baumann

Ansprechpartner | Contact

Dr. Andreas Baumann

Stellv. Gruppenleiter,
Organische PV und Elektronik
Deputy Head of Group,
Organic PV and Electronics

Bereich | Division

Energieeffizienz
Energy Efficiency

+49 931 70564-342
andreas.baumann@
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Bildung
und Forschung (FKZ 035F0514B)

Kooperationspartner | Partners

Julius-Maximilians-Universität
Würzburg
Technische Universität Chemnitz
Universidad de Valencia,
Instituto de Ciencia Molecular
(Dr. H. J. Bolink)

Die in den letzten Jahren enorm aufstrebende Photovoltaik(PV)-Technologie der Perowskit-Solarzellen auf Basis von metallorganischen Halogenidverbindungen sorgt für großes Interesse in der PV-Forschung. Mit Umwandlungsgraden von bereits über 20 % und vergleichsweise kostengünstigen großflächigen Produktionsmöglichkeiten, wie etwa dem Rolle-zu-Rolle-Verfahren, gehört die Technologie zu den vielversprechendsten der 3. PV-Generation. Da die Technologie noch sehr jung ist, sind bei Weitem noch nicht alle Details erforscht und die Funktionsweise der Solarzellen ist noch nicht ausreichend verstanden, sodass noch ein bedeutendes Optimierungspotenzial vorhanden ist. Erste Industrieunternehmen prüfen derzeit diese Technologie auf ihre Marktfähigkeit und einige haben bereits mit der Markteinführung begonnen.

Die Kristallinität der Perowskit-Schicht hat einen großen Einfluss auf die Funktionsweise der Solarzelle. Abb. 1 zeigt Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von Perowskit-Halbleiterschichten, die mittels der Interdiffusions-Methode aus Lösung hergestellt wurden [1]. Gut zu erkennen sind dabei die unterschiedlich großen Kristallite, deren Größe von der jeweiligen Herstellungsmethode abhängt. Abb. 2 zeigt millimetergroße Kristalle aus Methylammoniumbleibromid ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$) [2]. Die Ausbildung kristalliner Domänen und die damit verbundenen Korngrenzen können die Extraktion von Ladungsträgern auf deren Weg zu den äußeren Kontakten entscheidend beeinflussen. Sogenannte tiefe Störstellen in der Bandlücke des Perowskit-Halbleitermaterials können dabei freie Ladungsträger einfangen, die dann mit anderen freien Ladungsträgern unter Abgabe von Wärme nicht-strahlend rekombinieren. Dieser Verlust von Ladungs-

Within the last years a tremendous increase of interest in the novel photovoltaic (PV) technology of organometal halide perovskite solar cells arose in the field of photovoltaic research. With power conversion efficiency values of already over 20 % and at the same time the ability for low cost manufacturing methods like roll-to-roll process, the technology belongs to one of the most promising PV systems in the class of third generation PV. As the technology is still immature lots of details of the working principle of the solar cells are not yet well understood and need to be studied for further improvement. Some companies are, however, already testing the technology for its commercial viability and even started introducing it to the market.

The crystallinity of the photoactive perovskite layer has a strong impact on the performance of the solar cell. In Fig. 1 scanning electron microscopy images are shown for perovskite layers, which were manufactured from a solution using the interdiffusion method [1]. It is clearly visible that depending on the approach very different crystallites with different domain sizes are manufactured. Fig. 2 shows millimetre-sized perovskite crystals based on methylammonium lead bromide ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$) [2]. The formation of crystalline domains and the related grain boundaries can have an impact on the extraction of photogenerated charge carriers towards the outer electrodes. Thereby, deep states within the band gap of the perovskite semiconductor can trap charge carriers which then eventually recombine non-radiatively with free mobile charge carriers. This loss of charge carriers will have a bad impact on the performance of the solar cell resulting in decreased power conversion efficiency.

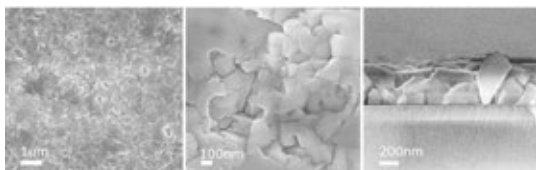


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von einer Perowskit-Schicht, hergestellt mittels der Interdiffusions-Methode: sequenzielles Aufbringen von PbI_2 und $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ und anschließendes Ausheizen (aus [1])

Fig. 1: SEM image of perovskite layer formed by the method of interdiffusion: sequential spin-coating of PbI_2 and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ with additional post heat treatment (from [1])

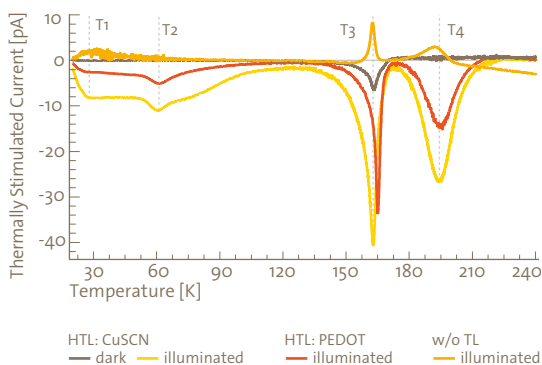


Abb. 2: Millimetergroße Kristalle aus $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ (aus [2])

Fig. 2: Millimetre-sized crystals of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ (from [2])

Abb. 3: TSC-Spektren an Perowskit-Solarzellen mit unterschiedlichem Solarzellen-Aufbau. Es konnten vier unterschiedliche Defektzustände (T1-T4) experimentell bestimmt werden. In positiver Stromrichtung dargestellt ist das Spektrum einer Probe mit Perowskit-Schicht ohne zusätzliche organische Extraktionsschichten zur eindeutigen Zuordnung von Defektzuständen im Perowskit-Halbleitermaterial (aus [3])

Fig. 3: TSC spectra of perovskite solar cells with different layer structure. Four different defect levels could be detected (T1-T4) experimentally. In positive current direction the TSC measurement of a perovskite solar cell without additional organic transport layers is shown to clearly identify the defect states in the perovskite semiconductor (from [3])



trägern wirkt sich negativ auf die Funktionsweise der Solarzelle aus und führt somit zu einem geringeren Wirkungsgrad.

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Energieforschung der Universität Würzburg wurden Perowskit-Solarzellen, die aus Lösung hergestellt wurden, hinsichtlich ihrer elektronischen Defekte mittels der experimentellen Messmethode der thermisch stimulierten Ströme (TSC) untersucht [3]. TSC ermöglicht durch eine äußerst sensitive Detektion des Stromes während eines kontrollierten Aufheizvorganges die Identifizierung von elektronischen Defekten. Durch thermische Anregung werden Ladungsträger aus den Defekten befreit und tragen so zu einem Stromfluss bei. Abb. 3 zeigt TSC-Spektren an Proben mit unterschiedlichen Perowskit-Schichten mit zusätzlichen organischen Extraktionsschichten und ohne solche. Aus den Messungen wurden neben flachen Störstellen (T1, T2 bei niedrigen Temperaturen) auch tiefe Störstellen (T3, T4 bei hohen Temperaturen) detektiert. Für den TSC-Peak bei T4 konnte eine Aktivierungsenergie von etwa 500 meV abgeschätzt werden. Durch grundlegende Untersuchungen der Perowskit-Solarzellen, etwa mittels TSC, lassen sich wichtige Erkenntnisse gewinnen, die für eine Optimierung der PV-Technologie von großer Bedeutung sind. Im Rahmen des Projekts „Potential der Perowskit-Photovoltaik: Untersuchung relevanter physikalischer Parameter und Materialeigenschaften sowie effizienzlimitierender Faktoren in Hybrid-Perowskit-Solarzellen (HYPER)“ wird das ZAE zusammen mit den Projektpartnern an den grundlegenden Fragestellungen zu der Funktionsweise von Perowskit-Solarzellen sowie deren Limitierung forschen, um so gezielt Optimierungsvorschläge weitergeben zu können.

In collaboration with the chair of energy research at the University of Würzburg, electronic defect states in perovskite solar cells made from solution were investigated using the experimental technique of thermally stimulated current (TSC) [3]. Using TSC it is possible to detect a current flow while heating up the sample by a constant heat ramp which can be correlated to electronic defects in the semiconductor. Charge carriers being trapped in those defect states will be released by thermal activation and will contribute to a current flow. In Fig. 3 TSC spectra of different perovskite solar cells with and without organic transport layers are shown. Beside shallow trap states (T1, T2 at low temperatures) also some deep trap states (T3, T4 at high temperatures) could be detected in the samples. From the TSC peak at T4 an activation energy of around 500 meV could be estimated.

By doing fundamental research on perovskite solar cells like using the experimental methods like TSC it is possible to gain important insights into the working principles which is essential for further developments in this field of PV technology. Within the project “Potential of Perovskite Photovoltaic: Investigation of Physically Relevant Parameters and Material Properties as well as Efficiency Limiting Factors in Hybrid Perovskite Solar Cells (HYPER)” ZAE together with project partners will investigate fundamental aspects on the working principles as well as on the limitations of perovskite solar cells in order to contribute to the development of the perovskite PV technology.

Literatur | References

- [1] P. Rieder, Reproducible Fabrication and Characterization of Hybrid Organic Inorganic Solar Cells in Planar-Type Configuration, Masterarbeit, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2015.
- [2] M. Armer, Herstellung und Charakterisierung von metallorganischen Perowskit-Einkristallen, Bachelorarbeit, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2015.
- [3] A. Baumann et al., Journal of Physical Chemical Letters, 6 (2015) 2350-2354.

2.11 OPTIMIERUNG BILDGEBENDER MESSVERFAHREN ZUR CHARAKTERISIERUNG VON SOLARZELLEN OPTIMISATION OF IMAGING METHODS FOR CHARACTERISATION OF SOLAR CELLS

Autor | Author

A. Vetter

Ansprechpartner | Contact

Dr. Andreas Vetter

Gruppenleiter,
Bildgebende Verfahren und
Thermosensorik
Head of Group,
Imaging and Thermosensorics

Bereich | Division

Erneuerbare Energien
Renewable Energies

+49 9131 9398-176
andreas.vetter@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 0325724C)

Die Produktion von Photovoltaik(PV)-Modulen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und die Erzeugung von Solarstrom hat eine zentrale Bedeutung am Energiemix in Deutschland, mittlerweile aber auch in anderen Ländern, erhalten. Es ist zu erwarten, dass sich der Anteil von Solarstrom auch zukünftig erhöhen wird. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist jedoch die Qualität und Verlässlichkeit der PV-Module. In der Produktion, beim Transport oder während des Einsatzes im Feld können Defekte auftreten, die die Effizienz der Stromgewinnung vermindern oder die Lebensdauer der PV-Module beeinträchtigen. Die meisten dieser Defekte können mit bildgebenden Messverfahren effizient lokalisiert werden [1-2]. Bei der Entwicklung von bildgebenden Messverfahren, wie z. B. der Infrarot(IR)-Thermografie sowie der Lumineszenzmessstechnik, hat das ZAE Bayern eine langjährige Erfahrung. Ein Forschungsschwerpunkt ist hierbei die Entwicklung bildgebender Messmethoden zur Inline-Qualitätskontrolle von PV-Modulen, unter anderem von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Modulen (CIGS-Modulen) [3].

Am ZAE wurde unter anderem ein Verfahren entwickelt, bei dem künstlich Defekte in Dünnschicht-Solarzellen eingebracht werden, die als Kalibrationsdefekte dienen. Dadurch kann die Messgenauigkeit der bildgebenden IR-Thermografie bestimmt und anschließend verbessert werden. Die zielgenaue Einbringung der Defekte in die Proben erfolgte mit einem speziellen Laser (Abb. 1). Die Messungen an einer statistisch relevanten Anzahl von Proben ergaben eine sehr hohe Genauigkeit der bildgebenden IR-Thermografie [4]. Mit diesem Verfahren kann insbesondere auf Leistungsverluste von Solarzellen durch „shunts“ (lokal auftretende elektrische Defekte) geschlossen werden.

Ein weiteres Verfahren hat eine verbesserte lokal aufgelöste Halbleitercharakterisierung der Solarzellen zum Ziel. Dazu wird an spektral aufgelöster, bildgebender Lumineszenzmessstechnik unter Ausnutzung optischer Filter vor dem Kameradetektor geforscht. Beispielsweise kann so der Einfluss lokaler Stromdichten optimiert und besser auf die lokalen Halbleitereigenschaften geschlossen werden. Abb. 2 (links) zeigt eine Standardmessung ohne Filtertechnik eines Testmoduls, in der deutlich eine inhomogene Verteilung der Stromdichten (orange Pfeile) zu sehen ist. Das gleiche Testmodul, aufgenommen mit Filtertechnik,

The production numbers of photovoltaic (PV) modules have constantly increased over the last years, while solar energy has become a crucial part of the German, as well as other countries', energy mix. Further increase of its relevance is to be expected. An essential prerequisite for this development, however, is high quality and reliability of the used PV-modules. During production, transport, and in the field defects can decrease the modules' efficiency and lifespan. Most such defects can be localised efficiently through imaging methods [1-2]. ZAE Bayern has long-time experience with the development of said methods, such as infrared (IR) thermography and luminescence imaging. One focus, herein, is the development of imaging methods for inline quality control of PV modules, e. g. copper indium gallium diselenide modules (CIGS modules) [3].

ZAE has developed, among others, a process in which artificial defects are introduced into thin film solar cells for calibration purposes. With their help the accuracy of IR-thermography methods can be evaluated and, consequently, improved. A laser was used for exact positioning of these defects (Fig. 1). Measurement of a statistically relevant number of samples proved IR thermography to be highly accurate [4]. The method is suited especially well for the detection of performance loss through "shunts" (local electrical defects) in solar cells.

A different process aims at the optimisation of the local characterisation of semiconductor material in solar cells. Therefore, research is conducted on spectrally resolved luminescence imaging using optical filters in front of the camera detector. Thus, the impact of local current density can be optimised while local semiconductor properties can be estimated more precisely. Fig. 2 (left) shows the outcome of a standard solar cell measurement without a filter, clearly exhibiting inhomogeneous distribution of current densities (orange arrows). A measurement of the same module with a filter is shown in Fig. 2 (right). It exhibits an inhomogeneity of material (black arrows) which could lead to performance loss. Future research at ZAE Bayern will focus, among others, on the combination of IR and spectral luminescence imaging for optimised characterisation of solar cells.

ist in Abb. 2 (rechts) dargestellt. Darin ist eine Materialinhomogenität (schwarze Pfeile) zu erkennen, die tendenziell zu Leistungsverlusten führt. Die weitere Forschungstätigkeit am ZAE Bayern wird unter anderem eine Kombination von IR-Messungen und spektralen Lumineszenzmessungen zur optimierten Charakterisierung von Solarzellen umfassen.

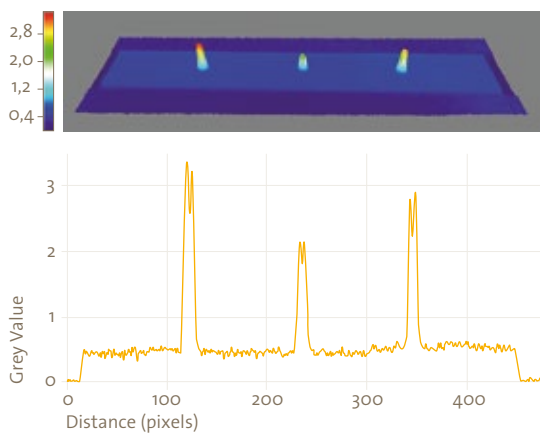


Abb. 1: Drei Laser-induzierte Defekte in CIGS-Kleinzellen, detektiert mit IR-Thermografie (oben: 3D Plot; unten: Linienscan durch die Defekte)
Fig. 1: Three laser induced defects on single CIGS cells localised via IR thermography (top: 3D-plot; bottom: line scan)

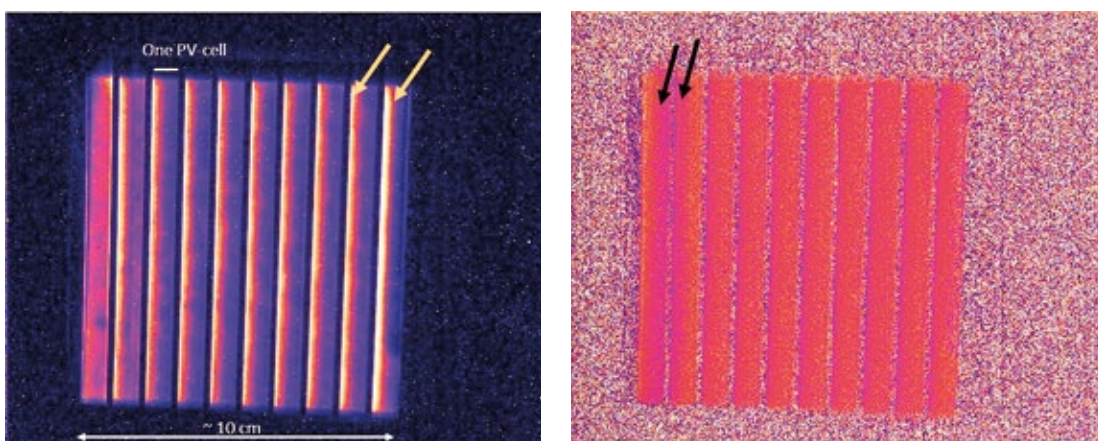


Abb. 2: Lumineszenz-Aufnahmen eines organischen PV-Testmoduls, 10 Zellen in Serie (links: ohne Filtertechnik; rechts: mit Filtertechnik)
Fig. 2: Luminescence images of OPV test module, 10 cells in series (left: image without filter; right: image with filter)

Literatur | References

- [1] O. Breitenstein, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 107 (2012) 381-389.
- [2] S. Johnston et al., *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 28 (2010) 665-670.
- [3] A. Vetter et al., *Energy Science & Engineering*, 1 (2013) 12-17.
- [4] A. Vetter et al., *Assessing the Accuracy of Imaging Techniques for Defect Characterization on Thin Film Solar Cells*, 42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, USA, 14.-19.06.2015.

2.12

SMART GRID SOLAR: AKQUISE, ÜBERTRAGUNG
UND AUSWERTUNG VON MESSDATENSMART GRID SOLAR: ACQUISITION, TRANSMIS-
SION, AND EVALUATION OF MEASURED DATA

Autor | Author

A. Schmutzer

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
Europäischer Fonds für regionale
Entwicklung (EFRE)
(FKZ VIII/4-3665a/43/8)

Kooperationspartner | Partners

Areva GmbH
Bayernwerk AG
Fraunhofer-Institut für
Integrierte Schaltungen IIS
Fraunhofer-Institut für
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie IISB
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
GILDEMEISTER energy solutions
HEW Hof Energie+Wasser GmbH
Hochschule Hof
IBC Solar AG
Rauschert GmbH
Rehau Energy Solutions GmbH
SMA Solar Technology AG
Stadt Arzberg
Stadt Hof
WAGO Kontakttechnik GmbH &
Co. KG

Um die fluktuierende Energieproduktion in Verteilnetzen stärker nutzen zu können, werden sogenannte Smart-Grid-Komponenten eingeführt. Speicher sind eine Schlüsseltechnologie, mit der Energieproduktion und -verbrauch ins Gleichgewicht gebracht werden können. Zudem helfen sie, Netzkapazitäten in Regionen mit schwacher Infrastruktur zu schonen. Abb. 2 zeigt die installierten Kapazitäten von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie in den unterschiedlichen Netzebenen des deutschen Stromnetzes. Mit 61 GWp (70 %) ist bereits ein Großteil der erneuerbaren Erzeugung im Verteilnetz installiert und damit in hohem Maße dezentral, während die Stromnetze ursprünglich für große zentrale Erzeuger und verteilte Verbraucher ausgelegt wurden. Bezogen auf die Photovoltaik ist der Anteil der im Verteilnetz installierten Kapazitäten mit 93 % und damit der Grad der Dezentralisierung noch höher. Letztlich sind 61 % dieser Kapazitäten im Niederspannungsnetz und aufgrund ihres Flächenbedarfs vor allem in ländlichen Gebieten installiert. Dies ist ein weiterer Widerspruch zur ursprünglichen, weniger belastbaren Netzauslegung dieser Regionen, die verglichen mit städtischen Gebieten einen geringeren Stromverbrauch aufweisen.

Im Gegensatz zu anderen Komponenten im Stromnetz, bei denen sich die Zuverlässigkeit und Profitabilität primär aus der richtigen Dimensionierung sowie Positionierung ergeben, ist bei der Bewertung von Speichersystemen die Steuerungsstrategie von elementarer Bedeutung. Potenzielle Ziele einer Steuerungsstrategie im Kontext von weniger stark ausgebauten Niederspannungsnetzen sind Spannungshaltung, Blindleistungsbereitstellung, Reaktion auf Marktsignale, Spitzenkapung (kurzfristig) sowie Verbesserung von Autarkie/Eigenverbrauch (langfristig). Um diese Strategien testen zu können, wurden verschiedene Speichersysteme im Speichertestzentrum (Abb. 1) und in Haushalten in Arzberg sowie ein Quartierspeicher am Ende einer

To improve the utilisation rate of fluctuating energy production, so-called smart grid components are introduced. Storage systems are a key technology for establishing equilibrium between the production and consumption of energy. Also, they help relieving the grids of high loads in regions with a poor infrastructure. Fig. 2 illustrates the installed capacities of sources for renewable energies in the different layers of the German electricity grid. At 61 GWp (70 %), the biggest part of renewably produced energy is already a part of the distribution grid and, therefore, highly decentralised. Unfortunately, these decentralised sources are counteracting the original design of the grid which favours large, centralised producers and dispersed consumers. Regarding photovoltaics, the share of capacities installed in the grid is, at 93 %, even higher and therefore even more decentralised. Furthermore, 61 % of these capacities are installed in the low-voltage grid and, due to higher availability of suitable space, in rural areas. This, again, counteracts the grid's original design with less elaborated infrastructure in these regions which, in comparison to urban areas, show a lower load concentration.

In contrast to other grid components, where feasibility and profitability are a result of proper dimensioning and positioning, the operation strategy is the most important aspect in the evaluation of storage systems. Potential aims of such a strategy in little elaborated low voltage grids are voltage regulation, reactive power management, reaction to market signals, peak-shaving (short-term), and enhancement of self-sufficiency/self-consumption (long-term). In order to test these strategies, different storage systems were implemented at our testing centre (Fig. 1) and in households in Arzberg, and a community energy storage was installed at the end of a low voltage line in Epplas. These components allow the testing of a number of different scenarios. For example, an electrolyser in Arzberg is run at a constant power level while a redox-flow storage

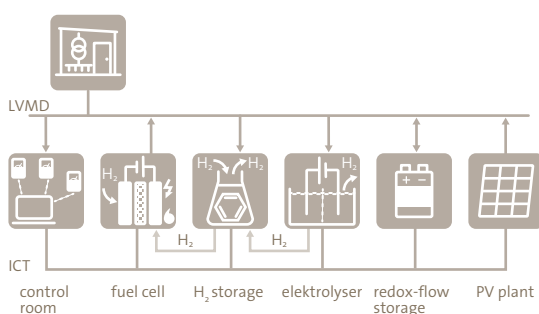
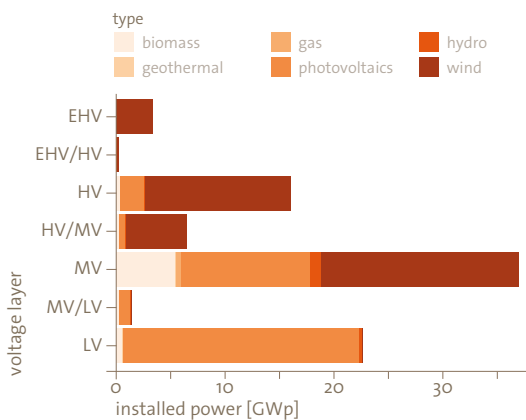


Abb. 1: Elektrisches und kommunikationstechnisches Schema des Speichertestzentrums in Arzberg: LVMD = Low Voltage Main Distribution (Niederspannungsverteiler), ICT = Information and Communication Technology (Informations- und Kommunikationstechnologie)

Fig. 1: Electrical and communication scheme of the test-storage-centre in Arzberg: LVMD = Low Voltage Main Distribution, ICT = Information and Communication Technology



Niederspannungsleitung in Epplas installiert. Unter Verwendung dieser Komponenten kann eine Vielzahl unterschiedlicher Testszenarien untersucht werden. So wird etwa in einem der Testszenarien ein in Arzberg installierter Elektrolyseur mit konstanter Leistung betrieben, während der am gleichen Standort installierte Redox-Flow-Speicher kurzfristige Leistungsänderungen kompensiert.

Die Integration von Standardkomponenten in einen generischen Ansatz zur Auswertung von Speicherstrategien birgt einige Herausforderungen, wie z. B. die Implementierung von vielen unterschiedlichen Protokollen sowie einer zentralen Steuerung. Letztere ist nicht als Standardkomponente erhältlich und wurde auf Basis des Modbus-Protokolls und von Komponenten der WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG für die Kommunikation und Pufferung implementiert. Die Daten werden in eine zentrale Datenbank übertragen und über eine serverbasierte RStudio-Umgebung ausgewertet. Die Auswertungsplattform integriert zudem Werkzeuge, mit denen eine Auswertung weiterer Speicherstrategien möglich ist [1]. Dabei werden z. B. die simulierte Teilnahme eines Batteriespeichersystems am deutschen Primärregelmarkt, eine Schätzung des Zustands des Niederspannungsnetzes, mathematische Modelle zur optimalen Steuerung von Speichern mit a-priori gegebenen Residuallasten sowie zweistufige Optimierungsmodelle (Übertragungsnetzbetreiber und Haushalte) genutzt, um alternative Marktdesigns auf Basis der gewonnenen Messdaten zu bewerten. Die realisierten Werkzeuge werden kontinuierlich verbessert und zur Auswertung zukünftiger Speicher- und Erzeugungsstrategien miteinander verknüpft (Abb. 3).

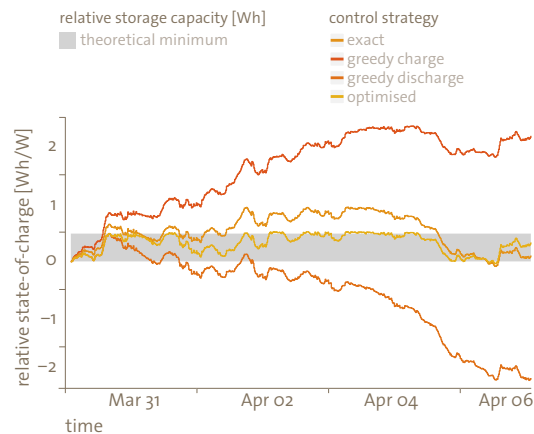


Abb. 2: Arten von Erzeugern erneuerbarer Energie, die in den unterschiedlichen Ebenen des deutschen Stromnetzes installiert sind: EHV = Extra High Voltage (Höchstspannung), HV = High Voltage (Hochspannung), MV = Medium Voltage (Mittelspannung), LV = Low Voltage (Niederspannung) (aus [2])

Fig. 2: Types of renewables installed in the different layers of the German electrical grid: EHV = Extra High Voltage, HV = High Voltage, MV = Medium Voltage, LV = Low Voltage (from [2])

Abb. 3: Speichernutzung bei Primärleistungsbereitstellung mit verschiedenen Bereitstellungsstrategien

Fig. 3: Storage usage for primary operating reserve with different control strategies

system at the same location compensates for short-term power fluctuations.

The integration of standard components into a generic approach for the evaluation of storage strategies brings several challenges, such as the implementation of a number of different protocols or centralised control. The latter is not available as a standard component and was therefore implemented using the Modbus protocol and communication and buffering components by WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG. The data is transmitted to a central database and evaluated in a server based RStudio environment. The evaluation platform also integrates tools for further evaluation of storage strategies [1]. It uses, for example, the simulation of the participation of a battery storage in the German primary frequency response market, an estimation of the low voltage grid's state, mathematical models for optimised storage control strategies with given residual-loads, as well as two-stage optimisation models (grid operator and households) to evaluate alternative market designs based on the data gained. These tools are continually improved and interlinked for better evaluation of future storage and generation strategies (Fig. 3).

Literatur | References

[1] A. Schmutzer et al., Integrated Approach for Smart Grid Data Acquisition, Transmission and Evaluation, Proceedings of 5th Solar Integration Workshop, Brüssel, Belgium, 19.-20.10.2015.

[2] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V., EnergyMap.info
www.energymap.info

2.13 PLATTENWÄRMEÜBERTRAGER IN KOMPAKTEN ABSORPTIONSKÄLTEANLAGEN PLATE HEAT EXCHANGERS IN COMPACT ABSORPTION CHILLERS

Autor | Author

S. Natzer

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Natzer
Projektleiter,
Wärmetransformation
Project Manager,
Heat Conversion

Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage

+49 89 329442-32
stefan.natzer@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 0327875 A&B)

Kooperationspartner | Partners

TTZ – Thermotechnik Zeesen
GmbH & Co. KG

Der Einsatz von Absorptionskälteanlagen ermöglicht gegenüber der Verwendung konventioneller Kompressionskälteanlagen eine signifikante Reduktion des Primärenergieaufwandes bei der Bereitstellung von Klimakälte [1]. Die Verfügbarkeit effizienter Wärmeübertrager trägt entscheidend dazu bei, diese energiesparende Technik kostengünstig und zugleich zuverlässig verfügbar zu machen.

Wird die für Wärmeübertrager mit Leistungen über 100 kW gängige Rohrbündel-Bauform auf Leistungen kleiner 10 kW übertragen, dominieren die Fixkosten den Gesamtaufwand [2]. Daher wurden Plattenapparate als alternatives Konzept im Rahmen des Projekts „Absorptionskältemaschine auf Basis kompakter Plattenapparate“ untersucht. Diese lassen sich in Serienfertigung mit vergleichsweise geringen Kosten herstellen, und ihre Leistung kann relativ einfach skaliert werden. Zudem ermöglicht diese Technik, eine große Wärmeübertragerfläche in einem kleinen Umfassungsvolumen zu verbauen.

Verfahrenstechnisch sind für die Verwendung von Plattenapparaten als Hauptkomponenten von Absorptionskälteanlagen vorab mehrere Fragestellungen zu klären. So findet im Absorptionsprozess neben dem einfachen Wärmeübergang auch ein mehrfacher Stoffübergang statt. Deshalb können die Plattenapparate nicht in herkömmlicher Form gestaltet werden. Vielmehr müssen sie wechselweise seitlich offen sein (auf der Prozessseite), um den Stoffübergang in die jeweils andere Komponente des Sorptionskreislaufs zu ermöglichen (Abb. 1). Außerdem wirft dieser Umstand die Frage nach der prozessseitigen Medienverteilung von Lösungs- und Kältemittel auf die Wärmeübertragerfläche auf und stellt diverse herstellungstechnische Herausforderungen [3].

Ziele des Projekts waren die Entwicklung von Wärmeübertragerstrukturen für Absorptionskälteanlagen kleiner Leistung in Anlehnung an die Bauform von Plattenwärmeübertragern sowie die Entwicklung der Produktionstechnik für die Wärmeübertrager. Es wurde eine Plattenwärmeübertragergeometrie entwickelt und als Plattenapparat gefertigt, die ohne zusätzliche Verteileinrichtung für die Aufbringung der Sorptionslösung auf den Fallfilmwärmeübertrager auskommt (Abb. 2). Flüssigkeitsverteilung und Benetzung der Wärmeübertragerfläche konnten bei gleichzeitiger Unterbindung des Austritts von Sorptionslösung aus dem Plattenapparat und Minimierung

The use of absorption cooling machines in space cooling allows a significant reduction of primary energy consumption compared to conventional compression chillers [1]. The availability of efficient heat exchangers is crucial for making this energy saving technology affordable while readily available.

Application of the tube bundle concept, commonly used in heat exchangers with a capacity over 100 kW, to units with a capacity below 10 kW causes fixed cost to become the dominant cost factor [2]. During the project “Absorption Chiller Based on Small Plate Heat Exchangers”, plate heat exchangers were therefore considered as a possible alternative. They allow large-scale production at reasonable cost and can easily be adjusted in size. Also, they allow for a large heat exchanger surface to be built into a small enclosure.

Several procedural problems need to be solved beforehand, in order to use plate heat exchangers as the main components of absorption chillers. For example, the absorption process includes, besides a single heat-transfer, multiple mass transfers. Therefore, the plate heat exchangers cannot be of conventional design. Rather, they need to have alternately open and closed ends (on the process side) in order to allow for mass transfer to the other component of the sorption cycle (Fig. 1). Furthermore, this factor forces to consider how to distribute solvent and refrigerant evenly on the heat exchanger’s surface and raises several challenges on the manufacturing side [3].

The goal of the project was to develop heat exchanging structures for absorption chillers of small capacity, inspired by the design of regular sized plate heat exchangers, as well as the development of means for manufacturing these heat exchangers. A geometrical design for plate heat exchangers, which works without an additional unit for applying the sorption solution to the falling film heat exchanger (Fig. 2), was developed and incorporated into a plate heat exchanger unit. Distribution of the solution and coverage of the plate heat exchanger’s surface were optimised, discharge of sorption solution from the heat exchanger was contained, loss of steam pressure was minimised. The absorption chiller in use was run incorporating the newly developed plate heat exchanger (Fig. 3). Additionally, methods of operation for future units were optimised.

Therefore, the use of plate heat exchangers in small capacity units, besides reducing the space require-

der Druckverluste in der Dampfströmung optimiert werden. Die aufgebaute Absorptionskälteanlage wurde mit dem neu entwickelten Plattenapparat betrieben (Abb. 3). Dabei konnte auch die Betriebsweise für zukünftige Anlagen optimiert werden.

Durch die Verwendung von Plattenapparaten in Anlagen kleiner Leistung konnte somit neben der Verringerung des Bauvolumens ein großes Potenzial zur Senkung der Baukosten eröffnet werden. Dies kann dieser umweltfreundlichen und ressourcenschonenden Technik auch im kleinen Leistungsbereich zum Durchbruch verhelfen. Die sich im Laufe des Projekts zunehmend abzeichnende Marktnachfrage nach Wärmepumpen im entsprechenden Leistungsbereich kann ein über die kältetechnische Anwendung hinausreichendes Einsatzfeld für diese Technologie eröffnen.

ment, showed great potential for lowering manufacturing cost. This could facilitate the commercial breakthrough of this eco-friendly and resource-saving technology in small scale applications. The rising market demand for heat pumps in the according capacity range, which became apparent over the course of the project, could open up an additional field of application, besides refrigeration, for this technology.

Literatur | References

[1] F. Ziegler et al., Heat Recovery Systems & CHP, 13 (1993) 147-159.

[2] E. Estiot et al., Heat Exchanger Development for Compact Water/LiBr Sorption Systems, International Sorption Heat Pump Conference, Denver, CO, USA, 22.-24.06.2005.

[3] S. Natzer, Absorptionskältemaschine auf Basis kompakter Plattenapparate: Forschungsbericht – Abschlussbericht, Förderzeitraum 01.04.2010 – 30.06.2014 (inkl. Verlängerung), TIB Hannover, 2015.

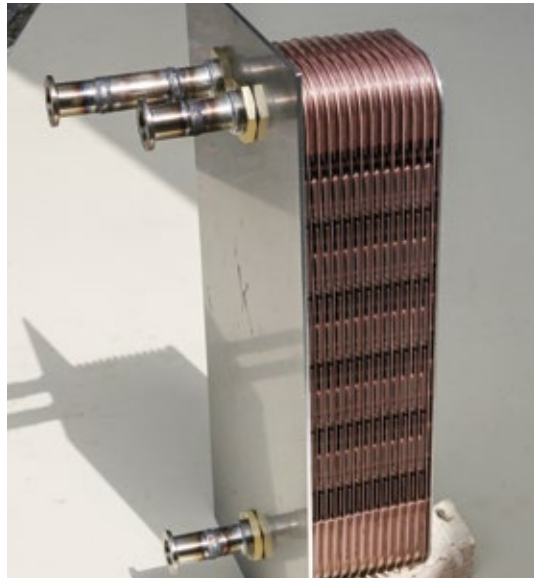


Abb. 2: Funktionsmuster des Plattenapparats

Fig. 2: Evaluation model of the plate heat exchanger

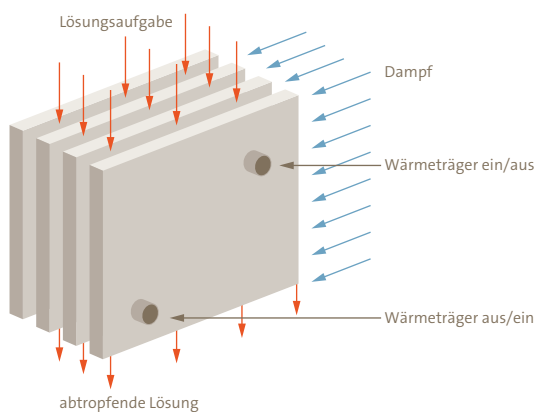


Abb. 1: Funktionsprinzip eines angepassten Plattenwärmeübertragers für den Einsatz als Absorberwärmeübertrager

Fig. 1: Functional principle of a plate heat exchanger adapted for application as an absorber heat exchanger

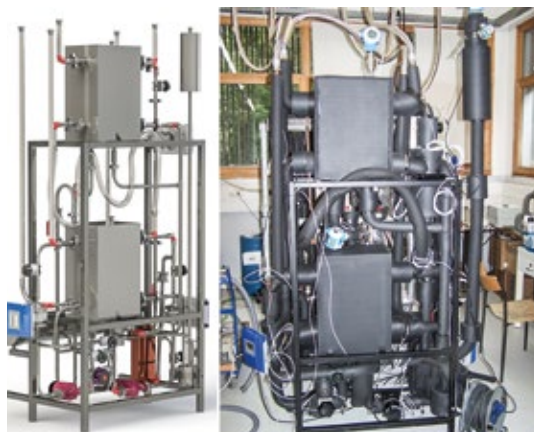


Abb. 3: Versuchskälteanlage als Konstruktionszeichnung und in der Praxis

Fig. 3: Testing facility as construction drawing and implemented

2.14

MOBILE SORPTIONSSPEICHER ZUR NUTZUNG
INDUSTRIELLER ABWÄRMEMOBILE SORPTION STORAGEES FOR INDUSTRIAL
WASTE HEAT

Autor | Author

E. Lävemann

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Ing. Eberhard LävemannStellv. Bereichsleiter,
Thermische Energiespeicher
Deputy Head of Division,
Thermal Energy Storage

Bereich | Division

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

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
(FKZ 0327383B)

Kooperationspartner | Partners

HOFFMEIER INDUSTRIEANLA-
GEN GmbH + Co. KG
MHB Hamm Betriebsführungs-
gesellschaft mbH
Jäckering Mühlen- und Nahrmit-
telwerke GmbH

Abwärme aus Industrieprozessen wird oft bei hohen Temperaturen und mit großen Leistungen an die Umgebung abgegeben, da sie am Standort nicht zeitgleich genutzt werden kann. Mobile Sorptionspeicher sind eine Option, diese thermische Energie nutzbar zu machen. Das ZAE Bayern hat dazu mit seinen Partnern von 2009 bis 2014 ein Forschungsvorhaben durchgeführt [1]. Ein wesentliches Ziel war die Errichtung, der Betrieb sowie die Bewertung einer Demonstrationsanlage.

Für die Demonstrationsanlage fertigte die HOFFMEIER INDUSTRIEANLAGEN GmbH + Co. KG nach den Vorgaben des ZAE eine Lade- und eine Entladestation sowie zwei mobile Speicher (Abb. 1). Jeder Speicher ist ein wärmegeprägter zylindrischer Stahlbehälter mit einer Länge von 7,5 m (ohne Anbauten) und einem Durchmesser von 2,5 m, in dem 14000 kg Zeolith (Köstrolith 13X) als Festbettschüttung so untergebracht wurden, dass sie mit bis zu 12000 m³/h Luft durchströmt werden können. Die Speicher werden auf einem Sattelaufleger transportiert.

An der Ladestation der Müllverbrennungsanlage Hamm wird der Zeolith mit heißer Luft bei einer Temperatur von 135 °C getrocknet. Der geladene Speicher wird dann zur ca. 8 km entfernten Entladestation der

Many industrial processes release waste heat at high temperature and energy levels to their surroundings due to lacking means of direct reuse. Mobile sorption storages can be utilised to harvest this energy. From 2009 to 2014, ZAE Bayern and its partners conducted a research project on said process [1]. One major goal was to build, operate and evaluate a demonstration plant.

For the plant, HOFFMEIER INDUSTRIEANLAGEN GmbH + Co. KG built one charging station, one discharging station, and two mobile sorption storages following specifications given by ZAE Bayern (Fig. 1). Each storage consists of a cylindrical steel container with a length of 7.5 m and a diameter of 2.5 m containing 14000 kg of zeolite (Köstrolith 13X) arranged in a fixed bed and designed for 12000 m³/h of air flow. The storages are hauled on a semitrailer.

The charging station at the waste incineration plant in Hamm dries the zeolite using air at a temperature of 135 °C. The charged storage is then transported to the discharging station, located at Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke GmbH, about 8 km away, and swapped with a discharged storage. At the discharging station, humid waste air (temperature ca. 60 °C, dew point ca. 40 °C) from a drying process is blown into the storage. The zeolite absorbs water vapour from it. The



Abb. 1: Mobiler Speicher an der Entladestation (© MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft mbH)

Fig. 1: Mobile sorption storage docking to the discharging station (© MHB Hamm Betriebsführungsgesellschaft mbH)

Firma Jäckering Mühlen- und Nahrungsmittelwerke GmbH gefahren und gegen einen entladenen Speicher ausgetauscht. Dort wird feuchte Abluft (Temperatur ca. 60 °C, Taupunkt ca. 40 °C) aus einem Trocknungsprozess in den Speicher geblasen. Der Wasserdampf aus der Luft wird dort adsorbiert. Die frei werdende Adsorptionswärme heizt die Luft auf ca. 160 °C auf. Sie wird dem Trocknungsprozess wieder zugeführt, um Gas einzusparen.

Lade- und Entladestation arbeiten automatisiert und es werden alle wesentlichen Betriebsdaten aufgezeichnet und überwacht. Nach der Inbetriebnahme- und Testphase lief die Anlage zwischen November 2013 und September 2014 im Regelbetrieb zunächst mit einem Container, ab Mai 2014 mit zwei Containern im Wechsel.

Die in den Speichern während des Lade- und Entladezyklus umgesetzten Leistungen zeigen charakteristische Verläufe, die von den Betriebsbedingungen sowie den Eigenschaften des Speichermaterials abhängen. Die maximalen Leistungen können daher erheblich über den mittleren Leistungen liegen. Die über alle Zyklen und Speicher gemittelte Ladeleistung beträgt 220 kW, die maximalen Ladeleistungen liegen bei ca. 500 kW. Die über alle Zyklen und Speicher gemittelte Entladeleistung beträgt 155 kW, die maximalen Entladeleistungen liegen bei ca. 300 kW. Der thermische Gesamtwirkungsgrad, das ist der Heizwert der erzielten Gaseinsparung bezogen auf die beim Laden zugeführte Wärme, beträgt im Mittel 78 %.

Die vom Speicher an den Prozessluftstrom gelieferte sensible Wärme beträgt pro Transport im Mittel 2400 kWh. Die für Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit relevante mittlere Gaseinsparung, die durch Prozesswärmerückgewinnung erzielt werden kann, liegt bei 3700 kWh pro Transport, entsprechend einer Einsparung an CO₂-Emissionen von ca. 600 kg.

Für die Wärmegestehungskosten der Demonstrationsanlage und ihren Betrieb ergab sich in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 ein Wert von 154 €/MWh. Aus den Erfahrungen mit der Demonstrationsanlage lassen sich weitere Optimierungsmaßnahmen ableiten, die die Wärmegestehungskosten auf ca. 73 €/MWh senken können. Die Verteilung der Kosten ist in Abb. 2 dargestellt. Kann die Ladewärme als Abwärme kostenlos bezogen werden, sinken die Kosten auf ca. 67 €/MWh. Auch dieser Wert liegt noch deutlich über den aktuellen Preisen für fossile Energieträger.

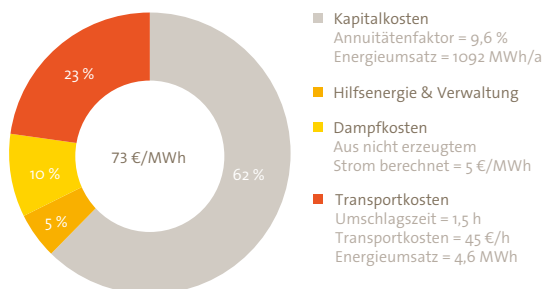


Abb. 2: Wärmegestehungskosten für eine optimierte Anlage gleichen Typs wie die Demonstrationsanlage

Fig. 2: Heat generation cost for an optimised plant of the same type as the demonstration plant

adsorption heat released in the process heats the air to ca. 160 °C. It is then fed back into the drying process to reduce gas consumption.

Both the charging and discharging station work automatically while all relevant operational data is recorded and monitored. After a phase of commissioning and testing, the plant ran in regular operation from November 2013 to September 2014, starting out with one storage and switching to two storage operation in May 2014.

The storages' thermal power output graphs exhibit characteristic courses, depending on their operating conditions and the properties of the storage material used. Therefore, the maximum power output can significantly exceed the mean output. The averaged power input of all charging cycles and storages is 220 kW, the maximum power input is ca. 500 kW. The averaged power output of all cycles and storages is 155 kW, the maximum is ca. 300 kW. The average overall thermal efficiency, i. e. the ratio between the heat value of the saved gas and the heat supplied at the charging station, is 78 %.

The averaged sensible heat supplied to the process air flow is 2400 kWh per cycle. The economically relevant amount of gas saved through heat recovery adds up to 3700 kWh per cycle, corresponding to a reduction of CO₂ emissions of ca. 600 kg.

Following the VDI 2067 guideline, heat generation cost for the demonstration plant operation was 154 €/MWh. The experience gained in operating the demonstration plant allows for further optimisation, reducing the cost to ca. 73 €/MWh. Fig. 2 illustrates the cost distribution. If the heat employed comes free of charge, as waste heat, generation cost falls to ca. 67 €/MWh, a value still significantly higher than current fossil fuel prices.

Literatur | References

- [1] E. Lävemann et al., Mobile Sorptionsspeicher zur industriellen Abwärmenutzung Grundlagen und Demonstrationsanlage : MobS II, Schlussbericht, BMWi FKZ 0327383B&C, TIB Hannover, 2015.

2.15

INFRAROT-OPTISCHE CHARAKTERISIERUNG VON GASEN UNTER EXTREMEN BEDINGUNGEN

INFRARED-OPTICAL CHARACTERISATION OF GASES UNDER EXTREME CONDITIONS

Autor | Author

J. Manara, M. Arduini

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

Europäische Union
(FKZ 314061)

Kooperationspartner | Partners

insgesamt 15 Partner aus
Industrie und Forschung

Die Kenntnis der infrarot-optischen Eigenschaften von Gasen ist für zahlreiche Anwendungen von Bedeutung. Bereits unter Normalbedingungen wird ein signifikanter Teil der Wärme- bzw. Infrarotstrahlung durch die in der Atmosphäre enthaltenen Gase absorbiert. Dies wirkt sich u. a. beim Treibhauseffekt aus und muss beispielsweise bei der geologischen Fernerkundung beachtet werden. In Hochtemperaturanwendungen ist der Effekt deutlich stärker ausgeprägt, da Absorption und Emission infrarot-aktiver Gase, wie z. B. Wasserdampf oder Kohlendioxid, bei hohen Temperaturen und/oder Drücken erheblich zunehmen.

Bei stationären Gasturbinen, die zur Stromerzeugung eingesetzt werden, spielt die berührungslose Temperaturmessung in der Gasturbine während des Betriebs eine wesentliche Rolle bei der Prozessoptimierung, da der Wirkungsgrad und damit die Energieeffizienz einer Turbine mit zunehmender Heißgastemperatur ansteigt und man die Turbine somit bei einer möglichst hohen Temperatur betreiben möchte [1]. Um die Oberflächentemperatur der Turbinenschaufeln und die Temperatur des Verbrennungsgases zu bestimmen, wird die Wärmeabstrahlung von den Turbinenschaufeln und vom Verbrennungsgas mit Strahlungsthermometern erfasst [2].

Knowledge of the infrared-optical properties of gases is important for numerous applications. Already at normal ambient conditions, a significant part of the thermal and infrared radiation is absorbed by the gases in the atmosphere. This affects, among other things, the greenhouse effect and needs to be considered, for example, in geological remote sensing. This effect becomes much stronger in high temperature applications, because absorption and emission of infrared-active gases, such as water vapour or carbon dioxide, rise substantially at high temperatures and/or pressures.

In stationary gas turbines, which are used for power generation, contactless temperature measurement in the gas turbines during operation plays an essential role in process optimisation, since the efficiency factor and thus the energy efficiency of a turbine increases with increasing hot gas temperature. Hence one wants to operate turbines at the highest possible temperature [1]. In order to determine both the surface temperature of the turbine blades and the temperature of the gas, the thermal radiation of turbine blades and combustion gas is registered by radiation thermometers [2].

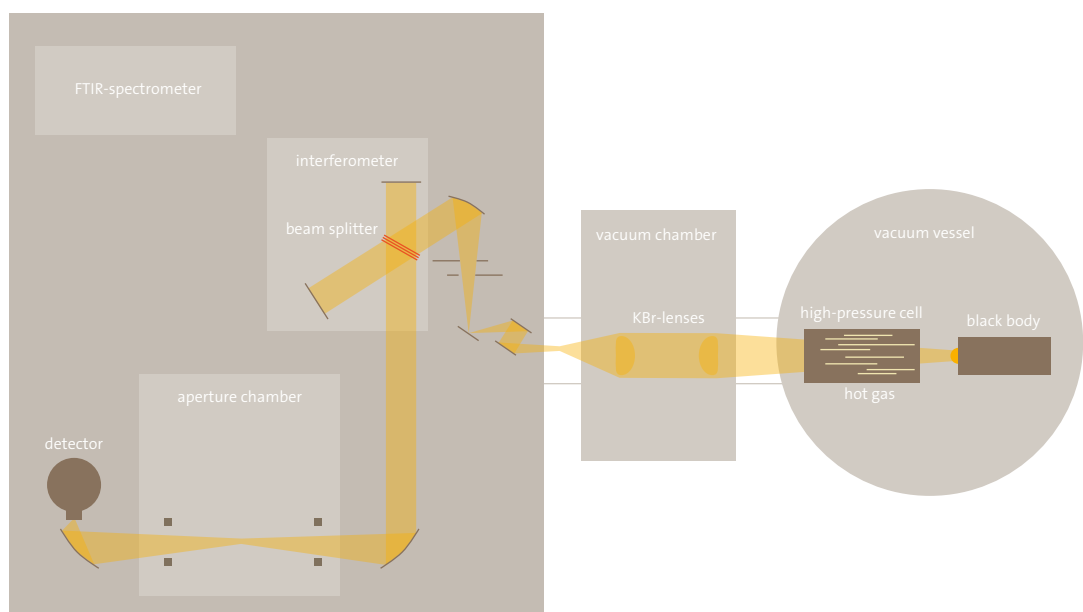


Abb. 1: FTIR-Spektrometer mit schwarzem Strahler als Infrarot-Strahlungsquelle und Hochdruckzelle zur Vermessung heißer Gase bei hohen Drücken

Fig. 1: FTIR-spectrometer with black body as infrared radiation source and high-pressure cell for measuring hot gases at high pressures

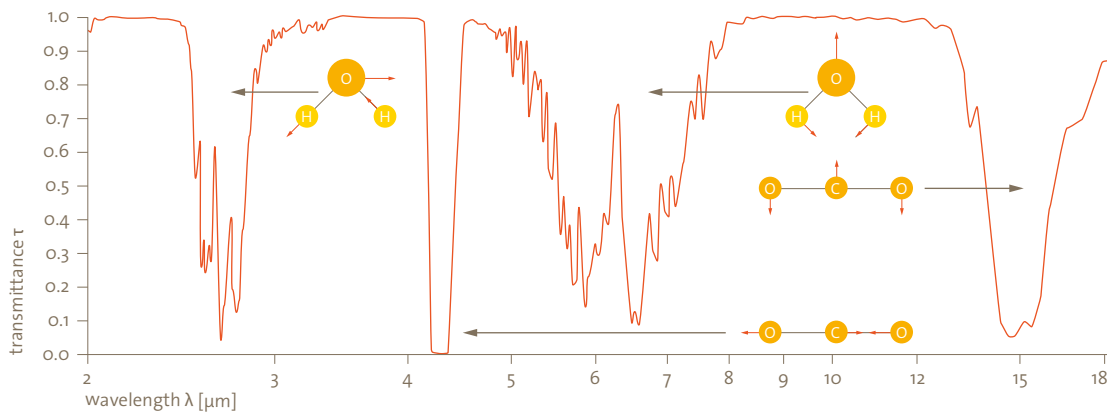


Abb. 2: Spektraler Transmissionsgrad einer Gasmischung bestehend aus Wasserdampf und Kohlendioxid bei einer Temperatur von 500 K
Fig. 2: Spectral transmittance of a gas mixture consisting of water vapour and carbon dioxide at a temperature of 500 K

In beiden Fällen müssen die infrarot-optischen Eigenschaften des Gases mit hoher Genauigkeit bekannt sein, um die Messdaten zuverlässig auswerten zu können. Darüber hinaus müssen für die verwendeten Strahlungsthermometer jeweils unterschiedliche Spektralbereiche gewählt werden. Für die Messung der Oberflächentemperatur werden Wellenlängen verwendet, bei denen das Gas einen hohen Transmissionsgrad aufweist und damit die Wärmeabstrahlung der Turbinenschaufel nur geringfügig beeinflusst. Dagegen werden für die Messung der Gastemperatur Wellenlängen verwendet, bei denen das Gas einen hohen Absorptionsgrad aufweist, der sich in Abhängigkeit von der Temperatur verändert.

Im Rahmen des Projektes „Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines (STARGATE)“ wurde am ZAE Bayern ein Messaufbau erstellt, mit dem es möglich ist, Transmissions-, Absorptions- sowie Emissionsgrad einer definierten Gaszusammensetzung bei Temperaturen bis 1200 °C und Drücken bis 10 bar hochgenau zu messen [3]. Dazu wurde eine neu entwickelte Hochdruckzelle mit Infrarot-transparenten Fenstern, die mit verschiedenen Gasen definierter Zusammensetzung befüllt werden kann, in ein Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer (FTIR-Spektrometer, Abb. 1) integriert. Damit können die infrarot-optischen Kenngrößen als Funktion der Wellenlänge, der Temperatur und des Drucks erfasst werden. Abb. 2 zeigt exemplarisch ein gemessenes Spektrum einer Gasmischung bestehend aus H₂O und CO₂ bei einer Temperatur von 500 K. Deutlich zu erkennen sind die Absorptionsbanden, die sich den jeweiligen Schwingungsmoden der Moleküle zuordnen lassen.

In both cases, the infrared-optical properties of the gas need to be known with high accuracy for reliable evaluation of the measured data. Additionally, differing spectral ranges have to be chosen for the radiation thermometers used. To measure the surface temperature, wavelengths are used at which the gas is highly transmittant and, thus, only affects the thermal radiation of the turbine blade slightly. In contrast, when measuring the gas temperature, wavelengths are used at which the gas has high absorptance which varies with temperature.

Within the project “Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines (STARGATE)”, a measurement setup, which allows for high precision measurement of transmittance, absorptance, and emittance of a defined gas composition at temperatures up to 1200 °C and pressures up to 10 bar, was designed at ZAE Bayern [3]. For this purpose a newly developed high-pressure cell equipped with infrared transparent windows, which can be filled with various gases of defined composition, was integrated into a Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrometer (Fig. 1). With this setup, the infrared-optical parameters can be determined as a function of wavelength, temperature and pressure. Fig. 2 shows an example of the measured spectrum of a gas mixture consisting of H₂O and CO₂ at a temperature of 500 K. The absorption bands which are clearly visible in Fig. 2 can be assigned to the different vibration modes of the molecules.

Literatur | References

[1] J. Manara, Bestimmung der zum Betrieb von Gasturbinen notwendigen infrarot-optischen Kenngrößen bei hohen Temperaturen und Drücken, Jahrestagung des Arbeitskreises Thermophysik, Aachen, Germany, 09.-10.03.2015.

[2] J. Manara, Long Wavelength Infrared Radiation Thermometry for Non-Contact Temperature Measurements in Gas Turbines, 7th EVI-GTI International Gas Turbine Instrumentation Conference, London, UK, 03.-05.11.2015.

[3] M. Zipf, Infrared-Optical Characterisation of Emitting and Absorbing Gases at High Temperatures and High Pressures, 20th European Conference on Thermophysical Properties (ECTP), Porto, Portugal, 30.08.-04.09.2014.





3.0
VERÖFFENTLICHUNGEN
PUBLICATIONS

3.1

VORTRÄGE UND POSTER

PRESENTATIONS AND POSTERS

3.1.1

Eingeladene Plenarvorträge Plenary Invited Lectures

C. J. Brabec, **Alternative Materials and Concepts for Innovative Solar Technologies**, Solids4Fun, Graduate School, Technische Universität Wien, Wien, Austria, 09.01.2015

C. J. Brabec, **Das Modellprojekt „Smart Grid Solar“**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015

C. J. Brabec, **Exploring the Potential of Printed Multijunction Technologies**, South China University of Technology (SCUT), Guangzhou, China, 17.07.2015

C. J. Brabec, **Innovative Material Concepts for Printed Photovoltaics**, Soochow University, Soochow, China, 16.07.2015

C. J. Brabec, **Laser Processes for Printed Photovoltaics Applications**, 18. LEF-Seminar, Fürth, Germany, 03.–04.03.2015

C. J. Brabec, **Light Manipulation Concepts for Thin Film Photovoltaics**, Conference on Lasers and Electro-Optics/European Quantum Electronics Conference, München, Germany, 21.–25.06.2015

C. J. Brabec, **Metal Organic Perovskites for Advanced Opto-Electronic Applications**, 15th International Symposium on Advanced Organic Photonics, Moskau, Russia, 22.–23.09.2015

C. J. Brabec, **Metal Organic Perovskites for Advanced Photovoltaic Applications**, Asia-Pacific Solar Research Conference, Brisbane, Australia, 08.–10.12.2015

C. J. Brabec, **Neue Optoelektronische Materialien, Verfahren und Anwendungen in der Photovoltaik**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

C. J. Brabec, **Novel Concepts and Architectures for Sustainable Solar Technologies**, Chinese Academy of Sciences, Peking, China, 14.07.2015

C. J. Brabec, **Novel Materials for Advanced Photovoltaic Devices**, University of New South Wales, Sydney, Australia, 11.12.2015

C. J. Brabec, **Perspektiven und Zeithorizonte der Dünnschicht Photovoltaik**, 13. Österreichische Photovoltaik-Tagung, Schwaz, Austria, 05.–07.10.2015

C. J. Brabec, **Photoinduced Microstructure Degradation Processes in Pi-Conjugated BHI Composites**, 3rd Erlangen Symposium on Synthetic Carbon Allotropes (SFB 953), Erlangen, Germany, 04.–07.10.2015

C. J. Brabec, **Photostability and Photodegradation Mechanisms in Pi-Conjugated Semiconducting BHK Composites**, International Fall School on Organic Electronics (IFSOE 2015), Moskau, Russia, 20.–25.09.2015

C. J. Brabec, **Potentiale dezentraler Stromerzeugung**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015

L. Briesemeister, M. Kremling, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Pneumatic Conveying of Biocoal from Hydrothermal Carbonization: An Approach for Small Scale Entrained-Flow Gasification**, 2nd International Conference on Renewable Energy Gas Technology (REGATEC), Barcelona, Spain, 07.–08.05.2015

L. Briesemeister, M. Kremling, M. Gaderer, S. Fendt, H. Spliethoff, **Small Scale Entrained-Flow Gasification of Biocoals Made by Hydrothermal Carbonization**, International Bioenergy (Shanghai) Exhibition and Asian Bioenergy Conference 2015 (IBSCE), Shanghai, China, 21.–23.10.2015

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, **Inspecting PV-Plants Using Aerial, Drone-Mounted Infrared Thermography System**, 3rd Southern African Solar Energy Conference (SASEC), Kruger National Park, South Africa, 11.–13.05.2015

V. Dyakonov, S. Váth, M. C. Heiber, K. Tvingstedt, A. Baumann, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, Functional Materials and Nanotechnologies (FM&NT-2015), Vilnius, Lithuania, 05.–08.10.2015

V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination and Electronic Traps in Perovskite Solar Cells**, International Fall School on Organic Electronics (IFSOE 2015), Moskau, Russia, 20.–25.09.2015

V. Dyakonov, **Charge Transfer and Triplet States in OPV Materials and Devices**, SPIE Optics+ Photonics, San Diego, USA, 09.–13.08.2015

V. Dyakonov, **Fundamental Processes in Organic and Hybrid Thin-Film Photovoltaics**, ICTP Summer School, Khiva, Uzbekistan, 18.–29.05.2015

V. Dyakonov, R. Magerle, **Interplay between Microscopic Structure and Intermolecular Charge Transfer Processes in Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunctions**, DFG-Schwerpunktprogramm 1355 (SPP 1355) Final Workshop – Basics of Organic Photovoltaics, Bad Honnef, Germany, 22.–24.01.2015

V. Dyakonov, **Magnetic Field and Temperature Sensing with Atomic-Scale Spin Defects in SiC**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015

V. Dyakonov, **Nano-Crystalline Emitters and Spin Defect Engineering in Silicon Carbide**, 1st International Symposium on SiC Spintronics, Vadstena, Sweden, 15.–17.06.2015

V. Dyakonov, N. Martin, T. Hertel, **Photoexcitations in Fullerenes, Fullerene Dimers and Carbon Nanotubes**, Scientific Meeting POCAONTAS, Madrid, Spain, 28.–30.04.2015

- V. Dyakonov, **Recombination Pathways in High Efficiency Organic Solar Cells**, 5th International Workshop on Smart Materials & Structures (SM&S), Marrakesch, Morocco, 09.–12.09.2015
- V. Dyakonov, **Recombination Pathways in High-Efficiency OPV Materials and Devices**, Workshop „FOR 1809: Lichtinduzierte Dynamik in molekularen Aggregaten“, Schöntal, Germany, 08.–09.06.2015
- V. Dyakonov, S. Vãth, M. C. Heiber, H. J. Bolink, K. Tvingstedt, P. Rieder et al., **Transient Electrical Studies of Charge Carrier Recombination and Electronic Traps in Perovskite Solar Cells**, 4th International Solar Technologies Go Hybrid-Workshop, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.03.2015
- V. Dyakonov, C. J. Brabec, **Umweltverträgliche hocheffiziente organische Solarzellen**, Zwischenbilanz und Fachtagung „Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie“, Straubing, Germany, 27.02.2015
- V. Dyakonov, J. Pflaum, C. J. Brabec, **Welcome Address. OPV at ZAE**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- H.-P. Ebert, T. Kuhn, C. Maurer, M. Krus, **Chancen und Potenziale innovativer Wärmedämmung**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015
- H.-P. Ebert, **Cutting Edge Building Technologies – The Energy Efficiency Center**, Energy-Week 2015, Vaasa, Finland, 16.–19.03.2015
- H.-P. Ebert, **Einsatz neuer Materialien in der Gebäudehülle**, 1. Fachtagung GHI Gebäudehülle innovativ, RENEXPO 2015, Augsburg, Germany, 01.–03.10.2015
- H.-P. Ebert, **Energieeffizienz durch Nanomaterialien**, Fachtagung „Neue Werkstoffe, Nanotechnologie“, Hannover Messe, Hannover, Germany, 16.04.2015
- H.-P. Ebert, **Innovationen für energieeffiziente Gebäudehüllen**, 4. EnergieDialog Mainfranken, Würzburg, Germany, 26.10.2015
- H.-J. Egelhaaf, **Closing the Gap between Lab Cells and R2R Modules**, Printed Photovoltaics: From Materials to Manufacture, Swansea, UK, 20.–21.04.2015
- H.-J. Egelhaaf, M. Salvador, **Lifetime and Stability of Organic Photovoltaics**, ESOS: European Training School and Conference on Organic Photovoltaic Stability, Cargèse, France, 04.–11.06.2015
- M. Gleinser, C. Wieland, H. Spliethoff, **The Misselhorn Cycle: Batch-Evaporation Process for Efficient Low Temperature Waste Heat Recovery**, 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS), Pau, France, 29.06.–03.07.2015
- S. Halama, H. Spliethoff, **Reaction Kinetics of Pressurized Entrained Flow Coal Gasification: CFD Modeling and Validation**, The 40th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems, Clearwater, USA, 31.05.–04.06.2015
- A. Hauer, **Energiespeicher für die Energiewende – Technologien und Anwendungen**, 3. EnergieDialog Mainfranken, Schweinfurt, Germany, 19.01.2015
- A. Hauer, **Energy Storage – Definitions, Properties, and Economics**, Latin America Public-Private Partnerships Workshop on Energy Storage for Sustainable Development (UN), Rio de Janeiro, Brazil, 16.–17.04.2015
- A. Hauer, **Energy Storage – Research-Based Demo Projects in Germany**, Trilateral Energy Storage Workshop, Paris, France, 19.11.2015
- A. Hauer, **Energy Storage – Technologies and Applications**, Latin America Public-Private Partnerships Workshop on Energy Storage for Sustainable Development (UN), Rio de Janeiro, Brazil, 16.–17.04.2015
- A. Hauer, **Energy Storage in Heating and Cooling Applications**, Energy Storage Europe 2015, Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Hauer, **Examples of Industrial Waste Heat Utilization in Germany**, Energy Storage Europe 2015, Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Hauer, **Sorption Storage – Basic Considerations**, Sorption Friends, Milazzo, Italy, 14.–16.09.2015
- A. Hauer, **Speicher im internationalen Umfeld**, Statusseminar Energiespeicher 2015 (BMW), Berlin, Germany, 22.–23.04.2015
- A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015
- A. Hauer, **Thermal Energy Storage – Technologies and Applications**, Energy Storage Summit Japan (ESSJ 2015), Tokio, Japan, 11.–12.11.2015
- A. Hauer, **Thermische Energiespeicherung – Potenziale und Anwendungen im Energiesystem der Zukunft**, 9. EUROSOLAR-Konferenz „Stadtwerke mit Erneuerbaren Energien“, Tübingen, Germany, 13.–14.04.2015
- U. Heinemann, H. Weinläder, H.-P. Ebert, S. Weismann, **Neue Materialien und Komponenten für Energieeffiziente Gebäudehüllen**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- S. Herrmann, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Integrated Gasification and Solid Oxide Fuel Cell System**, The 40th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems, Clearwater, USA, 31.05.–04.06.2015
- M. Kremling, L. Briesemeister, H. Spliethoff, M. Gaderer, S. Fendt, **High Temperature Biomass Gasification in an Entrained Flow Reactor – Commissioning and First Trials of a 100 kW Test Facility**, 2nd International Conference on Renewable Energy Gas Technology (REGATEC), Barcelona, Spain, 07.–08.05.2015

- A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, F. Bailly et al., **Intelligente thermische Speicher als verschiebbare Last im elektrischen Netz**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015
- P. Kubis, **Hohe Durchsatzfertigung von organischen Photovoltaik-Solarmodulen mit hohem geometrischen Füllfaktor durch Laserstrukturierung**, Workshop „Laserbasierte Rolle-zu-Rolle-Prozesse“, Nürnberg, Germany, 24.09.2015
- J. M. Kuckelkorn, **Zukunftsorientierte Versorgung – Energiekonzepte und Netze optimieren**, GGSC Erfahrungsaustausch Kommunale Wärmeprojekte, Augsburg, Germany, 05.05.2015
- E. Lävemann, **Thermische Energiespeicher – Thermodynamische Betrachtungen**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015
- W. Liu, D. Meinel, C. Wieland, H. Spliethoff, **Techno-Economic Analysis of the Sub-Critical ORC with Optimized Heat Transfer Process**, 3rd International Seminar on ORC Power Systems (ASME ORC 2015), Brüssel, Belgium, 12.–14.10.2015
- P. Luchscheider, C. Camus, J. Bogenrieder, C. J. Brabec, **Smart Grid Solar – A Bavarian Smart Energy Project**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015
- R. Marro, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Experimental Investigations for the Reduction of Nox in an Entrained Flow Reactor**, 18th IFRF International Members' Conference "Flexible and Clean Fuel Conversion in Industry", Freising, Germany, 01.–03.06.2015
- R. Marro, M. Gerstmaier, S. Fendt, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Influence of Torrefaction and Hydrothermal Carbonisation on Fuel and Ash Properties**, International Bioenergy (Shanghai) Exhibition and Asian Bioenergy Conference 2015 (IBSCE), Shanghai, China, 21.–23.10.2015
- D. Meinel, C. Wieland, H. Spliethoff, **Economic Analysis of Geothermal Combined Heat and Power Processes**, 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS), Pau, France, 29.06.–03.07.2015
- I. Moeck, J. M. Kuckelkorn, **Tiefengeothermie als Grundlastwärmequelle in der Metropolregion München**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015
- A. Otto, T. Grube, J. Kaiser, M. Krause, A. Krönauer, A. Ortwein et al., **Wärme und Effizienz für die Industrie**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015
- J. Pflaum, **Excitonic Phenomena in Molecular Semiconductors**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- C. Rathgeber, **Wärmespeicherung – Bedeutung und Möglichkeiten thermischer Energiespeicher**, 5. Fachkonferenz Virtuelle Kraftwerke und Wärmespeicher, Düsseldorf, Germany, 02.–03.06.2015
- C. Rathgeber, **Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015
- M. Reuß, **Methoden der Langzeitwärmespeicherung**, 22. C.A.R.M.E.N.–Forum: „Energiespeicher – Schlüssel zur Energiewende?!“, Straubing, Germany, 16.03.2015
- M. Reuß, **Neufassung der Richtlinie VDI 4640 Blatt 2**, 11. NRW Geothermiekonferenz, Bochum, Germany, 11.09.2015
- M. Reuß, **Neufassung der Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 – Erdgekoppelte Wärmepumpen**, 12. Biberacher Geothermietag, Biberach a. d. Riß, Germany, 26.11.2015
- M. Reuß, **Neufassung der Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 – Erdgekoppelte Wärmepumpen**, Fachgespräch Erdwärmennutzung in Hessen, Idstein, Germany, 16.09.2015
- M. Reuß, **Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 – Zielstellung und Änderungen gegenüber dem Stand 2001**, VDI 4640 Expertenforum „Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpen“, Düsseldorf, Germany, 27.04.2015
- M. Reuß, **Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpen**, Dienstbesprechung Geothermie des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany, 27.10.2015
- M. Reuß, **Sensible Wärmespeicher in praktischen Anwendungen**, Bezirksversammlung des Arbeitskreis Energiewende (AKE) Oberbayern mit Konferenz „Wärmespeicher“, Holzkirchen, Germany, 10.10.2015
- M. Reuß, **Techniken der Wärmespeicherung**, Fachgespräch „Wärmespeicher im Überblick“, München, Germany, 12.11.2015
- M. Reuß, **Wärmespeicher – Ein Baustein der Energiewende**, Forum Energiewende „Energiewende – Mehr Chancen als Risiken“, Erlangen, Germany, 12.01.2015
- M. Reuß, **Wärmespeicher auf Objekt- und Quartiersebene**, Speichertechnologie im wohnungswirtschaftlichen Einsatz, Berlin, Germany, 26.02.2015
- A. Solodovnyk, **Introduction to Energy Transition in Germany „Energiewende in Deutschland“**, BAYHOST Wochenendseminar für die Jahresstipendiaten des Freistaates Bayern, Nürnberg, Germany, 14.11.2015

A. Sperlich, V. Dyakonov, **Electrically Detected EPR by Pulsed Charge Carrier Extraction for Application in Thin-Film Solar Cell Devices**, DFG-Schwerpunktprogramm 1601 (SPP 1601) New Frontiers in Sensitivity for EPR Spectroscopy, Göttingen, Germany, 26.–27.01.2015

A. Vandersickel, M. von Gamm, M. Angerer, H. Spliethoff, **Highly Load-Flexible Coal-Fired Power Plants Through the Integration of Molten Salt Storage**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015

S. Weismann, **Energy Efficiency Center – Technologien und Monitoring**, EnOB-Workshop 2015 „Wissenschaftliches Monitoring energieoptimierter Gebäude“, Kassel, Germany, 26.–27.02.2015

C. Wieland, D. Meinel, H. Spliethoff, **Integrated CHP Concepts for ORC and their Benefits Compared to Conventional Concepts**, 3rd International Seminar on ORC Power Systems (ASME ORC 2015), Brüssel, Belgium, 12.–14.10.2015

3.1.2

Fachvorträge Contributed Talks

C. Balzer, R. Cimino, G. Gor, G. Reichenauer, A. V. Neimark, **Sorption-Induced Deformation of Carbon Micropores – Comparison of Density Functional Theory Calculations and In-Situ Dilatometry Data**, 7th International Workshop Characterization of Porous Materials: from Angstroms to Millimeters (CPM-7), Delray Beach, USA, 03.–06.05.2015

A. Baumann, S. Väh, P. Rieder, K. Tvingstedt, M. C. Heiber, V. Dyakonov, **Identification of Electronic Traps in Perovskite Solar Cells by Thermally Stimulated Current Analysis**, Hybrid and Organic Photovoltaics Conference (HOPV 15), Rom, Italy, 10.–13.05.2015

A. Baumann, V. Dyakonov, **OTRACE: Charge Extraction in Thin Film Solar Cells under Real Operating Conditions**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

A. Baumann, S. Väh, K. Tvingstedt, M. C. Heiber, V. Dyakonov, C. Momblona et al., **Transient Electrical Studies Probing Charge Carrier Recombination in Planar Perovskite Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

A. Baumann, **Traps in Perovskite Solar Cells**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015

T. Beikircher, M. Reuß, G. Streib, **Vacuum Super Insulated Heat Storage up to 400 °C**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015

C. J. Brabec, **Welcome Speech at the International Conference on Organic Electronics**, 11th International Conference on Organic Electronics 2015 (ICOE 2015), Erlangen, Germany, 15.–17.06.2015

M. Brütting, S. Vidi, F. Hemberger, H. Mehling, H.-P. Ebert, **Determination of Heat Capacity by Means of Longitudinal Guarded Comparative Calorimeter – Correction Methods**, Nineteenth Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, 21.–26.06.2015

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, **Characterization of Defects in PV-Modules by their Temperature Development using IR-Thermography**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, T. Pickel, **Defect Analysis of Installed PV-Modules – IR-Thermography and In-String Power Measurement**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

C. Buerhop-Lutz, **Inspektion von PV-Anlagen aus der Luft**, Workshop „Anwendungen ziviler Mikro-Drohnen“, Freiberg, Germany, 23.–24.04.2015

M. Dalsass, H. Scheuerpflug, M. Maier, C. J. Brabec, **Correlation between the Monitoring Data of a Photovoltaic Power Plant and Module Defects Detected by Drone-Mounted Thermography**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

M. Dalsass, **PV-Thermografie für Freiflächenanlagen – Aktuelle Chancen und Herausforderungen**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015

H.-P. Ebert, **Thermal Conductivity Measurement Methods: Overview**, International Workshop on Thermal Conductivity of PCM, Würzburg, Germany, 11.11.2015

H.-J. Egelhaaf, **Highly Efficient, Large Area, R2R Coated Flexible and Rigid OPV Modules with Geometric Fill Factors up to 98.5 %**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015

A. Fritze, A. Sperlich, C. Deibel, V. Dyakonov, **Mobility Relaxation in PTB7:PC70BM on Nanosecond Timescale**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

A. Gavrik, S. Väh, A. Sperlich, A. Baumann, I. Namal, F. Späth et al., **SWNT: Fullerene Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

K. Habicht, K. Fritsch, C. Koch, A. Wörner, T. Bauer, S. Henninger et al., **Materialforschung für die Energiewende**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

- N. H. Hansen, F. May, D. Kälblein, T. Schmeiler, C. Lennartz, J. Pflaum et al., **Temperature Dependent Charge Carrier Mobility Studies on Cl₂-NDI Single Crystals: The Role of Static and Dynamic Lattice Deformations**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- N. H. Hansen, F. May, D. Kälblein, T. Schmeiler, A. Steeger, J. Pflaum et al., **Temperature Dependent Electron Transport Studies on Cl₂-NDI Organic Single Crystals: The Role of Static and Dynamic Lattice Deformations**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- A. Hauer, **The 4-Temperature-Approach – A Method to Evaluate New Materials for Thermochemical Heat Storage under Application Conditions**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02.–04.12.2015
- F. Hemberger, M. Geißler, U. Heinemann, J. Hetfleisch, S. Rausch, K. Swimm et al., **Experimentelle Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit von komplexen anisotropen Strukturen**, Jahrestagung 2015 des AK Thermophysik in der GEFTA, Aachen, Germany, 09.–10.03.2015
- P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, **Physical Limitations to the Usage of PCMs (Phase Change Materials)**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- S. Hippeli, H. Weinläder, H.-P. Ebert, **Thermisches Messverfahren für mobile Ug-Wert-Messungen an Verglasungen**, Bauphysiktag, Kaiserslautern, Germany, 21.–22.10.2015
- F. Klinker, W. Körner, D. Kranl, S. Weismann, H. Weinläder, **Monitoring Performance and Control Strategies of PCM Cooling Ceilings in the Energy Efficiency Center**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, F. Bailly et al., **Intelligent Thermal Energy Storage for Grid Stress Reduction**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- A. Krönauer, E. Lävemann, S. Brückner, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- B. Lipovšek, A. Solodovnyk, K. Forberich, E. Stern, C. J. Brabec, J. Krč et al., **Optical Model for Simulation and Optimization of Luminescent Down-Shifting Layers in Photovoltaics**, E-MRS 2015 Spring Meeting, Lille, France, 11.–15.05.2015
- L. Lucera, F. Fecher, P. Kubis, F. Guo, F. Machui, Y. Shen et al., **High Precision Slot-Die Coating and High Resolution, Ultra-Fast Laser Structuring as Means Towards No-Loss, Large Area, R2R Produced Modules**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- L. Lucera, F. Fecher, P. Kubis, F. Machui, K. Forberich, H.-J. Egelhaaf et al., **High Precision Slot-Die Coating and High Resolution, Ultra-Fast Laser Structuring as Means Towards No-Loss, Large Area, R2R Produced Modules**, 11th International Conference on Organic Electronics 2015 (ICOE 2015), Erlangen, Germany, 15.–17.06.2015
- L. Lucera, F. Fecher, P. Kubis, F. Machui, M. Heyder, H. D. Schmidt et al., **The Bright Future of R2R Up-Scaling of Hybrid and Organic Solar Cells: High Precision Slot-Die Coating and High Resolution Ultra-Fast Laser Structuring**, Hybrid and Organic Photovoltaics Conference (HOPV15), Rom, Italy, 10.–13.05.2015
- P. Luchscheider, **Simulative Betrachtung Elektrischer Komponenten im Ortsnetz**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015
- P. Luchscheider, **Smart Grid Solar – Einsatz dezentraler Speicher**, Fachforum: Energiespeicher im Kontext der Energiewende, Nürnberg, Germany, 11.11.2015
- F. Machui, K. Forberich, P. Kubis, F. Guo, L. Lucera, Y. Shen et al., **Printed Semitransparent OPV Modules: Materials, Large-Area Processing and System Integration**, 7th International Exhibition and Conference for the Printed Electronics Industry (LOPEC 2015), München, Germany, 03.–05.03.2015
- P. Maisch, **Inkjet Printing of Organic Photovoltaics**, 7th International Exhibition and Conference for the Printed Electronics Industry (LOPEC 2015), München, Germany, 03.–05.03.2015
- J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, J. Hartmann, H.-P. Ebert, **Bestimmung der zum Betrieb von Gasturbinen notwendigen infrarot-optischen Kenngrößen bei hohen Temperaturen und Drücken**, Jahrestagung 2015 des AK Thermophysik in der GEFTA, Aachen, Germany, 09.–10.03.2015
- 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**, 7th EVI-GTI International Gas Turbine Instrumentation Conference, London, UK, 03.–05.11.2015
- R. Morak, C. Balzer, A. Waag, F. Putz, M. Elsässer, G. Reichenauer et al., **Sorption-Induced Deformation of Hierarchical Porous Silica**, 16th International Conference on Small-Angle Scattering (SAS 2015), Berlin, Germany, 13.–18.09.2015

- J. Pflaum, **Spectroscopic Methods – Single Molecules**, GRK2112 Kick-off Workshop Molecular Biradicals, Würzburg, Germany, 13.–16.10.2015
- S. Pöllinger, H. Schmit, S. Hiebler, **Measurement and Modeling of the Maximum Storage Capacity of Two Salt Hydrate Based PCM as a Function of the Water/Salt Concentration**, Energy, Science & Technology Conference, Karlsruhe, Germany, 20.–22.05.2015
- F. Putz, M. S. Elsässer, N. Hüsing, C. Balzer, G. Reichenauer, R. Morak et al., **Hierarchical and Anisotropic Porous Silica Monoliths**, 16th Austrian Chemistry Days, Innsbruck, Austria, 21.–24.09.2015
- F. Putz, M. S. Elsässer, N. Hüsing, C. Balzer, G. Reichenauer, R. Morak et al., **Hierarchical and Anisotropic Porous Silica Monoliths**, Sol-Gel 2015, Kyoto, Japan, 06.–11.09.2015
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **Economic Evaluation of Thermal Energy Storages via Top-Down and Bottom-Up Approach**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **IEA SHC Task 42 / ECES Annex 29 – WG C: Economic Evaluation of Thermal Energy Storages**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02.–04.12.2015
- C. Rathgeber, A. Krönauer, P. Hennemann, H. Schmit, S. Hiebler, **Latentwärmespeicher für Kälteanwendungen**, Deutsche Kälte- und Klimatagung 2015, Dresden, Germany, 18.–20.11.2015
- M. Reim, **Control Strategies and User Acceptance of Innovative Daylighting and Shading Concepts**, 10th Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 03.–04.11.2015
- M. Reim, W. Körner, H. Weinläder, **Daylighting and Shading of the Energy Efficiency Center – Monitoring Results and User Acceptance**, International Conference CISBAT, Lausanne, Switzerland, 09.–11.09.2015
- M. Reim, W. Körner, **Innovative Daylighting and Shading Concept – The Energy Efficiency Center**, Advanced Building Skins, Graz, Austria, 23.–24.04.2015
- M. Reuß, **IEA ECES Annex 27 – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden in Planung, Bau und Betrieb**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015
- M. Reuß, **IEA ECES Annex 27 – Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- M. Reuß, **VDI 4640 – das neue Blatt 2**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015
- P. Rieder, M. Fischer, S. Väh, A. Baumann, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Preparation and Characterization of Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells in Planar-Type Configuration**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- C. Römer, S. Weismann, H.-P. Ebert, **Energy Efficiency Center Würzburg: Interdisziplinäre F&E für energieoptimierte Gebäude**, Bauphysik-tage, Kaiserslautern, Germany, 21.–22.10.2015
- C. Rudaz, A. Demilecamps, G. Pour, M. Alves, A. Rigacci, G. Reichenauer et al., **Bio-Aerogels**, BiMatE conference, Slovenj Gradec, Slovenia, 15.–17.04.2015
- R. Schmidt, **State Estimation in Verteilnetzen**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, A. Hauer, **Calorimetric Investigation of the Concentration Dependent Enthalpy Change Around Semicongruent Melting $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$** , Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Experimental Investigation of the Concentration Dependent Maximum Storage Capacity of Two Inorganic PCM**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Schmutzer, **Robuste Optimierungsverfahren als Schlüssel zur effizienten Energiewende**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015
- D. Simin, A. Sperlich, V. Soltamov, P. Baranov, G. Astakhov, V. Dyakonov, **Coherent Spin Manipulation of Si-Vacancies in Silicon Carbide at Ambient Conditions**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- C. Sölch, **Auswirkungen rechtlicher Rahmenbedingungen auf Investitionsentscheidungen in Smart Grids**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015
- A. Solodovnyk, B. Lipovšek, K. Forberich, E. Stern, J. Krč, M. Batentschuk et al., **Improved Properties of Phosphor-Filled Luminescent Down-Shifting Layers: Reduced Scattering, Optical Model and Optimization for PV Application**, SPIE Micro+Nano Materials, Devices, and Applications, Sydney, Australia, 06.–09.12.2015
- A. Sperlich, D. Simin, F. Fuchs, H. Kraus, P. G. Baranov, V. Dyakonov et al., **High Precision Vector Magnetometry with Uniaxial Quantum Centers in Silicon Carbide**, 57th Annual Rocky Mountain Conference on Magnetic Resonance, Snowbird, USA, 26.–31.07.2015

A. Sperlich, O. G. Poluektov, J. Niklas, V. Dyakonov, **Photoinduced Dynamics of Charge Separation: From Photosynthesis to Polymer-Fullerene Bulk Heterojunctions**, Electronic Properties of π -Conjugated Materials III, Würzburg, Germany, 10.–13.03.2015

A. Sperlich, O. G. Poluektov, J. Niklas, V. Dyakonov, **Photoinduced Dynamics of Charge Separation: From Photosynthesis to Polymer-Fullerene Bulk Heterojunctions**, 4th International Solar Technologies Go Hybrid-Workshop, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.03.2015

A. Sperlich, O. G. Poluektov, J. Niklas, V. Dyakonov, **Photoinduced Dynamics of Charge Separation: From Photosynthesis to Polymer-Fullerene Bulk Heterojunctions**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

A. Sperlich, S. Väh, V. Dyakonov, **Spin-Sensitive Probing of Charge Transfer and Triplet States in Organic Solar Cells**, 8th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE 2015), Thessaloniki, Greece, 06.–09.07.2015

A. Sperlich, H. Kraus, M. Auth, A. Gavrik, F. Späth, T. Hertel et al., **Spin-Sensitive Studies of Triplet Exciton Dynamics in 6,5 SWNT and Charge Transfer to Fullerenes**, 6th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON 2015), Bad Staffelstein, Germany, 01.–04.06.2015

L. Staudacher, **Geothermische Weichenheizung – Entwicklung & Feldtest**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015

C. Stegner, **Potenziale zur Mehrfachnutzung von Speichern**, Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“, Hof, Germany, 21.–22.07.2015

M. Stolte, T. He, M. Gsänger, S. L. Suraru, C. Burschka, N. H. Hansen et al., **Dichlorinated Naphthalene Diimide: An Ambient Stable High Performance n-Type Organic Semiconductor Easily Processed from Solution as well as by Sublimation in Vacuum or even in Air**, 7th International Exhibition and Conference for the Printed Electronics Industry (LOPEC), München, Germany, 03.–05.03.2015

K. Tvingstedt, O. Malinkiewicz, A. Baumann, C. Deibel, H. J. Snaith, V. Dyakonov et al., **Radiative Efficiency of MAPI Perovskite Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

K. Tvingstedt, O. Malinkiewicz, A. Baumann, C. Deibel, H. J. Snaith, V. Dyakonov et al., **Radiative Efficiency of MAPI Perovskite Solar Cells**, Hybrid and Organic Photovoltaics Conference (HOPV 15), Rom, Italy, 10.–13.05.2015

S. Väh, H. Kraus, A. Baumann, K. Tvingstedt, A. Sperlich, V. Dyakonov et al., **Triplet Exciton Formation in High-Efficiency Donor-Acceptor Photovoltaic Blends**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

S. Väh, H. Kraus, A. Baumann, K. Tvingstedt, A. Sperlich, V. Dyakonov et al., **Triplet Exciton Formation in High-Efficiency Donor-Acceptor Photovoltaic Blends**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015

A. Vetter, B. Hofbeck, P. Kubis, C. J. Brabec, **Assessing the Accuracy of Imaging Techniques for Defect Characterization on Thin Film Solar Cells**, 42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, USA, 14.–19.06.2015

A. Vetter, K. Burafinger, M. Woiton, C. J. Brabec, **Highly Accelerated Lifetime Testing via Extreme Illumination at Controlled Temperature for Thin Film Solar Cells**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

M. M. Voigt, F. Machui, P. Maisch, P. Kubis, F. Fecher, L. Lucera et al., **Towards the Development of Printed Semitransparent OPV Modules**, 8th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE15), Thessaloniki, Greece, 06.–09.07.2015

M. Wiener, C. Balzer, G. Reichenauer, **Micropore Properties of Carbons Treated at Temperature Above 1000 °C – Complementary Information Derived by Sorption Analysis and Small Angle Scattering**, 5th German-Japanese Joint Symposium “Development and Technology of Carbon Materials”, Freiberg, Germany, 20.–21.07.2015

3.1.3

Poster

Posters

K. Anneser, L. Hörlin, S. Braxmeier, A. Baumann, G. Reichenauer, V. Dyakonov, **Development of a Photocapacitor Based on Printed Solar Cells and Supercapacitor**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015

M. Armer, S. Väh, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Preparation and Characterization of mm-Sized Perovskite Crystals**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015

M. Auth, A. Sperlich, F. Späth, T. Hertel, V. Dyakonov, **Charge Transfer between Single-Walled Carbon Nanotubes, Fullerenes and Polymers**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015

C. Balzer, A. Waag, G. Reichenauer, R. Morak, O. Paris, M. S. Elsaesser et al., **Sorption Induced Deformation in Hierarchical Structured Porous Material – A Novel Approach Towards Understanding of Structure-Property Relationships**, 4th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (Hybrid Materials 2015), Sitges, Spain, 09.–13.03.2015

- C. Balzer, G. Reichenauer, O. Paris, R. Morak, N. Hüsing, F. Putz et al., **Sorption-Induced Deformation of Hierarchically Organized Porous Silica: Transfer of Mesopore Deformation onto the Macroscopic Scale**, 7th International Workshop Characterization of Porous Materials: from Angstroms to Millimeters (CPM-7), Delray Beach, USA, 03.–06.05.2015
- A. Baumann, K. Tvingstedt, M. C. Heiber, S. Väh, C. Momblona, H. J. Bolink et al., **Transient Electrical Studies Probing Charge Carrier Recombination in Organo-Metal Halide Perovskite Solar Cells**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- A. Baumann, K. Tvingstedt, M. C. Heiber, S. Väh, C. Momblona, H. J. Bolink et al., **Transient Electrical Studies Probing Charge Carrier Recombination in Organo-Metal Halide Perovskite Solar Cells**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- M. Bernt, M. Möckl, H. A. Gasteiger, A. Jossen, **New Materials and System Parameters for Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- M. Brendel, S. Krause, A. Steindamm, A. K. Topczak, S. Sundarraj, P. Erk et al., **The Effect of Gradual Fluorination on the Properties of F_nZnPc Thin Films and F_nZn Pc/C60 Bilayer Photovoltaic Cells**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- B. Diaz-Benito, C. Balzer, G. Reichenauer, **Three-Point Bending of Liquid Filled Porous Solids – A Powerful Tool for the Characterization of Mesoporous Solids**, 7th International Workshop Characterization of Porous Materials: from Angstroms to Millimeters (CPM-7), Delray Beach, USA, 03.–06.05.2015
- P. Dotzauer, A. Jossen, **Investigating Operating Characteristics of Vanadium Flow Batteries for Grid Storages**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- V. Dyakonov, R. Magerle, **Interplay between Microscopic Structure and Intermolecular Charge Transfer Processes in Polymer-Fullerene Bulk-Heterojunctions**, DFG-Schwerpunktprogramm 1355 (SPP 1355) Final Workshop – Basics of Organic Photovoltaics, Bad Honnef, Germany, 22.–24.01.2015
- J. Fichtner, A. Sperlich, H. Kraus, G. Astakhov, V. Dyakonov, **Microstrip Resonators for Silicon-Carbide Quantum Microwave Emitters**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- F. Fischer, S. Brückner, M. Gaaß, J. Krämer, A. Krönauer, E. Lävemann et al., **Energy Efficiency Through Open-Cycle Adsorption Systems**, Advanced Sorption Technologies and Their Applications, Dübendorf, Switzerland, 18.05.2015
- M. Gaaß, F. Fischer, E. Lävemann, A. Hauer, **Seasonal Heat Storage Based on Zeolite**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Hashemi, A. Vetter, G. Jovicic, M. Batentschuk, C. J. Brabec, **Dual-Channel Lock-In Thermometry with Thermographic Phosphors**, International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT), Faro, Portugal, 07.–11.09.2015
- P. Hennemann, H. Schmit, S. Hiebler, A. Hauer, **A Novel Optical Method to Investigate Supercooling of Microencapsulated PCM**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- L. Hörlin, A. Baumann, M. Wiener, G. Reichenauer, V. Dyakonov, **Design of an Energy-Harvesting Storage Device Based on Organic Solar Cells and Supercapacitor**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- L. Hörlin, S. Väh, A. Baumann, V. Dyakonov, **Determination of the Dielectric Properties of Perovskite Solar Cells by Impedance Spectroscopy**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- F. Huewe, A. Steeger, I. Bauer, S. Doerrich, P. Strohriegl, J. Pflaum, **Energy Exchange between Electronic and Phononic Subsystem Governing the Nonlinear Conduction in DCNQI₂Cu Single Crystals**, 11th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM), Bad Gögging, Germany, 06.–11.09.2015
- H. Karrer, M. Pröll, P. Osgyan, **Thermische Anbindung von PV-Zellen in einem CPC-PVT-Kollektor**, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06.–08.05.2015
- D. Kiermasch, S. Väh, A. Baumann, V. Dyakonov, **Lifetime and Concentration of Photogenerated Charge Carriers in Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 15.–20.03.2015
- D. Kiermasch, S. Väh, A. Baumann, V. Dyakonov, **Lifetime of Photogenerated Charge Carriers in MAPI Perovskite Solar Cells Studied by Transient Photovoltage and Charge Extractions Measurements**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- P. Kubis, L. Lucera, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **High Throughput Production of OPV Modules with High Geometric Fill Factor via Laser Patterning**, 11th International Conference on Organic Electronics 2015 (ICOE 2015), Erlangen, Germany, 15.–17.06.2015

- P. Maisch, S. Keilwitz, F. W. Fecher, M. Müller, K. C. Tam, M. M. Voigt et al., **Inkjet Printing as Manufacturing Method for Organic Solar Cells and Modules**, 11th International Conference on Organic Electronics 2015 (ICOE 2015), Erlangen, Germany, 15.–17.06.2015
- P. Maisch, S. Keilwitz, F. W. Fecher, M. Müller, K. C. Tam, M. M. Voigt et al., **Inkjet Printing as Manufacturing Method for Organic Solar Cells and Modules**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- J. Manara, **Entwicklung von Wärmedämmsystemkomponenten**, Kick-Off-Tagung der BMBF-Förderbekanntmachung HighTechMatBau, Düsseldorf, Germany, 28.09.2015
- R. Morak, F. Putz, M. Elsaesser, G. Popovski, C. Balzer, A. Waag et al., **Structural Characterisation and Sorption-Induced Deformation of Hierarchical Silica Monoliths with Anisotropic Porosity**, 16th International Conference on Small-Angle Scattering (SAS 2015), Berlin, Germany, 13.–18.09.2015
- M. Neswal, P. Luchscheider, **Quartierspeicher zur Spannungshaltung im Niederspannungsnetz – Eine simulative Betrachtung der Batterienutzung**, Smart Grids Week 2015, Wien, Austria, 22.05.2015
- S. Pöllinger, **Modeling of a Refrigerant Evaporator in a PCM Storage**, 2nd Training School – Numerical Modelling of Thermal Energy Storage Systems, Lyon, France, 15.–17.06.2015
- M. Pröll, H. Karrer, P. Osgyan, **Schwachkonzentrierender CPC-PVT-Flachkollektor – Projektergebnisse**, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06.–08.05.2015
- C. Rathgeber, H. Schmit, L. Miró, L. F. Cabeza, A. Gutierrez, S. N. Ushak et al., **Analysis of Supercooling of Phase Change Materials with Increased Sample Size**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- M. Remy, **Temperature Management of a Large Scale Battery Storage**, 2nd Training School – Numerical Modelling of Thermal Energy Storage Systems, Lyon, France, 15.–17.06.2015
- P. Rieder, M. Fischer, S. Väh, A. Baumann, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Preparation and Characterization of Solution Processed Methylammonium Lead Halide Perovskite Solar Cells in Planar-Type Configuration**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- R. Schmidt, M. Luther, I. Mladenovic, C. Weindl, **Analysis of Low Voltage Networks with High Distributed Power Generation**, 23rd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2015), Lyon, France, 15.–18.06.2015
- H. Schmit, C. Rathgeber, W. Pfeffer, S. Hiebler, A. Hauer, **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 – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- A. Solodovnyk, B. Lipovšek, K. Forberich, E. Stern, J. Krč, M. Batentschuk et al., **Phosphor-Filled Luminescent Down-Shifting Layers for Organic PV: Reduced Scattering, Optical Model and Optimization**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- A. Sperlich, S. Väh, V. Dyakonov, **Charge Transfer in Polymer:PC60BM:PC70BM Ternary Blends: Which Fullerene gets the Electron?**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- A. Sperlich, S. Väh, A. Baumann, V. Dyakonov, **Electrically Detected EPR by Pulsed Charge Carrier Extraction for Application in Thin-Film Solar Cell Devices**, GDCh FGMR 37th Annual Meeting, Darmstadt, Germany, 07.–10.09.2015
- A. Sperlich, O. G. Poluektov, J. Niklas, V. Dyakonov, **Photoinduced Dynamics of Charge Separation: From Photosynthesis to Polymer-Fullerene Bulk Heterojunctions**, Electronic Properties of π -Conjugated Materials III, Würzburg, Germany, 10.–13.03.2015
- A. Steeger, F. Huewe, A. Casian, J. Pflaum, **The Potential of Quasi-One-Dimensional Organic Metals for Thermoelectric Applications**, 11th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM), Bad Gögging, Germany, 06.–11.09.2015
- B. Stender, S. F. Völker, N. Frühauf, C. Lambert, J. Pflaum et al., **Non-Invasive, Optical Read-Out of Charge Carrier Dynamics During OLED Operation by Means of Single Molecule Fluorescence Probes**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- K. Tvingstedt, O. Malinkiewicz, A. Baumann, C. Deibel, H. J. Snaith, V. Dyakonov et al., **Radiative Efficiency of MAPI Perovskite Solar Cells**, MRS Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, USA, 06.–10.04.2015
- S. Väh, K. Tvingstedt, A. Baumann, A. Sperlich, J. Love, V. Dyakonov et al., **Triplet Exciton Formation in High-Efficiency Donor-Acceptor Photovoltaic Blends**, GDCh FGMR 37th Annual Meeting, Darmstadt, Germany, 07.–10.09.2015
- S. Väh, K. Tvingstedt, A. Baumann, A. Sperlich, J. Love, V. Dyakonov et al., **Triplet Exciton Formation in High-Efficiency Donor-Acceptor Photovoltaic Blends**, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics, Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015
- C. Weber, G. Reichenauer, **Structure and Electrical Storage Characteristics of C-MnO₂ Hybrid-Electrodes**, 4th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (Hybrid Materials 2015), Sitges, Spain, 09.–13.03.2015

M. Wiener, I. Lederer, G. Reichenauer, **Sol-Gel-Synthesis: A Versatile Approach to Nanoporous Carbons**, Annual Conference NanoCarbon 2015, Würzburg, Germany, 24.–25.02.2015

3.1.4

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

R. Auer, **PV am ZAE Bayern – Bereich Erneuerbare Energien**, ZAE Tag 2015, Würzburg, Germany, 18.11.2015

C. Buerhop-Lutz, **Anwenden der Thermografie für PV-Gutachter**, 1. PV-Gutachterttag „EL & Thermografie in Theorie und Praxis“, Erlangen, Germany, 16.10.2015

C. Buerhop-Lutz, **Infrarot-Thermographie von PV-Modulen und PV-Anlagen**, 1. PV-Gutachterttag „EL & Thermografie in Theorie und Praxis“, Erlangen, Germany, 16.10.2015

C. Buerhop-Lutz, **Thermographische Untersuchungen von PV-Anlagen**, 2. ADLER Solar PV-Gutachterforum, Kirchheim bei München, Germany, 03.12.2015

M. Dalsass, **PV-Freiflächenanlagenthermografie aus der Luft – Sichtbarkeit von thermischen Auffälligkeiten im Anlagenmonitoring und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**, Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“, Erlangen, Germany, 16.07.2015

V. Dyakonov, **Charge Carrier Recombination and Electronic Trap States in Perovskite Solar Cells**, Seminar, University of Groningen, Groningen, The Netherlands, 04.12.2015

V. Dyakonov, **ENERGIE. ZUKUNFT. ZAE.**, Sitzung des Rates der Region Mainfranken, Würzburg, Germany, 27.07.2015

V. Dyakonov, **ENERGIE. ZUKUNFT. ZAE.**, Fachforum „Kooperation Wissenschaft & Wirtschaft“, Würzburg, Germany, 19.11.2015

V. Dyakonov, H.-P. Ebert, **Energieeffizienz durch Anpassung – Schaltbare Komponenten in der Gebäudehülle**, Symposium Faszination Forschung, Veranstaltungsreihe der Knauf Gips KG und der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Iphofen, Germany, 29.06.2015

V. Dyakonov, **Organic and Hybrid Organic-Inorganic Concepts for Photovoltaic Energy Conversion**, Colloquium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia, 05.06.2015

H.-P. Ebert, **Berufsbild Physiker/-in**, Tag der Technik, St.-Ursula-Schule, Würzburg, Germany, 02.07.2015

H.-P. Ebert, **Energieeffizienz im Gebäudebereich**, ZAE Tag 2015, Würzburg, Germany, 18.11.2015

H.-P. Ebert, **Energy Efficiency Center**, Mitgliederversammlung des Bezirksverbandes Unterfranken der Bayerischen Bauindustrie, Würzburg, Germany, 24.03.2015

Erneuerbare Energien, **Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte (PV-ZUM)**, Treffen des Netzwerks „Innovative Photovoltaik für zukünftige Märkte (PV-ZUM)“, Erlangen, Germany, 06.10.2015

Erneuerbare Energien, **Qualitätsmanagement-System für PV-Anlagen**, Kick-off-Meeting Projekt „AQUAM“, Erlangen, Germany, 06.02.2015

F. Fischer, S. Fendt, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Experimentelle Untersuchung der thermochemischen SNG Herstellung – Langzeiteffekte und Vergleich von Simulation und Realität**, Forschungskolloquium Bioenergie 2015, Straubing, Germany, 11.–12.02.2015

R. Gurtner, **Energieeffizienz in der Industrie durch Thermische Energiespeicherung**, Forschung zum Frühstück „Angewandte Forschung für die Energiewende – Energiespeicherung und Energieeffizienz“, Garching, Germany, 09.12.2015

S. Halama, H. Spliethoff, **Untersuchungen von Hochtemperaturvergasungs- und Gasreinigungprozessen für dynamische Stromerzeugungs- und Speichertechnologien**, Jahrestreffen der Fachgruppe Energieverfahrenstechnik, Bonn, Germany, 23.–24.02.2015

A. Hauer, **Vorstellung des Bereichs Energiespeicherung**, ZAE Tag 2015, Würzburg, Germany, 18.11.2015

M. Helm, **Solarthermische Heiz- und Kühlsysteme**, Ökoprofit, München, Germany, 14.10.2015

P. Hennemann, **MIKOPUK: Unterkühlung in mikro-kompartierten organischen PCM**, 2. Statusseminar der Förderinitiative Energiespeicher, Berlin, Germany, 22.–23.04.2015

S. Hiebler, **PC-Cools_S: Entwicklung eines Latentwärmespeichers und eines PCM-Slurry auf Salzhydratbasis mit Phasenwechseltemperatur 15 °C**, 2. Statusseminar der Förderinitiative Energiespeicher, Berlin, Germany, 22.–23.04.2015

U. Hoyer, **Anwenden der E-Lumineszenz für PV-Gutachter**, 1. PV-Gutachterttag „EL & Thermografie in Theorie und Praxis“, Erlangen, Germany, 16.10.2015

M. Kremling, L. Briesemeister, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Hochtemperaturvergasung von vorbehandelter Biomasse in einem Flugstromvergaser – Inbetriebnahme einer 100 kW Versuchsanlage**, Forschungskolloquium Bioenergie 2015, Straubing, Germany, 11.–12.02.2015

- A. Krönauer, **DiTES4Grid: Thermische Speicher als verschiebbare Lasten in elektrischen Netzen**, 2. Statusseminar der Förderinitiative Energiespeicher, Berlin, Germany, 22.–23.04.2015
- J. M. Kuckelkorn, **Energieeffizienz im Gebäude am Beispiel der FOS/BOS Erding**, Forschung zum Frühstück „Angewandte Forschung für die Energiewende – Energiespeicherung und Energieeffizienz“, Garching, Germany, 09.12.2015
- J. M. Kuckelkorn, **Hydraulic Conductivity and Freezing Resistance of BHE Systems**, IEA ECES Annex 27 Task Definition Workshop, Garching, Germany, 12.–14.10.2015
- P. Luchscheider, **Ergebnisse und Ausblick aus dem Forschungsprojekt „Smart Grid Solar Hof/Arzberg“**, Sitzung des Fachausschusses für Umwelt und Energie der IHK für Oberfranken Bayreuth, Hirschaid, Germany, 20.10.2015
- R. Marro, H. Spliethoff, M. Gaderer, **Einfluss der Torrefizierung auf die Brennstoff- sowie Ascheeigenschaften**, Forschungskolloquium Bioenergie 2015, Straubing, Germany, 11.–12.02.2015
- J. Pflaum, **Excitonic Processes in Organic Semiconductors: From Transport to Molecular Ammeters**, Max-Planck Seminar (AG Kern), Stuttgart, Germany, 01.07.2015
- J. Pflaum, **Excitonic States and their Transport Characteristics in Crystalline Molecular Semiconductors**, CAM-Kolloquium, Universität Heidelberg, Heidelberg, Germany, 05.02.2015
- J. Pflaum, **Excitons in Organic Semiconductors: From Intrinsic Transport Properties to Molecular Ammeters**, Kolloquium im Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany, 13.01.2015
- T. Pickel, C. Buerhop-Lutz, **Interpretation der IR-Aufnahmen von PV-Modulen**, Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“, Erlangen, Germany, 16.07.2015
- C. Rathgeber, **Was darf ein Wärmespeicher kosten? Welche Faktoren beeinflussen die Wirtschaftlichkeit?**, Thüga-Forum Thermische Energiespeicher, Erfurt, Germany, 21.–22.07.2015
- G. Reichenauer, **Nano macht den Unterschied!**, Energieseminar, Physikalisches Institut (Julius-Maximilians-Universität Würzburg), Würzburg, Germany, 27.10.2015
- G. Reichenauer, **Nanoporous Materials for Energy Technology – Research & Development of Nanoporous Materials at ZAE Bayern**, Seminar Mathematik (Julius-Maximilians-Universität Würzburg), Würzburg, Germany, 20.11.2015
- M. Reim, **Daylighting and Shading of the Energy Efficiency Center – Monitoring Results and User Acceptance**, Energieseminar, Physikalisches Institut (Julius-Maximilians-Universität Würzburg), Würzburg, Germany, 01.12.2015
- M. Reuß, **Techniken der Oberflächennahen Geothermie**, Die Energie der Alpen, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 22.–23.10.2015
- H. Scheuerpflug, C. Buerhop-Lutz, **Grundlagen der infraroptischen Vermessungen von PV-Anlagen aus der Luft**, Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“, Erlangen, Germany, 16.07.2015
- K. Speth, M. Murer, H. Spliethoff, **NOx-Minderung mit Ammoniak – Potential und Herausforderung**, Forschungskolloquium Bioenergie 2015, Straubing, Germany, 11.–12.02.2015
- H. Spliethoff, C. Wieland, **Die Geothermie-Allianz Bayern**, Praxisforum Geothermie.Bayern 2015, München, Germany, 26.–27.10.2015
- C. Stegner, **Speicher – zwischen technischer Lösung und gesetzlichen Hürden**, 3. Generalversammlung der BürgerEnergieHof eG, Hof, Germany, 23.06.2015
- A. Vetter, **Imaging for Quality Control of Thin Film Solar Cells**, The International School “Applications/Integration of Organic Electronics”, Erlangen, Germany, 20.–21.04.2015
- C. Wieland, H. Spliethoff, **Die Stromerzeugung aus geothermischer Wärme**, Die Energie der Alpen, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 22.–23.10.2015

3.2 VERÖFFENTLICHUNGEN PUBLICATIONS

3.2.1

Referierte Veröffentlichungen Peer-Reviewed Publications

J. Adams, G. D. Spyropoulos, M. Salvador, N. Li, S. Strohm, L. Lucera et al., **Air-Processed Organic Tandem Solar Cells on Glass: Toward Competitive Operating Lifetimes**, *Energy Environ. Sci.*, 8, 2015, 169-176

J. Adams, M. Salvador, L. Lucera, S. Langner, G. D. Spyropoulos, F. W. Fecher et al., **Water Ingress in Encapsulated Inverted Organic Solar Cells: Correlating Infrared Imaging and Photovoltaic Performance**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (20), 2015, 1501065

M. Arduini-Schuster, J. Manara, C. Vo, **Experimental Characterization and Theoretical Modeling of the Infrared-Optical Properties and the Thermal Conductivity of Foams**, *Int. J. Therm. Sci.*, 98, 2015, 156-164

H. Azimi, S. Kuhri, M. S. Stahl, Y. Hou, D. M. Guldi, C. J. Brabec, **Elucidating the Excited-State Properties of CuInS_2 Nanocrystals upon Phase Transformation: Quasi-Quantum Dots Versus Bulk Behavior**, *Adv. Electron. Mater.*, 1 (3), 2015, 1500040

H. Azimi, T. Ameri, H. Zhan, Y. Hou, C. O. R. Quiroz, J. Min et al., **A Universal Interface Layer Based on an Amine-Functionalized Fullerene Derivative with Dual Functionality for Efficient Solution Processed Organic and Perovskite Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (8), 2015, 1401692

C. Balzer, S. Braxmeier, A. V. Neimark, G. Reichenauer, **Deformation of Microporous Carbon during Adsorption of Nitrogen, Argon, Carbon Dioxide, and Water Studied by in Situ Dilatometry**, *Langmuir*, 31 (45), 2015, 12512-12519

C. Balzer, R. Morak, M. Erko, C. Triantafyllidis, N. Hüsing, G. Reichenauer et al., **Relationship between Pore Structure and Sorption-Induced Deformation in Hierarchical Silica-Based Monoliths**, *Z. Phys. Chem.*, 229 (7-8), 2015, 1189-1209

D. Baran, S. Erten-Ela, A. Kratzer, T. Ameri, C. J. Brabec, A. Hirsch, **Facile Synthesis and Photovoltaic Applications of a New Alkylated Bismethano Fullerene as Electron Acceptor for High Open Circuit Voltage Solar Cells**, *RSC Adv.*, 5 (79), 2015, 64724-64730

D. Baran, M. S. Vezie, N. Gasparini, F. Deledalle, J. Yao, B. C. Schroeder et al., **Role of Polymer Fractionation in Energetic Losses and Charge Carrier Lifetimes of Polymer: Fullerene Solar Cells**, *J. Phys. Chem. C*, 119 (34), 2015, 19668-19673

A. Baumann, S. Väh, P. Rieder, M. C. Heiber, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Identification of Trap States in Perovskite Solar Cells**, *J. Phys. Chem. Lett.*, 6 (12), 2015, 2350-2354

W. Behr, V. C. Behr, G. Reichenauer, **Self Diffusion Coefficients of Organic Solvents and their Binary Mixtures with CO_2 in Silica Alcolgels at Pressures up to 6 MPa Derived by NMR Pulsed Gradient Spin Echo**, *J. Supercrit. Fluids*, 106, 2015, 50-56

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**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 141, 2015, 398-406

C. J. Brabec, T. Ameri, **Special Section Guest Editorial: Solution-Processable Organic Solar Cells**, *J. Photon. Energy.*, 5 (1), 2015, 057201

M. Brendel, S. Krause, A. Steindamm, A. K. Topczak, S. Sundarraj, P. Erk et al., **The Effect of Gradual Fluorination on the Properties of FnZnPc Thin Films and $\text{FnZnPc}/\text{C}_{60}$ Bilayer Photovoltaic Cells**, *Adv. Funct. Mater.*, 25 (10), 2015, 1565-1573

C. Bronnbauer, J. Hornich, N. Gasparini, F. Guo, B. Hartmeier, N. A. Luechinger et al., **Printable Dielectric Mirrors with Easily Adjustable and Well-Defined Reflection Maxima for Semitransparent Organic Solar Cells**, *Adv. Opt. Mater.*, 3 (10), 2015, 1424-1430

S. Brückner, S. Liu, L. Miró, M. Radspieler, L. F. Cabeza, E. Lävemann, **Industrial Waste Heat Recovery Technologies: An Economic Analysis of Heat Transformation Technologies**, *Appl. Energy*, 151, 2015, 157-167

K. Burlafinger, A. Vetter, C. J. Brabec, **Maximizing Concentrated Solar Power (CSP) Plant Overall Efficiencies by Using Spectral Selective Absorbers at Optimal Operation Temperatures**, *Sol. Energy*, 120, 2015, 428-438

L. F. Cabeza, L. Miró, E. Oró, A. de Gracia, V. Martin, A. Krönauer et al., **CO_2 Mitigation Accounting for Thermal Energy Storage (TES) Case Studies**, *Appl. Energy*, 155, 2015, 365-377

W. Chen, Y. Hou, A. Osvet, F. Guo, P. Kubis, M. Batentschuk et al., **Sub-Bandgap Photon Harvesting for Organic Solar Cells via Integrating Up-Conversion Nanophosphors**, *Org. Electron.*, 19, 2015, 113-119

U. Dettinger, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, F. Latteyer, H. Peisert, T. Chassé, **FTIR Study of the Impact of $\text{PC}[60]\text{BM}$ on the Photodegradation of the Low Band Gap Polymer PCPDTBT under O_2 Environment**, *Chem. Mater.*, 27 (7), 2015, 2299-2308

S. Fendt, A. Buttler, M. Gaderer, H. Spliethoff, **Comparison of Synthetic Natural Gas Production Pathways for the Storage of Renewable Energy**, *WIRES Energy Environ.*, 2015, doi: 10.1002/wene.189

H. Fink, M. Remy, **Shunt Currents in Vanadium Flow Batteries: Measurement, Modeling and Implications for Efficiency**, *J. Power Sources*, 284, 2015, 547-553

- F. Fischer, E. Lävemann, **Multiple Sample Setup for Testing the Hydrothermal Stability of Adsorbents in Thermal Energy Storage Applications**, *Meas. Sci. Technol.*, 26, 2015, 065603
- K. Forberich, F. Guo, C. Bronnbauer, C. J. Brabec, **Efficiency Limits and Color of Semitransparent Organic Solar Cells for Application in Building-Integrated Photovoltaics**, *Energy Technology*, 3 (10), 2015, 1051-1058
- F. Fuchs, B. Stender, M. Trupke, D. Simin, J. Pflaum, V. Dyakonov et al., **Engineering Near-Infrared Single-Photon Emitters with Optically Active Spins in Ultrapure Silicon Carbide**, *Nat. Commun.*, 6, 2015, 7578
- N. Gasparini, M. Salvador, S. Fladischer, A. Katsouras, A. Avgeropoulos, E. Spiecker et al., **An Alternative Strategy to Adjust the Recombination Mechanism of Organic Photovoltaics by Implementing Ternary Compounds**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (24), 2015, 1501527
- N. Gasparini, A. Katsouras, M. I. Prodromidis, A. Avgeropoulos, D. Baran, M. Salvador et al., **Photophysics of Molecular-Weight-Induced Losses in Indacenodithienothiophene-Based Solar Cells**, *Adv. Funct. Mater.*, 25 (30), 2015, 4898-4907
- F. Guo, N. Li, F. W. Fecher, N. Gasparini, C. O. R. Quiroz, C. Bronnbauer et al., **A Generic Concept to Overcome Bandgap Limitations for Designing Highly Efficient Multi-Junction Photovoltaic Cells**, *Nat. Commun.*, 6, 2015, 7730
- F. Guo, P. Kubis, T. Przybilla, E. Spiecker, A. Hollmann, S. Langner et al., **Nanowire Interconnects for Printed Large-Area Semitransparent Organic Photovoltaic Modules**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (12), 2015, 1401779
- F. Guo, N. Li, V. V. Radmilovic, V. R. Radmilovic, M. Turbiez, E. Spiecker et al., **Fully Printed Organic Tandem Solar Cells Using Solution-Processed Silver Nanowires and Opaque Silver as Charge Collecting Electrodes**, *Energy Environ. Sci.*, 8 (6), 2015, 1690-1697
- F. Guo, H. Azimi, Y. Hou, T. Przybilla, M. Hu, C. Bronnbauer et al., **High-Performance Semitransparent Perovskite Solar Cells with Solution-Processed Silver Nanowires as Top Electrodes**, *Nanoscale*, 7, 2015, 1642-1649
- F. Guo, S. Chen, Z. Chen, H. Luo, Y. Gao, T. Przybilla et al., **Printed Smart Photovoltaic Window Integrated with an Energy-Saving Thermochromic Layer**, *Adv. Opt. Mater.*, 3 (11), 2015, 1524-1529
- S. Halama, H. Spliethoff, **Numerical Simulation of Entrained Flow Gasification: Reaction Kinetics and Char Structure Evolution**, *Fuel Process. Technol.*, 138, 2015, 314-324
- A. Hashemi, A. Vetter, G. Jovicic, M. Batentschuk, C. J. Brabec, **Temperature Measurements Using YAG : Dy and YAG : Sm Under Diode Laser Excitation (405 nm)**, *Meas. Sci. Technol.*, 26 (7), 2015, 075202
- T. He, M. Stolte, C. Burschka, N. H. Hansen, T. Musiol, J. Pflaum et al., **Single-Crystal Field-Effect Transistors of new Cl₂-NDI Polymorph Processed by Sublimation in Air**, *Nat. Commun.*, 6, 2015, 5954
- M. C. Heiber, C. Baumbach, V. Dyakonov, C. Deibel, **Encounter-Limited Charge-Carrier Recombination in Phase-Separated Organic Semiconductor Blends**, *Phys. Rev. Lett.*, 114, 2015, 136602
- M. T. Hessmann, T. Kunz, T. Ahmad, D. Li, S. Wittmann, A. Riecke et al., **Solar Cell Fabricated on Welded Thin Flexible Silicon**, *EPL Photovoltaics*, 6, 2015, 60302
- T. Heumueller, T. M. Burke, W. R. Mateker, I. T. Sachs-Quintana, K. Vandewal, C. J. Brabec et al., **Disorder-Induced Open-Circuit Voltage Losses in Organic Solar Cells During Photoinduced Burn-In**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (14), 2015, 1500111
- Y. Hou, H. Zhang, W. Chen, S. Chen, C. O. R. Quiroz, H. Azimi et al., **Inverted, Environmentally Stable Perovskite Solar Cell with a Novel Low-Cost and Water-Free PEDOT Hole-Extraction Layer**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (15), 2015, 1500543
- Y. Hou, C. O. R. Quiroz, S. Scheiner, W. Chen, T. Stubhan, A. Hirsch et al., **Low-Temperature and Hysteresis-Free Electron-Transporting Layers for Efficient, Regular, and Planar Structure Perovskite Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 5, 2015, 1501056
- Y. Hou, H. Azimi, N. Gasparini, M. Salvador, W. Chen, L. S. Khanzada et al., **Low-Temperature Solution-Processed Kesterite Solar Cell Based on in Situ Deposition of Ultrathin Absorber Layer**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7 (38), 2015, 21100-21106
- F. Huewe, A. Steeger, I. Bauer, S. Doerrich, P. Stroehriegel, J. Pflaum, **Energy Exchange between Phononic and Electronic Subsystems Governing the Nonlinear Conduction in DCNQI₂Cu**, *Phys. Rev. B*, 92, 2015, 155107
- S. Kahmann, A. Mura, L. Protesescu, M. V. Kovalenko, C. J. Brabec, M. A. Loi, **Opto-Electronics of PbS Quantum Dot and Narrow Bandgap Polymer Blends**, *J. Mater. Chem. C*, 3 (21), 2015, 5499-5505
- S. Karuthedath, T. Saueremann, H.-J. Egelhaaf, R. Wannemacher, C. J. Brabec, L. Luer, **The Effect of Oxygen Induced Degradation on Charge Carrier Dynamics in P3HT:PCBM and Si-PCPDTBT:PCBM Thin Films and Solar Cells**, *J. Mater. Chem. A*, 3 (7), 2015, 3399-3408

- A. Katsouras, N. Gasparini, C. Koulogiannis, M. Spanos, T. Ameri, C. J. Brabec et al., **Systematic Analysis of Polymer Molecular Weight Influence on the Organic Photovoltaic Performance**, *Macromol. Rapid Commun.*, 36 (20), 2015, 1778-1797
- J. Krantz, K. Forberich, P. Kubis, F. Machui, J. Min, T. Stubhan et al., **Printing High Performance Reflective Electrodes for Organic Solar Cells**, *Org. Electron.*, 17, 2015, 334-339
- A. Krönauer, E. Lävemann, S. Brückner, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, *Energy Procedia*, 73, 2015, 272-280
- P. Kubis, N. Li, T. Stubhan, F. Machui, G. J. Matt, M. M. Voigt et al., **Patterning of Organic Photovoltaic Modules by Ultrafast Laser**, *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 23 (2), 2015, 238-246
- D. Li, S. Wittmann, T. Kunz, T. Ahmad, N. Gawehns, M. T. Hessmann et al., **Recrystallized Thin-Film Silicon Solar Cell on Graphite Substrate with Laser Single Side Contact and Hydrogen Passivation**, *EPJ Photovoltaics*, 6, 2015, 60301
- D. Li, T. Kunz, N. Wolf, J. P. Liebig, S. Wittmann, T. Ahmad et al., **Silicon Nitride and Intrinsic Amorphous Silicon Double Antireflection Coatings for Thin-Film Solar Cells on Foreign Substrates**, *Thin Solid Films*, 583, 2015, 25-33
- N. Li, C. J. Brabec, **Air-Processed Polymer Tandem Solar Cells with Power Conversion Efficiency Exceeding 10 %**, *Energy Environ. Sci.*, 8 (10), 2015, 2902-2909
- B. Lipovšek, A. Solodovnyk, K. Forberich, E. Stern, J. Krč, C. J. Brabec et al., **Optical Model for Simulation and Optimization of Luminescent Down-Shifting Layers Filled with Phosphor Particles for Photovoltaics**, *Opt. Express*, 23 (15), 2015, A882-A895
- W. Liu, D. Meinel, M. Gleinser, C. Wieland, H. Spliethoff, **Optimal Heat Source Temperature for Thermodynamic Optimization of Sub-Critical Organic Rankine Cycles**, *Energy*, 88, 2015, 897-906
- F. Livi, R. R. Søndergaard, T. R. Andersen, B. Roth, S. Gevorgyan, H. F. Dam et al., **Round-Robin Studies on Roll-Processed ITO-Free Organic Tandem Solar Cells Combined with Inter-Laboratory Stability Studies**, *Energy Technology*, 3 (4), 2015, 423-427
- L. Lucera, P. Kubis, F. W. Fecher, C. Bronnbauer, M. Turbiez, K. Forberich et al., **Guidelines for Closing the Efficiency Gap between Hero Solar Cells and Roll-to-Roll Printed Modules**, *Energy Technology*, 3, 2015, 373-384
- Y. N. Luponosov, J. Min, A. V. Bakirov, P. V. Dmitryakov, S. N. Chvalun, S. M. Peregudova et al., **Effects of Bridging Atom and π -Bridge Length on Physical and Photovoltaic Properties of A- π -D- π -A Oligomers for Solution-Processed Organic Solar Cells**, *Dyes Pigm.*, 122, 2015, 213-223
- Y. N. Luponosov, J. Min, D. A. Khanin, D. Baran, S. A. Pisarev, S. M. Peregudova et al., **Synthesis and Photovoltaic Effect in Red/Near-Infrared Absorbing A-D-A-D-A-Type Oligothiophenes Containing Benzothiadiazole and Thienothiadiazole Central Units**, *J. Photon. Energy*, 5 (1), 2015, 057213
- F. Machui, P. Maisch, I. Burgués-Ceballos, S. Langner, J. Krantz, T. Ameri et al., **Classification of Additives for Organic Photovoltaic Devices**, *ChemPhysChem*, 16 (6), 2015, 1275-1280
- F. Menhart, M. Riepl, S. Natzer, **Effect of the Surface Texture on the Heat Transfer Coefficient in Nucleate Boiling of Aqueous Lithium Bromide Solution at Low Heat Fluxes**, *Science and Technology for the Built Environment*, 21 (3), 2015, 258-266
- J. Min, Y. N. Luponosov, N. Gasparini, M. Richter, A. V. Bakirov, M. A. Shcherbina et al., **Effects of Alkyl Terminal Chains on Morphology, Charge Generation, Transport, and Recombination Mechanisms in Solution-Processed Small Molecule Bulk Heterojunction Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (17), 2015, 1500386
- J. Min, Y. N. Luponosov, N. Gasparini, L. Xue, F. V. Drozdov, S. M. Peregudova et al., **Integrated Molecular, Morphological and Interfacial Engineering Towards Highly Efficient and Stable Solution-Processed Small Molecule Solar Cells**, *J. Mater. Chem. A*, 3 (45), 2015, 22695-22707
- J. Min, Z.-G. Zhang, Y. Hou, C. O. R. Quiroz, T. Przybilla, C. Bronnbauer et al., **Interface Engineering of Perovskite Hybrid Solar Cells with Solution-Processed Perylene-Diimide Heterojunctions toward High Performance**, *Chem. Mater.*, 27 (1), 2015, 227-234
- L. Miró, S. Brückner, L. F. Cabeza, **Mapping and Discussing Industrial Waste Heat (IWH) Potentials for Different Countries**, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 51, 2015, 847-855
- C. J. Mueller, M. Brendel, P. Ruckdeschel, J. Pflaum, M. Thelakkat, **Diketopyrrolopyrroles with a Distinct Energy Level Cascade for Efficient Charge Carrier Generation in Organic Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 5 (21), 2015, 1500914
- J. Niklas, S. Beaupré, M. Leclerc, T. Xu, L. Yu, V. Dyakonov et al., **Photoinduced Dynamics of Charge Separation: From Photosynthesis to Polymer-Fullerene Bulk Heterojunctions**, *J. Phys. Chem. B*, 119 (24), 2015, 7407-7416
- E. Osterman, K. Hagel, C. Rathgeber, V. Butala, U. Stritih, **Parametrical Analysis of Latent Heat and Cold Storage for Heating and Cooling of Rooms**, *Appl. Therm. Eng.*, 84, 2015, 138-149

- C. O. R. Quiroz, I. Levchuk, C. Bronnbauer, M. Salvador, K. Forberich, T. Heumüller et al., **Pushing Efficiency Limits for Semitransparent Perovskite Solar Cells**, *J. Mater. Chem. A*, 3 (47), 2015, 24071-24081
- C. Rathgeber, E. Lävemann, A. Hauer, **Economic Top-Down Evaluation of the Costs of Energy Storages – A Simple Economic Truth in Two Equations**, *Journal of Energy Storage*, 2, 2015, 43-46
- C. Scherdel, G. Reichenauer, **Highly Porous Silica Xerogels without Surface Modification**, *J. Supercrit. Fluids*, 106, 2015, 160-166
- H. Schmit, S. Pöllinger, W. Pfeffer, S. Hiebler, **Calorimetric and Theoretical Determination of the Concentration Dependent Enthalpy Change Around $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$** , *Thermochim. Acta*, 609, 2015, 20-30
- H. Schmit, C. Rathgeber, P. Hennemann, S. Hiebler, **Determination of the Eutectic Concentration between $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and NaNO_3 Using the DSC Peak Sharpness Method**, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 121, 2015, 937-941
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Experimental Investigation of the Concentration Dependent Maximum Storage Capacity of two Inorganic Phase Change Materials**, *Energy Procedia*, 73, 2015, 231-238
- R. Schreiner, E. G. Hencke, H.-P. Ebert, **Intercomparison of Thermal Conductivity Measurements on an Expanded Glass Granulate in a Wide Temperature Range**, *Int. J. Therm. Sci.*, 95, 2015, 99-105
- D. Simin, F. Fuchs, H. Kraus, A. Sperlich, P. G. Baranov, G. V. Astakhov et al., **High-Precision Angle-Resolved Magnetometry with Uniaxial Quantum Centers in Silicon Carbide**, *Phys. Rev. Applied*, 4, 2015, 014009
- A. Solodovnyk, K. Forberich, E. Stern, J. Krč, M. Topič, M. Batentschuk et al., **Highly Transmissive Luminescent Down-Shifting Layers Filled with Phosphor Particles for Photovoltaics**, *Optical Materials Express*, 5 (6), 2015, 1296-1305
- B. M. Squeo, N. Gasparini, T. Ameri, A. Palma-Cando, S. Allard, V. G. Gregoriou et al., **Ultra Low Band Gap α , β -Unsubstituted BODIPY-Based Copolymer Synthesized by Palladium Catalyzed Cross-Coupling Polymerization for Near Infrared Organic Photovoltaics**, *J. Mater. Chem. A*, 3, 2015, 16279-16286
- M. S. Stahl, H. Azimi, C. J. Brabec, **A Facile One-Step Method to Reduce Surface Impurities in Solution-Processed CuInS_2 Nanocrystal Solar Cells**, *J. Mater. Chem. A*, 3 (27), 2015, 14116-14120
- J. Stejskal, M. Trchová, Z. Morávková, P. Bober, M. Bláha, J. Pflieger et al., **Conducting Materials Prepared by the Oxidation of p-Phenylenediamine with p-Benzoquinone**, *J. Solid State Electrochem.*, 19 (9), 2015, 2653-2664
- A. Trubetskaya, P. A. Jensen, A. D. Jensen, M. Steibel, H. Spliethoff, P. Glarborg, **Influence of Fast Pyrolysis Conditions on Yield and Structural Transformation of Biomass Chars**, *Fuel Process. Technol.*, 140, 2015, 205-214
- S. Vidi, H. Mehling, F. Hemberger, T. Hausmann, A. Laube, **Round-Robin Test of Paraffin Phase-Change Material**, *Int. J. Thermophys.*, 36 (10), 2015, 2518-2522
- V. Volland, U. Hoyer, R. Auer, M. Salamon, N. Uhlmann, C. J. Brabec, **Defect Recognition in Crystalline Silicon Solar Cells by X-Ray Tomosynthesis with Layer Resolution**, *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 23 (1), 2015, 124-130
- H.-Q. Wang, M. Mackovic, A. Osvet, I. Litzov, E. Epelbaum, A. Stiegelschmitt et al., **A New Crystal Phase Molybdate $\text{Yb}_2\text{Mo}_4\text{O}_{15}$: The Synthesis and Upconversion Properties**, *Part. Part. Syst. Char.*, 32 (3), 2015, 340-346
- Y. Wang, J. M. Kuckelkorn, F. Y. Zhao, D. Liu, A. Kirschbaum, J. L. Zhang, **Evaluation on Classroom Thermal Comfort and Energy Performance of Passive School Building by Optimizing HVAC Control Systems**, *Build. Environ.*, 89, 2015, 86-106
- C. Weber, G. Reichenauer, J. Pflaum, **Electroless Preparation and SAXS Microstructural Analysis of Pseudocapacitive Carbon Manganese Oxide Supercapacitor Electrodes**, *Langmuir*, 31 (2), 2015, 782-788
- L. Weigold, G. Reichenauer, **Correlation between the Elastic Modulus and Heat Transport along the Solid Phase in Highly Porous Materials: Theoretical Approaches and Experimental Validation Using Polyurea Aerogels**, *J. Supercrit. Fluids*, 106, 2015, 69-75
- M. Wiener, G. Reichenauer, **Microstructure of Porous Carbons Derived from Phenolic Resin – Impact of Annealing at Temperatures up to 2000 °C Analyzed by Complementary Characterization Methods**, *Microporous Mesoporous Mater.*, 203, 2015, 116-122
- K. Zheng, A. Solodovnyk, W. Li, O.-M. Goudouri, C. Stähli, S. N. Nazhat et al., **Aging Time and Temperature Effects on the Structure and Bioactivity of Gel-Derived 4555 Glass-Ceramics**, *J. Am. Ceram. Soc.*, 98 (1), 2015, 30-38
- A. Zusan, B. Gieseking, M. Zerson, V. Dyakonov, R. Magerle, C. Deibel, **The Effect of Diiodooctane on the Charge Carrier Generation in Organic Solar Cells Based on the Copolymer PBDTTT-C**, *Sci. Rep.*, 5, 2015, 8286

3.2.2

Bücher, Manuskripte Books, Manuscripts

H.-P. Ebert, **Functional Materials for Energy-Efficient Buildings**, in: EPJ Web of Conferences, Lectures Notes – Joint EPS-SIF International School on Energy – Course 2 Energy: Basic Concepts and Forefront Ideas, eds.: L. Cifarelli, F. Wagner, Volume 98, 08001, Varenna, 2015, 1-14, ISBN 978-88-7438-094-7

N. Li, T. Ameri, C. J. Brabec, **Organic Tandem Solar Cells**, in: Organic Solar Cells: Materials, Devices, Interfaces, and Modeling, eds.: Q. Qiao, CRC Press, Boca Raton, 2015, 337-377, ISBN 978-1-4822-2983-7

3.2.3

Referierte Tagungsbandbeiträge Conference Papers

P. Bazan, P. Luchscheider, R. German, **Rapid Modeling and Simulation of Hybrid Energy Networks**, SmartER Europe 2015, Essen, Germany, 07.10.2015, p. 47-54, ISSN 2365-1156

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, **Characterization of Defects in PV-Modules by their Temperature Development Using IR-Thermography**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14. – 18.09.2015

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, T. Pickel, **Defect Analysis of Installed PV-Modules – IR-Thermography and In-String Power Measurement**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14. – 18.09.2015, p. 1692-1697

M. Dalsass, H. Scheuerpflug, M. Maier, C. J. Brabec, **Correlation between the Monitoring Data of a Photovoltaic Power Plant and Module Defects Detected by Drone-Mounted Thermography**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14. – 18.09.2015

M. Gaaß, F. Fischer, E. Lävemann, A. Hauer, **Seasonal Heat Storage Based on Zeolite**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09. – 11.03.2015

S. Gschwander, T. Haussmann, G. Hagelstein, A. Sole, L. F. Cabeza, G. Diarce et al., **Standardization of PCM Characterization via DSC**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19. – 21.05.2015

S. Gschwander, T. Haussmann, G. Hagelstein, C. Barreneche, L. F. Cabeza, G. Diarce et al., **Standardization of PCM Characterization via DSC**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02. – 04.12.2015

A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02. – 03.07.2015, p. 13-22

M. Helm, A. Preisler, D. Neyer, A. Thuer, R. Siré, M. Safarik et al., **Pumps Efficiency and Adaptability**, OTTI 6th International Conference “Solar Air-Conditioning”, Fiumicino, Italy, 24. – 25.09.2015, p. 225-230

P. Hennemann, H. Schmit, S. Hiebler, A. Hauer, **A Novel Optical Method to Investigate Supercooling of Microencapsulated PCM**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19. – 21.05.2015

P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, **Physical Limitations to the Usage of PCM – A Theoretical Approach**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19. – 21.05.2015

S. Hippeli, H. Weinläder, H.-P. Ebert, **Thermisches Messverfahren für mobile Ug-Wert-Messungen an Verglasungen**, Bauphysiktage, Kaiserslautern, Germany, 21. – 22.10.2015

H. Karrer, M. Pröll, P. Osgyan, **Thermische Anbindung von PV-Zellen in einem CPC-PVT-Kollektor**, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06. – 08.05.2015, p. 48-49

A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, F. Bailly et al., **Intelligent Thermal Energy Storage as Switchable Loads for Grid Stress Reduction**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19. – 21.05.2015

A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hennemann, S. Hiebler, A. Hauer, F. Bailly et al., **Intelligente thermische Speicher als verschiebbare Last im elektrischen Netz**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02. – 03.07.2015, p. 131-138

A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19. – 21.05.2015

A. Krönauer, E. Lävemann, S. Brückner, A. Hauer, **Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09. – 11.03.2015

- E. Lävemann, **Thermische Energiespeicher – Thermodynamische Betrachtungen**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015, p. 23-34
- B. Lipovšek, A. Solodovnyk, K. Forberich, E. Stern, C. J. Brabec, J. Krč et al., **Optical Model for Simulation and Optimization of Luminescent Down-Shifting Layers in Photovoltaics**, E-MRS 2015 Spring Meeting, Lille, France, 11.–15.05.2015, Energy Procedia, 84, 2015
- M. Pröll, H. Karrer, P. Osgyan, **Schwachkonzentrierender CPC-PVT-Flachkollektor – Projektergebnisse**, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 06.–08.05.2015, p. 50-51
- C. Rathgeber, H. Schmit, L. Miró, L. F. Cabeza, A. Gutierrez, S. N. Ushak et al., **Analysis of Supercooling of Phase Change Materials with Increased Sample Size – Comparison of Measurements via DSC, T-History and at Pilot Plant Scale**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **Economic Evaluation of Thermal Energy Storages via Top-Down and Bottom-Up Approach**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- C. Rathgeber, S. Hiebler, E. Lävemann, A. Hauer, **IEA SHC Task 42 / ECES Annex 29 – A Simple Tool for the Economic Evaluation of Thermal Energy Storages**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02.–04.12.2015
- C. Rathgeber, **Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher**, OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015, p. 35-44
- M. Reim, **Control Strategies and User Acceptance of Innovative Daylighting and Shading Concepts**, 10th Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 03.–04.11.2015
- M. Reim, W. Körner, H. Weinläder, **Daylighting and Shading of the Energy Efficiency Center – Monitoring Results and User Acceptance**, International Conference CISBAT, Lausanne, Switzerland, 09.–11.09.2015
- M. Reim, W. Körner, **Innovative Daylighting and Shading Concept – The Energy Efficiency Center**, Advanced Building Skins, Graz, Austria, 23.–24.04.2015
- M. Reuß, **IEA ECES Annex 27 – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden in Planung, Bau und Betrieb**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015
- M. Reuß, **VDI 4640 – das neue Blatt 2**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015
- A. Ristić, S. Furbo, C. Moser, H. Schranzhofer, A. Lazaro, M. Delgado et al., **IEA SHC Task 42 / ECES Annex 29 – Working Group A1: Engineering and Processing of PCMs, TCMs and Sorption Materials**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02.–04.12.2015
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, A. Hauer, **Calorimetric Investigation of the Concentration Dependent Enthalpy Change Around Semi-Congruent Melting $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$** , Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- H. Schmit, C. Rathgeber, W. Pfeffer, S. Hiebler, A. Hauer, **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 – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015
- H. Schmit, W. Pfeffer, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Experimental Investigation of the Concentration Dependent Maximum Storage Capacity of Two Inorganic Phase Change Materials**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015
- A. Schmutzer, J. Bogenrieder, G. Jung, P. Luchscheider, S. Müller, R. Schmidt et al., **Integrated Approach for Smart Grid Data Acquisition, Transmission and Evaluation**, 5th International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems, Brüssel, Belgium, 19.–20.10.2015, p. 81-89, ISBN 978-3-9816549-2-9
- L. Staudacher, **Geothermische Weichenheizung – Entwicklung & Feldtest**, OTTI 14. Internationales Anwenderforum „Oberflächennahe Geothermie“, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 16.–17.06.2015
- C. Stegner, P. Luchscheider, J. Bogenrieder, R. German, C. J. Brabec, **Profitability and LCOE of Small Solar Battery Systems – The German Case**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015
- C. Stegner, J. Bogenrieder, S. Auer, P. Luchscheider, R. German, C. J. Brabec, **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Haushaltsspeichern und realdatengestützte Untersuchung des elektrischen Eigenverbrauchs von PV-Strom**, NEIS 2015 Konferenz „Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern“, Hamburg, Germany, 10.–11.09.2015

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**, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC Conference), Istanbul, Turkey, 02.–04.12.2015

3.2.4

Sonstige Veröffentlichungen Miscellaneous Publications

H. Anbergen, J. Frank, M. Reuß, J. M. Kuckelkorn, L. Müller, I. Sass, **Hydraulische Integrität des Systems Erdwärmesonde**, bbr Leitungsbau|Brunnenbau|Geothermie, 02/2015, p. 34-41

A. Bucher, F. Kohlrausch, J. M. Kuckelkorn, R. Troll, **Berechenbare Unterstützung der Klimatisierung von energetisch hocheffizienten Gebäuden durch dezentrale, funktionale Innenraumbegrünung**, Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau, BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Az. II 3-F20-11-1-120 / SWD-10.08.18.7-13.02), 06/2015

C. Buerhop-Lutz, **Inspection of PV Plants Using Drone-Mounted Thermography**, PV-Tech Power, 03/2015, p. 60-62

V. Dyakonov, **Perowskit-Halbleiter erobern die (Dünnschicht-)Photovoltaik**, Bayern Innovativ, Cluster Energietechnik, Nürnberg, 06/2015, <http://www.bayern-innovativ.de/cluster-energietechnik/energieumstieg/perowskit>

H.-P. Ebert, **Lösungen für Energiesparfische**, Unternehmen ZUKUNFT Bauen, Entwicklungen und Perspektiven der Bau- und Immobilienbranche, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 05.06.2015, p. 84-86

K. Habicht, K. Fritsch, C. Koch, A. Wörner, T. Bauer, S. Henninger et al., **Materialforschung für die Energiewende**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

A. Hauer, **Kolumne Wissen: Das KfW-Speicherprogramm zu beenden ist falsch**, neue energie - Das Magazin für erneuerbare Energien, 12/2015, p. 51-52

M. Helm, A. Preisler, D. Neyer, A. Thuer, R. Siré, M. Safarik et al., **Final Report on Pumps Efficiency and Adaptability**, IEA SHC Task 48 Meeting: Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems, Shanghai, 20.–21.03.2015, <http://task48.iea-shc.org/publications>

J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum, F. Volz, M. Biank, **Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf: 3. Abschlussbericht, Dokumentation der Monitoringphase**, DBU Abschlussbericht (Az. 26170/03-25), 31.03.2015

J. Manara, M. Arduini, T. Kaup, M. Boos, **Entwicklung von Wärmedämmsystemkomponenten und -oberflächen auf der Basis nanostrukturierter Materialien**, Kick-Off-Tagung der BMBF-Förderbekanntmachung HighTechMatBau, Düsseldorf, Germany, 28.09.2015, p. 101-104

I. Moeck, J. M. Kuckelkorn, **Tiefengeothermie als Grundlastwärmequelle in der Metropolregion München**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

A. Otto, T. Grube, J. Kaiser, M. Krause, A. Krönauer, A. Ortwein et al., **Wärme und Effizienz für die Industrie**, FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

M. Reuß, **(Wärme-)Energie aus dem Erdreich – Grundlagen für die Planung und Errichtung erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen auf Basis VDI 4640 Blatt 2**, IKZ-FACHPLANER, 12/2015

3.3 STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN DEGREE AND DOCTORAL THESES

3.3.1

Studienabschlussarbeiten Degree Theses

L. M. Abberger, **Analyse des deutschen Marktes für Minutenreserve im Hinblick auf den Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien**, TU München, Maschinenwesen, 09/2015, Bachelor

B. Alavi, **Strahlungsthermometrische Charakterisierungen bei hohen Temperaturen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2015, Master

M. Armer, **Herstellung und Charakterisierung von metallorganischen Perowskit Einkristallen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 08/2015, Bachelor

I. N. Binti Zamsari, **Investigation on Anti-Corrosion Organic Coating for Phase Change Materials**, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Applied Chemistry, 09/2015, Bachelor

A. Bode, **Bestimmung elektrischer Parameter an CIGS-Solarzellen mit bildgebenden Verfahren**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 09/2015, Bachelor

S. Brütting, **Übersicht, Betriebsmittel und grundlegende Funktionsweise intelligenter Verteilnetze und der hierfür notwendigen informationstechnischen Komponenten**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 03/2015, Bachelor

J. Dettelbacher, **Infrarot-Untersuchung von fehlerhaften PV-Modulen unter realitätsnahen Testbedingungen**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 08/2015, Bachelor

L. Eisenhofer, **Process Development for Inkjet Printing of PEDOT:PSS Hole Injection Layers**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2015, Master

B. Emmerling, **Berührungslose Temperaturmessung unter extremen Bedingungen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 07/2015, Bachelor

J. Ermer, **Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur Parameterbestimmung und Validierung eines Batteriemodells**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 09/2015, Bachelor

M. Frank, **Phase Change Slurry Based on $K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$** , TU München, Maschinenwesen, 09/2015, Diplom

S. Gehret, **Modellierung der mikro- und makroskopischen Verformung eines hierarchisch strukturierten porösen Silica-Werkstoffes**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Maschinenbau, 09/2015, Diplom

B. Gerlicher, **Modellierung, dynamische Simulation und Optimierung eines Energiespeichersystems zur Nutzung industrieller Abwärme (konstruktiv)**, TU München, Maschinenwesen, 01/2015, Diplom

P. Groppe, **Photovoltaische Dünnschichtzellen auf Basis der organischen Halbleiternaterialien Tetraphenyldibenzoperiflanthen (DBP) und Fulleren C_{70}** , Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 08/2015, Bachelor

C. Heinlein, **Konzeptstudie zur thermochemischen Energiespeicherung**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 03/2015, Master

N. Herz, **Solarthermische Klimatisierung in Südeuropa**, TU München, Maschinenwesen, 04/2015, Bachelor

J. Höcker, **Herstellung von neuartigen Hybrid Perowskit-Solarzellen auf Basis von Bleihalogenidverbindungen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2015, Bachelor

D. Jungblut, **Herstellung und Charakterisierung von Perowskit-Solarzellen unter Verwendung von Bleiacetat als Bleiquelle**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 09/2015, Bachelor

C. Kick, **Light Conversion in Luminescent Down-Shifting Layers for Photovoltaics**, Hochschule Rhein-Waal, Technologie und Bionik, 06/2015, Master

F. Lotter, **Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 03/2015, Bachelor

J. Mahr, **Einfluss des Mischungsverhältnisses von C60:C70 auf die opto-elektronischen Eigenschaften von planaren Bilagen-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2015, Master

P. Meinzingler, **Herstellung einer kompletären, organischen Inverterschaltung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 07/2015, Bachelor

K. Miller, **Spektroskopie an Kohlenstoffnanoröhren**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 01/2015, Bachelor

M. Mohr, **Infrarot-optische Eigenschaften transparent leitfähiger Oxidschichten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 08/2015, Bachelor

J. Münch, **Untersuchung von Morphologie und elektrischem Verhalten gestapelter organischer Dünnschichtsysteme**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2015, Master

P. Nefe, **Modellierung des Betriebsverhaltens eines PEM-Elektrolyseurs und eines Redox-Flow-Speichers**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 10/2015, Master

T. S. Nowack, **Zucht und thermoelektrische Charakterisierung von quasi-eindimensionalen Molekülkristallen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2015, Bachelor

T. Pickel, **Untersuchung des Verhaltens defekter PV-Module im serienverschalteten Modulstring**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 03/2015, Bachelor

J. Popp, **Gekoppelter Feuchte- und Wärmetransport in nanoporösen Festkörpern**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 03/2015, Master

C. Reinartz, **Vermessung eines bivalenten Heiz- und Kühlsystems**, TU München, Maschinenwesen, 12/2015, Master

P. Rieder, **Preparation and Characterization of Planar Lead Halide Perovskite Solar Cells**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 05/2015, Master

J. Scheck, **Theoretischer und experimenteller Vergleich des Einflusses von CPC Einstrahlcharakteristiken auf PVT Solarkollektoren**, TU München, Maschinenwesen, 04/2015, Bachelor

A. Schips, **Inbetriebnahme und Vermessung einer Absorptionskältemaschine mit Biomasse-Feuerung**, TU München, Maschinenwesen, 10/2015, Master

S. Schwaderer, **Inbetriebnahme und erste Betriebsergebnisse einer Versuchsanlage zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, Ingenieurwissenschaften, 07/2015, Bachelor

L. Sommerer, **Strukturelle Untersuchung an flüssigprozessierten Siliziumnanopartikelschichten auf Hochtemperaturesubstraten**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 03/2015, Bachelor

A. Stephan, **Aufbau einer Messapparatur und Charakterisierung eines Gettermaterials für den Einsatz in schaltbaren Wärmedämmungen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Chemie und Pharmazie, 09/2015, Master

B. Sturzda, **Elektronenspinresonanz-Spektroskopie zur Untersuchung von aufgedampften Schichtszellzellen aus Diindenoperylen, C60 und C70**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 06/2015, Bachelor

F. Van Gompel, **Realisierung einer Zustandschätzung in Niederspannungsnetzen in MatLab unter Verwendung der Software Sincal**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2015, Bachelor

A. Waag, **Sorptionsbedingte Deformation nanoporöser, hierarchisch strukturierter Materialien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2015, Master

P. L. Winkler, **Development of an Algorithm for the Automatic Detection of Single Photovoltaic Modules in Infrared Images**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 10/2015, Bachelor

T. Würzner, **Development of an Algorithm for the Automatic Detection of Defects in Photovoltaic Modules Based on Infrared Images**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 10/2015, Bachelor

M. Zepter, **Systematik zur Energiedatenerfassung bei Produktionsanlagen**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Elektrotechnik und Informationstechnik, 03/2015, Bachelor

Z. Zhang, **Messung der Speicherdichte eines thermochemischen Energiespeichers mit wässriger Lithiumbromid-Lösung**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Versorgungs- und Gebäudetechnik, 07/2015, Bachelor

3.3.2

Dissertationen

Doctoral Theses

J. Adams, **Failure Analysis and Long Term Stability of Thin Film Solar Cells and Modules/ Fehleranalyse und Langzeitstabilitätsmessungen von Dünnschichtszellzellen und Modulen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 10/2015

T. Gerhard, **Monolithische, anorganisch-organische Hybridmaterialien auf Sol-Gel-Basis für die Anwendung als Wärmedämmung**, Universität Ulm, Naturwissenschaften, 12/2015

D. Li, **Hydrogen and Surface Passivation of Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells on Graphite Substrates/Wasserstoff- und Oberflächenpassivierung von kristallinen Silicium-Dünnschichtszellzellen auf Graphit-substraten**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2015

A. Steindamm, **Exzitonische Verlustmechanismen in organischen Bilagen-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2015

Y. Wang, **Optimization for Building Control Systems of a School Building in Passive House Standard**, TU München, Maschinenwesen, 10/2015

L. Weigold, **Ermittlung des Zusammenhangs zwischen mechanischer Steifigkeit und Wärmetransport über das Festkörpergerüst bei hochporösen Materialien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physikalisches Institut, 12/2015

N. Wolf, **Synthese, Charakterisierung und Modellierung von klassischen Sol-Gel- und Nanopartikel-Funktionsschichten auf der Basis von Zinn-dotiertem Indiumoxid und Aluminium-dotiertem Zinkoxid**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Physik und Astronomie, 04/2015

3.4

PATENTE

PATENTS

R. Auer, H. v. Campe, T. Kunz, K. Lammers,
**Photovoltaikmodul und Anordnung zur
Stromerzeugung**, DE102013214470A1

Gebrauchsmuster, **VSI-Element, VSI-Fertig-
bauteil, sowie Wärmespeicher hiermit**,
DE202013011108U1

S. Hippeli, C. Stark, **Verfahren und Vorrich-
tung zur Bestimmung des Wärme-
widerstandes von Mehrschichtsystemen**,
DE102013015905A1

3.5 MITARBEIT IN GREMIEN MEMBERSHIP IN COMMITTEES

| | | |
|---|---|--|
| R. Auer | Member of the Board of Directors, Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN) , Nürnberg | Vertreter des ZAE Bayerns, RAL Gütegemeinschaft PCM e. V. |
| Mitglied, Fachausschuss Sachverständigenwesen Photovoltaik (PV) und Photovoltaische Anlagentechnik (PVAT) , IHK Mittelfranken | Member, Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT) , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | |
| Prof. Dr. C. J. Brabec | Expert Referee, European Union (EU) | Dr. C. Buerhop-Lutz |
| Scientific Committee, 11th International Conference on Organic Electronics 2015 (ICOE 2015) , Erlangen, Germany, 15.–17.06.2015 | Principal Investigator, GRK 1896 “In-Situ Microscopy with Electrons, X-rays and Scanning Probes” , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Mitarbeiterin, Arbeitskreis DKE/AK 373.0.30 Infrarot Messtechnik , DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE |
| Chairman of the Editorial Board, Advanced Energy Materials , Wiley VCH | Member of the Board, International Conference on Organic Electronics (ICOE) | Mitarbeiterin, IEC 62446-3 Outdoor Infrared Thermography of Photovoltaic Modules and Plants , IEC 62446-3 IR |
| Gutachterliche Tätigkeit, Austrian Science Fund (FWF) , Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) , Baden-Württemberg Stiftung | Editor, Journal of Photonics for Energy , SPIE | Mitarbeiterin, Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit sog. UAVs , VDI-GPL Fachausschuss 202.5 |
| Principal Investigator, Cluster of Excellence “Engineering of Advanced Materials (EAM)” , Erlangen | Vorstand, Kompetenznetzwerk Wasser und Energie Oberfranken-Ost e. V. , Hof | Stellvertretende Vorsitzende, Instandhaltung von PV-Anlagen, Thermographie , VDI-GPL Fachausschuss 202.2 |
| Co-Organizer, Congress on Organic & Printed Photovoltaics , Erlangen und Würzburg | Representative for the, Material Science Department in the Board of the Technical Faculty , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Prof. Dr. V. Dyakonov |
| Member of the Scientific Advising Board, CRANN AMBER , Trinity College , Dublin, Ireland | Reviewer, Multiple Journals in the Field of Materials, Semiconductors and Energy (Nature Family, EES, Advanced Family etc.) | Wissenschaftliche Tagungsleitung, 4th Congress on Organic & Printed Photovoltaics , Würzburg, Germany, 08.–09.10.2015 |
| Principal Investigator, CRC 953 “Carbon Allotropes” , Erlangen | Member of Scientific Board, PE graduate school, Imperial College , London, UK | Mitglied des Beirats, Bayerischer Cluster „Energietechnik“ , Nürnberg |
| Collaborating Principal Investigator, CSC “111” Initiative of the Heeger Center , Peking, China | Member of the Editorial Board, Progress in Photovoltaics , Wiley VCH | Jurymitglied, Bürgerenergiepreis Unterfranken 2015 , Bayernwerk AG |
| Spokesman, Department of Material Science , Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg | Principal Investigator, Solar Technologies Go Hybrid (SolTech) | Mitglied, Concilium Decanale , Julius-Maximilians-Universität Würzburg |
| Member of the Editorial Board, Emerging Materials Research , ice publishing | M. Brütting | Gutachterliche Tätigkeit, DFG Review Panel SPP FFlexCom , Dresden |
| Deputy Spokesman, Member of the Academic Heads, Member of the Steering Committee, Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN) , Nürnberg | Expert Task 4229, International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES” , Annex 29 “Compact Thermal Energy Storages – Material Development and System Integration” | Mitglied, Direktorium des Forschungsverbands Erneuerbare Energien (FVEE) , Berlin |
| | | Mitglied, Erweiterte Universitätsleitung (EUL) , Julius-Maximilians-Universität Würzburg |

Pate, **Europastipendium**, Würzburg

Member, **Expert Group – Nanotechnology International Prize, RUSNANOPRIZE 2015**, Moskau, Russia

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

Dekan, **Fakultät für Physik und Astronomie**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorsitzender, **Fakultätsrat, Fakultät für Physik und Astronomie**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg

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

Wissenschaftliche Tagungsleitung, **FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“**, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

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

Advisory Board Member, **International Conference Spin Physics, Spin Chemistry and Spin Technology**, St. Petersburg, Russia, 01.–05.06.2015

Advisory Board Member, **International Fall School on Organic Electronics (IFSOE 2015)**, Moskau, Russia, 20.–25.09.2015

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

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

Dr. H.-P. Ebert

Gutachterliche Tätigkeit, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Europäische Union (EU)**

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

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

Mitglied des Programmkomitees, **FVEE-Jahrestagung 2015 „Forschung für die Wärmewende“**, Berlin, Germany, 03.–04.11.2015

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**

Scientific Committee, **World Sustainable Energy Days (WSED)**, Wels, Austria, 25.–27.02.2015

Dr. A. Hauer

Vorstand, **Bundesverband Energiespeicher e. V. (BVES)**, Berlin, 2015

Member of the Conference Committee/Topic Chair, **Energy Storage Europe 2015**, Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015

Editor-in-Chief, **Energy Storage Handbook**, Wiley, Oxford, 2015

Member of Advisory Board, **Energy Storage Summit Japan 2015**, Tokio, Japan, 11.–12.11.2015

Member of the Scientific Committee, **Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage**, Peking, China, 19.–21.05.2015

Member of the Editorial Board, **Journal of Energy Storage**, Elsevier, Frankfurt, 2015

Mitglied, **Gutachtertätigkeit für verschiedene ausländische Forschungsförderungseinrichtungen**

Member of Advisory Board, **International Energy Agency IEA, “Energy Storage Technology Roadmap”**, Paris, France, 2015

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”

Member of the Scientific Committee, **International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015)**, Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015

Wissenschaftlicher Beirat, **OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“**, Bad Staffelstein, Germany, 06.–08.05.2015

Fachliche Leitung, **OTTI 4. Fachforum „Thermische Energiespeicher“**, Neumarkt i. d. Opf., Germany, 02.–03.07.2015

Mitglied, **Plattform Forschung und Innovation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie**, Berlin, 2015

Dr. U. Heinemann

Member of the Advisory Committee, **12th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS 2015)**, Nanjing, China, 19.–21.09.2015

Member of the Scientific Committee, **12th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS 2015)**, Nanjing, China, 19.–21.09.2015

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

M. Helm

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

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

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

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. 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“**

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

Dr. G. Reichenauer

Mitglied, **Arbeitskreis Kohlenstoff**

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

M. Reuß

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”

Mitglied, **VDI Fachausschuss Energiespeicher**, Düsseldorf

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

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

Mitglied, **VDI Richtlinien Ausschuss 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, 2015

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

A. Solodovnyk

1st 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

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

Mitglied, **Gutachtertätigkeit bei der EU und diversen Forschungseinrichtungen**

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

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

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

Mitglied, **VDI Richtlinien Ausschuss VDI 3925 „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 Richtlinien Ausschuss 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 2015
- C. J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Anwendungen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2015
- C. J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Grundlagen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15, WS 2015/16
- C. J. Brabec, **Photophysics and Electronic Transport**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15
- C. J. Brabec, **Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2015
- C. J. Brabec, **Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Lösungsprozessierter Halbleiter**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2015
- C. J. Brabec, **Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Organische Photovoltaik (AG OPV)**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16
- C. J. Brabec, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15, SS 2015, WS 2015/16
- C. J. Brabec, **Seminar: How to Start a Company**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2015
- C. J. Brabec, **Seminar: Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Energietechnik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15
- C. J. Brabec, **Seminar: Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15, SS 2015, WS 2015/16
- C. J. Brabec, **Thin Films: Processing, Characterization and Functionalities**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2015
- V. Dyakonov, **Hauptseminar – Grundlagen der Experimentellen Physik**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2014/15
- V. Dyakonov, H.-P. Ebert, J. Manara, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2015
- V. Dyakonov, J. Fricke, J. Pflaum, **Seminar über Energieforschung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2014/15, SS 2015, WS 2015/16
- H.-J. Egelhaaf, **Fundamental Molecular Photophysics**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2014/15
- H.-J. Egelhaaf, **Photo Physics and Electronic Transport**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16
- J. Fricke, **Einführung in die Energietechnik**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2014/15, WS 2015/16
- E. Lävemann, J. M. Kuckelkorn, A. Krönauer, S. Pöllinger, L. Staudacher, F. Menhart et al., **Hauptseminar Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme: Exkursion „Forschung des ZAE Bayern im Bereich Energiespeicherung“**, TU München, SS 2015
- J. Manara, **Physikalische Grundlagen im Bereich der Medizintechnik**, Krankenpflegeschule an der Klinik Kitzinger Land, WS 2014/15, WS 2015/16
- J. Pflaum, **Organische Halbleiter**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2015
- J. Pflaum, **Physikalisches Praktikum zur Physikalischen Technologie der Materialsynthese**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2014/15
- J. Pflaum, **Quanteninformation**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2015
- M. Pröll, **Praktikum „Laboratory Course Energy Systems for MSPE“: Solarthermie (Messung an einer Versuchsanlage des ZAE Bayern)**, TU München, SS 2015, WS 2015/16
- M. Pröll, **Praktikum „Regenerative Energien“: Vermessung unterschiedlicher thermischer Sonnenkollektoren in einem Solarsimulator**, TU München, SS 2015, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Energiesysteme I**, TU München, WS 2014/15, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Nachhaltige Energiesysteme**, TU München, SS 2015
- H. Spliethoff, **Prozesstechnik und Umweltschutz in modernen Kraftwerken**, TU München, WS 2014/15, WS 2015/16
- H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme I**, TU München, WS 2014/15
- H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme II**, TU München, SS 2015
- H. Spliethoff, **Thermal Energy Systems**, TU München, SS 2015
- H. Spliethoff, **Thermal Power Plants**, TU München, SS 2015
- A. Vetter, **Nanodevices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2015/16

3.7 AUSZEICHNUNGEN AWARDS

M. Bernt, M. Möckl, H. A. Gasteiger, A. Jossen, Preis, **Best Poster**, 9th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2015), Düsseldorf, Germany, 09.–11.03.2015

C. Buerhop-Lutz, H. Scheuerpflug, T. Pickel, Auszeichnung, **Selected Highlights of the Conference**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

M. Dalsass, Auszeichnung, **Selected Highlights of the Conference**, 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2015), Hamburg, Germany, 14.–18.09.2015

P. Hennemann, H. Mehling, C. Rathgeber, S. Gschwandner, T. Haussmann, G. Hagelstein et al., Auszeichnung, **Climator Award**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015

S. Hiebler, C. Rathgeber, H. Schmit, Auszeichnung, **Best Paper Award**, Greenstock – 13th International Conference on Energy Storage, Peking, China, 19.–21.05.2015

H. Karrer, M. Pröll, P. Osgyan, Preis, **2. Posterpreis**, OTTI 25. Symposium „Thermische Solarenergie“, Bad Staffelstein, Germany, 07.05.2015

3.8 SONSTIGES MISCELLANEOUS

- C. Buerhop-Lutz, F. Fecher, H. Scheuerpflug, T. Pickel, Vortrag, **IR-Thermographie von PV-Modulen und Anlagen in Theorie und praktischer Vorführung**, Prof. M. Hundhausen mit Studenten (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), 09.07.2015
- C. Buerhop-Lutz, Organisation/Moderation, **Workshop „aIR-PV-check – Thermographische Inspektion von PV-Anlagen mit Flugrobotern“**, Erlangen, Germany, 16.07.2015
- W. Dallmayer, J. M. Kuckelkorn, M. Reuß, L. Staudacher, Workshop, **KIER Workshop on Solar District Heating with Seasonal Storage mit koreanischer Delegation**, Garching, Germany, 02. – 04.02.2015
- P. Dotzauer, W. Pfeffer, S. Pöllinger, Aussteller, **Energy Storage Europe 2015**, Düsseldorf, Germany, 09. – 11.03.2015
- H.-P. Ebert, Interview, **Energieforschung am ZAE Bayern zum Tag der offenen Tür**, Radio Gong, 01.10.2015
- H.-P. Ebert, Podiumsdiskussion, **Praxisnahe Forschung als Erfolgsfaktor: Energiewende in Unterfranken**, Mainfranken-Messe, Würzburg, Germany, 26.09.2015
- Energieeffizienz, Fernsehbeitrag, **Brigitte Zypries besucht das ZAE in Würzburg**, TV touring Fernsehgesellschaft mbH & Co, 03.09.2015
- Energieeffizienz, Fernsehbeitrag, **Franken kompakt**, Bayerisches Fernsehen, 02.09.2015
- Energieeffizienz, Internetvideo, **Moderne Fassaden: Textile Membranen und ihre Vorteile**, Rat & Tat, WDR mediagroup GmbH
- Energieeffizienz, Fernsehbeitrag, **Sendung mit der Maus**, WDR, 09.08.2015
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **Cluster Forum „Modellprojekt Smart Grid Solar – Wegweiser für nachhaltig dezentrale Energiekonzepte“**, Hof, Germany, 21. – 22.07.2015
- Erneuerbare Energien, Fernsehbeitrag, **Energie Campus Nürnberg: Neue Trends in der Energieforschung**, Frankenschau aktuell, Bayerisches Fernsehen, 21.10.2015
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **Intersolar 2015**, München, Germany, 10. – 12.06.2015
- Erneuerbare Energien, Teilnahme, **Lange Nacht der Wissenschaften**, Nürnberg – Fürth – Erlangen, Germany, 24.10.2015
- Erneuerbare Energien, Aussteller, **Modellregion Energieversorgung 4.0 – So geht Energiewende im Gleichschritt mit Industrie 4.0**, Wunsiedel, Germany, 25.04.2015
- R. Gurtner, M. Riepl, M. Siller, Aussteller, **Hannover Messe (Research & Technology)**, Hannover, Germany, 13. – 17.04.2015
- A. Hauer, Mitorganisation, **Forschung zum Frühstück „Angewandte Forschung für die Energiewende – Energiespeicherung und Energieeffizienz“**, Garching, Germany, 09.12.2015
- A. Hauer, Fernsehbeitrag, **Geldspeicher im Keller: Stromrevolution für jedermann?**, quer mit Christoph Süß, Bayerisches Fernsehen, 07.05.2015
- A. Hauer, International Energy Agency Workshop, **IEA ECES Annex 28 Experts Meeting & Workshop**, Arnhem, The Netherlands, 29. – 30.04.2015
- A. Hauer, International Energy Agency Workshop, **IEA ECES Annex 28 Experts Meeting & Workshop**, Paris, France, 22. – 23.10.2015
- A. Hauer, International Energy Agency Workshop, **IEA ECES Annex 29 Experts Meeting & Workshop**, Wien, Austria, 09. – 11.02.2015
- A. Hauer, International Energy Agency Workshop, **IEA ECES Annex 29 Experts Meeting & Workshop**, Zaragoza, Spain, 05. – 07.10.2015
- A. Hauer, Workshop, **Thermochemische Speicherung – Ein Streitgespräch**, BMU/BMWi, Garching, Germany, 25.06.2015
- J. M. Kuckelkorn, Fernsehbeitrag, **Bayerische Klimawoche 2015: Ein Haus der Zukunft – Vorzeigeprojekt aus Erding**, SAT.1 Bayern, 21.07.2015
- J. M. Kuckelkorn, Interview, **Mit Monitoring die Gebäude-Nutzung nachhaltig optimieren**, EnEV-online.de, 30.06.2015
- M. Langley, Presseartikel, **Sensing the Future**, in: HORIZON 2020 PROJECTS: PORTAL ISSUE EIGHT, Congleton, 2015, p. 63-65, ISSN 2054-2631
- I. Lederer, G. Reichenauer, Filmbeitrag, **UMWELTnanoTECH – Energiespeicher**, Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie, <http://www.umwelt-nanotech.de/de/videos/>
- B. Malkowski, Podiumsdiskussion, **Energiewende auf bayerisch – Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft zusammendenken**, Modellregion Energieversorgung 4.0 – So geht Energiewende im Gleichschritt mit Industrie 4.0, Wunsiedel, Germany, 25.04.2015
- M. Reuß, Workshop, **IEA ECES Annex 27 Task Definition Workshop “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”**, Garching, Germany, 12. – 14.10.2015



11

↑ Wandabgang

ADRESSEN ADDRESSES

Sitz des Vereins (VR 1386) | Registered Office

ZAE Bayern | Magdalene-Schoch-Str. 3 | 97074 Würzburg | Germany | T +49 931 70564-500 | F +49 931 70564-600 | info@zae-bayern.de

Bereich | Division

Energieeffizienz
Energy Efficiency

Magdalene-Schoch-Str. 3 | 97074 Würzburg | Germany
T +49 931 70564-0 | F +49 931 70564-600
ef@zae-bayern.de



Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage

Walther-Meißner-Str. 6 | 85748 Garching | Germany
T +49 89 329442-0 | F +49 89 329442-12
es@zae-bayern.de





Bereich | Division

Erneuerbare Energien
Renewable Energies

Haberstraße 2a | 91058 Erlangen | Germany
T +49 9131 9398-100 | F +49 9131 9398-199
re@zae-bayern.de



Bereich | Division

Erneuerbare Energien
Renewable Energies

Fürther Str. 250, Auf AEG, Bau 16 |
90429 Nürnberg | Germany
T +49 911 56854-9350 | F +49 911 56854-9351
re@zae-bayern.de



Bereich | Division

Erneuerbare Energien
Renewable Energies

Unterkotzauer Weg 25 | 95028 Hof | Germany
T +49 9131 9398-400 | F +49 9131 9398-199
re@zae-bayern.de

„DER SPASS FÄNGT ERST DANN AN, WENN MAN DIE REGELN KENNT. IM UNIVERSUM ABER SIND WIR MOMENTAN NOCH DABEI, DIE SPIELANLEITUNG ZU LESEN.“

Wolfgang P. Beermann

SYNERG

SYNERG

ZA

E BAYERN

ZAG BAYERN

WAS IST ENERGIE?
ENERGIE BAUEN
WIE VIEL ENERGIE
BRAUCHEN WIR?





ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung