

A large, abstract graphic composed of numerous thin, parallel orange lines that curve and flow across the top and left side of the page, creating a sense of movement and depth.

# 2018

---

**TÄTIGKEITSBERICHT**  
ANNUAL REPORT



ZAE BAYERN

# zae-bayern.de

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

---

## **DER VORSTAND EXECUTIVE BOARD**

---

**Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff**  
*Vorsitzender | Chairman of the Board*

**Prof. Dr. Vladimir Dyakonov**

Stand: 31. Dezember 2018

Status: 31<sup>st</sup> December 2018

#### **HERAUSGEBER**

ZAE Bayern – Bayerisches Zentrum für  
Angewandte Energieforschung e. V.

#### **TEXTBEITRÄGE UND FOTOS**

von den Mitarbeitern des ZAE Bayern  
Foto Seite 61: © ZAE Bayern/Petra Höglmeier  
Fotos Seite 9, 10, 16, 58, 62, 90, 102: © ZAE Bayern

#### **REDAKTION UND BEARBEITUNG**

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang

#### **ZAE BAYERN**

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg  
T +49 89 329442-87  
F +49 89 329442-12  
www.zae-bayern.de  
info@zae-bayern.de

#### **KONZEPT UND DESIGN**

punktschmiede, visuelle kommunikation, München

#### **DRUCK**

bonitasprint gmbh, Würzburg

#### **COPYRIGHT**

ZAE Bayern – Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung e. V., Würzburg, Mai 2019  
Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigungen,  
Kopie oder Weitergabe nur mit schriftlicher  
Genehmigung.

#### **PUBLISHER**

ZAE Bayern – Bavarian Center for  
Applied Energy Research

#### **ARTICLES AND PHOTOS**

by ZAE Bayern staff members  
Photo page 61: © ZAE Bayern/Petra Höglmeier  
Photos page 9, 10, 16, 58, 62, 90, 102: © ZAE Bayern

#### **COORDINATION AND EDITING**

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang

#### **ZAE BAYERN**

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg  
T +49 89 329442-87  
F +49 89 329442-12  
www.zae-bayern.de  
info@zae-bayern.de

#### **CONCEPT AND DESIGN**

punktschmiede, visuelle kommunikation, Munich

#### **PRINT**

bonitasprint gmbh, Würzburg

#### **COPYRIGHT**

ZAE Bayern – Bavarian Center for Applied Energy  
Research, Würzburg, May 2019  
All rights reserved. No reproduction, copy,  
or transmission of this publication without  
written permission.



Vorwort	6	Foreword	6
<b>1.0 ALLGEMEINES</b>	<b>10</b>	<b>1.0 GENERAL INFORMATION</b>	<b>10</b>
1.1 Überblick	12	1.1 At a Glance	12
1.2 Struktur	17	1.2 Structure	17
1.3 Die Organe des ZAE Bayern	18	1.3 The Governing Bodies of ZAE Bayern	18
1.4 Zahlen & Fakten	20	1.4 Facts & Figures	20
1.5 Rückblick	22	1.5 Review	22
1.6 Bei uns zu Gast	40	1.6 Official Visitors	40
<b>2.0 FORSCHUNG</b>	<b>58</b>	<b>2.0 RESEARCH</b>	<b>58</b>
2.1 Industrie 4.0 und Robotik – auf dem Weg zu autonomen Materialentwicklungsplattformen	64	2.1 Industry 4.0 and Robotics – Towards Autonomous Material Development Platforms	64
2.2 Direktverkapselung organischer Solarzellen mittels drucktechnischer Verfahren	66	2.2 Direct Encapsulation of Organic Solar Cells by Slot Die Coating	66
2.3 Energieeffizienzoptimierung von Flugzeugtriebwerken	68	2.3 Energetic Efficiency Optimisation of Aircraft Engines	68
2.4 Evakuierte Fenster- und Fassadenverglasung mit monolithischen Silica-Aerogel-Stützkörpern	70	2.4 Evacuated Glazing for Windows and Facades with Monolithic Silica Aerogel Spacers	70
2.5 Trockenbauplatten mit Feuchtepufferfunktion zur Einstellung des Innenraumklimas	72	2.5 Drywall Boards with Moisture Buffer Function for Indoor Climate Control	72
2.6 Energieeffiziente Gebäudebegrünung – Die Klima-Forschungs-Station auf der Landesgartenschau 2018	74	2.6 Energy Efficient Greening of Buildings – The Climate Research Station at the State Garden Show 2018	74
2.7 Erkennen von Performanceverlusten durch Kurzschlüsse in PV-Modulen	76	2.7 Detection of Performance Losses in PV Modules Caused by Short Circuits	76

2.8	Analysemethode zur Ermittlung von Abwärmennutzungspotenzialen	<b>78</b>	2.8	Analytic Method for the Identification of Potential for Waste Heat Utilisation	<b>78</b>
2.9	Thermische Speicher zur Lastverschiebung im Stromnetz	<b>80</b>	2.9	Thermal Storages for Load Shifting in the Power Grid	<b>80</b>
2.10	Simulation von Redox-Flow-Batterien für stationäre Speicher	<b>82</b>	2.10	Simulation of Redox Flow Batteries for Stationary Storages	<b>82</b>
2.11	Technisch-ökologische Langzeitanalyse der solaren Nahwärmanlage am Ackermannbogen in München	<b>84</b>	2.11	Long-Term Technical and Ecological Analysis of the Solar District Heating System at Ackermannbogen in Munich	<b>84</b>
2.12	Hydraulische Systemdichtheit von Erdwärmesonden vor und nach Beanspruchungen durch Frost-Tau-Wechsel	<b>86</b>	2.12	Hydraulic Tightness of Borehole Heat Exchanger Systems Before and After Frost/Thaw Cycle Stress	<b>86</b>
2.13	Hochgenaue Bestimmung der Schmelzenthalpie mittels dynamischer T-History-Methode	<b>88</b>	2.13	Highly Accurate Determination of the Melting Enthalpy by Dynamic T-History Method	<b>88</b>
<b>3.0</b>	<b>VERÖFFENTLICHUNGEN</b>	<b>90</b>	<b>3.0</b>	<b>PUBLICATIONS</b>	<b>90</b>
3.1	Vorträge und Poster	<b>92</b>	3.1	Presentations and Posters	<b>92</b>
3.2	Veröffentlichungen	<b>104</b>	3.2	Publications	<b>104</b>
3.3	Studienabschlussarbeiten und Dissertationen	<b>113</b>	3.3	Degree and Doctoral Theses	<b>113</b>
3.4	Patente	<b>117</b>	3.4	Patents	<b>117</b>
3.5	Mitarbeit in Gremien	<b>118</b>	3.5	Membership in Committees	<b>118</b>
3.6	Vorlesungen	<b>122</b>	3.6	Lectures	<b>122</b>
3.7	Auszeichnungen	<b>124</b>	3.7	Awards	<b>124</b>
3.8	Sonstiges	<b>125</b>	3.8	Miscellaneous	<b>125</b>
	Adressen	<b>126</b>		Addresses	<b>126</b>

## VORWORT

### FOREWORD

---

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



Das ZAE verändert sich. Man erkennt es an den Zahlen in Kapitel 1.4.

Im Jahr 2018 hat die Herauslösung des Bereiches Erneuerbare Energien in Erlangen aus dem ZAE und seine Überführung in die Helmholtz-Gemeinschaft begonnen. Auch dort wird er seinen bisherigen Forschungsthemen treu bleiben, über die in Kapitel 2 dieses Tätigkeitsberichts ein letztes Mal von uns berichtet wird. Wir wünschen unseren ehemaligen Kollegen viel Erfolg, arbeiten wir doch immer noch am gleichen Ziel: der Entwicklung eines zukunftstauglichen Energiesystems, in dem vom einzelnen Verbraucher über das Netz bis zu einer Vielzahl von Erzeugern alle Akteure auf höchste Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit ausgelegt sind.

Dieses Ziel ist mittlerweile in sichtbare Entfernung gerückt, der Wille, es zu erreichen, vorhanden, doch die Veränderung schreitet nur langsam voran – zu langsam. Das hat, wie bei komplexen Themen üblich, viele Ursachen:

In Bayerns über 2050 Gemeinden und Städten stehen zum Beispiel mehr als 15000 Schulen und unzählige andere öffentliche Gebäude. Geld für deren energetische Sanierung steht, zumindest teilweise, bereit, die Umsetzung braucht aber viel Zeit, weil zu wenige Kompetenzträger für die konzeptuelle Ausarbeitung zur Verfügung stehen. Dabei ließe sich der Vorgang auf einfache Art drastisch beschleunigen: Einmal ausgearbeitete Sanierungskonzepte könnten, mit geringfügigen Anpassungen, auf eine Vielzahl ähnlicher Projekte übertragen werden.

Im Gebäudebereich besteht überhaupt eines der größten Einsparpotenziale der ganzen Energiewende. Doch mangelt es oft an Akzeptanz und technischer Kenntnis bei den Besitzern. Die Vielzahl verfügbarer Informationen und Falschinformationen führt zu Unsicherheit, Unsicherheit zu Passivität. Zur Bekämpfung derselben braucht es unabhängige, sachlich fundierte Informationsangebote.

ZAE is changing. The numbers in chapter 1.4 make it obvious.

In 2018, the detachment from ZAE and transfer to the Helmholtz Association of Division Renewable Energies in Erlangen were initiated. They will, however, remain true to their previous research topics on which we report one last time in Chapter 2 of this Report. We wish our former colleagues every success, as we are still working towards the same goal: the development of a future-proof energy system in which all players, from individual consumers to the grid to a large number of energy producers, are designed for maximum energy efficiency, sustainability, and security of supply.

This goal has by now moved into reach, the will to achieve it exists, but change progresses slowly - too slowly. As is common with complex topics, this has a number of causes:

Bavaria's over 2050 municipalities and cities, for example, hold more than 15000 schools and countless other public buildings. Money for their energetic renovation is, at least partially, available but the implementation takes its time, since there are too few experts available for conceptual development. The process, however, could be sped up dramatically by simple means: Renovation concepts once worked out could, with minor adjustments, be applied to a large number of similar projects.

The building sector, after all, offers one of the greatest individual potentials for energy savings in the entire transformation process. But owners often exhibit a lack of acceptance and technical knowledge. The vast amount of available information and misinformation leads to uncertainty, uncertainty leads to passivity. As a countermeasure, independent, factually sound information is required.

A powerful, web based information system could remedy this situation. It could be a channel for trustworthy information to be made available to the public and help to coordinate decentralised energy concepts

Abhilfe könnte hier ein leistungsfähiges, webbasiertes Informationssystem schaffen. Darüber ließe sich vertrauenswürdige Information an die Öffentlichkeit tragen, dezentrale Energiekonzepte oder Sanierungsmaßnahmen könnten besser abgestimmt, schneller umgesetzt und gezielter gefördert werden. Denn die beste Werbung ist Erfolg. Nichts kann die Akzeptanz der Energiewende in der Öffentlichkeit so positiv beeinflussen wie Leuchtturmprojekte und Referenzbeispiele, die praktisch zeigen, wie Technologien und Effizienzmaßnahmen funktionieren und wirken. Und auch die Offenlegung realisierter Verbrauchswerte kann mit wenig Aufwand gute Überzeugungsarbeit leisten – Transparenz schafft Vertrauen.

Doch nicht nur im Gebäudebereich bleiben Potenziale ungenutzt. Auch im Industriesektor ließe sich noch immer viel Energie einsparen. Am einfachsten wäre das bei sogenannten Querschnittstechnologien, wie technischen Dämmungen oder Druckluftsystemen, zu bewerkstelligen, die in vielen Industriezweigen zugleich zur Anwendung kommen. Das größte Einzelpotenzial bietet die Bereitstellung von Prozesswärme und -kälte. Diese Anwendung macht etwa zwei Drittel des Energieverbrauchs im industriellen Sektor aus. Durch Sektorenkopplung und Speichereinsatz sind branchenspezifisch ebenfalls noch große Einsparungen möglich. Und auch für die Landwirtschaft können und müssen, in Zusammenarbeit mit der Industrie, konkrete Effizienzmaßnahmen für die nahe Zukunft entwickelt werden.

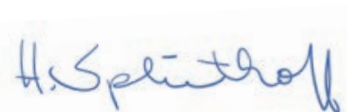
Will Bayern seine Spitzenstellung aufrechterhalten, führt kein Weg daran vorbei, die Industrie bei der Lösung dieser Aufgaben zu unterstützen. Die stetige Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die dazu nötig ist, sind wir am ZAE Bayern mit Freuden zu leisten bereit, gerne auch in Zusammenarbeit mit Ihnen.

or renovation measures, implement them more quickly and efficiently, and fund them in a more targeted manner. Success, after all, is the best advertising. Nothing can have as positive an impact on the public's acceptance of the energy system transformation as lighthouse projects and practical examples of how technologies and efficiency measures work. Even the disclosure of actual consumption values can do good convincing work with little effort – transparency builds trust.

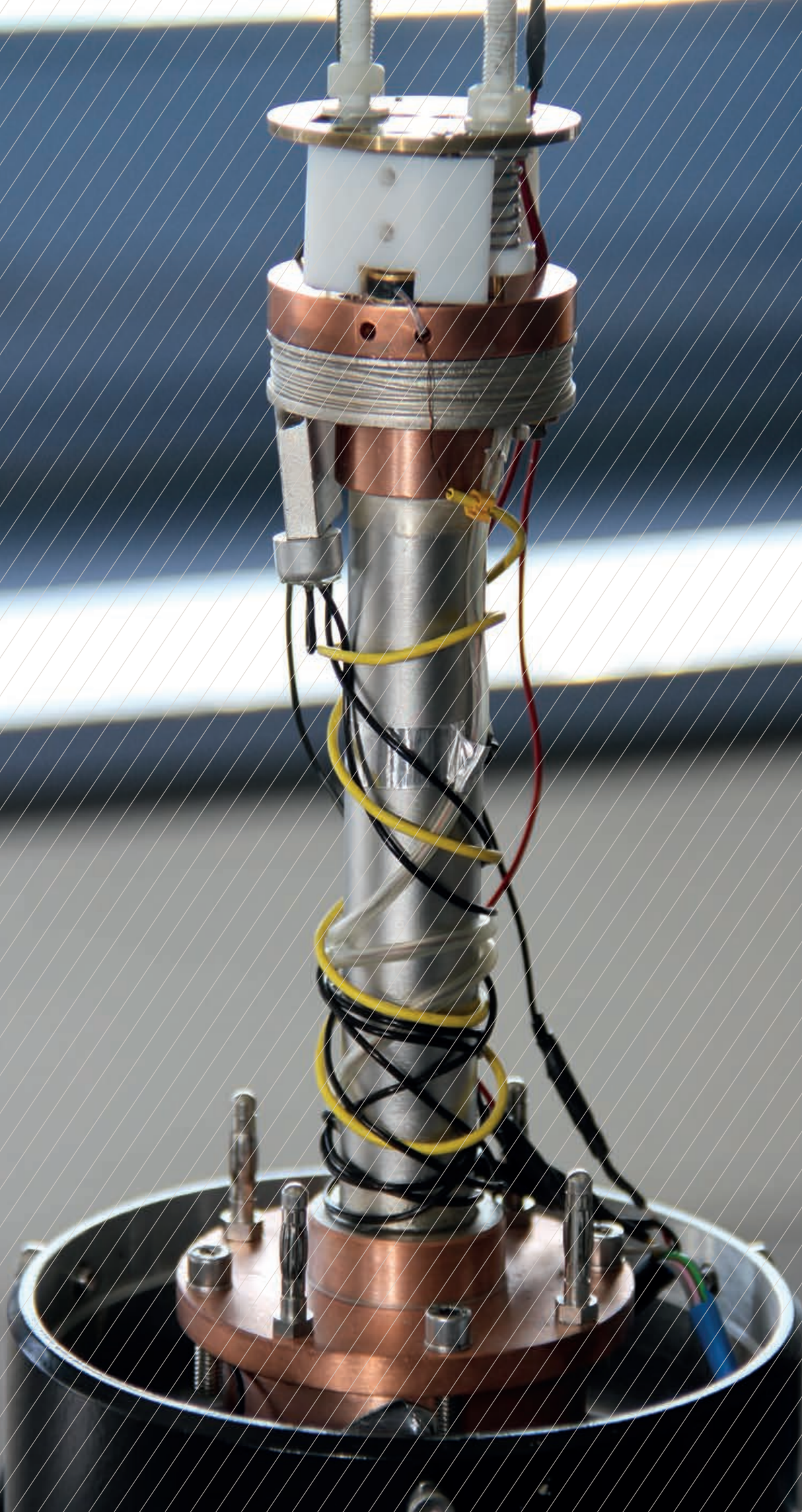
But potentials remain untapped not solely in the building sector. Much more energy could also be saved in the industry. The easiest way to achieve this would be by improving so-called cross-sectional technologies, such as technical insulation or compressed air systems, which are being used in many industrial branches simultaneously. The greatest individual potential lies in the provision of process heat and cooling. This application accounts for about two thirds of the industrial sector's energy consumption. Sector coupling and energy storage would also allow for significant savings in specific branches. And also for agriculture, concrete efficiency measures for the near future can and must be developed in cooperation with the industry.

If Bavaria wants to maintain its cutting-edge position, there is no way around supporting the industry in tackling these challenges. We at ZAE Bayern are happy to carry out the constant research and development work needed to achieve these objectives and would be happy to do so in cooperation with you.

Ihr/Yours  
Hartmut Spliethoff







---

**ALLGEMEINES**  
GENERAL INFORMATION

---

**1.0**



## 1.1

## ÜBERBLICK AT A GLANCE



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

### UNSER PROFIL

Das ZAE Bayern ist ein außeruniversitäres Forschungsinstitut für angewandte Energieforschung mit ca. 190 Mitarbeitern, das vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie institutionell gefördert wird. Wir bieten unseren Kunden komplette Innovationspakete im Bereich effizienter und nachhaltiger Energiesysteme an und sind mit unseren zwei Hauptstandorten in Garching bei München und Würzburg sowie weiteren drei Außenstellen in Hof, Erlangen und Nürnberg bayernweit präsent. Seit über 25 Jahren besteht das ZAE Bayern als eingetragener Verein. Im Dezember 1991 setzten sich die Gründungsmitglieder zum Ziel, die Energieforschung zu fördern sowie Aus-, Fort- und Weiterbildung, Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten zu betreiben, die für die Energietechnik sowie die sich mit ihr befassenden Wissenschaften bedeutsam sind. Bis heute hat sich das ZAE Bayern zu einem national und international anerkannten Forschungsinstitut entwickelt. Hierzu leisten unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die als Wissenschaftler, technisches Personal, Verwaltungsangestellte und Studenten tätig sind, einen entscheidenden Beitrag.

### UNSERE KOMPETENZEN

In seinen zentralen Kompetenzbereichen Erneuerbare Energie, Energiespeicherung und Energieeffizienz verbindet das ZAE Bayern in einem interdisziplinären Forschungsansatz Materialforschung, Komponentenentwicklung und Systemoptimierung zu einer lückenlosen Wertschöpfungskette. Die Forscher am ZAE Bayern arbeiten dabei an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und angewandter Industrieforschung und befassen sich u. a. mit Nanomaterialien, thermischen und elektrochemischen Energiespeichern, energieeffizienten Prozessen, Photovoltaik, energieoptimierten Gebäuden und Stadtquartieren, Smart Grids und sektorenübergreifenden Energiesystemen (Strom und Wärme/Kälte).



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



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



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



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

## UNSER ZIEL

Ziel des ZAE Bayern ist es, eine möglichst CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung durch den synergetischen Einsatz von Erneuerbaren Energien und Energieeffizienztechnologien zu realisieren. Unser Institut führt dazu eine große Zahl von Forschungsprojekten mit der Industrie, vom KMU bis zum Großkonzern, sowie mit universitären und außeruniversitären Forschungspartnern durch. Hierbei steht die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Zentrum. Als Bindeglied zwischen den Projektpartnern vernetzt das ZAE Bayern die thematischen Schwerpunkte innerhalb der Wertschöpfungskette, so dass wertvolle Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien entstehen. Dazu werden zahlreiche Projekte am Institut auch standortübergreifend bearbeitet und profitieren somit von der Verzahnung der Kompetenzen der einzelnen Arbeitsgruppen des ZAE Bayern. Aus Verbundprojekten, die gemeinsam mit Partnern aus der Industrie durchgeführt werden, profitiert das ZAE Bayern nicht nur durch die hieraus entstehenden Synergieeffekte, sondern auch durch die erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln. Diese werden für angewandte Forschungsprojekte in Kooperation mit der bayerischen Industrie eingesetzt. Damit können wir unsere Aktivitäten im Bereich der Energieforschung weiter stärken, in technische Geräte investieren sowie für unsere Forschungsarbeit neue Mitarbeiter gewinnen und so das ZAE Bayern auf nationaler und internationaler Ebene nachhaltig positionieren.

## UNSERE KOOPERATIONEN

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

## OUR PROFILE

ZAE Bayern is a non-university institute for applied energy research with about 190 employees, institutionally funded by the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy. We offer our customers complete innovation packages in the field of efficient and sustainable energy systems and are present in all of Bavaria with our two main locations in Garching near Munich and Würzburg as well as three more branch offices in Hof, Erlangen, and Nuremberg. For more than 25 years, ZAE Bayern has been a registered association. In December 1991, the founding members set out to promote energy research and engage in education, further training, consulting, information, and documentation in all fields relevant to energy technology and the associated scientific fields. To date, ZAE Bayern has developed into a research institute of national and international renown. A significant share of this is owed to our employees, might they be scientists, technical and administrative personnel, or students.

## OUR COMPETENCES

In its central fields of competence, renewable energies, energy storage, and energy efficiency, ZAE Bayern pursues an interdisciplinary approach to combine materials research, development of components, and system optimisation in one unbroken value chain. ZAE's researchers work at the intersection between fundamental and applied industrial research and focus, among other things, on nanomaterials, thermal and electrochemical energy storages, energy efficiency in processes, photovoltaics, energetically optimised buildings and quarters, smart grids, and cross-sector (electricity and heat/cold) energy systems.

## OUR GOAL

The goal of ZAE Bayern is to realise an energy supply as CO<sub>2</sub>-neutral as possible by means of the synergetic use of renewable energies and energy efficiency technology. Therefore, our institute is involved in a large number of research projects with industrial partners from SMEs to major corporations as well as with uni-

versity and non-university research partners. In these, the focus is put on the practical application of scientific findings.

As a connecting link between project partners, ZAE Bayern interconnects the core topics within the value chain to create valuable solutions to increase energy efficiency and the implementation of renewable energies. Therefore, several of the institute's projects are being worked on at more than one location at a time, hence they benefit from the interlinking of the competences of ZAE Bayern's various groups. In joint projects with industry partners, ZAE Bayern does not only gain synergy effects but can also successfully raise external funds. These are then used for applied research projects in cooperation with the Bavarian industry. This helps us to further strengthen our activities in energy research, to invest in technical equipment, and to find new employees for our research work and sustainably position ZAE Bayern on a national and international level.

## OUR COOPERATIONS

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

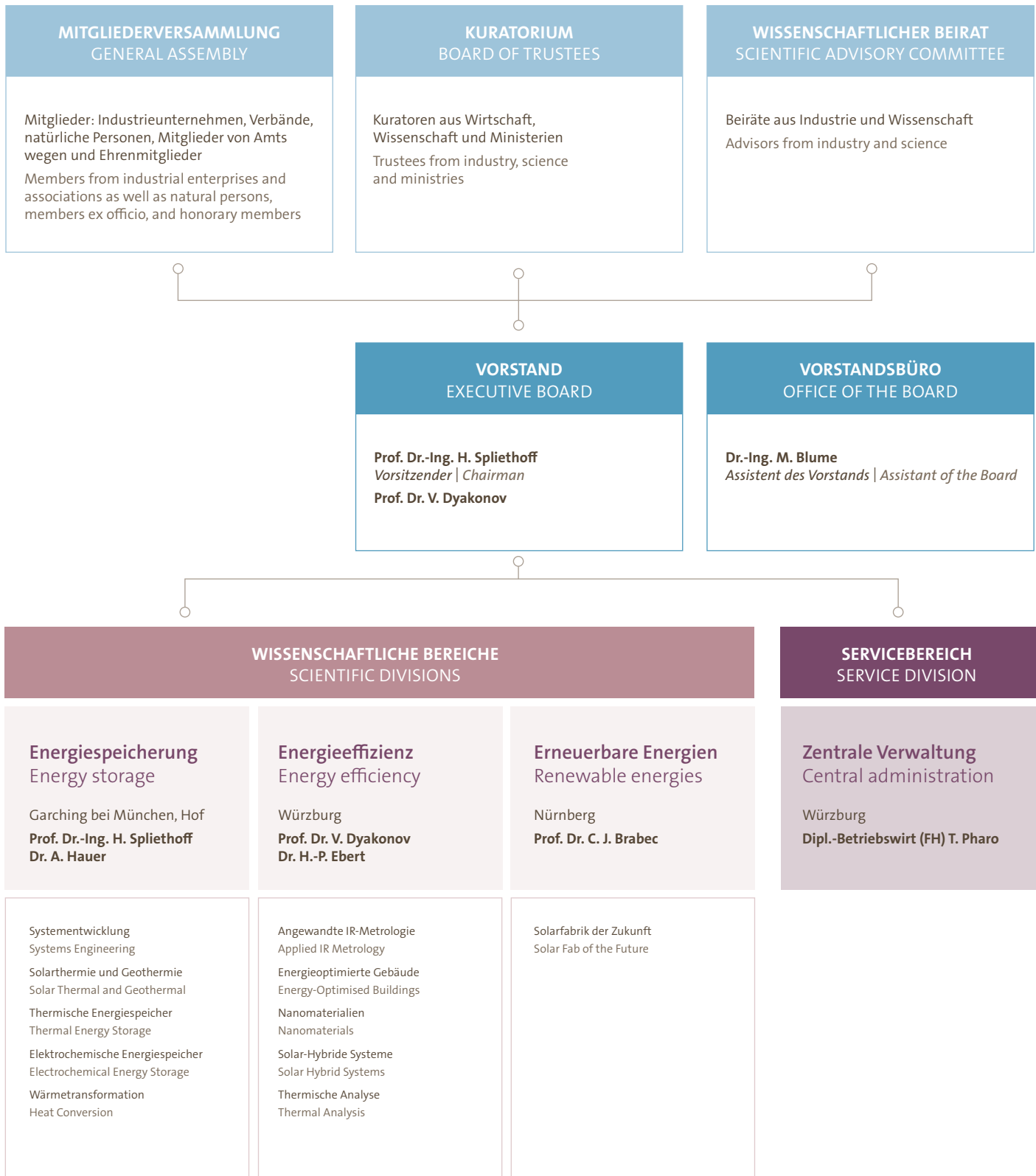




# STRUKTUR

## STRUCTURE

1.2



# 1.3 DIE ORGANE DES ZAE BAYERN

## THE GOVERNING BODIES OF ZAE BAYERN

### 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. V. Dyakonov, Würzburg  
 Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff, Olching  
 Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, München

#### NATÜRLICHE PERSONEN/INGENIEURBÜROS NATURAL PERSONS/CONSULTING ENGINEERS

M. Dietrich, Rüdtenhausen  
 Dipl.-Ing. M. Portula, Berlin  
 Dr. B. Reeb, Ellwangen-Hochgreut

#### VERBÄNDE UND INSTITUTIONEN FEDERATIONS AND INSTITUTIONS

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V., München  
 ENERGIEregion Nürnberg e. V., Nürnberg  
 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

Stand | Status  
 31.12.2018  
 31/12/2018



---

## **VORSTAND BOARD OF DIRECTORS**

Der Vorstand setzte sich Ende 2018 wie folgt zusammen:

**Prof. Dr.-Ing. H. Spliethoff**, (*Vorsitzender | Chairman*),  
Fakultät Maschinenwesen,  
Technische Universität München  
**Prof. Dr. V. Dyakonov**, Physikalisches Institut,  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

---

## **KURATORIUM BOARD OF TRUSTEES**

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

---

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

**Prof. Dr. rer. nat. P. Denk**, Institut für Systemische  
Energieberatung (ISE), Hochschule Landshut,  
Landshut

**Dr.-Ing. J. Hollandt**, Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt Braunschweig und Berlin (PTB), Berlin  
**Univ.-Prof. Dr. N. Hüsing**, Department Material  
Science and Physics, Universität Salzburg, Salzburg  
**Dr. F. Karg**, AVANCIS GmbH & Co.KG, München

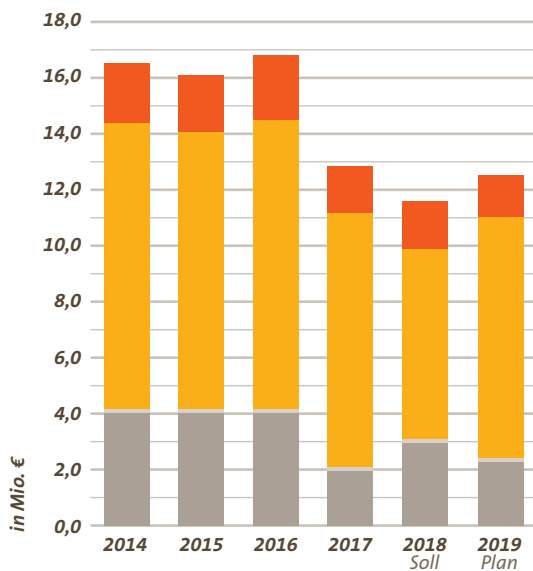
## 1.4

## ZAHLEN & FAKTEN

### FACTS & FIGURES

#### ENTWICKLUNG HAUSHALT 2014-2019

##### BUDGET



■ Grundfinanzierung Basic funding ■ Sonstige Miscellaneous  
 ■ Öffentliche Mittel Public funding ■ Industrie Industry

#### HAUSHALT UND FINANZEN

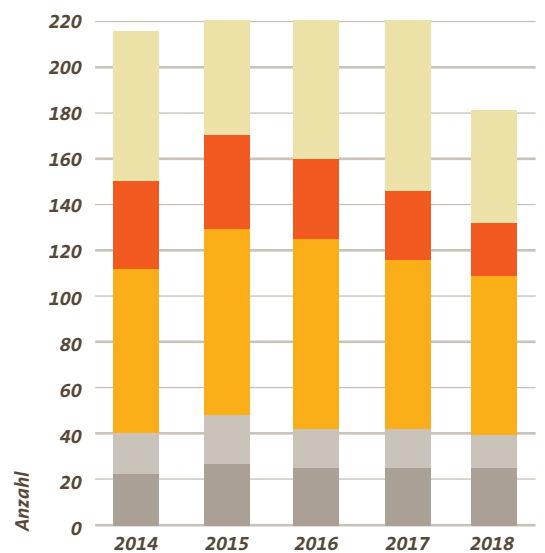
Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2018 auf ca. 11,6 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2014 bis 2019 weist für das Jahr 2018 eine Grundfinanzierung durch das Bayerische Wirtschaftsministerium (BayStMWi) in Höhe von 3,0 Mio. € aus. 8,4 Mio. € aus Drittmitteln sowie 0,2 Mio. € sonstige Einnahmen konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 6,7 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 1,7 Mio. € Industriemitteln zusammen. Insgesamt wurden im Jahr 2018 153 Projekte mit 347 Partnern bearbeitet.

#### PERSONAL

Zum Jahresende 2018 waren am ZAE Bayern 182 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Energietechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 28%. 23 Doktoranden, 9 Masteranden, 5 Bacheloranden, 4 Praktikanten und 3 Auszubildende waren im Institut tätig. Somit befanden sich 24% der Mitarbeiter in Ausbildung.

#### PERSONALENTWICKLUNG 2014-2018

##### STAFF



■ Verwaltung Administration  
 ■ Technische Mitarbeiter Technical personnel  
 ■ Wissenschaftliche Mitarbeiter Scientific personnel  
 ■ Doktoranden Doctorate students ■ Sonstige Miscellaneous

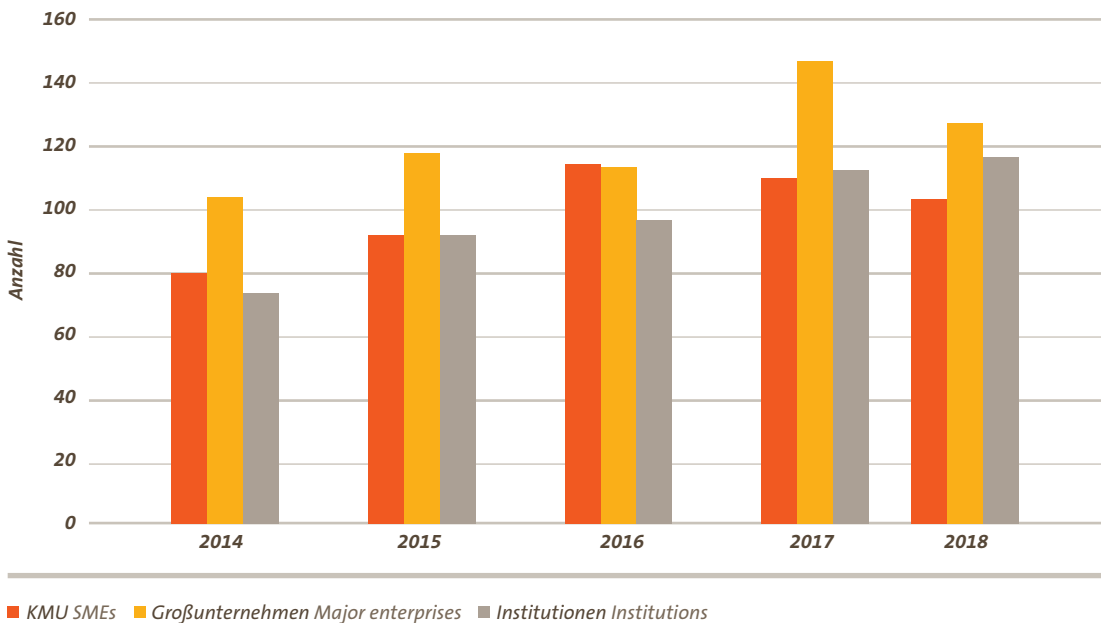
#### BUDGET AND FINANCES

In 2018, the institute's budget came to € 11.6 m. The development of income from 2014 to 2019 depicted in the diagram shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy (BayStMWi) provided basic funding amounting to € 3.0 m in 2018. € 8.4 m third-party funds were raised as well as € 0.2 m other revenues. The third-party funds comprise € 6.7 m from public project funding and € 1.7 m from industrial sources. Research was carried out in a total of 153 projects involving 374 partners.

#### STAFF AND PREMISES

At the end of 2018, ZAE Bayern had 182 staff members. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering, and energy technology. Women made up 28% of the staff. The institute had 23 doctorate-, 9 master- and 5 bachelor students, 4 interns and 3 apprentices. Students and trainees constituted 24% of the staff.

## AUFTEILUNG DER ZAE-PROJEKTPARTNER NACH ART UND GRÖSSE DES UNTERNEHMENS DISTRIBUTION OF ZAE'S PROJECT PARTNERS ACCORDING TO TYPE AND SIZE



### KOOPERATIONEN

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

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

### COOPERATIONS

Application-oriented research and development become particularly efficient when highly competent partners strive for the same goals. Due to its above standard resources in its central areas of competence, renewable energies, energy storage, and energy efficiency, ZAE Bayern is a much sought-after partner for the industry, universities, and independent research centres in Bavaria, Germany, and worldwide.

Ever since its founding, ZAE Bayern has been cooperating with small and medium-sized enterprises. For several years now, ZAE Bayern has also been closely cooperating with major enterprises and institutions such as universities and independent research institutes. ZAE Bayern therefore serves as an important link between university research and industrial development.

## 1.5

## RÜCKBLICK REVIEW

### AUFTAKTVERANSTALTUNG DES PROJEKTS NEOS IN REGENSBURG

Am 1. Februar wurde im historischen Gasreinigergebäude in Regensburg der offizielle Beginn des Projekts „NetzEntwicklungsOffensive Strom“ (neos) begangen. In einem Verbund aus OTH Regensburg, ZAE Bayern, der Regensburger Energie- und Wasserversorgung, der Maschinenfabrik Reinhausen und der Starkstrom-Gerätebau GmbH Regensburg wird hier, mit Förderung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, das Stromnetz der Zukunft erarbeitet. Dazu wurde in Arzberg bei Hof ein Testzentrum geschaffen, das es erlaubt, neue Netztechnologien aller Art in der Praxis zu erproben. Von dezentralen Erzeugern über Speicher und Transformatoren bis hin zum Verbraucher können hier alle Netzebenen betrachtet und die Effekte von Veränderungen erprobt und dokumentiert werden. So wird sichergestellt, dass sich künftige Technologien effizient, komfortabel für den Verbraucher und dennoch volkswirtschaftlich günstig ins Netz integrieren lassen.

### KICK-OFF OF PROJECT NEOS IN REGENSBURG

On 1<sup>st</sup> February, the official start of the project “NetzEntwicklungsOffensive Strom” (neos) was celebrated in Regensburg's historical gas cleaner building. In a network made up of OTH Regensburg, ZAE Bayern, Regensburger Energie- und Wasserversorgung, Maschinenfabrik Reinhausen, and Starkstrom-Gerätebau GmbH Regensburg, the project aims to develop the power grid of the future with the support of the Bavarian State Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy. To this end, a testing centre was set up in Arzberg near Hof, which allows new network technologies of all kinds to be tested in practice. From decentralised power sources to storage facilities, transformers, and consumers, all grid levels can be examined here, the effects of changes tested and documented. This ensures for future technologies to be integrated into the grid efficiently, comfortably for the consumer, and yet economically.



Abb. 1: Luftaufnahme des  
Testzentrums in Arzberg  
© ZAE Bayern

Fig. 1: Aerial view of the testing  
centre in Arzberg  
© ZAE Bayern

2



Abb. 2: Dr. Joachim Kuhn, Vorstandsvorsitzender va-Q-tec AG (rechts) überreicht Prof. Dr. Jochen Fricke (links) ein Vakuumisoliationspaneel zu dessen 80. Geburtstag.  
© ZAE Bayern

Fig. 2: Dr. Joachim Kuhn, CEO of va-Q-tec AG (right) hands a vacuum insulation panel to Prof. Dr. Jochen Fricke (left) on his 80<sup>th</sup> birthday.  
© ZAE Bayern

## EIN LEBEN VOLLER ENERGIE – 80. GEBURTSTAG VON PROF. DR. JOCHEN FRICKE

Physikprofessor und Mitgründer des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung Jochen Fricke feierte am 25. Februar seinen 80. Geburtstag. An der Julius-Maximilian-Universität Würzburg hat er fast dreißig Jahre gelehrt, geforscht und rund 150 Diplomarbeiten sowie mehr als 50 Dissertationen betreut. Von 1992 bis zu seinem Ausscheiden im Jahr 2005 war Prof. Fricke Vorstandsvorsitzender des ZAE Bayern und ist heute Ehrenmitglied des Instituts. Bis heute ist er in der Energieforschung nicht nur in verschiedenen Gremien, sondern auch in der Lehre an der Fakultät für Physik und Astronomie aktiv. Im Dezember 2004 wurde er mit der Staatsmedaille für besondere Verdienste um die bayerische Wirtschaft ausgezeichnet. Seit 2006 ist er Sprecher des bayerischen Clusters Energietechnik und fördert im Auftrag des Bayerischen Wirtschaftsministeriums aktiv den Wissensaustausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

## A LIFE FULL OF ENERGY – 80<sup>TH</sup> BIRTHDAY OF PROF. DR. JOCHEN FRICKE

Professor of physics and co-founder of the Bavarian Center for Applied Energy Research Jochen Fricke celebrated his 80<sup>th</sup> birthday on 25<sup>th</sup> February. At Würzburg's Julius Maximilian University, he taught and conducted research for almost thirty years while supervising around 150 diploma theses and more than 50 dissertations. From 1992 until his retirement in 2005, Prof. Fricke was Chairman of the Board of ZAE Bayern and is now an honorary member of the institute. He is still active in energy research not only in various committees, but also as a teacher at the faculty of physics and astronomy. In December 2004, he was awarded the state medal for special services to the Bavarian economy. Since 2006, he has been spokesman for the Bavarian Cluster Energietechnik and actively promoting the exchange of knowledge between science and industry on behalf of the Bavarian Ministry of Economic Affairs.

Abb. 3: Christoph Rathgeber aus dem Bereich ES informiert und berät am Messestand des ZAE auf der Energy Storage Europe 2018. © Peggy Stein

Fig. 3: Christoph Rathgeber from division ES provides information and advice at ZAE's booth at Energy Storage Europe 2018. © Peggy Stein

## ENERGY STORAGE EUROPE UND IRES 2018

In der Messe Düsseldorf drehte sich vom 13. bis zum 15. März wieder alles um Energiespeicherung. Fachleute aus der Forschung fanden sich zur IRES ein, einer der weltgrößten Energiespeichertagungen, die etwa 600 Teilnehmer aus über 50 Ländern anzog. Das ZAE Bayern spielte dabei eine zentrale Rolle für die Veranstaltung: es übernahm die wissenschaftliche Leitung, war Teil des Scientific Committee, stellte mehrere Session Chairs und zeichnete verantwortlich für die Keynote-Präsentation, die von Dr. Andreas Hauer, Bereichsleiter in Garching, gehalten wurde. Zeitgleich fand dort die Energy Storage Europe statt, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie als „Leitmesse für Energiespeicher“ eingeordnet wird. Das ZAE war auch hier vertreten, mit einem Stand und auf der Sonderfläche zu flexibler Sektorenkopplung. Als einer von insgesamt 180 Ausstellern aus 25 Ländern war es allerdings nicht so einfach, herauszustechen. Auf der Messe wurde alles gezeigt, was der Energiespeichermarkt zu bieten hatte. Das lockte mehr als 4000 Besucher an, die aus 68 verschiedenen Ländern ihren Weg nach Deutschland fanden. Tagung und Messe waren große Erfolge und wir als ZAE Bayern sind stolz, dass wir dabei eine so große Rolle spielen durften.

## ENERGY STORAGE EUROPE AND IRES 2018

From 13<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup> March, everything at Messe Düsseldorf once again revolved around energy storage. Research experts attended IRES, one of the world's largest energy storage conferences, which attracted around 600 participants from more than 50 countries. ZAE Bayern played a central role for the event: it assumed the scientific direction, was a part of the scientific committee, provided several session chairs, and was responsible for the keynote presentation, given by Dr. Andreas Hauer, Head of Division in Garching. Simultaneously, Energy Storage Europe took place there, which was classified as the “leading trade fair for energy storage” by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy. ZAE was represented here as well, with a booth and in the dedicated area for flexible sector coupling. However, being one of 180 exhibitors from 25 countries, standing out was difficult. Everything the energy storage market had to offer was presented at the fair. This drew more than 4000 visitors from 68 different countries to Germany. Both the conference and trade fair were highly successful and we at ZAE Bayern are proud to have been allowed to play such a major part in this.







Abb. 4: Volles Haus beim PCM-Symposium des ZAE Bayern. © ZAE Bayern

Fig. 4: Full house at the PCM symposium of ZAE Bayern. © ZAE Bayern

## SYMPOSIUM ZU PCM-WÄRMESPEICHERN IN GEBÄUDEN

Am 14. und 15. März 2018 fand im Energy Efficiency Center in Würzburg unter Leitung von Dr. Helmut Weinläder ein Symposium zum Thema „Einsatz von PCM in Gebäuden“ statt. Neben Teilnehmern aus Forschung und Industrie sowie von Universitäten waren auch zahlreiche Interessierte aus der Bau- und Energieberaterbranche anwesend. Es wurden aktuelle Forschungsergebnisse und Nutzungsmöglichkeiten vorgestellt und diskutiert. Wer heute ein Haus bauen oder sanieren möchte, kommt am Thema effiziente Wärmedämmung nicht mehr vorbei. Darüber hinaus rücken auch Wärme- und Kältespeicherung immer mehr in den Fokus. Eine bisher noch wenig verbreitete Speichertechnologie basiert auf der Verwendung von Phasenwechselmaterialien (Englisch: Phase Change Materials – PCM). Bei diesen Materialien werden Schmelz- und Erstarrungsvorgänge ausgenutzt, um größere Wärmemengen bei einer definierten Schmelztemperatur zu speichern. Die Schmelztemperatur wird durch die Wahl des PCM bestimmt. Daher ist es wenig verwunderlich, dass das Symposium mit 17 Fachvorträgen großen Anklang bei Sachkundigen der Baubranche und Energieberatern sowie Forschern auf dem Gebiet der PCM gefunden hat. Das EEC – selbst mit PCM-Kühldecken und -Wandelementen ausgestattet – gab dem Symposium den richtigen Rahmen und konnte von den Teilnehmern während einer Führung eingehend besichtigt werden.

## SYMPOSIUM ON BUILDING-INTEGRATED PCM HEAT STORAGES

On 14<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> March 2018, a symposium on the use of PCMs in buildings was held at the Energy Efficiency Center in Würzburg, directed by Dr. Helmut Weinläder. In addition to participants from research, industry, and universities, numerous interested parties from the construction and energy consulting sectors were present. Current research findings and possible uses thereof were presented and discussed. Whoever wants to build or renovate a house today cannot avoid the topic of efficient thermal insulation. In addition, heat and cold storage are gaining in importance. A storage technology not yet widely used is based on the use of phase change materials (PCM). With these materials, melting and solidification processes are utilised to store large amounts of heat at a defined melting temperature. The melting temperature is determined by the choice of PCM. It is therefore hardly surprising that the symposium with its 17 lectures was very well received by experts from the construction industry, energy consultants, and researchers from the field of PCM. The EEC – itself equipped with PCM cooling ceilings and wall elements – provided the right setting for the symposium and could be viewed in detail by the participants during a guided tour.

## LANDESGARTENSCHAU 2018

Das ZAE Bayern gab als Teil der Landesgartenschau 2018 in Würzburg Einblicke in aktuelle Forschungsthemen. Das Institut informierte über Ursachen und Folgen des Klimawandels, aus ihm erwachsende Herausforderungen und deren Lösungen. Gleich drei Beiträge begeisterten die Besucher für Klima- und Energiethemen: Während die Ausstellung im Energy Efficiency Center Klima, Energie, nachhaltiges Leben und Wohnen thematisierte, präsentierte das Institut im Außenbereich die Green Box, einen Info-Container mit interaktiver Projektionswand zum Themenkomplex „Klima und Mensch“ und die Klima-Forschungs-Station, welche Forschung an Klimafassaden hautnah erlebbar machte. Partner waren das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Die Beiträge stehen der Öffentlichkeit auch nach der Schau zur Verfügung. Zu den prominenten Gästen der Klima-Forschungs-Station gehörten u. a. die Bayerische Landwirtschaftsministerin Michaela Kaniber im Rahmen eines Presserundgangs, der Bayerische Umweltminister Dr. Marcel Huber gemeinsam mit MdB Dr. Anja Weisgerber, der Amtschef des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hubert Bittlmayer, sowie die Vizepräsidentin des Deutschen Bundestages, Claudia Roth.

Abb. 5: Die Vizepräsidentin des Deutschen Bundestags, Claudia Roth (2. v. r.), bei ihrem Besuch an der Klima-Forschungs-Station des ZAE; im Bild mit Constantin Römer, ZAE Bayern (1. v. l.), Claudia Knoll, Geschäftsführerin Landesgartenschau Würzburg 2018 GmbH (2. v. l.), Gerhard Zäh, Präsident des Verbandes Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau Bayern e. V. (4. v. l.), und Barbara Lehrieder, Fraktionsvorsitzende der Grünen im Würzburger Stadtrat (1. v. r.)  
© ZAE Bayern

Fig. 5: Vice President of the German Bundestag, Claudia Roth (2.f.r.), during her visit to ZAE's Climate Research Station; pictured with Constantin Römer, ZAE Bayern (1.f.l.), Claudia Knoll, Managing Director of Landesgartenschau Würzburg 2018 GmbH (2.f.l.), Gerhard Zäh, president of the Association for Garden, Landscape and Sports Ground Construction Bavaria (4.f.l.), and Barbara Lehrieder, leader of the green faction in Würzburg's city council (1.f.r.)  
© ZAE Bayern



## LANDESGARTENSCHAU 2018

As part of the Landesgartenschau (State Garden Show) 2018 in Würzburg, ZAE Bayern provided insights into its current research. The institute gave information on the causes and consequences of climate change, the challenges it poses and how to solve them. Three contributions made visitors enthusiastic about climate and energy topics: While the exhibition in the Energy Efficiency Center focused on climate, energy, sustainability, and living, the Green Box was presented in the outdoor area, an informative container with an interactive projection wall covering the thematic complex of “climate and people”, while the Climate Research Station provided a close-up experience of climate façade research. Partners were the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection and the Bavarian State Institute for Viticulture and Horticulture. The contributions will be available to the public after the show. Prominent guests of the Climate Research Station were, among others, the Bavarian Minister of Agriculture, Michaela Kaniber, who visited during a press tour, the Bavarian Minister of the Environment, Dr. Marcel Huber, together with MdB Dr. Anja Weisgerber, the Head of the Bavarian State Ministry of Food, Agriculture and Forestry, Hubert Bittlmayer, as well as the Vice President of the German Bundestag, Claudia Roth.



ZAE BAYERN  
Energieforschung

Abb. 6: Dr. Hans-Peter Ebert, ZAE Bayern, informiert den Amtschef des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hubert Bittlmayer, an der Klima-Forschungs-Station. © ZAE Bayern

Fig. 6: Dr. Hans-Peter Ebert, ZAE Bayern, informing the Head of the Bavarian State Ministry for Food, Agriculture and Forestry, Hubert Bittlmayer, at the Climate Research Station. © ZAE Bayern

Schau mal,  
Wärme  
aus dem  
Boden!

KLIMA-FORSCHUNG  
LIFE

Abb. 7: Die Klima-Forschungs-Station des ZAE bei der Landesgartenschau 2018 in Würzburg © ZAE Bayern

Fig. 7: The Climate Research Station of ZAE at the Landesgartenschau 2018 in Würzburg © ZAE Bayern



Abb. 8: Die Bayerische Landwirtschaftsministerin, Michaela Kaniber, zu Besuch am ZAE im Rahmen der Landesgartenschau 2018 (Mitte) zwischen Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (links), ZAE Bayern, und Dr. Otto Hünnerkopf, MdL a.D. © ZAE Bayern

Fig. 8: The Bavarian Minister of Agriculture, Michaela Kaniber, visiting ZAE at the Landesgartenschau 2018 (centre) with Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (left), ZAE Bayern, and Dr. Otto Hünnerkopf, MdL a.D. © ZAE Bayern

Abb. 9: Besuch des Bayerischen Umweltministers, Dr. Marcel Huber (4. v. l.), und MdB Dr. Anja Weisgerber (2. v. r.), hier neben ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (2. v. l.) und ZAE-Bereichsleiter Dr. Hans-Peter Ebert (3. v. l.) © ZAE Bayern

Fig. 9: Visit by the Bavarian Minister of the Environment, Dr. Marcel Huber (4.f.l.), and Member of the German Bundestag, Dr. Anja Weisgerber (2.f.r.), here alongside ZAE Board Member Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (2.f.l.) and ZAE Head of Division Dr. Hans-Peter Ebert (3.f.l.) © ZAE Bayern

Hubert Bittlmayer nutzte die Gelegenheit außerdem für eine Besichtigung des ZAE-Gebäudes. Bei einer Führung durch das Energy Efficiency Center informierte er sich über aktuelle Forschungsaktivitäten im Bereich der Energieeffizienz und die im Forschungs- und Demonstrationsgebäude integrierten innovativen, energieeffizienten Baukomponenten. Der Amtschef zeigte sich sehr beeindruckt.

Hubert Bittlmayer also took the opportunity to visit the ZAE building. On a tour of the Energy Efficiency Center, he learned about ongoing research activities in the field of energy efficiency and the innovative energy efficient building components integrated into the research and demonstration building. The Head of the Ministry of of State showed himself to be very impressed.



10



Abb. 10: Gäste des Clustertreffens und ZAE-Mitarbeiter im Foyer des Bereichs ES © ZAE Bayern

Fig. 10: Guests of the cluster meeting and ZAE employees in the foyer of division ES © ZAE Bayern

## CLUSTERTREFFEN ZU THERMISCHEN SPEICHERN UND ENERGIEEFFIZIENZ

Rund 50 Teilnehmer, die meisten aus der bayerischen Industrie, fanden sich am 24. April im Garching ZAE ein, um ihr Wissen über Energiespeicherung und -effizienz auf den neuesten Stand zu bringen. Dazu eingeladen hatte der Cluster Energietechnik von Bayern Innovativ. ZAE-Mitarbeiter und Gäste aus der Wissenschaft erklärten und demonstrierten, wie mit Hilfe von Speichertechnologien die Energieeffizienz industrieller Prozesse gesteigert werden kann oder sich die Energiekosten in Gebäuden senken lassen, um deren Wirtschaftlichkeit zu erhöhen: Maßnahmen, die zugleich ökonomisch und ökologisch sinnvoll sind. Die Vortragenden griffen auf Ergebnisse aus der Laborforschung zurück, erläuterten aber auch Methoden der Potenzialermittlung und zeigten Beispiele für eine erfolgreiche Umsetzung. Anschließend konnten die vorgestellten Technologien anhand von Demonstratoren und Beispielen im Labormaßstab erlebt werden.

## CLUSTER MEETING ON THERMAL STORAGE SYSTEMS AND ENERGY EFFICIENCY

About 50 participants, most of them from Bavarian industrial companies, gathered at ZAE Garching on 24<sup>th</sup> April to brush up on their knowledge about energy storage and efficiency. The energy technology cluster of Bayern Innovativ had extended an invitation. Employees of ZAE and guests from the scientific community explained and demonstrated how storage technology can be used to increase the energy efficiency of industrial processes or reduce energy costs in buildings, thus increasing their cost-effectiveness: Measures which are both economically and ecologically sensible. The speakers drew on results from research in the laboratory, but also explained methods of potential assessment and showed examples of successful implementation. Afterwards, the presented technologies could be experienced on laboratory scale by means of demonstrators and examples.

## FORSCHUNG FÜR DIE ENERGIEWENDE – BAYERNS WIRTSCHAFTS- UND ENER- GIEMINISTER FRANZ JOSEF PSCHIERER AM STAND DES ZAE BAYERN AUF DER HANNOVER MESSE

Bayerns Wirtschafts- und Energieminister Franz Josef Pschierer besuchte am 25. April den Messestand des ZAE Bayern. Das Institut zeigte eindrucksvoll, wie man Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis umsetzt. Ein Highlight der Messepräsenz war der Besuch Franz Josef Pschierers, der sich persönlich über die aktuellen Aktivitäten des ZAE Bayern informieren ließ. Dem Minister wurden drei Exponate in unterschiedlichen Entwicklungsstadien vorgestellt, die gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft entwickelt wurden. Staatsminister Pschierer zeigte sich beeindruckt davon, wie das ZAE Bayern mit seiner angewandten Forschung bayerische Unternehmen bei der Umsetzung der Energiewende unterstützt.

## RESEARCH FOR THE ENERGY TRANSITION – BAVARIA'S MINISTER OF ECONOMICS AND ENERGY, FRANZ JOSEF PSCHIERER, AT ZAE BAYERN'S HANNOVER FAIR BOOTH

Bavaria's Minister of Economic Affairs and Energy, Franz Josef Pschierer, visited ZAE Bayern's booth on 25<sup>th</sup> April. The institute showcased impressively how research results can be put into practice. A highlight of the trade fair presence was the visit of Franz Josef Pschierer, who personally obtained information on the current activities of ZAE Bayern. The Minister was presented three exhibits at different stages of development, which were designed in cooperation with industry partners. Minister of State Pschierer was impressed by how ZAE Bayern's applied research supports Bavarian companies in implementing the energy transition.

Abb. 11: Der Bayerische Wirtschaftsminister, Franz Josef Pschierer, besucht den Gemeinschaftsstand von Bayern Innovativ bei der Hannover Messe; v. l. n. r.: Dr. Rainer Seßner, Geschäftsführer der Bayern Innovativ GmbH, Franz Josef Pschierer, Dr. Jens Hauch, ehemaliger Bereichsleiter ZAE Bayern, und Dr. Bastian Büttner, ZAE Bayern © ZAE Bayern

Fig. 11: The Bavarian Minister of Economic Affairs, Franz Josef Pschierer, visits the joint stand of Bayern Innovativ at the Hannover Fair; f. l. t. r.: Dr. Rainer Seßner, Managing Director of Bayern Innovativ GmbH, Franz Josef Pschierer, Dr. Jens Hauch, former Head of Division at ZAE Bayern, and Dr. Bastian Büttner, ZAE Bayern © ZAE Bayern





Abb. 12: PV-Gutachter untersuchen Solarmodule mit Infrarot-Thermografie.  
© ZAE Bayern

Fig. 12: PV experts examine solar modules via infrared thermography.  
© ZAE Bayern

## GUTACHTERSCHULUNGEN MIT DER DGS

Die Gruppe PVS des ZAE Bayern unterstützt die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) aktiv bei der Fortbildung von PV-Gutachtern und -Experten aus dem In- und Ausland in Form gemeinsamer Gutachterschulungen. Die angebotenen Veranstaltungen setzen sich mit den folgenden Themen auseinander: Typische Schadensbilder in PV-Modulen, Grundlagen der Thermographie mit den Schwerpunkten PV und thermographische Messtechnik. Durch die abwechslungsreiche Programmgestaltung in Form von Webinaren, Vortragsreihen und eines Praxisseminars konnte ein breites Fachpublikum erreicht werden. Das Webinar zur Thermographie stieß auf regen und überregionalen Zuspruch. Beim Praxisseminar diskutierten die Teilnehmer im Prüflabor des ZAE mit Begeisterung über bekannte und neue Fehlermuster, deren Ursachen und Bewertungen.

Insgesamt wurden drei Schulungen angeboten: Ein Photovoltaikgutachter-Workshop, ein Praxisseminar Photovoltaik-Thermographie und ein Praxisseminar Photovoltaik-Kennlinienmessung. Alle drei waren sehr gut besucht.

## EXPERT TRAINING WITH THE DGS

The PVS Group of ZAE Bayern actively supports the International Solar Energy Society (DGS) in the training of PV experts from Germany and abroad with joint expert training courses. The events offered dealt with the following topics: Typical damage patterns in PV modules, basics of thermography with a focus on PV and thermographic metrology. The diverse programme in the form of webinars, lecture series, and a practical seminar was able to reach a broad range of specialists. The webinar on thermography was met with great interest from all over the nation. During the practical seminar, the participants enthusiastically discussed known and unknown defect patterns, their causes and assessment in ZAE's testing laboratory.

A total of three courses were offered: A photovoltaic expert workshop, a practical seminar on photovoltaic thermography, and a practical seminar on characteristic curve measurement in photovoltaics. All three were very well attended.

13



Abb. 13: MdB Anton Hofreiter (rechts) erhält von Dr. Jens Hauch, ehemaliger ZAE-Bereichsleiter, einen Rucksack mit organischen Solarmodulen, der am ZAE in der Solarfabrik der Zukunft (Nürnberg) produziert wurde. © NürnbergMesse/Thomas Geiger

Fig. 13: MdB Anton Hofreiter (right) receives a backpack with organic solar modules from Dr. Jens Hauch, former ZAE Head of Division, which was produced at ZAE's Solar Fab of the Future (Nuremberg). © NürnbergMesse/Thomas Geiger

### KONFERENZ ISENEC 2018 „INTEGRATION OF SUSTAINABLE ENERGIES EXHIBITION AND CONFERENCE“, NÜRNBERG

Zum zweiten Mal kamen am 17. und 18. Juli 2018 ca. 500 internationale Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik auf der iSEnEC 2018 zusammen, um über technische Fortschritte zu berichten und darüber zu diskutieren, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um die Integration erneuerbarer Energien in das Versorgungssystem wirtschaftlich, sozial und ökologisch sinnvoll zu gestalten. Im Kongressprogramm, bestehend aus 16 Vortragsreihen mit insgesamt 160 Vorträgen, wurde die gesamte erneuerbare Energiekette von der Erzeugung über Transport und Speicherung bis zur effizienten Nutzung betrachtet. Die Teilnehmer kamen aus 20 Ländern. Das ZAE Bayern war als Aussteller, Kooperationspartner, Organisator und mit Vorträgen beteiligt.

### CONFERENCE ISENEC 2018 “INTEGRATION OF SUSTAINABLE ENERGIES EXHIBITION AND CONFERENCE”, NUREMBERG

On 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> July 2018, about 500 international representatives of business, science, and politics met for the second time at iSEnEC 2018 to give reports on technical progress and discuss the necessary prerequisites for an economically, socially, and ecologically sound integration of renewable energies into the supply chain. In the congress programme, consisting of 16 lecture series with a total of 160 lectures, the entire renewable energy chain from generation to transport and storage to efficient use was considered. The participants came from 20 countries. ZAE Bayern was involved as an exhibitor, cooperation partner, organiser, and with presentations.



## INTERNATIONALES SYMPOSIUM ZU SPEKTROSKOPIE UND DEGRADATION IN DER ORGANISCHEN PHOTOVOLTAIK

Am 19. Juli 2018 fand am Energie Campus Nürnberg das vom ZAE Bayern veranstaltete „International Symposium on Organic Photovoltaics – Spectroscopy and Degradation“ statt. Sieben Wissenschaftler aus vier Ländern stellten ihre Beiträge zu ausgewählten Themen der organischen Photovoltaik in anspruchsvollen und anschaulichen Präsentationen vor. Mehr als 80 Gäste nutzten nach den Vorträgen die Möglichkeit, mit anderen Wissenschaftlern zu diskutieren und die Labore der Solarfabrik der Zukunft zu besichtigen. Die Resonanz der Gäste zu Format und Inhalt dieser Veranstaltung war durchweg positiv.

## INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPECTROSCOPY AND DEGRADATION IN ORGANIC PHOTOVOLTAICS

On 19<sup>th</sup> July 2018, the “International Symposium on Organic Photovoltaics – Spectroscopy and Degradation”, organised by ZAE Bayern, took place at the Nuremberg Energy Campus. Seven scientists from four countries presented their contributions on selected topics from organic photovoltaics in challenging and vivid presentations. Afterwards, more than 80 guests took the opportunity to engage with other scientists and visit the laboratories of the solar fab of the future. The guests' response to the format and programme of this event was unanimously positive.

Abb. 14: Teilnehmer des Internationalen Symposium zu "Organic Photovoltaics - Spectroscopy and Degradation" © ZAE Bayern

Fig. 14: Participants of the international symposium on "Organic Photovoltaics – Spectroscopy and Degradation" © ZAE Bayern



15

Abb. 15: (v. l. n. r.) Prof. Dr. Vladimir Dyakonov, Vorstand des ZAE, Patrick Friedl, Stadtratsmitglied Bündnis 90/Die Grünen, MdB Dieter Janecek Bündnis 90/Die Grünen, Grünen-Europaabgeordneter Martin Häusling und Dr. Hans-Peter Ebert, Bereichsleiter des ZAE Bayern, bei einem Informationsrundgang durch das Energy Efficiency Center © ZAE Bayern

Fig. 15: (f.l.t.r.) Prof. Dr. Vladimir Dyakonov, Member of the Board of ZAE, Patrick Friedl, member of the city council of Bündnis 90/Die Grünen, Member of the Bundestag Dieter Janecek, Bündnis 90/Die Grünen, Member of the European Green Party Martin Häusling, and Dr. Hans-Peter Ebert, Head of Division at ZAE Bayern, on an informative tour through the Energy Efficiency Center © ZAE Bayern



### **MDB DIETER JANECEK UND EU ABGEORDNETER MARTIN HÄUSLING BESUCHTEN AM 19. JULI DAS ZAE BAYERN**

Digitale Lösungen im Bereich der Planung und des Betriebes von Gebäuden und ganzen Stadtteilen haben das Potenzial, den Energiebedarf im Gebäudesektor zu senken und einen Mehrwert für die Menschen zu schaffen. Im Rahmen eines Informationsbesuches wurden MdB Dieter Janecek, Sprecher für digitale Wirtschaft und digitale Transformation in der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, und dem Grünen-Europaabgeordneten Martin Häusling Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZAE Bayern im Bereich Digitalisierung im Gebäudebereich vorgestellt. Begleitet wurden sie von Stadtrat Patrick Friedl. Alle drei zeigten sich sehr interessiert und begeistert.

### **MEMBER OF THE BUNDESTAG DIETER JANECEK AND EU MEMBER OF PARLIAMENT MARTIN HÄUSLING VISITED ZAE BAYERN ON 19<sup>TH</sup> JULY**

Digital solutions for the planning and operation of buildings and entire city districts harbor potential to reduce the energy demand of the building sector and create additional value for the people. Dieter Janecek, speaker for digital economy and digital transformation of the parliamentary group of Bündnis 90/Die Grünen, and Martin Häusling, representative of the European Green Party, were presented with the research and development work of ZAE Bayern regarding digitisation in the building sector. They were accompanied by city councillor Patrick Friedl. All three of them were highly interested and enthusiastic.

## ZAE BAYERN IST PARTNER IM VERBUND-EXZELLENZCLUSTER ZUR ERFORSCHUNG NEUER QUANTENMATERIALIEN

Am 27. September 2018 wurde bekannt gegeben, welche Exzellenzcluster im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder zur Stärkung der Spitzenforschung an den Universitäten in Deutschland für die nächsten sieben Jahre gefördert werden. Aus 195 Antragskizzen wurde der Exzellenzcluster „Komplexität und Topologie in Quantenmaterialien“ (ct.qmat) als einziger in der Region ausgewählt.

Ziel dieses Clusters ist die Erarbeitung grundlegender Konzepte und des Materialdesigns für zukünftige Technologien. Das Anwendungsspektrum dieser Materialien reicht von der Informationsverarbeitung über die Energieversorgung bis hin zur Medizintechnik.

Neben dem Physik-Team der Julius-Maximilians-Universität und Wissenschaftlern der Technischen Universität Dresden beteiligen sich an dem Großprojekt auch einige außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, darunter das ZAE Bayern in Würzburg. Es wird durch seinen wissenschaftlichen Leiter und Vorstand Prof. Vladimir Dyakonov vertreten, der das Projekt insbesondere mit seiner 25-jährigen Expertise im Bereich der Synthese und Charakterisierung neuartiger Funktions-Nanomaterialien für hocheffiziente Systeme mit sehr geringem Energieverbrauch bereichert.

## ZAE BAYERN IS A PARTNER IN THE CLUSTER OF EXCELLENCE FOR RESEARCH ON NEW QUANTUM MATERIALS

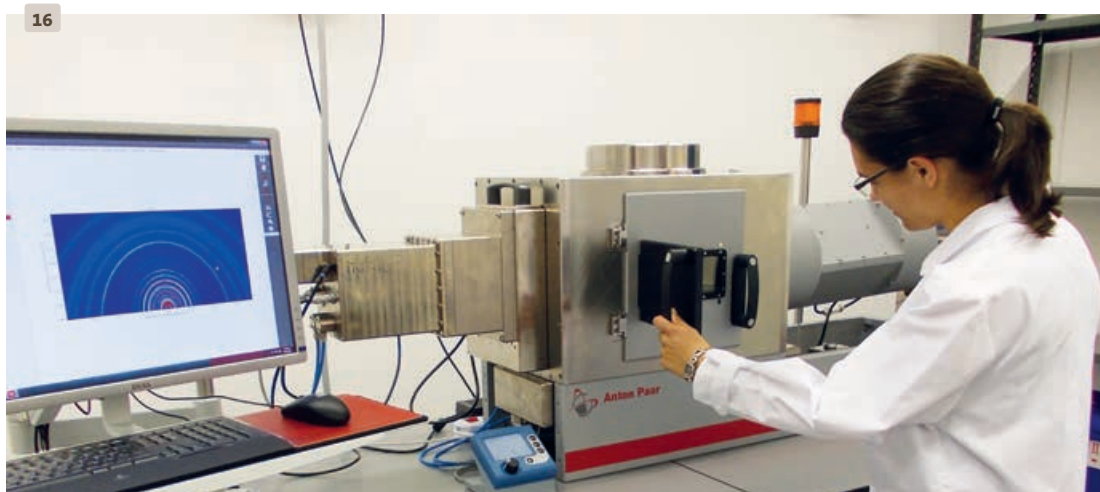
On 27<sup>th</sup> September 2018, the clusters of excellence to be funded for the next seven years within the excellence strategy of the federal and state governments to strengthen top-level research at German universities were announced. Out of 195 proposals, the cluster of excellence “Complexity and Topology in Quantum Materials (ct.qmat)” was the only one selected in the region.

The aim of this cluster is the development of basic concepts and material designs for future technologies. The range of applications for these materials extends from information processing to energy supply and medical technology.

In addition to the physics team of Julius Maximilians Universität and scientists from the Technical University of Dresden, the large scale project also involves a couple of non-university research institutions, amongst them ZAE Bayern in Würzburg which is represented by its scientific director and board member Prof. Vladimir Dyakonov. It contributes to the project in particular with its 25 years of expertise in the synthesis and characterisation of novel functional nanomaterials for highly efficient systems with minimal energy consumption.

Abb. 16: SAXSpoint-Gerät im ZAE-Zentrallabor zur Strukturanalyse am Standort Würzburg  
© ZAE Bayern

Fig. 16: SAXSpoint device in ZAE's central laboratory for structural analysis at the Würzburg site  
© ZAE Bayern

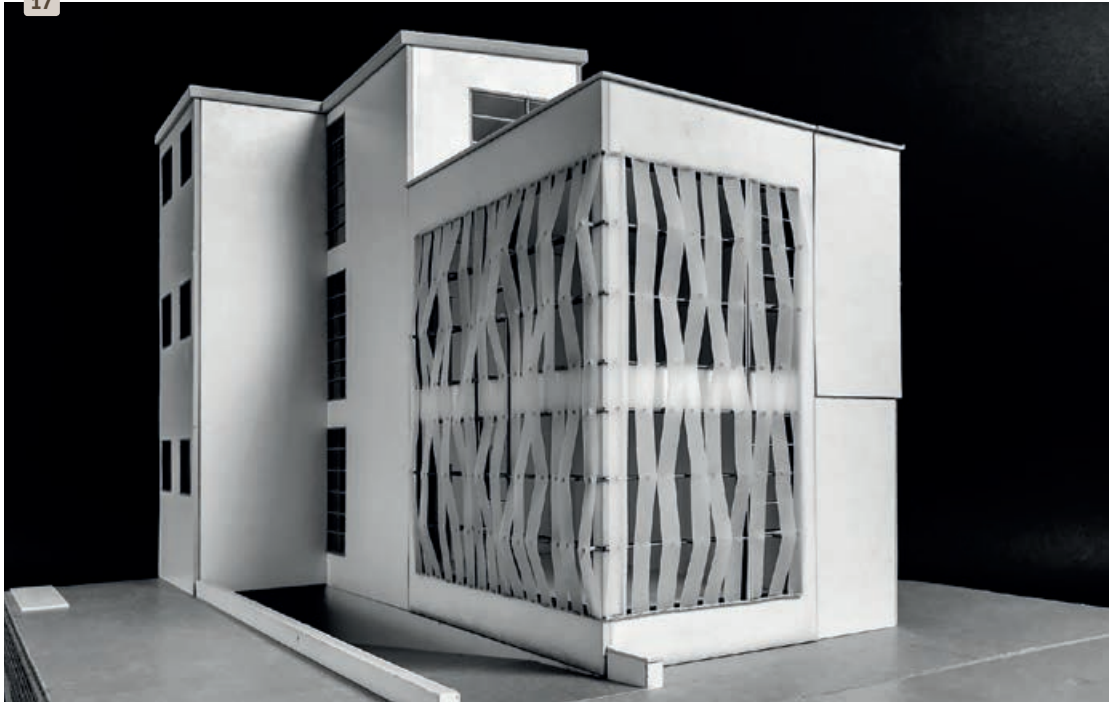


16

17

Abb. 17: Entwurf einer multifunktionalen Solarfassade aus gedruckten Solarmodulen passend zum ZAE-Gebäude in Erlangen (Moritz Bachmann und Sven Vorliczky, Modellmaßstab 1:50)  
© M. Bachmann und S. Vorliczky

Fig. 17: Design of a multifunctional solar façade made from printed solar modules, matching ZAE Erlangen's building (Moritz Bachmann and Sven Vorliczky, model scale 1:50)  
© M. Bachmann and S. Vorliczky



### STUDENTISCHES PROJEKT ZUR ERHÖHUNG DER EE-GENERATION IN DER STADT

Die Kombination von Stromerzeugung und Sonnenschutz eröffnet vielfältige Einsatzbereiche für Photovoltaik in der Fassade. Flexible Folienmodule mit organischen Solarzellen ermöglichen dabei ganz neue Lösungen. Auf Basis dieser innovativen Technologie wurde am 9. Juli – im Rahmen eines Masterseminars der Fakultät für Architektur, TH Nürnberg – passend zum Erlanger Gebäude des ZAE Bayern eine Solarfassade entworfen. Diese soll demonstrieren, wie eine voll funktionale und dennoch optisch ansprechende Konstruktion mit einfachen Mitteln realisiert werden kann. Das Seminar wurde unter anderem durch Dr. Hans-Joachim Egelhaaf vom ZAE Bayern unterstützt und begleitet. In 14 Gruppen entstanden dabei gleichermaßen spannende wie instruktive Entwürfe von kleinteiligen, blattartigen Lösungen zu unterschiedlichsten linearen Strukturen, die eine ganze Reihe neuartiger Ansätze aufzeigen. Das Seminar wurde am 11. Dezember beim Innovationspreis Erneuerbare Energien 2018 der Frank-Seuling-Stiftung mit einem 2. Preis ausgezeichnet.

### STUDENT PROJECT FOR THE INCREASE OF RENEWABLE ENERGY GENERATION IN THE CITY

Combining power generation and sun shading creates a wide range of applications for photovoltaics in facades. Flexible foil modules with organic solar cells allow for entirely new solutions. Based on this innovative technology, a solar façade was designed on 9<sup>th</sup> July – as part of a seminar of the faculty of architecture, TH Nuremberg – to match ZAE Bayern's Erlangen building. This is meant to demonstrate how a fully functional yet visually appealing construction can be realised by simple means. The seminar was supported and accompanied by, among others, Dr. Hans-Joachim Egelhaaf of ZAE Bayern. In 14 groups, equally exciting and instructive designs were created, from small, leaf-like solutions to a wide variety of linear structures, showing a wide range of new approaches. The seminar was awarded 2<sup>nd</sup> prize at the Innovationspreis Erneuerbare Energien 2018 of the Frank Seuling Foundation on 11<sup>th</sup> December.

18



Abb. 18: Kolumbianische Schüler stellen am ZAE Bayern eigene Solarzellen her. © ZAE Bayern

Fig. 18: Colombian students produce their own solar cells at ZAE Bayern. © ZAE Bayern

## BESUCH KOLUMBIANISCHER SCHÜLER/ INNEN BEIM BEREICH RE, ERLANGEN/ NÜRNBERG

In einem gemeinsamen Projekt mit der NASA hatten der Lehrstuhl i-MEET der Friedrich-Alexander-Universität und das ZAE Bayern die Möglichkeit, am 7. November eine Gruppe kolumbianischer Jugendlicher zu empfangen, bevor diese in Berlin den Nobelpreisträger Prof. Gerhard Ertl traf. Der Besuch in Erlangen und Berlin war die erste internationale Reise für die Jugendlichen, die von ihrer Betreuerin Leidy Díaz begleitet wurden. Passend zum Thema des gemeinsamen Projekts, der Erforschung organischer und hybrider Solarzellen im Weltraum, hatten die jungen Kolumbianer die Möglichkeit, in den Laboren des ZAE ihre eigenen Solarzellen zu produzieren. Sie stellten Perowskit-Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von über 10% her.

## COLOMBIAN STUDENTS VISIT DIVISION RE, ERLANGEN/NUREMBERG

In a joint project with NASA, the i-MEET chair of Friedrich Alexander Universität and ZAE Bayern had the opportunity to welcome a group of Colombian youths on 7<sup>th</sup> November before they met Nobel laureate Prof. Gerhard Ertl in Berlin. The visit to Erlangen and Berlin was the first international trip for these young people, who were accompanied by their supervisor, Leidy Díaz. Reflecting the topic of the joint project, the investigation of organic and hybrid solar cells in space, the young Colombians had the opportunity to produce their own solar cells in ZAE's laboratories. They manufactured perovskite solar cells with an efficiency of over 10%.

19

Abb. 19: Mobiles Hochtemperaturspeichermodul des Projektpartners Kraftblock (Nebuma GmbH), wie es der Weiterentwicklung im Projekt zugrunde liegt. © Nebuma

Fig. 19: Mobile high-temperature storage module by project partner Kraftblock (Nebuma GmbH), as used for further development in the project. © Nebuma

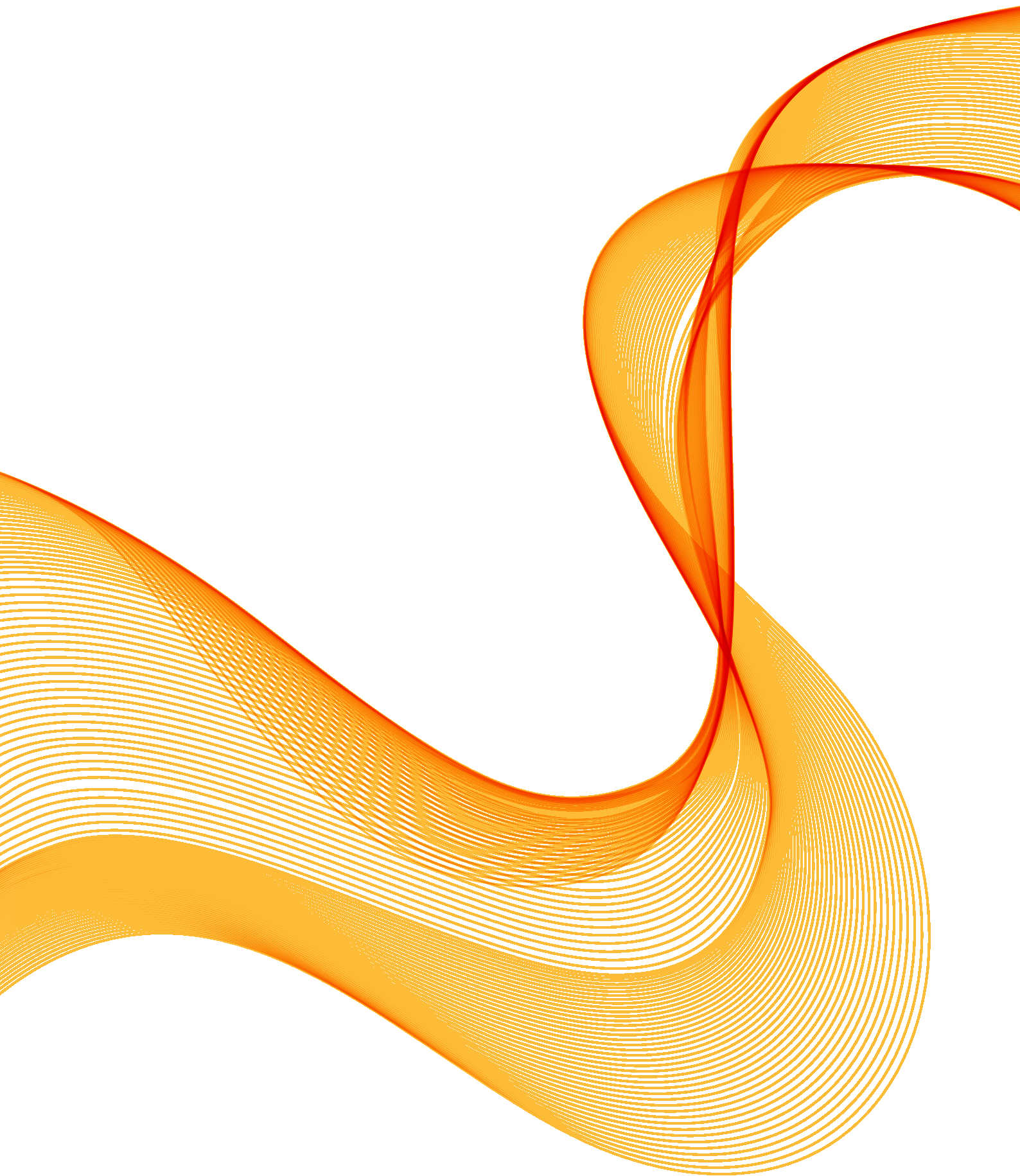


### VAKUUMISOLIERTE HOCHTEMPERATURSPEICHER STEIGERN DIE ENERGIEEFFIZIENZ IN INDUSTRIEANWENDUNGEN

In Kooperation mit den Projektpartnern Kraftblock, Lungmuß feuerfest, va-Q-tec und Verallia, forscht das ZAE seit dem 1. Dezember an neuen, vakuumisolierten Wärmespeichern. Die Herausforderung liegt dabei in der Temperatur: Um eine merkliche Steigerung der Energieeffizienz in industriellen Anwendungen zu erreichen, muss die Isolation bei bis zu 600 °C funktionieren. Zielsetzung ist es, existierende vakuumisolierte Paneele für die Anwendung bei niedrigeren Temperaturen so weiterzuentwickeln, dass sie den erhöhten Anforderungen standhalten. Die Technologie soll dann in mobilen und einfach einzubindenden Wärmespeichern zum Einsatz kommen. Ein Demonstrationsspeicher, der im Rahmen des Projekts erbaut wird, speichert die Abwärme eines Glasindustriebetriebes, um sie für einen weiteren Prozess verfügbar zu machen. Er wird während der Erprobungsphase stetig verbessert. So sollen Energieverluste eingedämmt werden, indem Hochtemperaturspeichern zu größerer Popularität und weiterer Verbreitung verholfen wird.

### VACUUM INSULATED HIGH TEMPERATURE ACCUMULATORS INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL APPLICATIONS

In cooperation with project partners Kraftblock, Lungmuß feuerfest, va-Q-tec, and Verallia, ZAE Bayern has been researching new, vacuum-insulated heat storage units since 1<sup>st</sup> December. The challenge therein lies in the operating temperature: in order to noticeably increase the energy efficiency of industrial processes, the insulation must be able to operate at temperatures of up to 600 °C. The objective is to improve existing vacuum insulated panels designed for use at lower temperatures to meet these increased requirements. The technology will then be used in portable and easy to install heat storage systems. A demonstration storage unit, which will be built as part of the project, will store the waste heat from a glass manufacturing plant to make it available for a further process. It will undergo continuous improvement during the trial phase. Thus, energy losses are to be reduced by increasing the popularity and distribution of high-temperature storage systems.



## 1.6

# BEI UNS ZU GAST OFFICIAL VISITORS

### BESUCHER IN GARCHING

- Delegation aus Thailand (15.03.2018)
- Clustertreffen von Bayern Innovativ (24.04.2018)
- Delegation des Steirischen Landtags (16.05.2018)
- Schülergruppe aus Bad Zwischenhahn (29.05.2018)
- Delegation marokkanischer Unternehmer (13.06.2018)
- Studenten der Hochschule Luzern, Fachgebiet thermische Energiespeicherung (07.09.2018)
- Gruppe der Vhs München im Rahmen des Programms Klimaherbst (11.10.2018)

### VISITORS TO GARCHING

- Delegation from Thailand (15/03/2018)
- Bayern Innovativ cluster meeting (24/04/2018)
- Delegation of the Styrian state parliament (16/05/2018)
- Students from Bad Zwischenhahn (29/05/2018)
- Delegation of Moroccan businessmen (13/06/2018)
- Students of Lucerne University of Applied Sciences and Arts, specialised in thermal energy storage (07/09/2018)
- Adult education class from Vhs Munich's climate autumn programme (11/10/2018)

Abb. 1: Eine Schülergruppe aus Bad Zwischenhahn bei Bremen im ZAE Garching © ZAE Bayern

Fig. 1: A group of students from Bad Zwischenhahn near Bremen at ZAE Garching © ZAE Bayern



Abb. 2: Teilnehmer des Clustertreffens von Bayern Innovativ in Garching © ZAE Bayern

Fig. 2: Participants of Bayern Innovativ's cluster meeting in Garching © ZAE Bayern





3



Abb. 3: Teilnehmer des Vhs-Programms Klimaherbst vor einem Versuchsstand für Hochtemperaturspeicher des Bereichs ES © ZAE Bayern

Fig. 3: Participants of Vhs Munich's climate autumn programme in front of a testing rig for high temperature heat storages at division ES © ZAE Bayern

4



Abb. 4: Mitglieder des Steirischen Landtags zu Besuch im Bereich ES © ZAE Bayern

Fig. 4: Members of the Styrian state parliament visit division ES © ZAE Bayern

5



Abb. 5: Delegation aus Thailand im Bereich ES © ZAE Bayern

Fig. 5: Delegation from Thailand at division ES © ZAE Bayern

## BESUCHER IN WÜRZBURG

- Dr. Harald Reichert, Direktor der Europäischen Strahlenquelle E.S.R.F. Grenoble, Frankreich (08.01.2018)
- Delegationsreise von Experten aus Marokko der Plattform Forschung und Innovationen für nachhaltige Gebäude im Auftrag der Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (24.01.2018)

Abb. 6: Teilnehmer einer marokkanischen Delegation bei einer Führung auf dem Versuchsdach des Energy Efficiency Center © ZAE Bayern

Fig. 6: Participants of a Moroccan delegation during a guided tour on the test roof of the Energy Efficiency Center © ZAE Bayern



Abb. 7: (v. l. n. r.) Patrick Friedl, Sprecher der Würzburger Klima-Allianz, Prof. Heiko Paeth, Universität Würzburg, Tilman Schenk, Universität Wuppertal, Christian Schuchardt, Oberbürgermeister der Stadt Würzburg, Landrat Eberhard Nuß und Dr. Hans-Peter Ebert, ZAE Bayern, eröffnen den 3. Klima-Schutz-Kongress der Klima-Allianz Würzburg. © Daniel Peter

Fig. 7: (f. l. t. r.) Patrick Friedl, speaker of Würzburg's Klima-Allianz, Prof. Heiko Paeth, University of Würzburg, Tilman Schenk, University of Wuppertal, Christian Schuchardt, Mayor of Würzburg, District Administrator Eberhard Nuß, Dr. Hans-Peter Ebert, ZAE Bayern open the 3<sup>rd</sup> Energy Transition Congress of Klima-Allianz Würzburg © Daniel Peter

- Gäste des E-Mobilitätstags der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs- GmbH (08.03.2018 und 17.09.2018)
- Teilnehmer am PCM Symposium "Einsatz von PCM in Gebäuden" (14.-15.03.2018)
- Japanische Delegation aus Takasago, Japan (15.03.2018)
- Teilnehmer des 3. Energiewendekongresses der Klima-Allianz, Würzburg (17.03.2018)
- Mitarbeiter des Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten KG, Bezirksverband Kitzingen (26.03.2018)
- Workshop-Teilnehmer der Bayerischen Klima-Allianz (02./03.04.2018)
- Mitglieder des ZIM-Netzwerks "Stadtklima" – Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (06.04.2018)

## VISITORS TO WÜRZBURG

- Dr. Harald Reichert, Director of Research in Physical Sciences at the European Synchrotron Radiation Facility E.S.R.F., Grenoble, France (08/01/2018)
- Delegation of experts from Morocco of the research and innovation platform for sustainable buildings in behalf of Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (organisation for international cooperation) (24/01/2018)



- Guests of the e-mobility day organised by Würzburger Versorgungs- und Verkehrs- GmbH (Würzburg's supply and transportation operator) (08/03/2018 and 17/09/2018)
- Participants of the PCM Symposium "Use of PCM in buildings" (14.-15/03/2018)
- Japanese delegation from Takasago, Japan (15/03/2018)
- Participants of the 3<sup>rd</sup> Energy Transition Congress of Klima-Allianz, Würzburg (17/03/2018)
- Employees of the Office of Food, Agriculture and Forestry, district association Kitzingen (26/03/2018)
- Participants of a workshop of the Bavarian Climate Alliance (02/04/2018 and 03/04/2018)
- Members of the ZIM-network "urban climate" – Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (central innovation program for SMEs) (06/04/2018)



Abb. 8: Besuch des Bayerischen Umweltministers Dr. Marcel Huber und MdB Dr. Anja Weisgerber Bayern  
© ZAE Bayern

Fig. 8: Bavarian Minister of the Environment Dr. Marcel Huber and Member of the German Bundestag (MdB) Dr. Anja Weisgerber © ZAE Bayern



Abb. 9: (v. r. n. l.) Constantin Römer, ZAE Bayern, erläutert den geladenen Gästen die zur passiven Nutzung der oberflächennahen Erdwärme eingesetzten Wärmeröhre.  
© ZAE Bayern

Fig. 9: (f. r. n. l.) Constantin Römer, ZAE Bayern, explains to the guests the heat pipes used for the passive use of close-to-surface geothermal energy.  
© ZAE Bayern

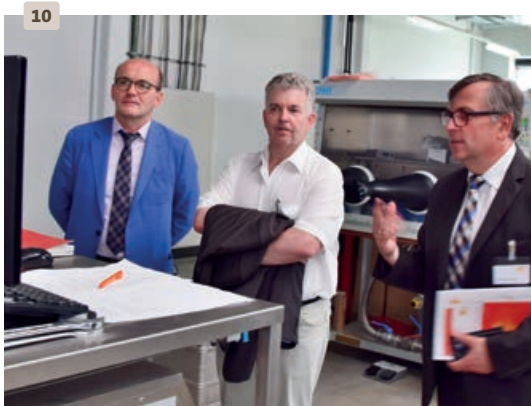


Abb. 10: Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (links), Vorstand des ZAE und Dr. Hans-Peter Ebert (rechts) Bereichsleiter ZAE, erläutern Amtschef MD Hubert Bittlmayer (Mitte) die Herstellung von Hochleistungswärmedämmstoffen im Technikum des ZAE Bayern. © ZAE Bayern

Fig. 10: Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (left), board member of ZAE Bayern and Dr. Hans-Peter Ebert (right) Head of Division at ZAE Bayern, explain the production of highly sophisticated thermal insulation materials to Head of Office MD Hubert Bittlmayer (middle) in the technology centre of ZAE.

- Besuch der Bayerischen Landwirtschaftsministerin, Michaela Kaniber, an der Klima-Forschungs-Station im Rahmen des Presserundgangs auf der Landesgartenschau 2018 (06.04.2018)
- Besuch des Bayerischen Umweltministers, Dr. Marcel Huber, und MdB Dr. Anja Weisgerber (12.4.2018)
- Teilnehmer des Zentrums Stadtnatur und Klimaanpassung (ZSK) der TU München (23.04.2018)
- Sitzung des Arbeitskreises der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau München zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz im Hochbau (25.04.2018)
- Arbeitstagung der Leiter der kommunalen Liegenschaftsämter Bayern (26.04.2018)
- Teilnehmer der Veranstaltung "Forum Grünes Bauen Bayern" (16.05.2018/12.06.2018/19.07.2018/15.09.2018)



Abb. 11: Mitarbeiter des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) beim Rundgang durch das Energy Efficiency Center des ZAE Bayern © ZAE Bayern

Fig. 11: Employees of the Bavarian State Office of Health and Food Safety (LGL) during a guided tour at the Energy Efficiency Center of ZAE Würzburg © ZAE Bayern

- Bavarian Minister of Agriculture, Michaela Kaniber, at the Climate Research Station during a press tour at the Landesgartenschau 2018 (state garden show) (06/04/2018)
- Bavarian Minister of the Environment Dr. Marcel Huber and Member of the German Bundestag (MdB) Dr. Anja Weisgerber (12/04/2018)
- Participants of Centre for Urban Ecology and Climate Adaption (ZSK) of the Technical University of Munich (23/04/2018)
- Meeting of the working group of the Bayerische Ingenieurekammer-Bau Munich (Construction Engineers' Association Munich) on the topics of sustainability and energy efficiency in buildings (25/04/2018)
- Workshop of the heads of Bavarian municipal real estate offices (26/04/2018)
- Participants of "Forum Grünes Bauen Bayern" (forum for green building Bavaria) (16/05/2018, 12/06/2018, 19/07/2018, 15/09/2018)

- Exkursion mit Studierenden des Bachelorstudiengangs Green Building der HAWK Holzminden (18.05.2018)
- Besuch vom Amtschef des Landwirtschaftsministeriums, MD Hubert Bittlmayer (29.05.2018)
- Mitarbeiter des Bayerischen Landesamts für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) (06.06.2018)
- Mitarbeiter des Amtsgerichts Würzburg (07.06.2018)
- Schülerinnen und Schüler sowie Referenten der 57. Mathematik-Olympiade (16.06.2018)
- Prof. Grazyna Gryglewicz von der Wroclaw University of Science and Technology/WUT Department of Polymer and Carbonaceous Materials (18. - 20.06.2018)
- Sponsorentag an der Klima-Forschungs-Station (05.07.2018)
- MdB Dieter Janecek Bündnis 90/Die Grünen, Grünen-Europaabgeordneter Martin Häusling und Patrick Friedl, Stadtratsmitglied Bündnis 90/Die Grünen (19.07.2018)
- Besuch der Vizepräsidentin des Deutschen Bundestages, Claudia Roth, an der Klima-Forschungs-Station (30.08.2018)
- Besucher der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau am "Tag der Energie" (08.09.2018)
- Teilnehmer aus Industrie, Wissenschaft und Interessierte am ZUSE Tag Regional (20.09.2018)
- CSU-Fachausschuss "Forschung, Innovation, Technologie" FIT (27.09.2018)
- Teilnehmer des 3. Symposiums zum Thema Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden (27.09.2018)
- Junge und erwachsene Interessierte im Rahmen des Maus-Türöffner-Tages (03.10.2018)
- Abgeordneten-Delegation, Stanislaus Mabula, Minister of Parliament aus Mwanza, Tansania (16.10.2018)
- Exkursion mit Studierenden der Bundesfachschaften-Tagung Physik (23.11.2018)
- über 800 Schülerinnen und Schüler aus Bayern
- Excursion with bachelor students of the green building programme of HAWK Holzminden (university of applied sciences and art) (18/05/2018)
- Head of Office of the Bavarian Ministry of Nutrition, Agriculture and Forestry (MD Hubert Bittlmayer (29/05/2018)
- Employees of the Bavarian State Office for Health and Food Safety (LGL) (06/06/2018)
- Staff members of the local court Würzburg (07/06/2018)
- Students and speakers of the 57<sup>th</sup> Maths Olympics (16/06/2018)
- Professor Grazyna Gryglewicz of Wroclaw University of Science and Technology / WUT Department of Polymer and Carbonaceous Materials (18. - 20./06/2018)
- Sponsors day at the Climate Research Station (05/07/2018)
- Member of the German Bundestag Dieter Janecek, member of the European Parliament Martin Häusling and Patrick Friedl, Member of the City Council of Würzburg (all Bündnis 90/Die Grünen) (19/07/2018)
- Vice President of the German Bundestag, Claudia Roth, at the Climate Research Station (30/08/2018)
- Visitors of Bayerische Ingenieurekammer-Bau Munich (Construction Engineers' Association Munich) at the "Energy Day" (08/09/2018)
- Participants from industry, science, and interested parties at the regional ZUSE day (20/09/2018)
- CSU expert committee "Research, Innovation, Technology" FIT (27/09/2018)
- Participants of the 3<sup>rd</sup> Symposium on membrane constructions for the energetic renovation of buildings (27/09/2018)
- Mouse Door Opener Day (03/10/2018)
- Mwanza delegation, Stanislaus Mabula, Minister of Parliament from Mwanza, Tansania (16/10/2018)
- Excursion with students of the German physics student councils' conference (23/11/2018)
- Over 800 pupils from Bavaria



Abb. 12: Die Bayerische Landwirtschaftsministerin Michaela Kaniber zu Besuch am ZAE im Rahmen der Landesgartenschau 2018 neben ZAE-Bereichsleiter Dr. Hans-Peter Ebert (links) und ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (Mitte).  
© ZAE Bayern

Fig. 12: Bavaria's Minister of Agriculture, Michaela Kaniber, visiting ZAE during Landesgartenschau 2018 with Head of Division Dr. Hans-Peter Ebert (left) and Member of the Board, Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (middle).  
© ZAE Bayern



Abb. 13: Referenten der Bundesrunde der 57. Mathematik-Olympiade informierten sich bei einem Besuch des Energy Efficiency Center über das Gebäude und seine Ausstellung. © ZAE Bayern

Fig. 13: Students and speakers of the 57<sup>th</sup> Maths Olympics national qualifications visited the Energy Efficiency Center to find out more about the building and its exhibition. © ZAE Bayern



Abb. 14: MdB Dieter Janecek Bündnis 90/Die Grünen (3. v. l.), Patrick Friedl, Stadtratsmitglied Bündnis 90/Die Grünen (4. v. l.) und Grünen-Europaabgeordneter Martin Häusling (1. v. r.) lassen sich von Dr. Hans-Peter Ebert, Bereichsleiter ZAE Bayern, an der Klima-Forschungs-Station informieren © ZAE Bayern

Fig. 14: Dieter Janecek (3<sup>rd</sup> f.l.), MdB of the green party, Patrick Friedl (4<sup>th</sup> f.l.), city council member of the green party, and Martin Häusling (right), member of the European parliament for the green party, listen to the explanations of Dr. Hans-Peter Ebert, head of division EF, on ZAE's Climate Research Station © ZAE Bayern



Abb. 15: (v. l. n. r.) Vizepräsidentin des Deutschen Bundestages Claudia Roth, Dr. Gudrun Reichenauer, Gruppenleiterin ZAE Bayern, und Claudia Knoll, Geschäftsführerin Bayerische Landesgartenschau GmbH, an der Klima-Forschungs-Station des ZAE Bayern © ZAE Bayern

Fig. 15: (f. l. t. r.) Vice President of the German Bundestag Claudia Roth, Dr. Gudrun Reichenauer, Head of Group ZAE Bayern, and Claudia Knoll, Director of Bayerische Landesgartenschau GmbH, at the Climate Research Station of ZAE Bayern © ZAE Bayern

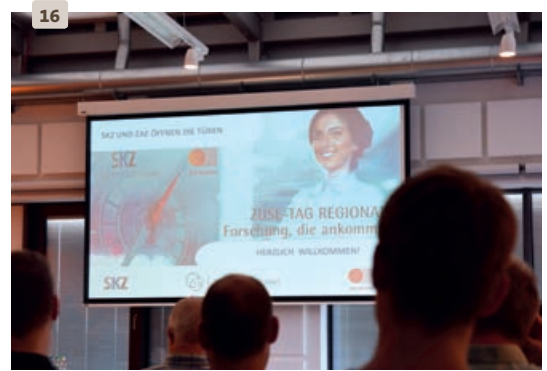


Abb. 16: Erster ZUSE-Tag regional unter dem Motto "Forschung die ankommt" bietet Einblicke in die Energieforschung am ZAE Bayern in Würzburg © ZAE Bayern

Fig. 16: The 1<sup>st</sup> regional ZUSE day themed "Research which reaches" offers insights into energy research at ZAE Bayern in Würzburg © ZAE Bayern

4.9.2013

ZU BESUCH BEIM  
ZAE BAYERN

Langliche Gebäude  
am mit Energie  
Koburg!  
Khal 25/9/13

TO ZAE,  
THANK YOU FOR YOUR  
WELCOME AND HOSPITALITY  
DURING MY VISIT TO YOUR  
OFFICE IN KOBURG.

*Dieter Janecek*



Brüder und Schwestern,  
Zur Sonne,

14

Abb. 17: MdB Dieter Janecek bei seinem Eintrag auf der "Wall of Fame" im Energy Efficiency Center © ZAE Bayern  
Fig. 17: MdB Dieter Janecek signing the "wall of fame" in the Energy Efficiency Center © ZAE Bayern

Abb. 18: Eine große Anzahl von Schulklassen hat in diesem Jahr die Klima-Forschungs-Station, die Ausstellung KLIMA-UMWELT-ENERGIE und die Green Box während der Landesgartenschau 2018 unter dem Motto "Schule im Grünen" besucht.  
© ZAE Bayern

Fig. 18: A large number of school classes visited the Climate Research Station, the exhibition KLIMA-UMWELT-ENERGIE, and the Green Box during the Landesgartenschau 2018 (state garden show) themed "School in the Green"  
© ZAE Bayern







19

Abb. 19: Teilnehmer des CSU-Ausschusses "Forschung, Innovation, Technologie" auf dem Versuchsdach des ZAE Bayern © ZAE Bayern

Fig. 19: Participants of CSU expert committee "Research, Innovation, Technology" FIT on the experimental roof of ZAE Bayern © ZAE Bayern



20

Abb. 20: Großes Interesse für das 3. Symposium zum Thema Membrankonstruktion zur energetischen Sanierung von Gebäuden im Energy Efficiency Center © ZAE Bayern

Fig. 20: Participants of the 3<sup>rd</sup> Symposium on membrane constructions for the energetic renovation of buildings © ZAE Bayern



21

Abb. 21: Ein Blick hinter die Kulissen am Maus-Türöffner-Tag. ZAE-Forscher präsentierten den großen und kleinen Kindern eine Wissenschaftsshow rund um das Thema Wärme und Kälte. © ZAE Bayern

Fig. 21: A view behind the scenes on the Mouse Door Opener Day. ZAE researchers present a science show on the subject of heat and cold to children of all ages. © ZAE Bayern





Abb. 22: Dr. Hans-Peter Ebert (links) führt Stanislaus Mabula (Mitte), Minister of Parliament aus Mwanza, Tansania, und sein Team durch das ZAE Bayern und zur Klima-Forschungs-Station.  
© ZAE Bayern

Fig. 22: Dr. Hans-Peter Ebert (left) with a Mwanza delegation and Stanislaus Mabula (middle), Minister of Parliament from Mwanza, Tansania during a guided tour of ZAE Bayern and the Climate Research Station.  
© ZAE Bayern

## BESUCHER IN NÜRNBERG

- Verein Energiewende ER(H)langen e. V. (26.01.2018)
- Delegation aus Südafrika, Vertreter aus dem Bereich Erneuerbare Energien und Wasser-management (05.02.2018)
- Josef Hasler, Vorsitzender des Vorstands der N-ERGIE AG (18.04.2018)
- Delegation aus der Ukraine (26.04.2018)
- Prof. Dr. Stelios Choulis, Technische Universität Zypern (15.05.2018)
- Prof. Dr. Gerrit Höfker und Studenten, Hochschule Bochum (29.05.2018)
- Mexikanische Delegation im Rahmen der GIZ Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (18.06.2018)
- Mitarbeiter von Printed Electronics Franken (04.07.2018)
- Mitarbeiter der Firma Framatome (19.07.2018)
- Delegation aus China (02.08.2018)
- Andreas Radlmaier, Leiter des Projektbüros im Kulturreferat der Stadt Nürnberg (09.08.2018)
- Delegation aus China (26.09.2018)
- Katja Hessel, Mitglied des Deutschen Bundestages (02.10.2018)
- Carsten Haferkamp, Geschäftsführer Framatome GmbH, und Mitarbeiter (22.10.2018)
- Delegation aus China, MIT-Delegation Energy, Educational Program Functional Materials - Advanced Energy Materials (05.11.2018)
- Besuch kolumbianischer Schüler, Projekt NASA und LS i-MEET (07.11.2018)
- Mitarbeiter des Deutschen Museums Nürnberg (07.11.2018)
- Argentinische Wirtschaftsdelegation (16.11.2018)

## VISITORS TO NUREMBERG

- Verein Energiewende e. V. (association for energy transition) ER(H)langen (26.01.2018)
- Delegation from South Africa, representatives of the sectors renewable energies and water management (05/02/2018)
- CEO of N-ERGIE AG, Josef Hasler (18/04/2018)
- Delegation from Ukraine (26/04/2018)
- Prof. Dr. Stelios Choulis, Cyprus University of Technology (15/05/2018)
- Prof. Dr. Gerrit Höfker and students, Bochum University of Applied Sciences (29/05/2018)
- Society for International Cooperation: delegation from Mexico (18/06/2018)
- Printed Electronics Franken (04/07/2018)
- Representatives of Framatome (19/07/2018)
- Delegation from China (02/08/2018)
- Andreas Radlmaier, head of the cultural project agency at the Department of Arts and Culture of the City of Nuremberg, (09/08/2018)
- Delegation from China (26/09/2018)
- Katja Hessel, Member of the German Bundestag (02/10/2018)
- Carsten Haferkamp, head of Framatome, and employees (22/10/2018)
- Delegation from China, MIT-Delegation Energy, Educational Program Functional Materials - Advanced Energy Materials (05/11/2018)
- Students from Colombia (07/11/2018)
- Employees of Deutsches Museum Nürnberg (German Museum Nuremberg) (07/11/2018)
- Economic delegation from Argentina (16/11/2018)

23



Abb. 23: Verein Energiewende ER(H)langen e. V. in Nürnberg © ZAE Bayern

Fig. 23: Verein Energiewende e. V. (association for energy transition) ER(H)langen in Nuremberg © ZAE Bayern

24



Abb. 24: Delegation aus Südafrika zu Besuch in Nürnberg © ZAE Bayern

Fig. 24: Delegation from South Africa visiting ZAE Nuremberg © ZAE Bayern

25

Abb. 25: N-ERGIE AG in der Solarfabrik der Zukunft  
© ZAE Bayern

Fig. 25: N-ERGIE AG at the Solar Fab of the Future  
© ZAE Bayern



26

Abb. 26: Delegation aus der Ukraine am ZAE in Nürnberg  
© ZAE Bayern

Fig. 26: Delegation from Ukraine visiting ZAE Nuremberg  
© ZAE Bayern



27



Abb. 27: Studenten aus der Hochschule Bochum in Nürnberg © ZAE Bayern

Fig. 27: Students of Bochum University of Applied Sciences © ZAE Bayern

28



Abb. 28: Mexikanische Delegation in Nürnberg © ZAE Bayern

Fig. 28: Mexican delegation at ZAE Nuremberg © ZAE Bayern

Abb. 29: Mitarbeiter von Printed Electronics Franken am ZAE in Nürnberg © ZAE Bayern

Fig. 29: Employees of Printed Electronics Franken at ZAE Nuremberg © ZAE Bayern









---

**FORSCHUNG**  
RESEARCH

---

**2.0**

---

**HOCHDURCHSATZMATERIALENTWICKLUNG**  
HIGH THROUGHPUT ENGINEERING

**SOLARFABRIK DER ZUKUNFT**  
SOLAR FAB OF THE FUTURE

**ANGEWANDTE IR-METROLOGIE**  
APPLIED IR METROLOGY

**ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE**  
ENERGY OPTIMISED BUILDINGS

**NANOMATERIALIEN**  
NANOMATERIALS

**SOLAR-HYBRIDE SYSTEME**  
SOLAR HYBRID SYSTEMS

**PV-SYSTEME**  
PV SYSTEMS

**WÄRMETRANSFORMATION**  
HEAT CONVERSION

**THERMISCHE ENERGIESPEICHER**  
THERMAL ENERGY STORAGE

**ELEKTROCHEMISCHE ENERGIESPEICHER**  
ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE

**SOLARTHERMIE UND GEOTHERMIE**  
SOLAR THERMAL AND GEOTHERMAL

**SYSTEMENTWICKLUNG**  
SYSTEMS ENGINEERING

**THERMISCHE ANALYSE**  
THERMAL ANALYSIS

---

# FORSCHUNG RESEARCH

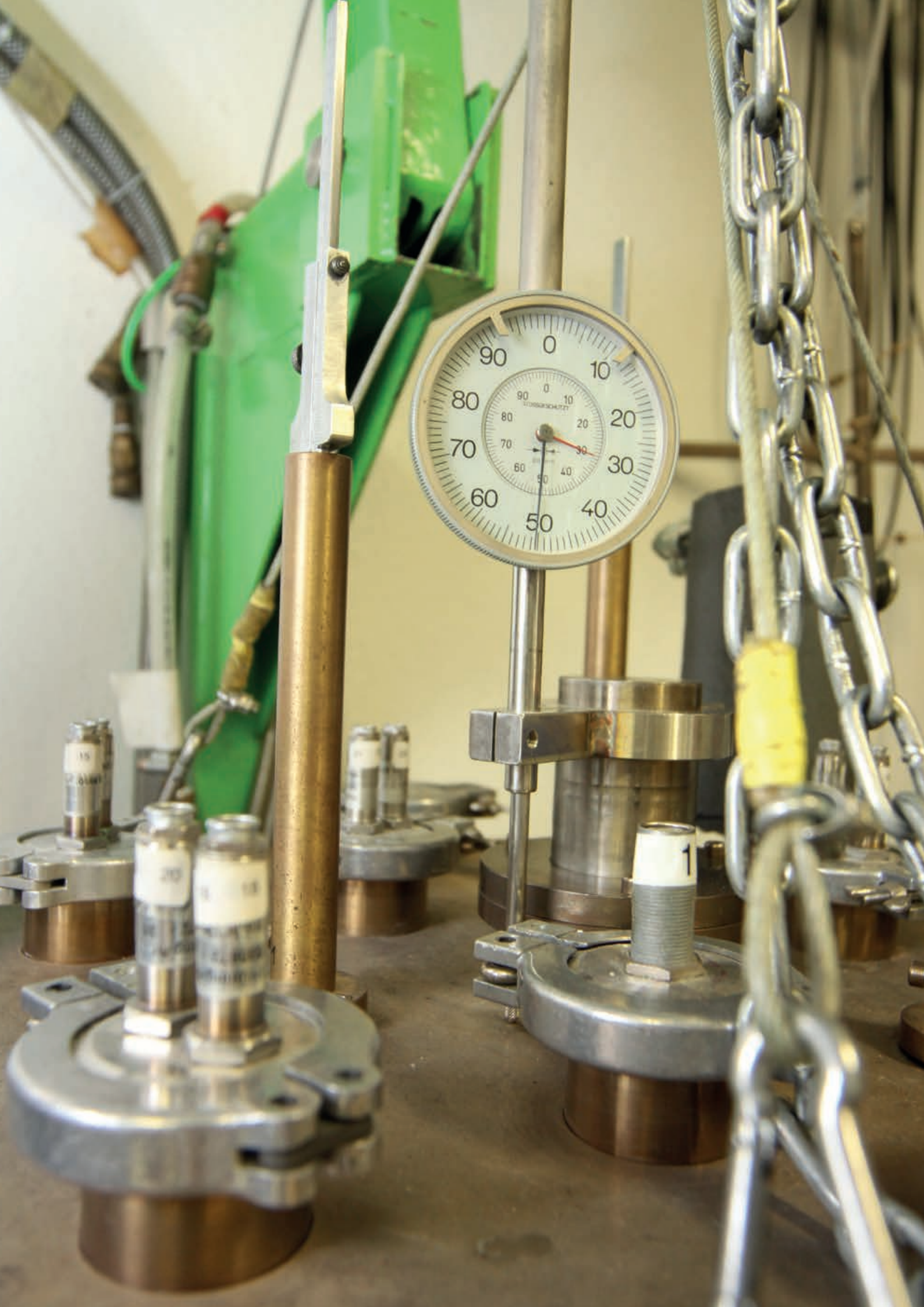
Unser Energiesystem stellt in seiner Gesamtheit eine komplexe Struktur mit, bezüglich Energiebereitstellung, -speicherung, -transport und -verwendung, verschieden stark vernetzten Komponenten dar. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt insbesondere in den interdisziplinär und bereichsübergreifend vernetzten Arbeitsgruppen begründet, die konsequent Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung betreiben. Diese ungewöhnliche Breite resultiert einerseits aus der traditionellen Kooperation mit den benachbarten Hochschulen, andererseits aus der industrienahen Forschung. 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 tragen große gesellschaftliche Relevanz in sich, insbesondere im Hinblick auf die anstehende Energiewende. Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiespeicherung sind unabdingbar für eine erfolgreiche Umsetzung derselben, was sich in den Bereichsbezeichnungen des ZAE Bayern widerspiegelt.

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

Our energy system in its entirety is a complex structure of components which exhibit different levels of interlinkage in terms of production, storage, transport, and use of energy. The main reason for ZAE Bayern's strength in research lies in the interdisciplinary and cross-division interlinkage of its research groups who consistently cover all stages of research, from basal to applied. This unusually wide range results from long-running cooperations with adjacent universities on the one hand, joint research with industrial partners on the other. ZAE performs basic research projects (funding i.a. by DFG, EU, BMBF) as well as applied projects (funding i.a. by BMWi, EU, BayStMWi, and industry partners). Our core issues carry high social significance, especially with regard to the pending change in energy policy. Renewable energies, energy efficiency, and energy storage are all crucial for making this change a successful one which reflects in ZAE Bayern's division names.

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





Entwicklung können erst durch die Verknüpfung dieser beiden Ebenen erschlossen werden.

Forschungskreativität und -qualität äußern sich auf vielfältige Weise. Ein Landesinstitut wie das ZAE Bayern beweist seine Forschungsstärke durch einen traditionell hohen Anteil eingeworbener Drittmittel am Gesamtbudget. Anwendungsorientierte Forschung schlägt sich z. B. in Patentschriften nieder. Die internationale Sichtbarkeit eines Forschungsinstituts und seine wissenschaftliche Innovationskraft werden meist anhand wissenschaftlicher Publikationen in internationalen Fachzeitschriften bewertet. Statistische Analyse, z. B. durch Web of Science, zeigt, dass das ZAE Bayern in seiner Kategorie anwendungsorientierter Institute eine Spitzenstellung innehat. Eine Übersicht über Veröffentlichungen in begutachteten Fachzeitschriften, wissenschaftliche Vorträge und Poster, die auf nationalen und internationalen Konferenzen des letzten Jahres vorgestellt wurden, finden Sie in Kapitel 3. Die Mitarbeit in Expertengremien (z. B. Internationale Energieagentur IEA, DIN-Ausschüsse, nationale Experten-Arbeitskreise) rundet den wissenschaftlichen Austausch mit der weltweiten Forschungsgemeinschaft ab. In der breiten 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.

Creativity and quality of research find diverse manifestations. A state institute like ZAE Bayern proves its strength in research through the acquisition of a traditionally large amount of third party funds. Patents are one indicator of application-oriented work. 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, scientific talks held, and posters presented by our employees at national and international conferences. Our involvement in the international scientific 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 countermeasure, the following chapter gives an overview of ZAE Bayern's current research activity.

## 2.1 INDUSTRIE 4.0 UND ROBOTIK – AUF DEM WEG ZU AUTONOMEN MATERIALENTWICKLUNGSPLATTFORMEN

### INDUSTRY 4.0 AND ROBOTICS – TOWARDS AUTONOMOUS MATERIAL DEVELOPMENT PLATFORMS

Autor | Author  
T. Stubhan, J. Hauch, C. J. Brabec

Ansprechpartner | Contact  
**Dr. Tobias Stubhan**  
Gruppenleiter Hochdurchsatz-  
materialentwicklung  
Head of Group  
High-Throughput Engineering

Bereich | Division  
**Erneuerbare Energien**  
Renewable Energies  
+49 9131 9398-171  
tobias.stubhan@zae-bayern.de

Literatur | References  
[1] E. G. E. Maine, Res. Policy, 35, (2006), 375-393, 2006.

Die Entwicklung fortschrittlicher Funktionsmaterialien wird stetig aufwändiger (Abb. 1). Mittlerweile sind Zusammensetzungen und Verarbeitungsschritte so komplex, dass die Optimierung bis zur Marktreife mit traditionellen Labormethoden typischerweise 10 bis 20 Jahre beansprucht [1].

Fortschritte in Robotik, Rechenleistung und Konnektivität haben nun aber autonome Forschungsplattformen in greifbare Nähe gerückt, deren Funktionalität von der Simulation spezialisierter Materialien bis zur Herstellung und Charakterisierung von Bauelementen reicht. Durch Automatisierung interner Rückkopplungskreisläufe und maschinelles Lernen werden sich die Entwicklungszeiten voraussichtlich um mindestens eine Größenordnung verkürzen lassen.

Um diesen Ansatz voranzutreiben, wurde eine vollautomatische Forschungslinie für lösungsprozessierbare dünne Funktionsschichten implementiert (Abb. 2). Der generische Forschungsansatz lässt sich aber auch auf viele andere Entwicklungsprozesse anwenden. In der Linie werden Materialien synthetisiert, charakterisiert

The development of advanced functional materials is steadily becoming more sophisticated (Fig. 1). By now, compositions and processing steps have become so complex, that optimisation to market maturity with traditional laboratory methods typically takes 10 to 20 years [1].

However, advances in robotics, computing power, and connectivity have brought into reach autonomous research platforms whose functionality ranges from the simulation of specialised materials to the manufacture and characterisation of components. By automation of internal feedback loops and machine learning, development times can likely be shortened by at least one order of magnitude.

To advance this approach, a fully automated research line for solution-processable thin functional layers was implemented (Fig. 2). However, this generic research approach can also be applied to many other development processes. Materials are synthesised, characterised and optimised until they reach predefined material parameters and are then transferred to application

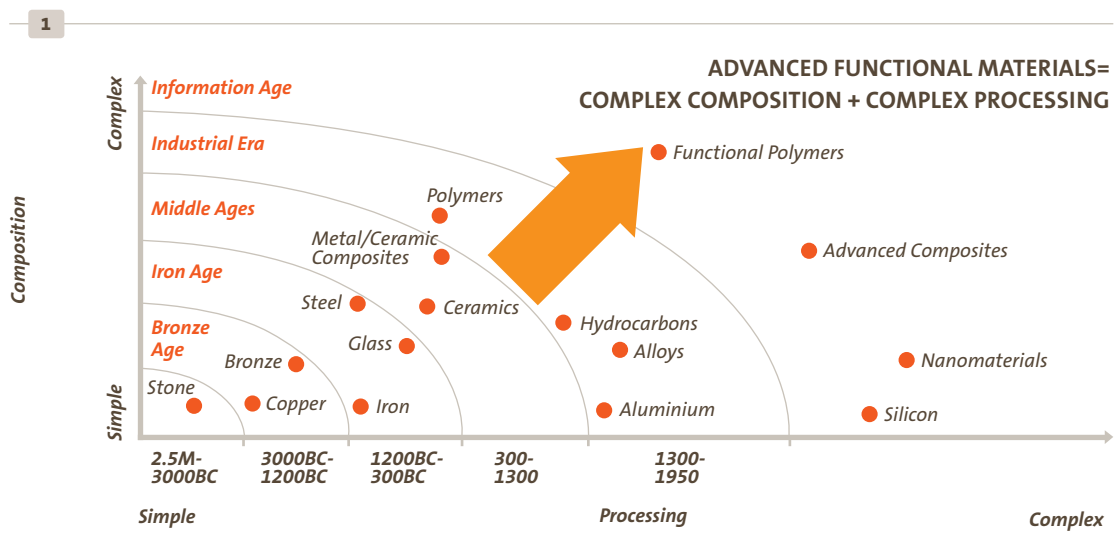


Abb. 1: Historische Entwicklung fortschrittlicher Funktionsmaterialien

Fig. 1: Historic development of advanced functional materials



und optimiert, bis sie vorgegebene Materialparameter erreichen und in die Anwendungsentwicklung überführt werden. In diesem Schritt werden sie aufgelöst, die Lösungen charakterisiert und zu funktionalen Schichtstapeln oder elektrooptischen Bauelementen verarbeitet. Danach folgen erneute Charakterisierung und Funktionstests. All dies wurde bereits in einer automatisierten Maschine umgesetzt (Abb. 3). Künftig soll die Entwicklung bereits früher, mit quantenchemischen Simulationen, beginnen, die vielversprechende, bisher unbekannte Materialien aufzeigen.

Die hohe Präzision und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse solcher Verfahren erleichtern die Suche nach neuen Materialien. Sie ermöglichen Forschungsansätze, die mit herkömmlichen Methoden kaum realisierbar wären. Die Konnektivität der Forschungslinie sowie eine Datenbank, in der alle Aspekte der Verarbeitung und Charakterisierung dokumentiert werden, ebnet den Weg zu künftigen, vollautonomen Forschungsplattformen.



Abb. 2: Automatisierte Forschungslinie für lösungsprozessierte optoelektronische Bauelemente in Erlangen

Fig. 2: Automated research line for solution processed optoelectronic devices in Erlangen, Germany

development. In this step, they are dissolved, the solutions characterised and processed into functional layer stacks or electro-optical components. This is followed by repeated characterisation and functional tests. This process has already been implemented in an automated machine (Fig. 3). In the future, the development is supposed to begin even earlier, with quantum chemical simulations to reveal promising, previously unknown materials.

The high precision and reproducibility of the results of such methods facilitate the search for new materials. They allow for research approaches hardly feasible with conventional methods. The connectivity of the research line and a database, in which all aspects of processing and characterisation are documented, pave the way for future, fully autonomous research platforms.

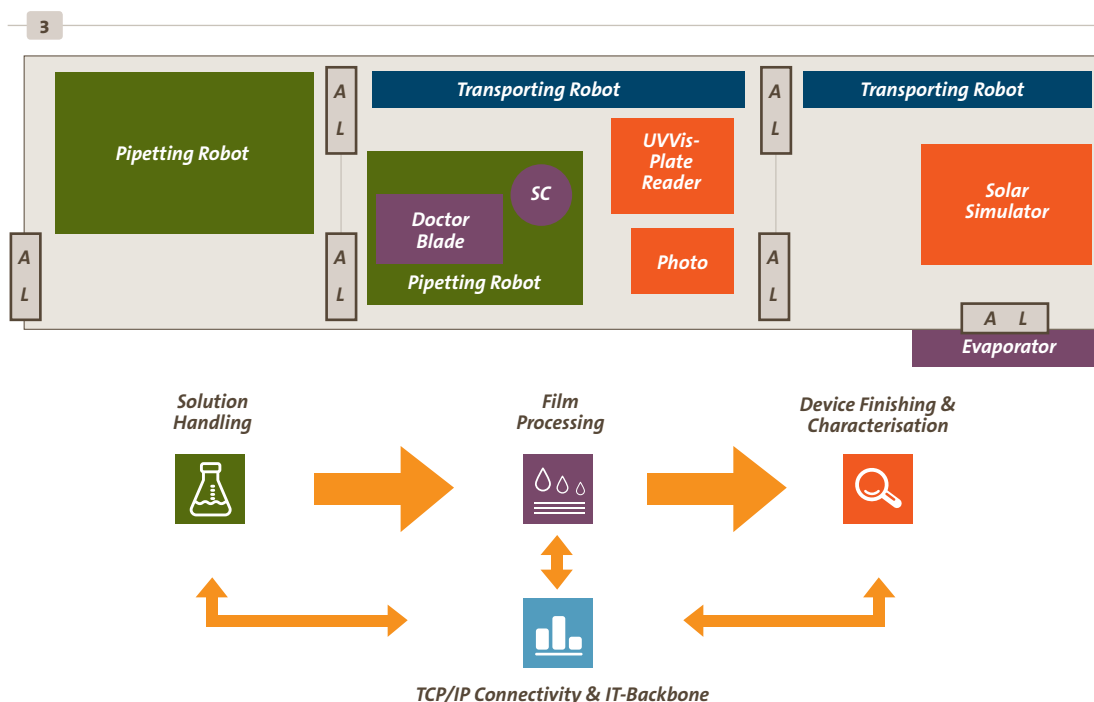


Abb. 3: Schematische Darstellung der automatisierten Forschungsmaschine für lösungsprozessierte optoelektronische Bauelemente

Fig. 3: Schematic of the automated research machine for solution processed optoelectronic devices

## 2.2 DIREKTVERKAPSELUNG ORGANISCHER SOLARZELLEN MITTELS DRUCKTECHNISCHER VERFAHREN

### DIRECT ENCAPSULATION OF ORGANIC SOLAR CELLS BY SLOT DIE COATING

Autor | Author  
H.-J. Egelhaaf, I. Channa

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, Landesentwicklung  
und Energie (FKZ 20.2-  
3410.5-4-5)  
Deutscher Akademischer Aus-  
tauschdienst (FPN 50015451)

Literatur | References  
[1] A. Morlier, S. Cros, J.-P. Garandet, and N. Alberola, Gas barrier properties of solution processed composite multilayer structures for organic solar cells encapsulation, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 115 (2013) 93–99.

Organische Solarzellen (OSCs) degradieren unter Einwirkung von Sauerstoff und Wasserdampf rasch. Zur Verlängerung ihrer Lebensdauer werden sie mit Barrierefolien verkapselt. Hochwertige kommerzielle Barrierefolien müssen aber in einem zusätzlichen Prozessschritt auflaminiert werden, sind teuer und für die Verkapselung dreidimensionaler Oberflächen nicht geeignet. Am ZAE Bayern wurde deshalb eine Verkapselungsmethode entwickelt, die eine direkte Aufbringung der Barriere auf flexible oder dreidimensionale Bauteile erlaubt.

Die Methode beruht auf dem Auftrag einer Tinte auf Basis von Perhydropolysilazan (PHPS) und deren Umwandlung in eine dichte Siliziumoxid-Schicht. Die Tinte wird bei Raumtemperatur durch Rakeln auf die Solarzellen appliziert und dann mittels dreiminütiger Vakuum-Ultraviolettbestrahlung bei 100 °C umgewandelt. Weder die PHPS-Lösung noch die UV-Bestrahlung beeinträchtigen dabei die Funktionalität der Zelle.

Bereits bekannt ist die Steigerung der Barrierewirkung von PHPS-Filmen bei abwechselnder Schichtung von PHPS- und Polymerlagen [1]. Um diesen Effekt zu nutzen, wurden vierlagige Verbünde aus jeweils zwei 170 nm dicken PHPS-Schichten und 5-10 µm dicken Polymerschichten hergestellt (Abb. 1). Die als Polymere verwendeten, UV-härtenden Epoxy- und Acrylatharze stellen eine stabile Verbindung der Schichten sicher und verhindern eine Delamination bei flexiblen Verformungen der Bauteile. Durch einen dem Acrylat zugesetzten UV-Filter erübrigt sich dessen gesonderte Aufbringung.

Organic solar cells (OSCs) degrade rapidly under the influence of oxygen and water vapour. To extend their service life, they can be encapsulated with barrier films. However, high-quality commercial barrier films need to be laminated in an additional processing step, they are expensive and not suited for encapsulating three-dimensional surfaces. ZAE Bayern has therefore developed an encapsulation method allowing for direct application of the barrier to flexible or three-dimensional components.

The method involves applying an ink based on perhydropolysilazane (PHPS) and converting it into a dense silicon oxide layer. The ink is applied to the solar cells by doctor blade at room temperature, then converted via vacuum ultraviolet irradiation at 100 °C for three minutes. Neither the PHPS solution nor the UV irradiation impairs the cell's functionality.

The barrier effect of PHPS films is known to increase when layers of PHPS and polymers alternate [1]. In order to take advantage of this effect, four-layer composites were fabricated from two 170 nm thick PHPS layers and two 5–10 µm thick polymer layers (Fig. 1). The UV-curing epoxy and acrylate resins used for the polymers guarantee a stable bond between the layers and prevent delamination during flexible deformation of the components. A UV filter is added to the acrylate to eliminate the need for separate application.

Such barrier layers have water vapour transmission rates (WVTR) of less than 0.01 grams per square metre per day and oxygen transmission rates (OTR) of less than 0.01 cubic centimetres per square metre per day

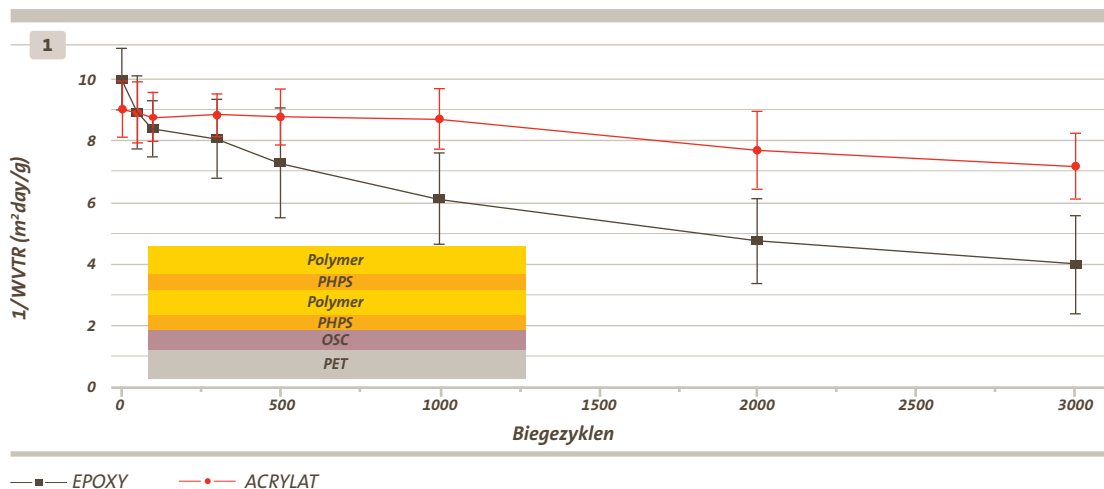


Abb. 1: Barrierewirkung (als reziproke WVTR) von PHPS/ Polymer-Multilagen (Schichtung s. Einfügung) als Funktion der Biegezyklen (Biegeradius 3 cm)

Fig. 1: Barrier effect (as reciprocal WVTR) of PHPS/polymer multilayers (stratification see insertion) as function of bending cycles (bending radius 3 cm)

Solche Barrierschichten weisen Wasserdampftransmissionsraten (WVTR) von weniger als 0,01 Gramm pro Quadratmeter und Tag und Sauerstofftransmissionsraten (OTR) von weniger als 0,01 Kubikzentimeter pro Quadratmeter, Tag und Bar auf. Dank der Flexibilität der mehrlagigen Strukturen betrug die Zunahme der Wasserdampftransmissionsrate nach 3000 Biegezyklen außerdem weniger als 10% (Abb. 1).

Die PHPS-basierten Barrierschichten sind also für den Schutz flexibler OSCs gegen Degradation geeignet. Nach 350 Stunden in feuchter Hitze (40 °C/85 % rF) verringerte sich die Effizienz der Zelle um nur 12% des Ausgangswerts von 3%. Die Bestrahlung verkapselter Bauteile in einem Sonnensimulator bei 65 °C resultierte in einer Abnahme der Effizienz um 29% (Abb. 2). Unverkapselte OSCs versagten hier innerhalb von 24 Stunden. Ein abruptes Versagen der OSCs trat nicht auf. Die Barriere blieb also auch während der Alterungstests intakt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass flüssig aufgetragene, PHPS-basierte Barrieren die Lebensdauer von OSCs in beschleunigten Alterungstests von wenigen Minuten auf über 300 Stunden verlängern. Sie eignen sich daher hervorragend für den vorübergehenden Schutz der Bauteile, z. B. während Lagerung oder Transport vor der Integration in Endprodukte wie Isolierglasfenster. So wird die drucktechnische in-line-Verkapselung auch dreidimensionaler elektronischer Bauteile möglich, was die Herstellung gedruckter Photovoltaikmodule revolutioniert.

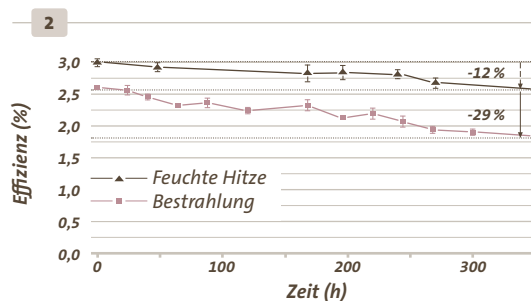


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der Effizienz einer organischen Solarzelle während Bestrahlung mit weißem Licht (1 Sonne/65 °C) bzw. Lagerung in feuchter Hitze (40 °C/85 % rF)

Fig. 2: Development over time of the efficiency of an organic solar cell during irradiation with white light (1 sun/65 °C) or storage in humid heat (40 °C/85 % rh)

per bar. Also, owing to the flexibility of the multilayer structures, the increase in the water vapour transmission rate after 3000 bending cycles was below 10% (Fig. 1).

The PHPS-based barrier layers are therefore suitable for protecting flexible OSCs against degradation. After 350 hours in humid heat (40 °C/85 % rh), the efficiency of the cell decreased by only 12% of the initial value of 3%. The irradiation of encapsulated components at 65 °C in a solar simulator resulted in a 29% reduction in efficiency (Fig. 2). Unencapsulated OSCs failed within 24 hours. An abrupt failure of OSCs did not occur. The barrier thus remained intact throughout the ageing tests.

In summary, liquid-applied PHPS-based barriers extend the service life of OSCs in accelerated ageing tests from a few minutes to over 300 hours. They are therefore ideally suited for the temporary protection of components, e.g. during storage or transport prior to integration into end products such as insulating glass windows. This allows for the in-line encapsulation of three-dimensional electronic components, which revolutionises the production of printed photovoltaic modules.

## 2.3 ENERGIEEFFIZIENZOPTIMIERUNG VON FLUGZEUGTRIEBWERKEN

### ENERGETIC EFFICIENCY OPTIMISATION OF AIRCRAFT ENGINES

Autor | Author  
M. Arduini, J. Manara

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

Bereich | Division  
**Energieeffizienz**  
Energy Efficiency  
+49 931 70564-346  
jochen.manara@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie**  
(FKZ 20T1718)

Kooperationspartner | Partners  
**Lufthansa Technik AG (LHT)**  
**Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt e. V. (DLR)**  
**Montanuniversität Leoben**  
(MUL)

Abb. 1: Beheizung eines  
keramischen Probekörpers  
© ZAE Bayern

Fig. 1: Heating of a ceramic  
specimen © ZAE Bayern

Keramische, nicht-oxidische Faserverbundwerkstoffe mit komplexen E/TBC-Beschichtungen (environmental and thermal barrier coatings) werden, aufgrund ihrer vorteilhaften mechanischen und thermischen Eigenschaften, zunehmend in Flugzeugtriebwerken eingesetzt. Ein Aspekt aktueller Forschung besteht deshalb in der Entwicklung zusätzlicher wärmereflektierender Beschichtungssysteme, welche in E/TBC-Beschichtungen integriert werden können. Diese liefern einen deutlichen Mehrwert, indem sie die Lebensdauer von Turbinenbauteilen erhöhen. Zudem wirken sie signifikant temperatursenkend und können sowohl auf keramischen Matrixverbundwerkstoff-Bauteilen als auch auf Nickelbasis-Bauteilen aufgebracht werden.

Solche Beschichtungen können, durch Reflexion der Wärmestrahlung, die aus dem Verbrennungsgas und anderen heißen Bauteilen einfällt, den Wärmeeintrag auf die beschichteten Bauteiloberflächen deutlich reduzieren. Genaue Kenntnis der relevanten thermophysikalischen Größen bei den vorherrschenden Einsatzbedingungen, z. B Reflexionsgrad und Emissionsgrad der Schichtsysteme, ist dabei essenziell für ihre Entwicklung und Optimierung. Aufgrund der in Flugzeugtriebwerken auftretenden hohen Temperaturen ist es erforderlich, entsprechende Messungen unter den gleichen Bedingungen durchzuführen. Das ZAE Bayern verfügt in diesem Bereich über herausragende Expertise und ist in der Lage, die notwendigen Charakterisierungen, speziell der infrarot-optischen und thermischen Eigenschaften, unter den jeweiligen Anwendungsbedingungen vorzunehmen. So können am Institut geplante Entwicklungen in Kooperation mit Projektpartnern zielgerichtet durchgeführt werden.

Darüber hinaus arbeitet das ZAE an einer Erweiterung seiner metrologischen Kompetenz im Hochtemperaturbereich. Die abdeckbare Temperaturspanne soll vergrößert, die mögliche Messgenauigkeit erhöht wer-

Due to their advantageous mechanical and thermal properties, ceramic non-oxide fibre composites with complex E/TBC coatings (combined environmental and thermal barrier coatings) find increasing use in aircraft engines. Therefore, one focus of current research is on the development of additional heat-reflective coating systems for incorporation into E/TBC coatings. These add substantial benefit by increasing the lifetime of turbine components. Also, they cause a significant drop in temperature and can be applied to ceramic matrix composite components as well as to nickel-based components.

By reflecting the thermal radiation coming from the combustion gas and other hot components, such coatings can considerably reduce the heat load on coated component surfaces. Precise knowledge of the relevant thermophysical parameters at the prevailing operating conditions, such as reflectivity and emissivity of the coating systems, is essential for their develop-



2

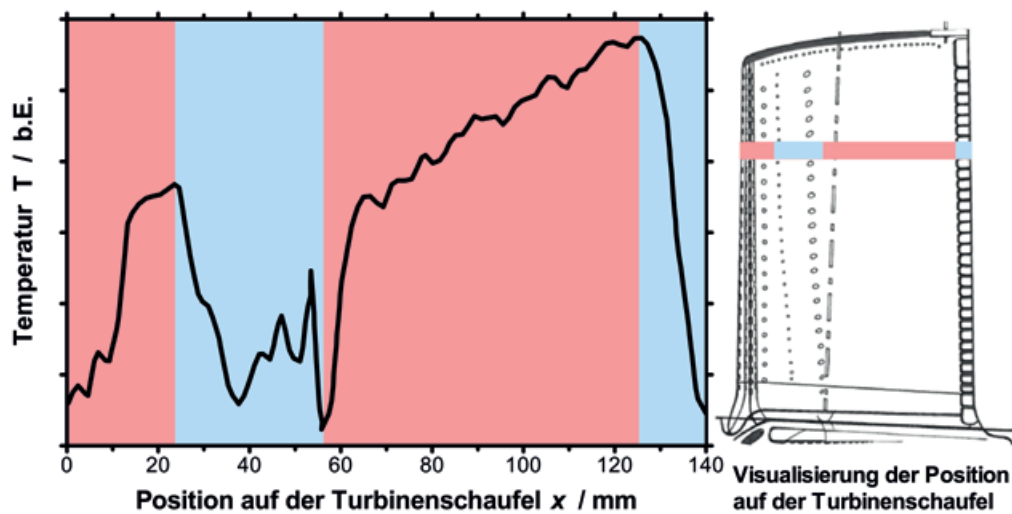


Abb. 2: Gemessener typischer Temperaturverlauf auf einer Turbinenschaufel als Funktion des Ortes auf der Schaufeloberfläche [1]

Fig. 2: Typical temperature profile on a turbine blade, measured as a function of the position on the blade surface [1]

den. Diese Aktivitäten finden im Rahmen nationaler und europäischer Projekte statt und ermöglichen den weiteren Ausbau der herausragenden Stellung, die das ZAE bereits jetzt bei der thermophysikalischen Materialcharakterisierung unter extremen Bedingungen einnimmt. Eine verbesserte und an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung angepasste messtechnische Ausstattung bildet zudem die Grundlage für eine zukünftige Entwicklung funktionaler Materialien zur Steigerung der Energieeffizienz. Diese wird durch zuverlässige Bestimmung der relevanten Materialeigenschaften auch bei hohen Temperaturen, Drücken etc. erst ermöglicht.

ment and optimisation. Due to the high temperatures occurring in aircraft engines, measurements must be performed under the same conditions to be conclusive. ZAE Bayern has outstanding expertise in this area and can carry out the required characterisations, especially of infrared optical and thermal properties, under the respective operating conditions. Hence, development processes planned at the institute can be performed in cooperation with project partners.

Furthermore, ZAE Bayern is working on expanding its metrological competence in the high-temperature range. The maximum temperature range and measurement accuracy are therefore supposed to be increased. These activities are carried out within national and European projects and allow ZAE Bayern to further strengthen its already outstanding position in the field of thermophysical material characterisation under extreme conditions. Moreover, improved measurement technology adapted to the requirements of the particular application is the basis for any future development of functional materials which increase energy efficiency. This is only made possible through reliable determination of all relevant material properties even at high temperatures, pressures, etc.

- Literatur | References  
 [1] J. Manara et al, *Technisches Messen*, 85 (2018) 28-39.  
 [2] M. Zipf et al, *High Temp. - High Press.*, 47 (2018) 3-21.

## 2.4 EVAKUIERTE FENSTER- UND FASSADEN- VERGLASUNG MIT MONOLITHISCHEN SILICA-AEROGEL-STÜTZKÖRPERN EVACUATED GLAZING FOR WINDOWS AND FACADES WITH MONOLITHIC SILICA AEROGEL SPACERS

Autor | Author  
**B. Büttner, G. Reichenauer,  
C. Scherdel**

Ansprechpartner | Contact  
**Dr. Bastian Büttner**  
Stellv. Gruppenleiter  
Energieoptimierte Gebäude  
Deputy Head of Group  
Energy-Optimised Buildings

Bereich | Division  
**Energieeffizienz**  
Energy Efficiency  
+49 931 70564-231  
bastian.buettner@  
zae-bayern.de

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  
**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie**  
(FKZ 03ET1324A)

Kooperationspartner | Partners  
**BSH Hausgeräte GmbH**

Dipl.-Ing. **Herbert Hölscher  
GmbH & Co. KG**

**ENERGY Glas GmbH**  
**Kömmerling Chemische Fabrik  
GmbH**

**mosy GmbH**

Da Verglasungen in energieeffizienten Fassaden eine Schwachstelle darstellen, werden sie ständig weiterentwickelt. Anders als bei lichtundurchlässigen Dämmstoffen führen größere Stärken bei transparenten Elementen nicht zu besserer Dämmung. Ab einer gewissen Dicke der Gasschicht verschlechtert sich die Gesamtdämmwirkung von Mehrfachverglasungen sogar, da Wärmeleitung durch Konvektion einsetzt. In typischen Anwendungen wird daher die Stärke des Scheibenzwischenraumes (SZR) so auf das verwendete Füllgas angepasst, dass keine Konvektion stattfindet (Abb. 1) [1].

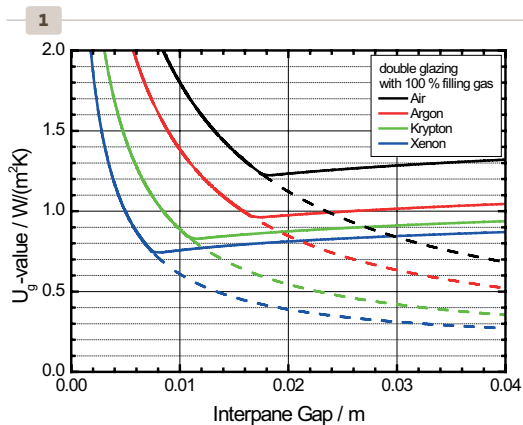
Im Projekt „Hochwärmedämmende Fassadensysteme auf Vakuumbasis (HFV)“ wurde ein alternativer Ansatz verfolgt: Durch Reduzierung des Gasdrucks auf etwa 10 % des Atmosphärendrucks wird Konvektion unterdrückt. Das ermöglicht größere SZR bei gleichzeitig besserer Dämmwirkung. Da aber bereits moderater Unterdruck zu einem Kollaps der Scheiben führt, müssen Stützen eingebracht werden, welche die Belastung durch den Atmosphärendruck aufnehmen. Die Anforderungen an diese Stützen sind hoch: Liegen 10 % der gesamten Scheibenfläche auf ihnen auf, dürfen sie bei einem Druck von 100 Tonnen pro Quadratmeter nur unwesentlich gestaucht werden. Gleichzeitig muss ihre Wärmeleitfähigkeit gering sein, da sie im Scheibenaufbau als Wärmebrücken agieren. Außerdem ist ein hoher Grad an Lichttransmission erwünscht, um gute Durchsicht und hohe solare Energiegewinne sicherzustellen.

Zu diesem Zweck bietet sich die Nutzung des weitreichend einstellbaren Materialsystems der Silica-Aerogele an [2]. Deren Eigenschaften können, durch Anpassung der für die Synthese gewählten Parameter, in einer enormen Bandbreite variiert werden [3]. Am ZAE Bayern wurde zu solchen Aerogelen, die sich für den Einsatz als Stützen in Verglasungen eignen,

Since glazing is a weak point of energy-efficient facades, it is subject to ongoing development. In contrast to opaque insulating materials, greater thicknesses in transparent elements do not result in better insulation. Above a certain thickness of the gas layer, the overall insulating effect of multiple glazing even deteriorates, as heat conduction by convection sets in. In typical applications, the thickness of the space between the panes (interpane gap) is therefore adapted to the employed filling gas so that convection does not occur (Fig. 1) [1].

In the project “Highly thermally insulating facade systems based on vacuum”, an alternative approach was pursued: By reducing the gas pressure to about 10 % of atmospheric pressure, convection is suppressed. This allows for larger interpane gaps while improving the insulation effect. However, since even moderate negative pressure causes the panes to collapse, spacers are necessary to absorb the load of the atmospheric pressure. The demands placed on these spacers are high: if 10 % of the entire pane surface rest on them, they may only undergo marginal compression at a pressure of 100 tonnes per square metre. At the same time, their thermal conductivity needs to be low, as they act as thermal bridges in the pane structure. A high degree of light transmission is also required to ensure good transparency and high solar energy gains.

For this purpose, the widely adjustable material system of silica aerogels [2] is a great fit. Their properties can be modified in an enormous range by adjusting the parameters of the synthesis [3]. At ZAE Bayern, a statistical test plan was developed for such aerogels which are suitable to be used as spacers in glazing and a number of corresponding syntheses were carried out. The aim was to map the effects of parameter changes as precisely as possible to meet the high demands of the planned application on the basis of the process un-



ein statistischer Versuchsplan erstellt und eine Reihe entsprechender Synthesen durchgeführt. Ziel war, die Auswirkungen von Parameteränderungen möglichst präzise abzubilden, um durch das so erlangte Prozessverständnis die hohen Anforderungen der geplanten Anwendung erfüllen zu können. So wurde ein Syntheseprozess für Silica-Aerogele ermittelt, die sich für den genannten Einsatzfall optimal eignen: Eine Stauchung unter Einsatzbedingungen von unter 5%, ein Transmissionsgrad von über 50% im visuellen Spektrum und eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,04 Watt pro Meter und Kelvin. Mittels dreidimensionaler Finite-Elemente-Simulationen unter Berücksichtigung von Strahlung im SZR wurde festgestellt, dass für eine mit Krypton unter 0,1 bar gefüllte Doppelverglasung mit einem SZR von 30 mm bei Einsatz von Silica-Aerogel-Stützen ein außerordentlich niedriger Wärmedurchgangskoeffizient von 0,5 Watt pro Quadratmeter und Kelvin möglich ist. Dies entspricht dem Wert einer deutlich schwereren Dreifachverglasung mit Kryptonfüllung.

Zur Demonstration wurden Labormuster mit hexagonaler und kubischer Rasteranordnung der Stützen angefertigt (Abb. 2). Die optische und mechanische Bewertung dieser Labormuster zeigte, dass die Stützen der Druckbelastung langfristig standhalten.



derstanding gained this way. Thus, a synthesis process was determined for silica aerogels, perfectly suited for the mentioned application: A compressibility of less than 5% under operating conditions, a transmittance of more than 50% in the visible spectrum, and a thermal conductivity of less than 0.04 Watt per metre and Kelvin. By means of three-dimensional finite element simulations taking into account radiation in the interpane gap, it was determined that for double glazing filled with krypton at 0.1 bar and with an interpane gap of 30 mm, using silica aerogel spacers results in an extraordinarily low thermal transmittance of 0.5 watts per metre and Kelvin. This corresponds with the value of a significantly heavier triple glazing with krypton filling.

For demonstration purposes, laboratory samples with hexagonal and cubic patterns of the spacers were prepared (Fig. 2). The optical and mechanical evaluation of these laboratory samples showed that the spacers were able to withstand the compression load on a long-term basis.

Abb. 1: Berechnete Wärmedurchgangswerte ( $U_g$ -Werte) von Doppelverglasungen, mit Luft und verschiedenen Edelgasen bei 1 bar gefüllt, für wachsende Scheibenzwischenräume [1]. Durchgezogene Linien stellen den Verlauf mit Konvektion, gestrichelte bei Unterdrückung derselben dar. Der  $U_g$ -Wert erreicht sein Minimum bei einer je nach Füllgas unterschiedlichen Dimensionierung des SZR

Fig. 1: Calculated thermal transmittance values ( $U_g$  values) of double glazing, filled with air and different noble gases at 1 bar, for growing spaces between panes [1]. Continuous lines show the course with convection, dashed lines with suppression of same. The  $U_g$ -value reaches its minimum at a different dimensioning of the interpane gap depending on the filling gas

Abb. 2: Evakuiertes Demonstrationsmuster mit kubischem Raster und einer 10%-Flächenbelegung mit Silica-Aerogel Stützen [1]

Fig. 2: Evacuated demonstration pattern with cubic grid and 10% area coverage with silica aerogel spacers [1]

#### Literatur | References

- [1] B. Büttner et al., EuroSun 2018, Rapperswil, Switzerland, 10.-13.09.2018.
- [2] G. Reichenauer, Chapter 3.1 in: Nanotechnology and Energy: Science, Promises, and Limits, 1<sup>st</sup> Edition, Pan Stanford, 2012, p. 90-114.
- [3] P. Wang et al. (1991), Journal of Applied Crystallography, 24, 777-780.

## 2.5

## TROCKENBAUPLATTEN MIT FEUCHTEPUFFERFUNKTION ZUR EINSTELLUNG DES INNENRAUMKLIMAS

### DRYWALL BOARDS WITH MOISTURE BUFFER FUNCTION FOR INDOOR CLIMATE CONTROL

Autor | Author  
G. Reichenauer, C. Balzer

Ansprechpartner | Contact  
Dr. Gudrun Reichenauer  
Gruppenleiterin  
Nanomaterialien  
Head of Group  
Nanomaterials

Bereich | Division  
Energieeffizienz  
Energy Efficiency  
+49 931 70564-328  
gudrun.reichenauer@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie (FKZ  
03ET1061)

Kooperationspartner | Partners  
Saint-Gobain Rigips GmbH

#### Literatur | References

- [1] RWWE Energie Bau-Handbuch, 11. Ausgabe, Energie-Verlag Heidelberg, 1980.  
[2] H. P. Ebert et al., Schlussbericht zum BMWi-Verbundprojekt ENOTEC, 2016.  
[3] ZAE Bayern, Feuchtespeicherndes Stoffgemisch und Bauplatte daraus, DE102014018799, 2016.  
[4] [www.sto.de/de/produkte/produktprogramm/productdetail\\_201011686.html](http://www.sto.de/de/produkte/produktprogramm/productdetail_201011686.html)  
[5] T. Stahl et al., Bauphysik 35 (2013), 347.

Durch zunehmend langanhaltende, feuchtheiße Sommer sinkt auch in Deutschland die Schwelle zum Einbau von Klimaanlage immer weiter. Diese Entwicklung wirkt aber der Forderung nach einer deutlichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den nächsten Jahren stark entgegen.

Der Wohlfühlbereich des Menschen definiert sich nicht nur über die Temperatur, sondern auch maßgeblich über die relative Luftfeuchte. So empfindet man eine Temperatur von 27 °C noch als behaglich, solange die relative Feuchte 50 % nicht übersteigt [1]. Fällt sie allerdings bei gleicher Temperatur unter 20 %, wird die Luft sogar als zu trocken wahrgenommen. Deshalb müssen bei aktiver Klimatisierung idealerweise sowohl Temperatur als auch Luftfeuchtigkeit kontrolliert werden. Dies ist aber mit einem hohen Aufwand an elektrischer Energie verbunden.

Am ZAE Bayern wurden alternative, passive Komponenten zur Feuchtespeicherung untersucht. Durch ihre Integration in herkömmliche Trockenbauplatten wurden diese zu einer feuchtepuffernden Variante weiterentwickelt, die sich für die Renovierung von Altbauten oder den Einsatz an kritischen Stellen in Neubauten eignet. Optisch sind diese Platten nicht von ihren konventionellen Pendanten zu unterscheiden. Werden sie Feuchte ausgesetzt, zeigen sie allerdings ihr hohes Pufferpotenzial. Bei der Nachstellung einer raschen Freisetzung großer Wasserdampfmen gen, wie sie beim Duschen oder Kochen auftritt, nahmen die feuchtepuffernden Platten sehr schnell sehr viel Feuchtigkeit auf. Der Effekt zeigte sich in einer rasch wieder abfallenden Raumfeuchte (Abb. 1). Auch Feuchtespitzen an heißen Sommertagen können mit diesen neuen Trockenbauplatten gut gedämpft werden. Dies zeigte sich bei vergleichenden Messungen in zwei baugleichen Räumen des ZAE Bayern, wobei der Referenzraum mit konventionellen, der Testraum hingegen mit feuchtepuffernden Trockenbauplatten ausgestattet war (Abb. 2).

With increasingly prolonged, hot, and humid summers, the threshold for the installation of air conditioning systems in Germany is constantly decreasing. This development strongly counteracts the demand for a significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions in the coming years.

The human climatic comfort zone is defined not only by temperature, but also strongly by relative humidity. For example, a temperature of 27 °C is considered comfortable as long as the relative humidity does not exceed 50 % [1]. However, if it falls below 20 % at the same temperature, the air is perceived as too dry. Therefore, ideally both temperature and humidity must be controlled when using active air conditioning. This is, however, associated with a high expenditure of electrical energy.

ZAE Bayern therefore examined alternative, passive components for moisture storage. Through integration into conventional drywall boards, same were further developed into a moisture buffering version, suitable for the renovation of old ones or use at critical points in new buildings. Visually, these panels are indistinguishable from their conventional counterparts. When exposed to moisture, however, they show their high buffering potential. When subjected to a quickly released, large amount of water vapour, comparable to what occurs during showers or cooking, the moisture buffering boards very quickly absorbed a great deal of moisture. This effect manifested itself in a rapidly falling room humidity (Fig. 1). Humidity peaks on hot summer days can also be dampened well with these new drywall boards. This became obvious in comparing measurements performed in two identical rooms of ZAE Bayern, whereby the reference room was equipped with conventional drywall boards, the test room with moisture buffering ones (Fig. 2).



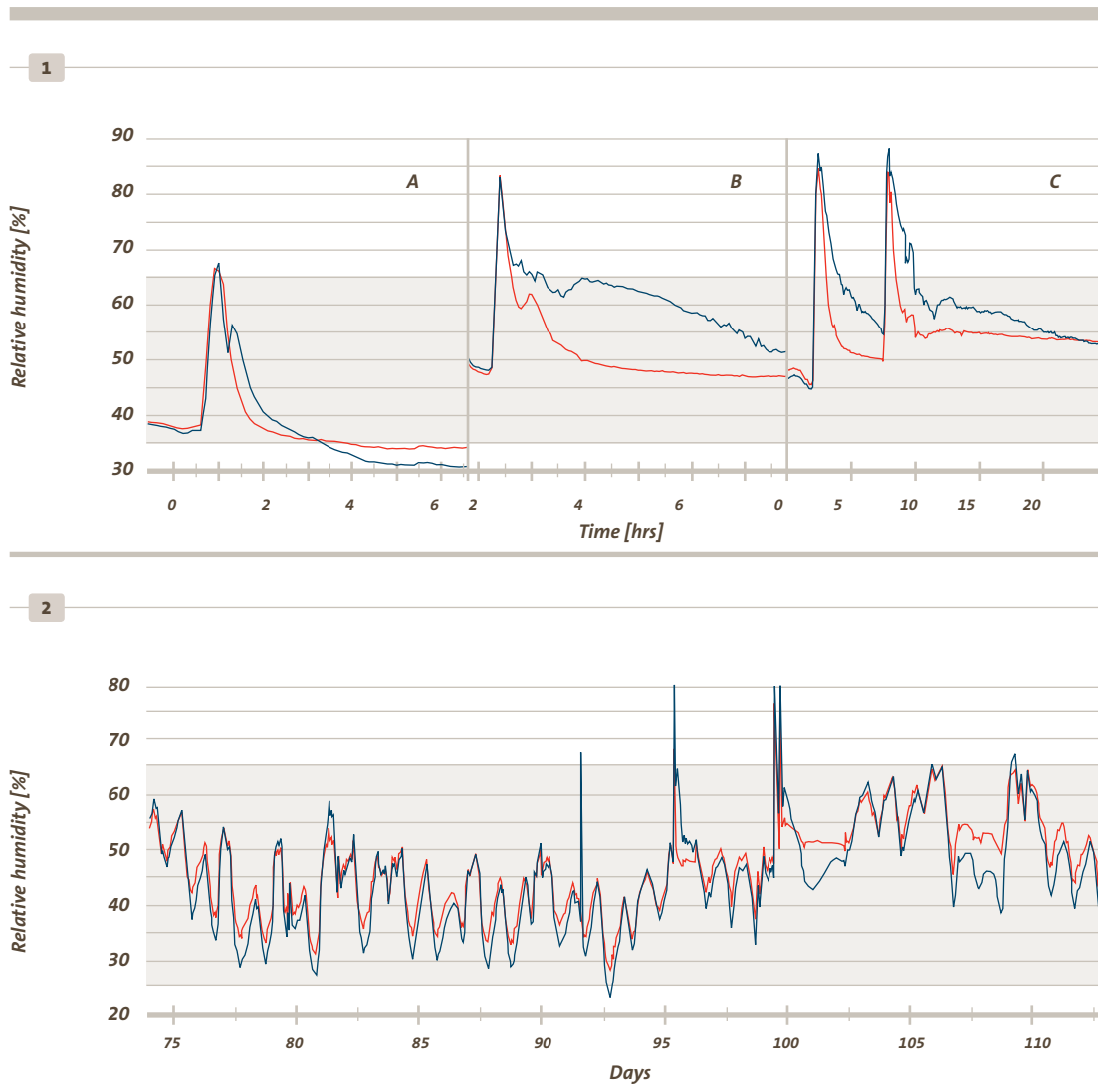


Abb. 1: Experimentell bestimmte relative Luftfeuchte in einem Test- (rot) und einem Referenzraum (blau) nach einmaliger (a, b) bzw. zweimaliger Freisetzung (c) einer hohen Feuchtigkeitsmenge in einem kurzen Zeitraum: (a) Messung mit aktiver Lüftung, (b, c) Messung ohne aktive Lüftung. Der Komfortbereich (35-65% rF) ist grau unterlegt [2]

Fig. 1: Experimentally determined relative humidity in a test room (red) and a reference room (blue) after one (a, b) or two (c) releases of a high amount of moisture over a short period of time: (a) measurement with active ventilation, (b, c) measurement without active ventilation. The comfort range (35-65% rh) is marked in grey [2]

Abb. 2: Experimentell bestimmte relative Luftfeuchte in einem Test- (rot) und einem Referenzraum (blau) bei gleichen Witterungsbedingungen. Der Komfortbereich (35-65% rF) ist grau unterlegt [2]

Fig. 2: Experimentally determined relative humidity in a test room (red) and a reference room (blue) under the same weather conditions. The comfort range (35-65% rh) is marked in grey [2]

Für die Feuchtepufferung wurde ein spezielles Silica-gel-Granulat verwendet, dessen Poren so dimensioniert sind, dass es die relative Luftfeuchte genau im Zielbereich zwischen 35 und 65% hält und langzeitstabil ist, sich also durch Zyklisierung mit Feuchte nicht verändert. Silica eignet sich außerdem als Additiv in gipsbasierten Trockenbauplatten, weil es gut einzubringen und nicht brennbar ist sowie die mechanischen Eigenschaften der Platten nicht verändert.

Die gemeinsame Entwicklung des ZAE Bayern mit Rigips stellt zudem einen neuen Rekord bezüglich der wesentlichen Kennzahl für die Feuchtespeicherung auf, des sogenannten Moisture Buffer Values. Im Rahmen des Projekts gelang es, diesen Wert auf 4 Gramm pro Quadratmeter und Prozent relativer Feuchte [3] zu heben und somit gegenüber anderen Produkten nahezu zu verdoppeln [4,5].

A special silica gel granulate was used for moisture buffering, the pores of which are dimensioned to keep the relative humidity exactly in the target range between 35 and 65% while being stable over long periods of time, i.e. not changing properties due to cycling with moisture. Silica is also a suitable additive in gypsum based drywall boards since it is easy to add, non-combustible, and does not alter the mechanical properties of the boards.

The joint development of ZAE Bayern and Rigips also set a new record in terms of the moisture buffer value. Within the project, the value was raised to 4 grams per square metre and percent relative humidity [3], which is almost twice as high as in other products [4,5].

## 2.6

## ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDEBEGRÜNUNG – DIE KLIMA-FORSCHUNGS-STATION AUF DER LANDESGARTENSCHAU 2018

### ENERGY EFFICIENT GREENING OF BUILDINGS – THE CLIMATE RESEARCH STATION AT THE STATE GARDEN SHOW 2018

Autor | Author  
**C. Römer**

Ansprechpartner | Contact  
**Dipl.-Ing. Constantin Römer**  
Stellv. Gruppenleiter  
Solar-Hybride Systeme  
Deputy Head of Division  
Solar Hybrid Systems

Bereich | Division  
**Energieeffizienz**  
Energy Efficiency  
+49 931 70564-321  
constantin.roemer@  
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
**Bayerische Landesanstalt für  
Weinbau und Gartenbau**

Kooperationspartner | Partners  
**Bayerische Landesanstalt für  
Weinbau und Gartenbau**

Abb. 1: Die beiden Klimahäuser  
der Klima-Forschungs-Station  
auf der Landesgartenschau  
2018. Thermische Charakteri-  
sierung von wandgebundenen  
Fassadenbegrünungssystemen

Fig. 1: The two climate houses  
of the Climate Research Station  
at the State Garden Show 2018.  
Thermal characterisation of  
wall mounted facade greening  
systems

Literatur | References  
[1] C. Römer, GebäudeGrün,  
Patzner Verlag, 3/2018, 6-9.

Das ZAE Bayern forscht in Würzburg, in Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau, an funktionaler Gebäudebegrünung. Mit ihrer Hilfe sollen der Energiebedarf von Gebäuden gesenkt und das urbane Klima optimiert werden. Dazu wurde die Klima-Forschungs-Station (KFS) erbaut und als Teil der bayerischen Landesgartenschau 2018 präsentiert [1]. Sie vereint innovative Gebäudetechnologien mit Begrünungssystemen sowie klimaresistenter Bepflanzung auf den Außenanlagen und dem Gebäude selbst. Im Mittelpunkt stehen zwei Klimahäuser, an denen die Auswirkungen unterschiedlich begrünter Klimafassaden auf Stadt- und Wohnklima sowie auf die Energieeffizienz der Gebäude untersucht werden. Verschattung durch Blattwerk und Verdunstungseffekte reduzieren zum Beispiel im Sommer die Wärmelasten an Gebäuden und in Straßenzügen. Im Winter bewirkt das Blattwerk zusätzliche Wärmedämmung. Diese Effekte und ihr Zusammenspiel mit der Gebäudetechnik zu optimieren, ist der zentrale Zweck der KFS. Um die Einflüsse der Fassadenausrichtung zu erfassen, wurde die Klimafassade des Klimahauses Süd exakt nach Süden ausgerichtet, die des Klimahauses West exakt

ZAE Bayern, in cooperation with the Bavarian state institute for viti- and horticulture, is conducting research in Würzburg on the functional greening of buildings. The intention behind this is to reduce the energy required by buildings and optimise the urban climate. For this purpose, the Climate Research Station (CRS) was built and presented as a part of the Bavarian State Garden Show 2018 [1]. It combines innovative building technologies with greening systems and climate resistant planting on the outdoor facilities and the building itself. The focus is on two climate houses, where the effects of differently greened climate facades on the urban and residential climate as well as on the energy efficiency of buildings are investigated. For example, shading by foliage and evaporation effects reduce heat loads on buildings and streets during summer. In winter, the foliage provides additional thermal insulation. The central purpose of the CRS is to optimise these effects and their interaction with building technology. In order to capture the influences of the facade's orientation, the climate facade of climate house south was oriented exactly to the south, the one of climate house west exactly to the west. Various innovative fa-



nach Westen. Geprüft werden unterschiedliche innovative Fassadenbauweisen und -komponenten in Kombination mit auf sie abgestimmten Begrünungssystemen.

Beide Klimahäuser wurden stirnseitig mit Stahlrahmen versehen, welche die Installation von Begrünungssystemen und unterschiedlichen, dahinter angebrachten Fassadentechnologien ermöglichen. Die Kühlwirkung der Begrünung kann so durch innovative, am ZAE Bayern entwickelte Systeme genutzt werden. Am Klimahaus Süd wird dazu eine schaltbare Wärmedämmung eingesetzt. Deren Dämmwirkung kann durch eine elektrische Steuerung reduziert werden, so dass deutlich mehr Wärme nach außen abgegeben wird. Die Quantifizierung der so eingesparten Kühlenergie erfolgt durch Vergleichsmessungen an einem konventionellen Fassadenaufbau unter gleichen Randbedingungen. Hinter der Fassadenbegrünung von Klimahaus West befinden sich hingegen zwei geschosshohe, zueinander abgeschlossene Luftschichten. In einer der beiden befinden sich zwei Wärmerohre, welche sie im Winter durch passive Erdwärmenutzung beheizen und so Transmissionswärmeverluste durch die Wand reduzieren. Außerdem wird so die Begrünung vor extremen Frosttemperaturen bewahrt. Die andere Luftschicht enthält keine Wärmerohre und dient zum Vergleich.

In beiden Klimahäusern können unterschiedliche Fassadensysteme energetisch bewertet werden. Hierzu wurde in ihrem Inneren jeweils eine Messbox installiert: ein wärmegeämmter, thermisch von der Umgebung entkoppelter Raum. Durch Regelung der Lufttemperatur in den Messboxen auf ein konstantes Niveau können die Fassadensysteme mit Vergleichsfassaden unter gleichen Randbedingungen innen (Messboxen) und außen (Begrünungssysteme) energetisch bewertet werden. Dazu werden Luftfeuchte, Temperaturen und Wärmeströme an den Klimafassaden bestimmt. Parallel werden die Begrünungssysteme auch unter Laborbedingungen vermessen.



Abb. 2: Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) eines vertikal bepflanzten, wandgebundenen Begrünungssystems am ZAE Bayern

Fig. 2: Measurement of the heat transfer coefficient (U-value) of a vertically planted, wall mounted greening system at ZAE Bayern

cade construction methods and components are being tested in combination with greenery systems tailored to them.

Both climate houses were equipped with steel frames at the front, which allow for the installation of greening systems and various facade technologies behind them. The cooling effect of the greenery can thus be utilised by innovative systems developed at ZAE Bayern. A switchable thermal insulation system is used in climate house south. Its insulating effect can be reduced via electrical control, so that a significantly larger amount of heat is emitted to the outside. The cooling energy saved this way is quantified through comparison measurements on a conventional facade structure under the same boundary conditions. Behind the facade greening of climate house west, on the other hand, there are two storey-high, closed air layers. One layer contains two heat pipes, which heat it with passive geothermal energy in winter and thus reduce transmissive heat losses through the wall. Additionally, they protect the greenery from extreme frost temperatures. The other layer contains no heat pipes, it is used for comparison.

In both climate houses, different facade systems can be energetically evaluated. For this purpose, a measuring box was installed inside each of them: an insulated space, thermally decoupled from its surroundings. By regulating the air temperature in the measuring boxes to a constant level, the facade systems can be energetically evaluated under the same boundary conditions inside (measuring boxes) and outside (greening systems), and compared to standard facades. For this purpose, air humidity, temperatures, and heat flows are determined at the climate facades. At the same time, the greening systems are being measured under laboratory conditions.

## 2.7

## ERKENNEN VON PERFORMANCEVERLUSTEN DURCH KURZSCHLÜSSE IN PV-MODULEN

### DETECTION OF PERFORMANCE LOSSES IN PV MODULES CAUSED BY SHORT CIRCUITS

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 0325807A)

Kooperationspartner | Partners  
**Rauschert GmbH**  
**IRCAM GmbH**

Photovoltaikanlagen (PV) sollen über einen möglichst langen Zeitraum zuverlässig möglichst viel Strom produzieren. Fehlerhafte PV-Module gefährden dieses Ziel. Schadensbilder wie Zellbruch, defekte Bypass-Dioden oder mangelhafte Lötverbindungen sind dabei wohlbekannt. Andere, wie die potenzialinduzierte Degradation (PID), erst seit kurzem [1].

Das ZAE Bayern entwickelt Methoden zur Erkennung, Klassifizierung und Evaluierung von Modulfehlern und Einschätzung der Anlagenperformance im Betrieb. Zur Charakterisierung dienen besonders Kennlinienmessungen, Infrarot-Thermographie (IR) und neuerdings auch Elektrolumineszenzmessung (EL). Die Betrachtung der Temperaturverteilung auf den PV-Modulen per aIR-PV-Check (IR-Aufnahmen aus der Luft) gibt einen schnellen Überblick über eventuelle Unregelmäßigkeiten. Weitere, im Labor verfügbare Methoden erlauben dann ein tiefergehendes Fehlerverständnis. Abb. 1 zeigt klar erkennbare Kurzschlüsse in Zellen auf IR-Aufnahmen. Charakteristisch ist die gegenüber intakten Zellen um 1-3 °C erhöhte Temperatur. Beim vertieften Vergleich von PID und Lötfehlern betroffener Anlagen kommen jedoch deutliche Unterschiede zutage:

PID betrifft maximal die Hälfte der Module eines Strings, die Anzahl defekter Zellen nimmt in Richtung Stringende zu, eine gewisse Betriebsdauer geht der PID voran und defekte Zellen liegen meist am unteren Rahmen. Demgegenüber sind Module mit Lötfehlern in String und Modul willkürlich verteilt und ab Inbetriebnahme sichtbar.

Kennlinienmessungen zeigen, dass Spannung und somit auch Leistung von PID- und Lötfehlern betroffener Module proportional zur steigenden Anzahl kurzgeschlossener Zellen abfallen [2, 3, 4]. EL-Aufnahmen sind zur Unterscheidung verschiedener Fehlerursa-

Photovoltaic (PV) systems are supposed to reliably produce as much electricity as possible for as long as possible. Faulty PV modules endanger this goal. Damage patterns, such as cell breakage, defective bypass diodes, or defective solder connections, have been well known. Others, such as potential-induced degradation (PID), only recently [1].

ZAE Bayern is developing field suitable methods for the detection, classification, and evaluation of module faults and the assessment of plant performance. Characteristic curve measurements, infrared (IR) thermography, and, more recently, electroluminescence measurement (EL) are being used for characterisation. The observation of the temperature distribution on the PV modules via aIR-PV-Check (airborne IR images) provides a quick and non-interrupting overview of possible irregularities. Further methods, available in the laboratory, then allow for deeper understanding of the error.

Fig. 1 shows how short circuits in cells are clearly visible in IR images. Their temperature, which is between 1 and 3 °C higher than in intact cells, is characteristic. However, an in-depth comparison of PV systems affected by PID and soldering defects reveals significant differences:

PID affects at most half of the modules in a string, the number of defective cells increases towards the end, a certain period of operation precedes the formation of PID, and the defective cells are mostly located at the lower frame. In contrast, the distribution of modules with soldering defects in string and module is arbitrary and visible from the moment of commissioning.

Characteristic curve measurements show how voltage and thus power of modules affected by PID and soldering defects drop proportionally to an increasing

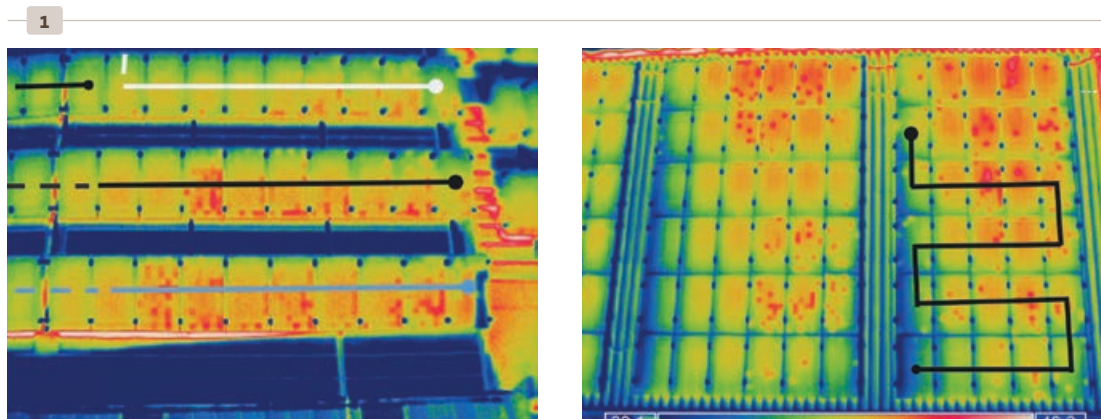


Abb. 1: aIR-PV-Check-Aufnahmen. Links: PV-Anlage mit PID, eingezeichnet sind Teile von drei Strings; rechts: PV-Anlage mit Modulen mit Lötfehlern, die Linie verdeutlicht die elektrische Verschaltung eines Strings © aus [3]

Fig. 1: aIR-PV-check images. Left: PV system with PID, marked parts of three strings; right: PV system incorporating modules with soldering defects, the line illustrates the electrical connection of a string © from [3]

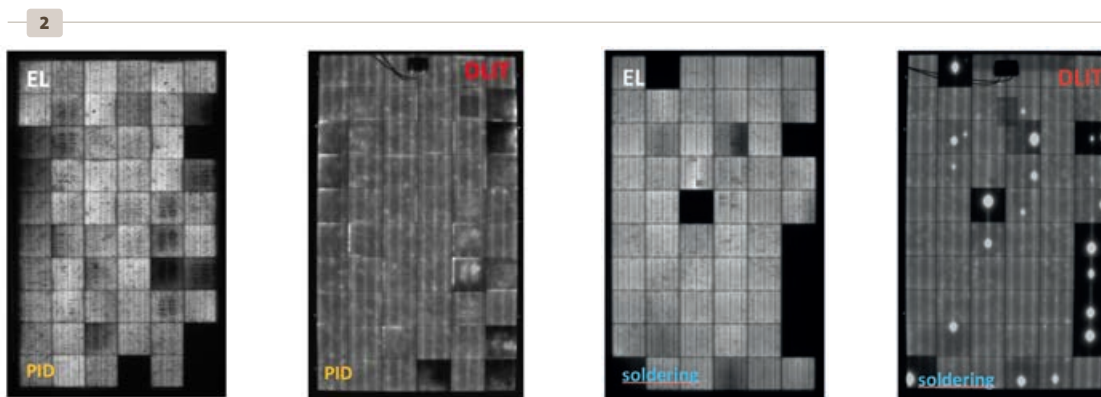


Abb. 2: EL- und DLIT-Aufnahmen. Links: Modul mit PID; rechts: Modul mit Lötfehlern © aus [3]

Fig. 2: EL and DLIT images. Left: Module with PID; right: Module with soldering defects © from [3]

chen nicht dienlich, da die kurzgeschlossenen Zellen darauf einheitlich dunkel erscheinen (Abb. 2). Aufschlussreich sind Aufnahmen mit Dark-lock-in-Thermographie (DLIT), die den Strompfad anhand lokal erhöhter Temperatur sichtbar machen. Bei Modulen mit Lötfehlern sind solche Wärmequellen entlang der Sammelschiene erkennbar (Abb. 2).

Performanceverluste durch kurzgeschlossene Zellen können mithilfe von Feldanalysen aufgedeckt werden. Die potenzialinduzierte Degradation schreitet im Laufe der Betriebsdauer kontinuierlich fort, ihre Ausprägung wird dabei von verschiedenen Faktoren bestimmt [2, 3]. Die Degradation mangelhaft gelöteter Module führt zu steigenden Leistungsverlusten bis hin zu Schmorstellen und Totalversagen.

Daher ist es wichtig, Fehler frühzeitig zu erkennen und korrekt zu identifizieren. Durch die Einleitung geeigneter Maßnahmen wie der Integration spannungskorrigierender Komponenten in PID-betroffene Strings bzw. PV-Anlagen oder des Austauschs herstellungsbedingt lötfehlerbehafteter PV-Module, können Performanceverluste minimiert werden.

number of short-circuited cells [2, 3, 4]. To visualise the different sources of error, EL images are not useful, as the short-circuited cells appear uniformly dark on them (Fig. 2). Images taken with dark-lock-in thermography (DLIT), on the other hand, which visualise the current path based on locally increased temperature, are informative. In modules with soldering defects, numerous such heat sources are visible along the busbar (Fig. 2).

Performance losses due to short-circuited cells can be detected via field analysis. Potential-induced degradation progresses continuously over the cell's service life and is determined by various factors [2, 3]. The degradation of inadequately soldered modules leads to ever-increasing power losses, even brasing and total failure.

It is therefore important to detect defects early and identify them correctly. Performance losses can be minimised by introducing suitable measures, such as the integration of voltage correcting components in strings and PV systems affected by PID or the replacement of PV modules with production-related soldering faults.

#### Literatur | References

- [1] V. Naumann et al., *Solar Energy Mater. Cells*, 120 (2013), 383.
- [2] Cl. Buerhop et al., *IET Renewable Power Generation*, 11 (2017), 1253.
- [3] Cl. Buerhop et al., *EU-PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands, September 2017.
- [4] Cl. Buerhop et al., *SPIE*, San Diego, Ca, USA, August 2016.

## 2.8

## ANALYSEMETHODE ZUR ERMITTLUNG VON ABWÄRMENUTZUNGSPOTENZIALEN

### ANALYTIC METHOD FOR THE IDENTIFICATION OF POTENTIAL FOR WASTE HEAT UTILISATION

Autor | Author  
**A. Maußner, R. Gurtner**

Ansprechpartner | Contact  
**M.Sc. Andreas Maußner**  
*Wärmetransformation*  
*Heat Conversion*

Bereich | Division  
**Energiespeicherung**  
**Energy Storage**  
+49 89 329442-29  
andreas.maussner@  
zae-bayern.de

Industrielle Anlagen produzieren häufig Abwärme, die als Prozess- oder Heizwärme genutzt werden kann. Mangels Informationen über Verfügbarkeit, Leistung und Temperaturniveau von Wärmequellen und Wärmesenken sind solche Abwärmenutzungspotenziale aber oft nicht bekannt oder können nur sehr ungenau prognostiziert werden. Das steht der Umsetzung wirtschaftlicher Nutzungsmaßnahmen entgegen.

Nur die messtechnische Erfassung von Wärmequellen und Wärmesenken ermöglicht eine exakte Bestimmung der Abwärme- und Wärmebedarfssituation. Anders als statische Daten (z. B. Zählerstände), ermöglichen so gewonnene dynamische Wärmestromdaten eine laufende Analyse der Nutzungspotenziale. Diese erfolgt in der Regel durch Modellierungen und Simulationen, was allerdings, aufgrund der Komplexität der betrachteten industriellen Systeme, meist mit hohem Aufwand und somit auch hohen Kosten verbunden ist. Daher wird am ZAE Bayern eine Methode entwickelt, welche die Energiesystemanalyse im Vergleich zu transienten Simulationen deutlich beschleunigt. Sie erlaubt die Bewertung des Ist-Zustandes und die Analyse des Potenzials verschiedener Abwärmenutzungstechnologien. So können der Einsatz von Wärmetauschern zur direkten Abwärmenutzung bewertet, die Potenziale von Wärmespeichern, Wärmepumpen und -kältemaschinen sowie des Einsatzes von Blockheizkraftwerken und ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle) analysiert werden. Ziel ist es, eine schnelle Erstellung, Modifikation und Analyse relevanter Energiesystemvarianten zu ermöglichen, mit deren Hilfe in kurzer Zeit ein Vergleich und somit eine Bewertung verschiedener Abwärmenutzungsmaßnahmen erfolgen kann.

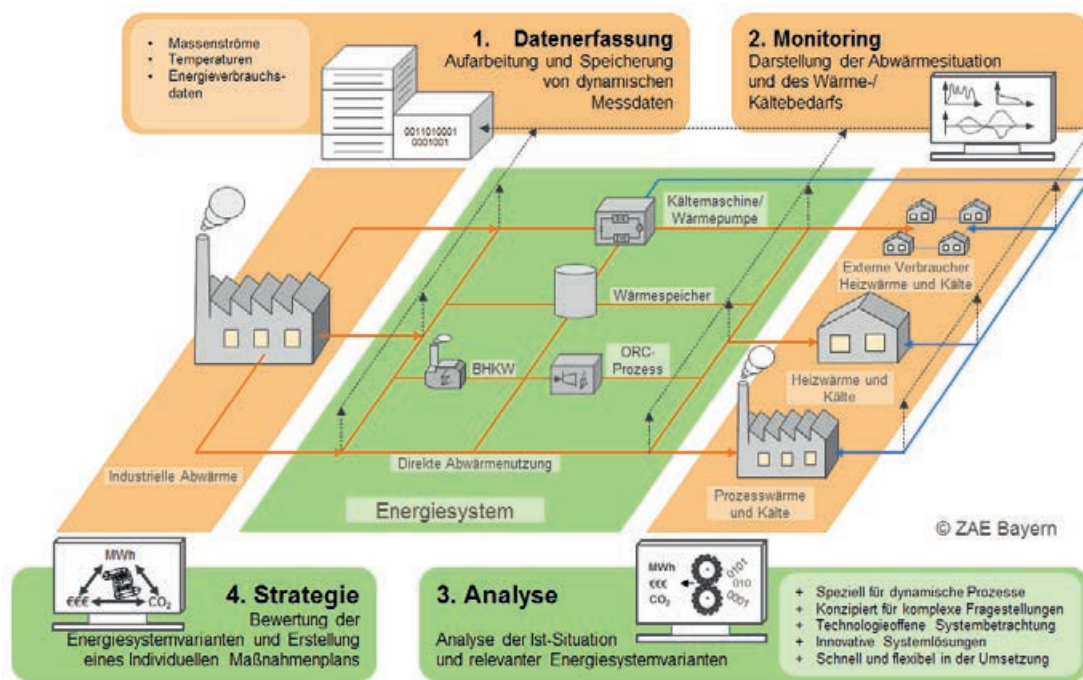
Industrial plants often produce waste heat which can be utilised in processes or heating. Due to lack of information on the availability, power and temperature level of heat sources and -sinks, such waste heat potential often stays unrecognised or can only be predicted very inaccurately. This conflicts with the implementation of profitable waste heat usage.

Only by metrologically capturing heat sources and -sinks, the waste heat and heat requirement can be accurately determined. Unlike static data, such as meter readings, the dynamic heat stream data thus obtained allows for a continuous analysis of the potential for waste heat usage. This analysis is usually performed using a combination of modelling and simulations which, due to the complexity of the industrial systems considered, is usually highly complex and expensive. Therefore ZAE Bayern is developing a method to significantly speed up the energy system analysis compared to transient simulations. It allows for the evaluation of the status quo and the analysis of various waste heat usage technologies' potentials. Thus the use of heat exchangers for direct heat usage can be assessed, the potential of heat storages, heat pumps, cogeneration units, and ORC systems (organic rankine cycle) analysed. Goal of this research is to facilitate the quick creation, modification, and analysis of relevant energy system variants which then allow for the quick comparison and assessment of different waste heat usage measures.

1

Abb. 1: Vorgehensweise zur Ermittlung von Abwärmepotenzialen

Fig. 1: Process for the determination of waste heat usage potential



Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Eckdaten können dann Maßnahmen gewählt werden, die die spezifischen ökonomischen und ökologischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung erfüllen.

Dieser Ansatz einer beschleunigten Analyse zielt darauf ab, den Aufwand für die Modellierung und dynamische Berechnung von Energiesystemen gegenüber üblichen Simulationen deutlich zu reduzieren und so die Identifikation und Nutzung von Abwärmepotenzialen zu fördern. Das ZAE Bayern entwickelt damit ein effizientes Werkzeug, um die Wärmewende voranzubringen.

Taking into consideration economic parameters, measures which meet all specific ecological and economic needs of the respective application can then be chosen.

This approach of an accelerated analysis aims at significantly reducing the necessary effort for the modelling and dynamic computation of energy systems significantly, compared to traditional simulations. Thereby, the identification and utilisation of waste heat potentials are supported and ZAE Bayern is working on an efficient tool to carry forward the transition of the energy system.

## 2.9 THERMISCHE SPEICHER ZUR LASTVERSCHIEBUNG IM STROMNETZ

### THERMAL STORAGEES FOR LOAD SHIFTING IN THE POWER GRID

Autor | Author  
**A. Krönauer, S. Hiebler**

Ansprechpartner | Contact  
**M.Eng. Andreas Krönauer**  
 Stellv. Gruppenleiter  
 Wärmetransformation  
 Deputy Head of Group  
 Heat Conversion

Bereich | Division  
**Energiespeicherung**  
 Energy Storage  
 +49 89 329442-13  
 andreas.kroenauer@  
 zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
**BMWi (FKZ 03ESP330A)**

Kooperationspartner | Partners  
**BSH Hausgeräte GmbH**

Im Projekt "DiTES4Grid" wurde untersucht, inwieweit mit thermischen Latentwärmespeichern ausgestattete Haushaltskühlgeräte als zeitlich verschiebbare elektrische Lasten im Stromnetz dienen können. Da Phasenwechselmaterialien (PCM) die meiste Energie im Phasenübergang zwischen fest und flüssig speichern, eignen sie sich besonders gut als Speicher für Kälteanwendungen, die bei weitgehend konstanten Temperaturen arbeiten.

Eine Potenzialanalyse ergab, dass eine verschiebbare Last von 1-2 GW entstände, wenn die Hälfte der 40 Millionen in Deutschland vorhandenen Geräte mit dieser Technologie ausgestattet würde. Die Produktionskosten unterschritten die eines für die gleiche Anwendung ausgelegten Batteriespeichers.

Als Plattform für den Versuch wurde, wegen ihrer hohen Marktdurchdringung, eine Kühl-/Gefriergerätekombination der BSH Hausgeräte GmbH mit 287 Litern Nutzinhalt und Energieeffizienzklasse A+++ gewählt. Der Speicher wurde an der Außenseite der Rückwand angebracht, wo er die Kälte aus dem Kältekreislauf vollständig aufnahm. Ein damit verbundener Kälteübertragungskreislauf diente der Kühlung des Gefrierabteils. Der Kühlraum wurde temperiert, indem bei Bedarf kalte Luft aus dem Gefrierabteil mittels eines Ventilators in ihn verschoben wurde.

Nach einer Ladezeit von fünf Stunden bei einer Leistungsaufnahme von 100 W konnte der Speicher das Gerät für etwa sieben Stunden mit Kälte versorgen. So ließen sich über 95 % des Energieverbrauchs in Zeiten niedriger Netzbelastung verschieben.

Der Speicherbetrieb reizte die Grenzen der Geräteplattform weitgehend aus, was sich darin äußerte,

Within the project "DiTES4Grid", the extent to which household cooling appliances equipped with thermal latent heat storages can serve as time shifted electrical loads in the power grid was investigated. Since phase change materials (PCM) store energy in the transition between their solid and liquid phase, they are particularly suitable as storage media for refrigeration applications running at largely constant temperatures.

A potential analysis showed how a shiftable load of 1-2 GW would result from half of the 40 million devices running in Germany being equipped with this technology. The production cost proved lower than the one of a battery storage system designed for the same application.

Due to its high market penetration, a refrigerator/freezer combination from BSH Home Appliances with 287 litres net capacity and class A+++ energy efficiency was chosen as a platform for the test. The storage was mounted to the outside of the rear wall, where it completely absorbed the cold from the refrigeration circuit. An attached brine circuit served to cool the freezer compartment. The refrigerator compartment was tempered via a fan, shifting cold air from the freezer compartment into it.

After a charging period of five hours at a power consumption of 100 W, the storage was able to supply the unit with cold air for about seven hours. This way, more than 95 % of the energy consumption could be shifted to periods of low grid load.

Storage operation largely exhausted the limits of the device, which was reflected in a sharply rising temperature at the condenser compared to the unaltered standard device. As a result, system efficiency fell while



dass die Temperatur am Kondensator, im Vergleich zum unveränderten Seriengerät, stark anstieg. In Folge verringerte sich die Systemeffizienz bei einem um 70 % erhöhten Energieverbrauch. Dieser Mehrverbrauch kann allerdings durch Anpassung der Geräteplattform und Einbau des Speichers im Inneren des Geräts auf etwa 20 % begrenzt werden.

Aufgrund der tiefen Temperaturen im Gefrierraum kamen für die Anwendung als PCM nur eutektische Salz-Wasser-Lösungen in Frage, deren Schmelztemperatur bei  $-20^{\circ}\text{C}$  oder darunter liegt. Solche sind kommerziell leicht erhältlich, da sie in Kühlakkus und zur Transportkühlung eingesetzt werden.

Beim Einsatz im Kühlgerät nahm die Speicherkapazität dieser Materialien mit der Zeit ab. Da die Temperatur des Speichers, anders als bei Kühlakkus der Fall,  $0^{\circ}\text{C}$  nie überstieg, konnte sich separiertes Salz nicht mehr mit dem vorhandenen Wassereis vermengen. Die Ursache dafür fand sich in den unterschiedlichen Kristallisationsgeschwindigkeiten von Salz, Wasser und Eutektikum. Eine Verdickung der Lösung konnte die Separation verlangsamen, nicht aber verhindern.

Grundsätzlich birgt der Einsatz von PCM-Speichern in Kältekreisläufen großes Potenzial zur Umsetzung einer wirtschaftlichen Lastverschiebung. Er setzt allerdings eine Anpassung des Kühlgeräts an den Betrieb mit Speicher voraus und verlangt außerdem nach Lösungen für die Zyklusstabilität des PCM und die Kommunikation zwischen Gerät und Smart Grid.

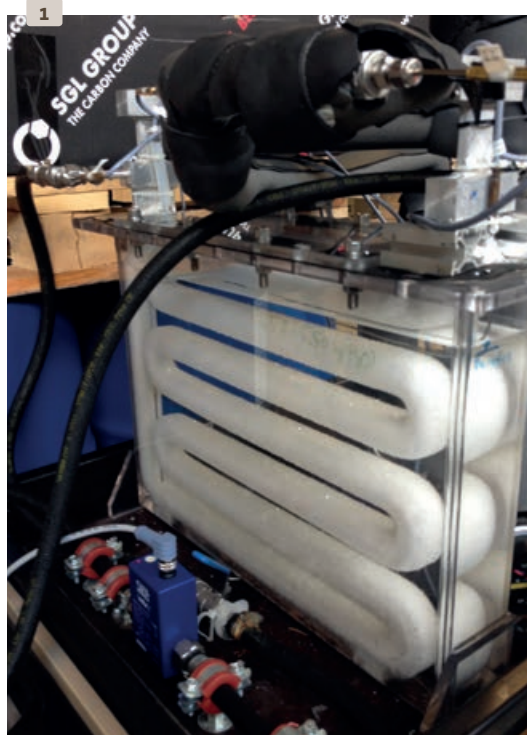


Abb. 1: Testwärmeübertrager aus Aluminium in transparentem Speicher beim Einfrieren von PCM

Fig. 1: Test heat exchanger made of aluminium in a transparent storage tank during freezing of PCM

energy consumption increased by 70%. However, this additional consumption can be limited to around 20% by adapting the platform and installing the storage inside the device.

Due to the low temperatures in the freezing compartment, only eutectic salt/water solutions with a melting point of  $-20^{\circ}\text{C}$  or below were considered as PCMs. Such are readily available on the market as they are used in cold packs and for transport refrigeration.

During use in the refrigerator, the storage capacity of these materials decreased over time. As the temperature of the storage never exceeded  $0^{\circ}\text{C}$ , as it does in freezer packs, separated salt could no longer mix back in with the available water ice. This was caused by the different crystallisation rates of salt, water, and eutectic. A thickening of the solution slowed down the separation, but could not prevent it.

In principle, the use of PCM storages in refrigeration systems holds great potential for realising an economic load shift. However, it requires the cooling unit to be adapted to operation with a storage as well as possible solutions for the cycle stability of the PCM and the communication between unit and Smart Grid.

## 2.10

# SIMULATION VON REDOX-FLOW-BATTERIEN FÜR STATIONÄRE SPEICHER

## SIMULATION OF REDOX FLOW BATTERIES FOR STATIONARY STORAGEES

Autor | Author  
**P. Dotzauer**

Ansprechpartner | Contact  
**Petra Dotzauer**  
Stellv. Gruppenleiterin  
Elektrochemische Energiespeicher  
Deputy Head of Group  
Electrochemical Energy Storage

Bereich | Division  
**Energiespeicherung**  
Energy Storage  
+49 89 329442-42  
petra.dotzauer@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
**Bayerisches Staatsministerium  
für Wirtschaft, Landesent-  
wicklung und Energie**  
(FKZ 20-3400.00-03/12)  
**Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie**  
(FKZ 03ET4072C)

Kooperationspartner | Partners  
**Technische Universität München  
(TUM)**  
**Reiner Lemoine Institut gGmbH  
(RLI)**

Literatur | References  
[1] P. Dotzauer et al., Has the Vanadium Flow Battery Potential in Home Storage Applications? – A Techno-Economic Analysis, International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany, 2017

Laut Zielsetzung der Bundesregierung soll bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren, bis 2050 der Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung 80% erreichen. Eine solche Entwicklung wird unweigerlich zu Schwankungen in der Stromerzeugung und stärkeren lokalen Belastungen des Stromnetzes führen, die den Einsatz elektrischer Speicher zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit notwendig machen. Diese können durch Wind und Sonne produzierten Strom zwischenspeichern und das Stromnetz entlasten.

Redox-Flow-Batterien (RFB) nutzen einen flüssigen Elektrolyten als Speichermedium, der in externen Tanks gelagert wird. Zum Laden oder Entladen der Batterie wird dieses Medium durch eine Energiewandereinheit (Stack) gepumpt, in der entsprechende elektrochemische Reaktionen stattfinden. Dieser Aufbau erlaubt es, Leistung und Kapazität einer RFB unabhängig voneinander zu skalieren. Die Menge an Elektrolyt entscheidet über die Kapazität, die Menge an Stacks über die maximale Leistung. Neben ihrem flexiblen Aufbau ist die lange Lebensdauer solcher Batterien von über 20 Jahren ein Vorteil, der sie für stationäre Anwendungen interessant macht.

Zur Erkennung derjenigen Anwendungsfälle, in denen solche Batterien effizient nutzbar sind, wurde am ZAE Bayern ein techno-ökonomisches RFB-Simulationsmodell erstellt [1]. Dieses ermöglicht Untersuchungen zur optimalen Auslegung von RFBs und die Identifikation kosteneffizienter Einsatzgebiete.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Kostenverteilung bei der Herstellung einer RFB für einen Heimspeicher mit 1,25 kW Leistung und 15 kWh Kapazität. Daraus wird ersichtlich, dass die energiebezogenen Kosten, welche

According to the German federal government's plan, one million electric vehicles are to be driving on Germany's roads by 2020, while the share of renewable energy in the electricity supply is supposed to reach 80% by 2050. Such a development will inevitably cause fluctuations in energy production and increased local loads on the energy grid, calling for electrical storages to help ensure reliable supply. These storages can relieve local grids by buffering solar and wind energy.

Redox flow batteries (RFB) use a liquid electrolyte stored in external tanks for a storage medium. To charge or discharge the battery, this medium is pumped through an energy conversion unit (stack), where the necessary electrochemical reactions take place. This structure allows for the independent scaling of the power and capacity of RFBs. The capacity is determined by the amount of electrolyte available, the power by the number of stacks. Apart from their flexible design, the long lifespan of such batteries, which surpasses 20 years, makes them an interesting option for stationary applications.

To find scenarios in which these batteries can efficiently be applied, a techno-economic simulation model was created at ZAE Bayern [1]. Same allows for testing on the ideal design of RFBs and the identification of cost-effective fields of application.

Figure 1 exemplary shows the cost distribution for the production of an RFB for home storage with 1.25 kW of power and 15 kWh of capacity. This clearly shows, how the capacity related costs, mainly caused by the electrolyte, are significantly lower than the power related costs. RFBs are, therefore, mainly suitable for energy intense applications.

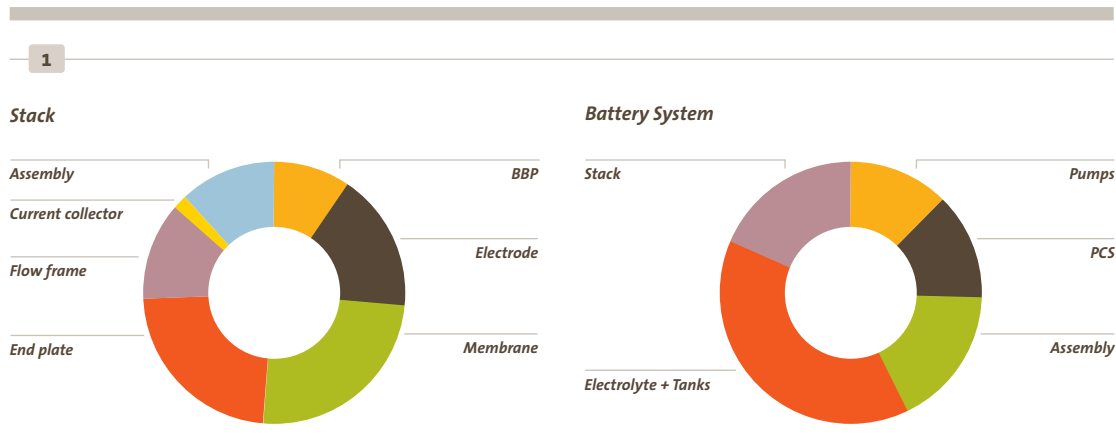


Abb. 1: Kostenverteilung eines 1,25 kW/15 kWh Redox-Flow-Systems für Heimspeicher, berechnet mit einem komponentenbasierten Kostenmodell

Fig. 1. Cost distribution of a 1.25 kW/15 kWh redox flow system for home storage, calculated using a component-based cost model

$$C_{\text{System}} = \text{Power(kW)} \cdot 839 \text{ €/kW} + \text{Energy(kWh)} \cdot 136 \text{ €/kWh} + 3500 \text{ €}$$

vor allem für den Elektrolyten anfallen, deutlich niedriger ausfallen als die leistungsbezogenen Kosten. RFB eignen sich daher hauptsächlich für energieintensive Einsatzfelder.

Dies wird verdeutlicht durch den in Abbildung 2 betrachteten Einfluss der Kapazität und Leistung auf den Return-on-Investment-Wert (ROI). Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen getätigter Investition und erzieltm Gewinn. Hier wird eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher einer gleich ausgelegten Anlage ohne Speicher gegenübergestellt. Die wirtschaftlich optimale Batterieauslegung liegt bei diesem Beispiel bei 1,25 kW Leistung und 14 kWh Kapazität.

Zur weitergehenden Einschätzung des Marktpotenzials von RFBs ist ein Vergleich mit anderen Batterietechnologien erforderlich. Das im November 2018 gestartete Projekt „Open Battery Models for Electrical Grid Applications (open\_BEAM)“ beschäftigt sich deshalb mit der Modellierung verschiedener stationärer und mobiler Batterietechnologien. In Kooperation mit der Technischen Universität München und dem Reiner Lemoine Institut werden dazu Open-Source-Modelle unterschiedlicher Batterietechnologien erstellt und in ein Software-Framework zur Untersuchung von Energiekomponenten auf verschiedenen Ebenen des Stromnetzes integriert. So entsteht ein Software-Tool, mit dessen Hilfe die optimale Dimensionierung und Positionierung stationärer Speicher im Verteilnetz ermittelt werden kann. Ebenso werden verschiedene netzbezogene Fragestellungen zu mobilen und stationären Speichern untersucht.

This is illustrated by the influence of capacity and power on the return on investment value (ROI), as shown in figure 2. The ROI describes the proportion between money invested and profit gained. Here, a photovoltaic system with a battery storage is compared to a similar system without the storage. The ideal battery configuration for this example sits at 1.25 kW of power and 14 kWh of capacity.

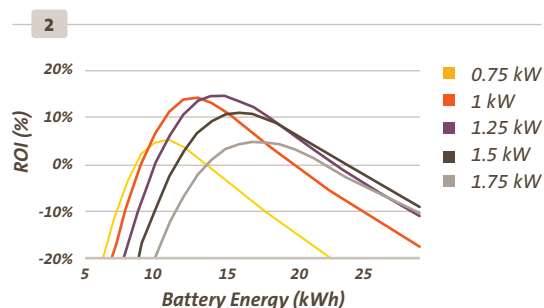


Abb. 2: Return-on-Investment einer Redox-Flow-Batterie in Abhängigkeit von Kapazität und Leistung der Batterie für einen Haushalt mit einer Photovoltaikanlage (8 kW<sub>p</sub>) und einer Jahreslast von 7 MWh

Fig. 2: Return on investment of a redox flow battery depending on the battery's capacity and power for a household with an 8 kW<sub>p</sub> photovoltaic system and an annual load of 7 MWh

For further assessment of the market potential of RFBs, comparison with different battery technologies is needed. The project “Open battery models for electrical grid applications (open\_BEAM)”, launched in November 2018, therefore deals with the modelling of several stationary and mobile battery technologies. In cooperation with the Technical University of Munich and the Reiner Lemoine Institute, open source models for various battery technologies are being created and integrated into a software framework for the analysis of components located at different levels of the distribution network. This newly developed software tool helps to identify the ideal dimension and position of any stationary storage in the grid. Furthermore, grid-related questions concerning mobile and stationary storages will be looked into.

## 2.11

## TECHNISCH-ÖKOLOGISCHE LANGZEITANALYSE DER SOLAREN NAHWÄRMEANLAGE AM ACKERMANNBOGEN IN MÜNCHEN

### LONG-TERM TECHNICAL AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF THE SOLAR DISTRICT HEATING SYSTEM AT ACKERMANNBOGEN IN MUNICH

Autor | Author  
**M. Pröll**

Ansprechpartner | Contact  
**Dipl.-Phys. Markus Pröll**  
Stellv. Gruppenleiter  
Solarthermie und Geothermie  
Deputy Head of Group  
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  
0325897C)**

Kooperationspartner | Partners  
**Steinbeis-Innovationszentrum  
energie+ (SIZ energie+)**

**Steinbeis-Innovationszentrum  
Energie-, Gebäude- und Solar-  
technik (SIZ EGS)**

**Universität Stuttgart, Institut  
für Gebäudeenergetik, Thermo-  
technik und Energiespeicherung  
(IGTE)**

Pilotanlagen zur solarunterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeitwärmespeicherung sind seit den 1990er Jahren in Betrieb. Im Kontext der Energie- und Wärmewende wird regenerativer Nahwärme nun, dank ihrer Vielseitigkeit und ihres hohen CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzials, wieder größere Bedeutung beigemessen. Zukunftstauglich und wettbewerbsfähig wäre die Technik allerdings nur durch Kostensenkungen, Betriebsoptimierungen und innovative Einsatzmöglichkeiten.

Ein Forschungsverbund hat daher acht solare Nahwärmeanlagen verglichen. Bewertungskriterien wurden dazu vereinheitlicht und, im Hinblick auf zukünftige Anlagentypen, neu definiert.

Das ZAE Bayern führte nun, der Fertigstellung 2007 und dem anschließenden Monitoring bis 2009 folgend, eine Langzeitanalyse der Nahwärmeanlage am Münchener Ackermannbogen für die Jahre von 2008 bis 2016 durch. Abb. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf von Wärme-Eigenversorgungsgrad und CO<sub>2</sub>-Ausstoß bezogen auf die Nutzwärme.

Der erkennbar effizienteste Anlagenbetrieb fand, dank intensiver wissenschaftlicher Betreuung und überwachten Betriebs, 2008 statt. Gegenüber 49% im optimalen Betrieb schwankte der jährliche Eigenversorgungsgrad 2010 und danach um einen Mittelwert von 39%. Die Schwankungen der Jahreswerte resultieren aus Randbedingungen wie Einstrahlung, Wetter und Nutzungsverhalten. Es wird ersichtlich, dass die Anlage eine stabile Versorgung gewährleisten und, mittels ihres saisonalen Speichers, solare Wärme aus den ertragreichen Monaten in die Heizperiode übertragen kann. Um konstante Werte wie im Betriebsjahr 2008 zu erreichen, wäre allerdings eine stetige Betriebsüberwachung und -optimierung notwendig.

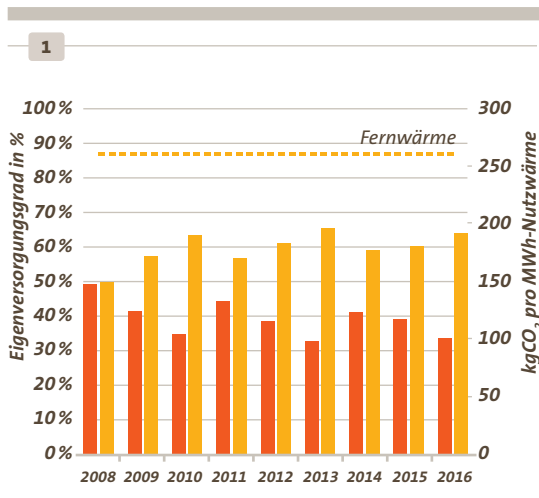
Pilot plants for solar-assisted local heating with long-term heat storage have been in operation since the 1990s. In a changing energy and heat system, the importance of regenerative local heating grows again thanks to its versatility and high potential for CO<sub>2</sub> savings. However, to be future-proof and competitive, the technology needs cost reduction optimisation, and new possible applications.

A research network has therefore compared eight such systems. The criteria were standardised and redefined with future system types in mind.

After completion in 2007 and monitoring until 2009, ZAE Bayern has now carried out a long-term analysis of the plant at Munich's Ackermannbogen for the years 2008–2016. Figure 1 shows the temporal course of heat self-sufficiency and CO<sub>2</sub> emissions in relation to useful heat.

Due to intensive support and monitoring, the plant ran most efficiently in 2008. Compared to 49% in ideal operation, the annual self-sufficiency fluctuated, in 2010 and thereafter, around a mean of 39%. These fluctuations result from boundary conditions such as irradiation, weather, and user behaviour. The system evidently ensures a stable supply and, thanks to its seasonal storage, can transfer solar heat from high-yield months into the heating period. In order to constantly achieve values similar to those in 2008, however, continuous monitoring and optimisation would be necessary.

A life cycle assessment of the components was also conducted, taking into account their manufacture and service life. Figure 2 shows the composition of the CO<sub>2</sub>-equivalent emissions generated by the system's components. As expected, the solar thermal collector



- Eigenversorgungsgrad
- CO<sub>2</sub>-Emissionen pro MWh Nutzwärme
- Vergleichswert CO<sub>2</sub>-Emissionen Fernwärmemix DE

Auch die Ökobilanz der Komponenten wurde, unter Berücksichtigung ihrer Herstellung und jeweiligen Lebensdauer, berechnet. Abb. 2 zeigt die Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen, die für die Anlagenkomponenten anfallen. Erwartungsgemäß machen die solarthermischen Kollektorfelder und der Langzeitwärmespeicher die größten Anteile aus, gefolgt vom Bau des Nahwärmenetzes und des Wärmenetzes zwischen Speicher und dezentralen Solarthermiefeldern auf den Gebäudedächern (Solarnetz).

Unter Annahme eines langfristigen Anlagenbetriebs wurden die herstellungs- und betriebsbedingten (hier: Fernwärme und Strom) CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen verglichen (Abb. 3). Es zeigte sich, dass die herstellungsbedingten Emissionen mit jährlich 15 kg CO<sub>2</sub>/MWh nur etwa 8% des Gesamtwerts ausmachen.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden nun innovative Nahwärmeanlagenkonzepte erarbeitet, die einen hohen Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtverbrauch fördern. Besonders neue Möglichkeiten der Sektorenkopplung, wie Kombinationen aus Photovoltaik und Wärmepumpen oder die Integration elektrischer Speicher, sollen dabei genutzt werden. So können durch erweiterte Anlagen künftig Wärme, Kälte und Strom bereitgestellt und neue Aufgabenfelder, wie die Entlastung überregionaler Netze, Lastverschiebungen und die Minderung von Spitzenlasten, übernommen werden.

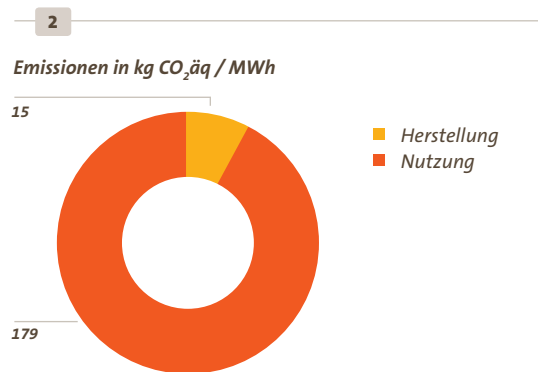


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf des Wärme-Eigenversorgungsgrads und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bezogen auf Nutzwärme

Fig. 1: Temporal course of heat self-sufficiency rate and CO<sub>2</sub> emissions related to useful heat

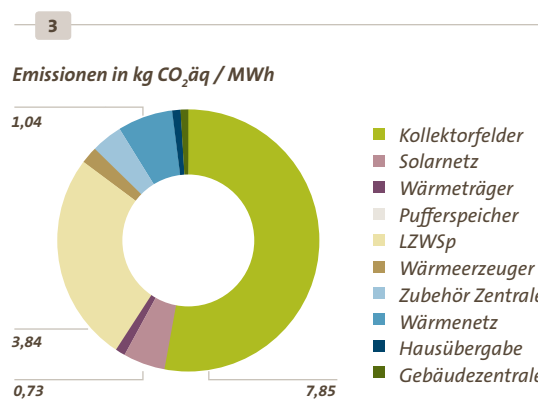


Abb. 2: Gegenüberstellung der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen in kg CO<sub>2</sub>/MWh bedingt durch die Herstellung und der Wärmeversorgung (Nutzung) unter Annahme eines dauerhaften Betriebs

Fig. 2: Comparison of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions in kg CO<sub>2</sub>/MWh caused by production (Herstellung) and heat supply (Nutzung) assuming permanent operation

Abb. 3: Anteilige Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen in kg CO<sub>2</sub>/MWh bedingt durch die Herstellung der Anlagenkomponenten

Fig. 3: Proportionate composition of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions in kg CO<sub>2</sub>/MWh caused by manufacture of plant components

arrays and long-term heat storage tanks account for the largest shares, followed by the construction of the local heating network and the heating network between storage tank and decentralised solar thermal arrays on the building roofs (solar network).

Assuming long-term plant operation, the CO<sub>2</sub>-equivalent emissions caused by production and operation (here: district heating and electricity) were compared (Fig. 3). It turned out that the annual production related emissions of 15 kg CO<sub>2</sub>/MWh make up only about 8% of the total.

Based on the knowledge gained, innovative local heating system concepts are now being developed which promote a high level of renewable energies in total consumption. In particular, new possibilities for sector coupling, such as combinations of photovoltaics and heat pumps or the integration of electric storages, are to be employed. In the future, expanded systems will allow for the provision of heat, cooling, and electricity, and new tasks such as the relief of supra-regional networks, load shifts, and the reduction of peak loads will be assumed by them.

## 2.12

# HYDRAULISCHE SYSTEMDICHTHEIT VON ERDWÄRMESONDEN VOR UND NACH BEANSPRUCHUNGEN DURCH FROST-TAU-WECHSEL

## HYDRAULIC TIGHTNESS OF BOREHOLE HEAT EXCHANGER SYSTEMS BEFORE AND AFTER FROST/THAW CYCLE STRESS

Autor | Author  
**K. Hagel, A. Kirschbaum,**  
**J. M. Kuckelkorn, L. Pendzich**

Ansprechpartner | Contact  
**Dipl.-Ing. Kilian Hagel**  
 Projektleiter  
 Systementwicklung  
 Project Manager  
 Systems Engineering

Bereich | Division  
**Energiespeicherung**  
**Energy Storage**  
 +49 89 329442-25  
 kilian.hagel@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding  
**Bundesministerium für**  
**Wirtschaft und Energie (FKZ**  
**03ET1386A)**

Abb. 1: Gesamtaufbau des Versuchsstands. V. l. n. r.: elektronische Waagen, Systemtriaxialzelle mit eingebauter Systemprobe, Temperierkreis, Druckhaltung und Eingabe- und Aufzeichnungsstation

Fig. 1: Overall structure of the test rig. F.l.t.r.: electronic scales, system triaxial cell with built-in system sample, temperature control circuit, pressure maintenance, and input and recording station

Erdwärmesonden (EWS) dienen in der oberflächennahen Geothermie häufig als Niedertemperaturquellen zum Heizen und Kühlen. Um eine Gefährdung des Grundwassers auszuschließen, sind Qualitätssicherungsmaßnahmen während Planung, Bau und Betrieb von EWS-Systemen essenziell. Die eingesetzten Hinterfüllbaustoffe (i. d. R. zementbasierte Gemische) müssen das Gesamtsystem zuverlässig und langzeitbeständig abdichten, unsachgemäße Druckprüfungen oder Fehleranfälligkeit bei Frost-Tau-Wechseln müssen vermieden werden.

Daher wurde im Rahmen des laufenden Verbundprojekts "Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II (QEWS II)" ein neuer Prüfstand (Abb. 1) entwickelt. Sein Aufbau ist einer Triaxialzelle nach DIN 18130 1 [2] nachempfunden, die hydraulischen Randbedingungen eines In-situ-EWS-Systems werden darin simuliert [3]. So kann die vertikale hydraulische Dichtheit einer Systemprobe, bestehend aus Hinterfüllung, Sondenrohren und optionalen Abstandshaltern oder Zentrier- vorrichtungen, unter möglichst realistischen Randbedingungen bewertet werden.

Die Proben werden in spezielle Schalen gegossen und härten vor dem Einbau unter Wasser aus. Einbaubedingungen und Probengeometrie sind auf verschiedene Anwendungsfälle anpassbar. Durch Variation der Probenschalen und -stempel können Bohrl Lochdurchmesser sowie Anzahl und Größe der Sondenrohre einschließlich Verfüllschlauch und Abstandhalter variiert werden. Während der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit wird die Probe von einer Latexmembran unter Außendruck umgeben, um Wasserfluss entlang der Oberfläche zu unterbinden (Abb. 2). So kann, durch das Anlegen definierter hydraulischer Gradienten, Wasser axial durch die Systemprobe gepresst werden, während elektronische Waagen die jeweiligen Durchflussmengen messen.

Borehole heat exchangers (BHEs) are widely used as low-temperature energy sources for heating and cooling in near-surface geothermal energy. Quality assurance measures during the planning, construction, and operation of BHE systems are essential to eliminate any risk for the groundwater. The backfill materials used (usually cement based compounds) must reliably and permanently seal the entire system, improper pressure testing or susceptibility to errors due to frost/thaw cycles must be avoided.

Therefore, a new test rig (Fig. 1) was developed within the ongoing joint project "Quality assurance for geothermal probes II (QEWS II)". Its design is based on a triaxial cell according to DIN 18130 1 [2] and simulates the hydraulic boundary conditions of an in-situ BHE system [3]. Thus, the vertical hydraulic tightness of a system sample, consisting of backfill, probe tubes, and optional spacers or centering devices, can be evaluated under realistic boundary conditions.

The samples are poured into special casings and hardened under water before installation. Mounting parameters and sample geometry can be adapted to different applications. By varying the sample casings and punches, the borehole diameter and the number and size of probe tubes, including filling hose and spacers,

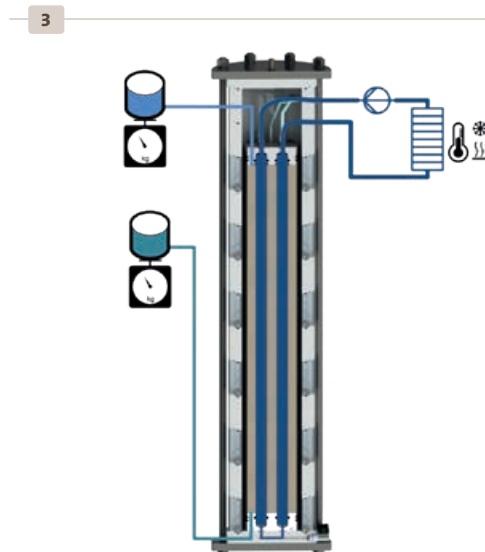




Zur Nachahmung der typischen thermomechanischen Beanspruchung durch Frost-Tau-Wechsel kann die Systemprobe über die Sondenrohre temperiert werden. Diese sind dazu mit einem druckgeregelten Glykolkreislauf verbunden (Abb. 3). Der teiltransparente Druckbehälter ermöglicht die visuelle Beurteilung der Probenbeanspruchung und des Zustandes der Latexmembran im laufenden Versuch.

Da Probenlänge und -querschnitt, Anzahl und Durchmesser der verbauten Sondenrohre variabel sind, können Versuche an Systemproben unterschiedlicher Geometrien durchgeführt werden. Probengeometrie und Betriebsbedingungen können, anhand angepasster Versuche, experimentell optimiert werden, um ein für EWS-Systeme angemessenes Materialprüfverfahren zu entwickeln.

Beispielsweise soll untersucht werden, inwieweit sich die Querschnittsgeometrie der Probe vereinfachen lässt, ohne an Aussagekraft der Messergebnisse zu verlieren. Auch die experimentelle Bestimmung der minimal notwendigen Probenlänge zur hinreichend genauen Bestimmung der hydraulischen Dichtigkeit eines EWS-Systems wird möglich.



can be varied. During water permeability testing, the sample is surrounded by a latex membrane exposed to external pressure to prevent water flow along the surface (Fig. 2). Thus, by applying defined hydraulic gradients, water can be pressed axially through the system sample, while electronic balances measure the respective flow rates.

The system sample can be tempered via the probe tubes to simulate the thermomechanical stress typically caused by freeze/thaw cycles. They are connected to a pressure-controlled glycol circuit (Fig. 3). The partially transparent pressure vessel allows for the visual assessment of sample stress and the condition of the latex membrane during running tests.

Since sample length and cross section, number and diameter of the installed probe tubes are variable, tests can be carried out on system samples of diverse geometries. Sample geometry and operating conditions can be experimentally optimised on the basis of adapted testing in order to develop a suitable material testing procedure for BHE systems.

For example, one field of investigation will be the extent to which the cross-sectional geometry of the sample can be simplified without losing significance of the measurement results. It will also be possible to experimentally find the minimum sample length necessary to determine the hydraulic tightness of a BHE system with sufficient accuracy.

Abb. 2: Oberseite einer EWS-Systemprobe mit vier vergossenen Sondenrohren und zentralem Verfüllschlauch. Die Probe ist von einer Latexmembran umgeben, die Randumläufigkeiten unterbindet, sobald die Probe in die Systemtriaxialzelle eingebaut und von außen unter Druck gesetzt wird

Fig. 2: Top of a BHE system sample with four encapsulated probe tubes and central filling hose. The sample is surrounded by a latex membrane, which prevents circumferences as soon as the sample is inserted into the system triaxial cell and pressurised from the outside

Abb. 3: Schematischer Aufbau der Systemtriaxialzelle mit eingebauter Systemprobe, bestehend aus Verfüllmaterial (grau) und Sondenrohren (dunkelblau). Zwischen Unter- und Oberseite kann ein hydraulischer Gradient angelegt werden (links), über den Glykolkreis (rechts) werden die Sondenrohre mit temperierter Glykollösung durchströmt

Fig. 3: Schematic design of the system triaxial cell with integrated system sample consisting of backfilling material (grey) and probe tubes (dark blue). A hydraulic gradient can be applied between the bottom and top (left), the tempered glycol solution flows through the probe tubes via the glycol circuit (right)

#### Literatur | References

- [1] VDI 4640-2:2015, Thermische Nutzung des Untergrundes: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (Entwurf). Berlin: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), Beuth Verlag.
- [2] DIN 18130-1:1998, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes – Teil 1: Laborversuche. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag.
- [2] A. Kirschbaum et al., Vertical hydraulic conductivity of borehole heat exchanger systems before and after freeze-thaw cycle stress, Research Conference Proceedings – IGSHPA Research Conference 2018, p. 422-430.

## 2.13

## HOCHGENAUE BESTIMMUNG DER SCHMELZENTHALPIE MITTELS DYNAMISCHER T-HISTORY-METHODE

### HIGHLY ACCURATE DETERMINATION OF THE MELTING ENTHALPY BY DYNAMIC T-HISTORY METHOD

Autor | Author  
**M. Brütting, S. Vidi**

Ansprechpartner | Contact  
**Dipl.-Ing. Michael Brütting**  
 Projektleiter  
 Thermische Analyse  
 Project Manager  
 Thermal Analysis

Bereich | Division  
**Energieeffizienz**  
 Energy Efficiency  
 +49 931 70564-323  
 michael.brueetting@  
 zae-bayern.de

Phasenwechselmaterialien (PCM) ermöglichen thermische Energiespeicherung mit hoher Speicherdichte, aber in einem kleinen Temperaturintervall. Für die Planung und Auslegung entsprechender Speichersysteme muss daher die Enthalpiekurve des jeweils verwendeten PCMs sehr genau bekannt sein.

Die T-History-Methode ist weit verbreitet bei der Messung der Enthalpie als Funktion der Temperatur. Gründe hierfür sind die Einfachheit ihres Aufbaus und ihre Anwendbarkeit auf größere Probenvolumina, als sie üblicherweise bei der dynamischen Differenzkalorimetrie zum Einsatz kommen. Um während der Messung trotz großer Volumina eine räumlich konstante Proben temperatur zu gewährleisten, wird oft eine Wärmedämmschicht um den Probenhalter herum angebracht. Diese Schicht wurde jedoch in bisherigen Auswertemodellen nicht berücksichtigt.

Am ZAE Bayern wurde daher ein neues Auswertemodell für gedämmte T-History-Aufbauten entwickelt. Dazu wurde eine analytische Wärmebilanz des Messsystems erstellt, die auch die Wärmekapazität der verwendeten Dämmschicht berücksichtigt. Dieses Modell wurde dann experimentell und durch numerische Simulationen von T-History-Messungen validiert.

Diese Simulationen zeigten, dass der effektive thermische Widerstand der Wärmedämmschicht vom Verhältnis zwischen Wärmekapazität der Dämmung und Wärmekapazität der Probe abhängt. Um dies zu berücksichtigen, wurde die Kalibration des Messsystems auf mehrere Referenzproben mit jeweils unterschiedlicher Wärmekapazität erweitert. Mit Hilfe der Kalibrationsdaten der unterschiedlichen Referenzproben konnte eine Korrelation zwischen dynamischem thermischem Widerstand und inverser Zeitkonstante

Phase change materials (PCM) allow for thermal energy storage at high density but within a small temperature interval. For the planning and design of such storage systems, the enthalpy curve of the PCM used must therefore be known very precisely.

The T-history method is widely employed for measuring enthalpy as a function of temperature. Reasons for this are the simplicity of its design and its suitability for larger sample volumes than are usually used in dynamic differential calorimetry. To ensure a spatially constant sample temperature during measurement despite large volumes, a thermal barrier layer is often applied around the sample holder. However, this layer has not yet been taken into account in evaluation models.

ZAE Bayern has therefore developed a new evaluation model for insulated t-history setups. For this purpose, an analytical heat budget for the measuring system was created, taking into account the heat capacity of the insulation layer. This model was then validated experimentally and by numerical simulations of T-history measurements.

These simulations showed how the effective thermal resistance of the thermal barrier layer depends on the proportion between the thermal capacities of insulation and sample. To take this into account, the calibration of the measurement system was extended to several reference samples with different heat capacities. With the help of the calibration data from the reference samples, a correlation between the dynamic thermal resistance and inverse time constant of the system was determined. This correlation may be used to determine the dynamic thermal resistance for strongly varying heat capacities. Such a correlation ex-

Literatur | References  
 [1] M. Brütting et al., *Thermochimica Acta*, 671 (2019) 161-169.



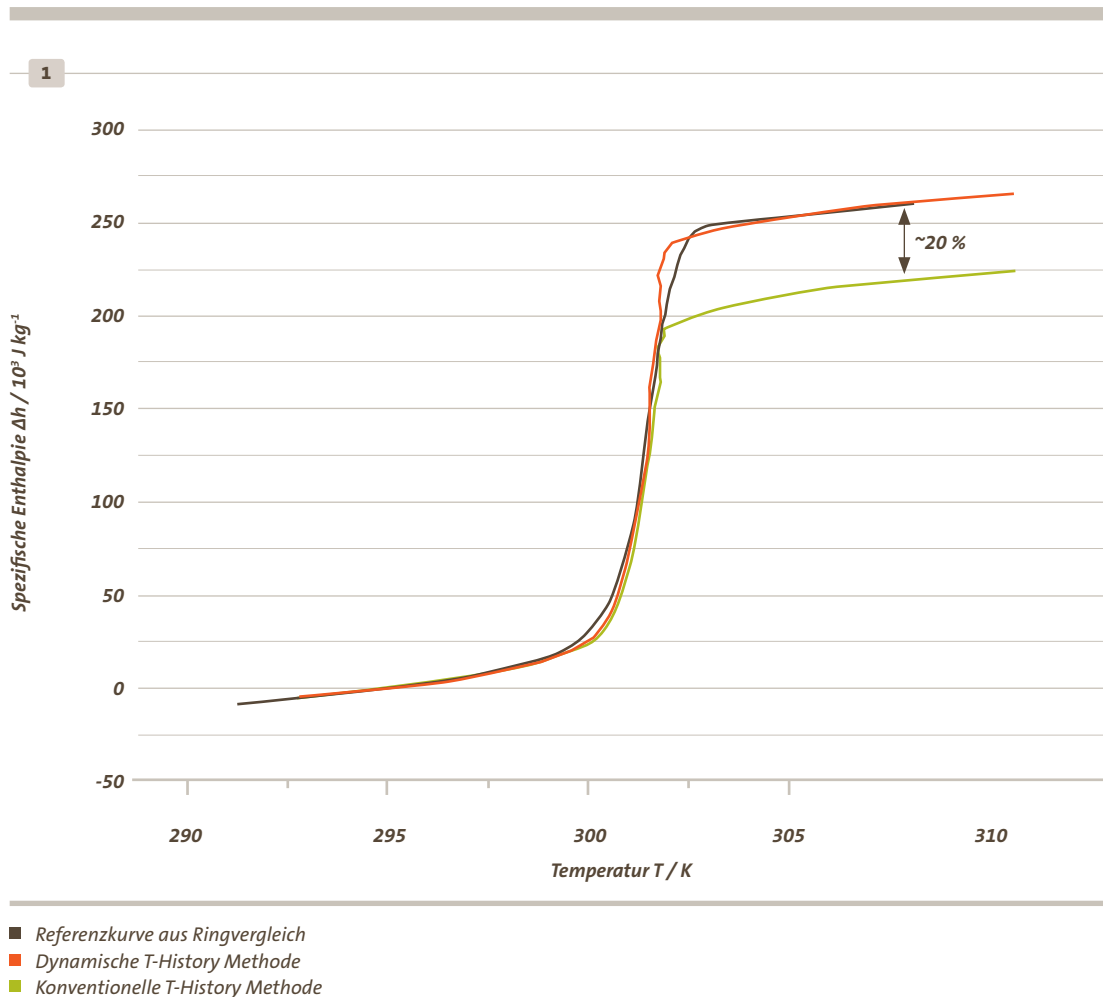


Abb. 1: Spezifische Enthalpie als Funktion der Temperatur eines Schmelzexperimentes mit n-Octadecan als PCM. Die Daten wurden sowohl mit der konventionellen als auch der dynamischen T-History-Methode ausgewertet. Als Referenzkurve ist das Ergebnis aus einem Ringvergleich mit dynamischer Differenzkalorimetrie gezeigt

Fig. 1: Specific enthalpy as a function of the temperature of a melt experiment with n-octadecane as PCM. The data was evaluated using both conventional and dynamic T-history methods. As a reference curve, the result of a ring comparison with dynamic differential calorimetry is shown

des Systems ermittelt werden. Diese Korrelation kann genutzt werden, um den dynamischen thermischen Widerstand bei stark variierender Wärmekapazität zu bestimmen. Solche liegt beispielsweise bei der Messung der sensiblen und latenten Wärmespeicherfähigkeit von PCM vor [1].

Durch die Verwendung des neuen Modells für die Auswertung der Enthalpie kann die Genauigkeit der Messmethode signifikant gesteigert werden. Simulationen eines T-History-Aufbaus mit realitätsnahen thermischen Parametern sowie Messungen an einem bereits weitreichend charakterisierten Material haben gezeigt, dass die Abweichung der gemessenen Enthalpie von etwa 20 auf unter 5% gesenkt werden kann. Abb. 1 zeigt Messergebnisse, die mit der konventionellen und der dynamischen T-History-Methode ausgewertet wurden. Dieser Erfolg ist ein großer Schritt in Richtung größerer Genauigkeit und Zuverlässigkeit thermischer Parameter für die thermische Energiespeicherung.

ists, for example, in the measurement of the sensitive and latent heat storage capacities of PCM [1].

By using the new model for the evaluation of enthalpy, the accuracy of the measurement method can be significantly increased. Simulations of a T-history setup with close to reality thermal parameters as well as measurements on an already extensively characterised material have shown that the deviation of the measured enthalpy can be reduced from about 20 to less than 5%. Figure 1 shows measurement results which were evaluated with the conventional and dynamic T-history methods. This success is a major step towards greater accuracy and reliability of thermal parameters for thermal energy storage.

---

**VERÖFFENTLICHUNGEN**  
PUBLICATIONS

---

**3.0**



## 3.1 VORTRÄGE UND POSTER

### PRESENTATIONS AND POSTERS

#### 3.1.1 EINGELADENE PLENARVORTRÄGE PLENARY INVITED LECTURES

C. J. Brabec, **How to stabilize organic solar cells beyond 100.000 hrs of operational stability**, 11<sup>th</sup> International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaics Stability (ISOS-11), Suzhou, China, 22.10.18

C. J. Brabec, **Interface Engineering for High Performance Perovskite Solar Cells**, 7<sup>th</sup> Conference "Solar Technologies Go Hybrid" (SolTech), Würzburg, Germany, 03.10.18

C. J. Brabec, **The Material's Genome Quest**, Belgrad Academy of Science, Belgrade, Serbia, 07.06.18

C. J. Brabec, **The Materials Genome for Photovoltaic Materials**, Center for Energy and Environmental Chemistry, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, Germany, 12.04.18

C. J. Brabec, **The role of miscibility on burn-in degradation – addressing microstructure instabilities**, Conference Stability of Emerging Photovoltaics: from Fundamentals to Applications (SEPV18), Barcelona, Spain, 23.02.18

C. J. Brabec, **A Robot Based High Throughput Approach to Address Microstructure Instabilities in Bulk Heterojunction Composites**, International Conference on Organic Electronics (ICOE), Bordeaux, France, 18.06.18

C. J. Brabec, **Perovskite Solar Cells: from 4T to 2T tandem concepts with solution processing**, International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics (PSCO-18), Lausanne, Switzerland, 02.10.18

C. J. Brabec, **Non Fullerene Acceptor BHJ Composites: Insights into Mechanisms Suppressing Non-Radiative Recombination & Governing Voc Losses**, International Conference on Science and Technology of Synthetic Materials (ICSM 2018), Busan, Korea, 04.07.18

C. J. Brabec, **Non Fullerene Acceptors for OPV: enhancing stability and reducing Voc losses**, MRS Spring Meeting & Exhibit, Phoenix, USA, 04.04.18

C. J. Brabec, **Perovskite Solar Cells: from 4T to 2T concepts with solution processing**, MRS Spring Meeting & Exhibit, Phoenix, USA, 05.04.18

C. J. Brabec, **From Lab to Fab: Printed Photovoltaics**, PHONSI – a European ITR Workshop, Nürnberg, Germany, 08.05.18

C. J. Brabec, **Advanced Interface Concepts in Perovskite Solar Cells**, Plastic Electronics Graduate Winter School (Imperial College London), Bergün/Bravuogn, Switzerland, 26.01.18

C. J. Brabec, **Understanding Non Fullerene Acceptors in Organic Solar Cells**, Plastic Electronics Graduate Winter School (Imperial College London), Bergün/Bravuogn, Switzerland, 25.01.18

C. J. Brabec, **The Materials Genome for the PV Terrawatt Era**, South China University of Technology (SCUT), Guangzhou, China, 23.03.18

C. J. Brabec, **Advanced Interface Engineering for Perovskites Devices**, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, 08.06.18

C. J. Brabec, **Combinatorial High Throughput Development of Materials and Composites for Printed Photovoltaics**, Vortragsprogramm Sommersemester, Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh-Kolloquium, FU Berlin), Berlin, Germany, 04.06.18

C. J. Brabec, **Perovskite Solar Cells – Towards Printed Tandem Architectures**, ZSW Conference on Perovskites, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany, 20.11.18

C. Buerhop-Lutz, **Fehlersuche in Solarparks – Thermographiebilder besser auswerten, verstehen**, 11. Fortbildungsseminar für Elektrothermographie, VdS Seminar, Köln, Germany, 07.-08.06.2018

C. Buerhop-Lutz, **Zellrisse in PV-Modulen – ihre Detektion und Auswirkung**, 5. Deutsche Photovoltaik-Betriebs- und Sicherheitstagung, Berlin, Germany, 18.-19.10.2018

C. Buerhop-Lutz, **Fault detection in solar parks – Thermography and Electroluminescence**, 5<sup>th</sup> Southern African Solar Energy Conference (SASEC 2018), Durban, South Africa, 25.-27.06.2018

C. Buerhop-Lutz, **Fault detection in solar parks – Thermography**, Photovoltaics characterization and Thermography workshop, Port Elizabeth, South Africa, 05.07.18

C. Camus, **PV-Modultechnologien im Vergleich**, 5. Deutsche Photovoltaik-Betriebs- und Sicherheitstagung, Berlin, Germany, 18.-19.10.2018

V. Dyakonov, **Role of Spins in Next Generation OLEDs**, International Fall School on Organic Electronics (IFSOE 2018), Moscow, Russia, 16.-20.09.2018

V. Dyakonov, **Spin states engineering in optoelectronic organic devices by electrically and optically detected electron spin resonance**, International Summer School on Excitonics for photonics applications, Les Houches, France, 15.-21.04.2018

V. Dyakonov, **Nanotechnologie in der Energietechnik**, Jahrestagungs VSVI-Unterfranken, Würzburg, Germany, 06.07.18

V. Dyakonov, **Trap landscapes and doping profiles in perovskite solar cells**, Perovskit-Workshop Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany, 20.11.18

V. Dyakonov, N. Bunzmann, S. Weißenseel, L. Kudriashova, A. Sperlich, **Spin states in organic light emitting diodes**, SPIE. Photonics Europe, Strasbourg, France, 22.-26.04.2018

V. Dyakonov, **Advanced Materials for Energy Efficient Systems**, Workshop on Solar Energy and Energy Storage Technologies: Materials, System Design and Applications, Addis Ababa, Ethiopia, 15.-19.10.2018

V. Dyakonov, **Perovskite Solar Cells**, Workshop on Solar Energy and Energy Storage Technologies: Materials, System Design and Applications, Addis Ababa, Ethiopia, 15.-19.10.2018

V. Dyakonov, **Can Spins Make Organic Solar Cells Better?**, Workshop Organic Photovoltaics-Spectroscopy-Degradation, Erlangen, Germany, 19.07.18

H. P. Ebert, **Prospects for Energy-Efficient Buildings**, International Conference on Material Innovation (MatX 2018), Nürnberg, Germany, 27.-28.06.2018

H. P. Ebert, **Energie- und ressourceneffizienter Massivbau**, Regionales Netzwerktreffen: Innovativer Massivbau Bayern, Würzburg, Germany, 13.06.18

H.-J. Egelhaaf, **The Green New Future in Print – Solarfabrik 3.0**, Innovationslabor Josephs, Nürnberg, Germany, 13.06.18

H.-J. Egelhaaf, **From Oligomers to Polymers OR From Photophysics to Devices OR From Tübingen to Nürnberg via Milano and Linz**, International Symposium on Organic Photovoltaics – Spectroscopy and Degradation, Nürnberg, Germany, 19.07.18

H.-J. Egelhaaf, **Wie weit ist die Perovskit-Photovoltaik noch vom Markt entfernt?**, Technologie-Plattform Photovoltaik, Graz, Austria, 03.10.18

J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, M. Zänglein, J. Manara, T. Stark, M. Zipf, M. Arduini, E. Schreiber, U. Krüger, F. Schmidt, M. Brunner, **Sensor Systems for Additive Manufacturing**, Materials Science and Engineering (MSE 2018), Darmstadt, Germany, 26.-28.09.2018

A. Hauer, **"Flexible Sector Coupling – The Impact of Energy Storage on Sector Coupling"**, 7<sup>th</sup> International Energy and Sustainability Conference 2018, Köln, Germany, 17.05.18

A. Hauer, **Energie. Zukunft. ZAE.**, Bayern Innovativ Clustertreffen "Thermische Speicher zur Steigerung der Energieeffizienz", Garching, Germany, 24.04.18

A. Hauer, **7. Energieforschungsprogramm: Förderung für Speicherprojekte**, Bundesverband Energiespeicher BVES Jahrestagung 2018, Berlin, Germany, 29.11.18

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling by Energy Storage Implementation – A German Approach**, Energy Storage China, Tangshan, China, 19.-20.9.2018

A. Hauer, **Energy Storage Europe – Focus: Flexible Sector Coupling**, Energy Storage Europe, Düsseldorf, Germany, 13.-15.3.2018

A. Hauer, **Energy Storage in Germany – Business Models, Trends and Regulatory Framework**, Energy Storage India, New-Delhi, India, 11.-12.1.2018

A. Hauer, **Energy Storage Market in Germany**, Energy Storage Summit Japan ESSJ 2018, Tokyo, Japan, 17.10.18

A. Hauer, **Energy Storage Goes SYSTEM – Situation of the Energy Storage Market in Germany**, Energy Storage Summit Japan ESSJ 2018 - Executive Round Table Meeting, Tokyo, Japan, 16.10.18

A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, Fachforum "Thermische Energiespeicher", Meerbusch, Germany, 03.-04.07.2018

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling by Energy Storage Implementation or "Make Sector Coupling Flexible"**, IEA End-Use Working Party Workshop, Wien, Austria, 20.03.18

A. Hauer, **The Future Role of Thermal Energy Storage – Flexible Sector Coupling and Thermal Transition**, International Sustainable Energy Conference 2018, Graz, Austria, 3.-5.10.2018

A. Hauer, **Adsorption in Dishwashers**, Leipziger Symposium on Dynamic Sorption, Leipzig, Germany, 17.04.18

A. Hauer, **Dinner Speech on Carnot Batteries**, Power-Heat-Power – International Workshop on Carnot Batteries, Stuttgart, Germany, 09.-10.10.2018

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling – The Impact of Energy Storage on Sector Coupling**, TheSmarterE/Intersolar, München, Germany, 19.-20.06.2018

A. Hauer, **Energy Storage Goes SYSTEM – Multi-use Solutions for Households, Industry and Infrastructure in Germany**, Workshop "Electrical Energy Storage Industry Event", Munich Re, München, Germany, 26.09.18

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling – The Role of Energy Storage in Our Future Energy System**, Workshop "Intelligente Energieinfrastruktur", Deutsch-Tschechische Industrie- und Handelskammer, Prague, Czech Republic, 25.09.18

A. Hauer, **Sorption is like a glove... it has to fit to make you comfortable**, Workshop "Sorption friends", Pisa, Italy, 16.-17.7.2018

A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, K. Hagel, **Vertical Hydraulic Conductivity of Borehole Heat Exchanger Systems before and after Freeze-Thaw-Cycle Stress**, 2<sup>nd</sup> Research Track of the International Ground Source Heat Pump Association, Stockholm, Sweden, 18.-19.09.2018

J. Manara, M. Arduini-Schuster, H. P. Ebert, **Funktionale Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden**, 3. MESG Symposium, Würzburg, Germany, 27.09.18

J. Manara, **Low-e Folien mit wärme-reflektierenden Eigenschaften: Anwendungsspektrum und Emissionsgradbestimmung**, Jahrestagung Arbeitskreis Thermophysik, Köln, Germany, 23.-24.04.2018

C. Rathgeber, E. Lävemann, A. Hauer, **Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher**, 7. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 03.-04.07.2018

C. Rathgeber, E. Lävemann, A. Hauer, **Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher**, Bayern Innovativ Clustertreffen "Thermische Speicher zur Steigerung der Energieeffizienz", Garching, Germany, 24.04.18

G. Reichenauer, **Electrical Double Layer Capacitors – Insights from Fundamental Research and their Impact on Storage Devices**, DPG Frühjahrstagung 2018, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

G. Reichenauer, **Adsorption induced deformation: artefacts and opportunities**, XIX. Porotec Workshop über die Charakterisierung von feinteiligen und porösen Festkörpern, Niedernhausen, Germany, 13.-14.11.2018

M. Reuß, H. Karrer, A. Kirschbaum, **Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden – das Verbundprojekt QEWS II: Thermal Response Test und Auslegungsmodelle**, Workshop Geothermie in der Praxis an der TUM 2018, München, Germany, 29.06.18

A. Robrecht, **Anlagentechnisches Konzept und Betriebserfahrungen der Plusenergieschule Schmuttertal-Gymnasium Diedorf**, tri 2018 – Internationales Symposium für energieeffiziente und nachhaltige Architektur, Bregenz, Austria, 07.04.18

M. Rzepka, **Wärmespeicher in der Industrie für flexible Sektorkopplung**, FVEE Jahrestagung – Die Energiewende – smart und digital, Berlin, Germany, 17.-18.10.2018

L. Staudacher, G. Fink, **Vergleich und Zusammenspiel elektrischer und thermischer Energiespeicher im Gebäude**, 7. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 03.-04.07.2018

### 3.1.2 FACHVORTRÄGE CONTRIBUTED TALKS

M. Angerer, H. Spliethoff, **Thermochemische Wärmespeicher im Hochtemperaturbereich – Forschung an der TUM**, Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Hochtemperaturtechnik, Bremen, Germany, 06.-07.03.2018

C. Balzer, S. Zhao, G. Reichenauer, **Determining mechanical properties on different length scales from adsorption analysis combined with in-situ dilatometry**, 4<sup>th</sup> International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 24.-26.09.2018

C. Balzer, G. Reichenauer, **Determining pore size distributions and mechanical properties of microporous carbons using adsorption induced strain data**, Carbon, Madrid, Spain, 02.-06.07.2018

A. Baumann, M. Fischer, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Doping profile in planar perovskite solar cells**, Hybrid and Organic Photovoltaics (HOPV), Benidorm, Spain, 28.-31.05.2018

M. Brütting, **Thermal Characterization of Building Products with Phase Change Materials**, Integration of Sustainable Energy (iSEnEC 2018), Nürnberg, Germany, 17.-18.07.2018

M. Brütting, S. Vidi, F. Hemberger, H. P. Ebert, **Dynamische T-History Methode – Dynamischer thermischer Widerstand zur Bestimmung der Schmelzenthalpie von Phase Change Materials**, Jahrestagung Arbeitskreis Thermophysik, Köln, Germany, 23.-24.04.2018

C. Buerhop-Lutz, T. Winkler, F. Enzenberger, T. Patel, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Performance Analysis of Pre-Cracked PV-Modules at Cyclic Loading Conditions**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, T. Winkler, J. Teubner, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **The Relevance of Controlling the Quality of PV-Systems**, NREL PV Reliability Workshop, Denver, USA, 27.02.-01.03.2018

C. Camus, A. Adrian, J. Bogenrieder, J. Hauch, C. J. Brabec, **Assessment of technology- and site-specific weak light losses of various photovoltaic technologies**, Integrated Photovoltaic Technical Conference i-PVTC, Cassis, France, 10.-12.09.2018

C. Camus, **The Right Choice? Site-dependent Performance Analysis of PV Technologies**, Integration of Sustainable Energy (iSEnEC 2018), Nürnberg, Germany, 17.-18.07.2018

C. Camus, P. Offermann, M. Weissmann, C. Buerhop, J. Hauch, C. J. Brabec, **Novel Approach for Site-Specific Assessment of Mechanical Loads on Photovoltaic Modules from Meteorological Reanalysis Data**, International Symposium on Regional Reanalysis (ISRR), Bonn, Germany, 17.-19.07.2018

B. Chhugani, **Performance analysis of room integrated PCM wallboard and effect of night ventilation on the regeneration behaviour**, Integration of Sustainable Energy (iSEnEC 2018), Nürnberg, Germany, 17.-18.07.2018

B. Chhugani, F. Klinker, H. Weinläder, S. Weismann, **Performance enhancement of room integrated PCM wallboards with night ventilation**, World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 27.02.18

B. Doll, T. Pickel, O. Schreer, C. Zetzmann, J. Teubner, C. Buerhop, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **High throughput outdoor characterization of silicon photovoltaic modules by moving electroluminescence measurements**, SPIE Optical Engineering + Applications, San Diego, USA, 19.-23.08.2018

M. Fischer, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, A. Baumann, **Capacitance profiling of planar perovskite solar cells taking mobile charged defects into account**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

R. Gurtner, **Industrielle Abwärmenutzung durch thermische Energiespeicherung**, ProcessNet Arbeitsausschusses "Thermische Energiespeicherung", Frankfurt, Germany, 28.09.18

J. Hameury, S. Clausen, M. Farshid, R. Kersting, J. Manara, T. Meisel, C. Monte, E. Palacio, G. P. Adorno, H. Simon, **Improvement of emissivity measurements on reflective insulation materials**, 20<sup>th</sup> Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, 24.-29.06.2018

- J. Hartmann, J. Manara, M. Zipf, T. Stark, K. Knopp, M. Zänglein, P. Lenski, E. Schreiber, F. Schmidt, M. Brunner, M. Müller, F. Möller, **Thermophysical property measurements at high-temperatures for power engineering and additive manufacturing processes**, 14<sup>th</sup> Quantitative InfraRed Thermography Conference (QIRT 2018), Berlin, Germany, 25.-29.06.2018
- J. A. Hauch, **Die Stadt als Energiesystem: Möglichkeiten und Grenzen von Erneuerbaren Energien und Sektorenkopplung**, 12. Stadtwerke Konferenz, Nürnberg, Germany, 15.05.18
- J. A. Hauch, T. Stubhan, C. J. Brabec, **Industry 4.0 and Robotics – Autonomous Materials Development Platforms**, Autonomous Materials Development Workshop, Brussels, Belgium, 02.10.18
- J. A. Hauch, T. Stubhan, **A fully automated platform for materials research – acceleration materials innovation**, MatX 2018, International Conference on Material Innovation, Nürnberg, Germany, 27.06.18
- J. Hepp, A. Vetter, S. Langner, M. Woi-ton, G. Jovicic, K. Burlafinger, C. Camus, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **Quantitative assessment of humidity in encapsulation materials for moisture-sensitive devices**, 8<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, USA, 10.-15.06.2018
- S. Hiebler, A. Krönauer, F. Bailly, **PCM-Speicher in Kühlschränken zum Demand Side Management**, 6. VDI-Fachtagung "Energiesysteme und Energieversorgung für Gebäude, Quartiere und Industrieanlagen", Nürnberg, Germany, 23.-24.10.2018
- J. Höcker, P. Rieder, D. Kiermasch, A. Baumann, V. Dyakonov, **The influence of solvent engineering on the fundamental functionality of organolead triiodide perovskite solar cells**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018
- P. Hoock, S. Pöllinger, A. Krönauer, S. Hiebler, F. Bailly, K. Baysal, A. Kleiner, M. Laudahn, C. Weiß, **PCM in a fridge/freezer combination – a challenging PCM application**, PCM 2018, Orford, Canada, 21.-23.05.2018
- H. Karrer, F. Burkhardt, K. Hagel, A. Kirschbaum, R. Koenigsdorff, L. Makni, M. Reuß, M. Riegger, J. Rolker, H. Steger, A. Van de Ven, S. Wilke, R. Zorn, **Das Verbundvorhaben QEWS II – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II**, Deutscher Geothermie Kongress, Essen, Germany, 27.-29.11.2018
- D. Kiermasch, L. Gil-Escrig, A. Baumann, H. J. Bolink, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Recombination dynamics in hybrid perovskite solar cells probed by electrical time-resolved methods**, 7<sup>th</sup> Sol-Tech Conference, Würzburg, Germany, 04.-05.10.2018
- A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, **Monitoring und Betriebsoptimierung eines Passivhaus-Schulneubaus**, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018
- F. Klinker, H. Weinläder, M. Yasin, B. Chhugani, **Energieeffiziente Gebäudekühlung mit PCM-Kühldecken und PCM-Wandelementen**, PCM-Symposium Einsatz von PCM in Gebäuden, Würzburg, Germany, 14.-15.03.2018
- A. Krönauer, J. Krämer, P. Zachmeier, R. Schex, **Thermische Speicher in Reinigungsanlagen für Metallteile**, 7. Fachforum f. Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 03.07.18
- A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hoock, S. Hiebler, **PCM Speicher in Kühlschränken zum Demand Side Management**, DKV Jahrestagung, Aachen, Germany, 23.11.18
- A. Robrecht, J. M. Kuckelkorn, **Monitoring und Betriebsoptimierung der Plusenergieschule Schmuttertal-Gymnasium Diedorf**, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018
- R. Kunde, **Examples of best practice regarding Industrial Waste Heat Utilization in Germany**, Sino-German Technology Forum: Energy Efficiency in the Industry, Shanghai, China, 27.11.18
- E. Lävemann, **Application Perspective on Sorption Materials**, Empa Advanced Sorption Materials Workshop, Dübendorf, Switzerland, 08.05.18
- E. Lävemann, **Mobile Wärme – Zukunftsmodell für Biogasanlagen ohne Wärmesenke?**, Fachgespräch Innovative Speichertechnologien/FNR/BMEL, Berlin, Germany, 15.05.18
- V. Lorrmann, M. Wiener, G. Reichenauer, **Electrical double layer capacitors – insights from fundamental research and their impact on storage devices**, Carbon, Madrid, Spain, 02.-06.07.2018



P. Maisch, T. Reitberger, **Digitaldruck organischer Optoelektronik auf 3D-Körper [OLE-3D]**, Mitgliederversammlung der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MIDE. V., Würzburg, Germany, 24.09.18

J. Manara, **Funktionale Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden**, 3. MESG Symposium Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden, Würzburg, Germany, 27.09.18

J. Manara, **Development, Optimization and Application of low-e Coatings of Energy Efficient Buildings**, Integration of Sustainable Energy (iSENEC 2018), Nürnberg, Germany, 17.-18.07.2018

M. Merkel, L. Kudriashova, V. Baianov, S. Berger, G. V. Astakhov, V. Dyakonov, **Investigation of Photon Recycling in Perovskites by Spatially-Resolved Confocal Photoluminescence**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

T. Ohrdes, D. Büchner, M. Zobel, J. von Appen, N. Rehault, A. Xhonneux, A. Wagner, B. Büttner, **Smarte Gebäude im Energiesystem**, FVEE Jahrestagung, Berlin, Germany, 17.-18.10.2018

D. Preßl, **Unlocking the potential of thermo-chemical technologies**, H-DisNet Workshop, Berlin, Germany, 16.11.18

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Development of PCM Based on the Prediction of Phase Diagrams of Salt Hydrate Mixtures**, International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2018), Düsseldorf, Germany, 13.-15.03.2018

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Calculation and Experimental Verification of Solid-liquid Phase Diagrams of Salt Hydrate Mixtures**, International Symposium on Solubility Phenomena (ISSP 2018), Tours, France, 15.-20.07.2018

C. Rathgeber, **Latentwärmespeicherung – Grundlagen und Anwendungen**, Vorlesung "Strom- und Wärmespeicher", Garching, Germany, 18.12.17

P. Rieder, Y. Hu, A. Hufnagel, M. Aygüler, M. Petrus, P. Docampo, K. Tvingstedt, A. Baumann, T. Bein, V. Dyakonov, **Revealing the impact of Rubidium and Cesium on the electronic trap landscape of mixed cation perovskite solar cells via thermally stimulated current**, DPG Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Aerogel Based Composites for Applications in Energy Technologies**, 14<sup>th</sup> International Ceramics Congress (CIMTEC 2018), Perugia, Italy, 04.-08.06.2018

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Nanomaterials for Energy Efficient Building Envelopes**, Integration of Sustainable Energy (iSENEC 2018), Nürnberg, Germany, 17.-18.07.2018

H. Schmit, J. Linn, D. Pauckner, K. Müller, S. Hiebler, **Generation, crystal fraction and viscosity of  $K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$ -PCS**, PCM 2018, Orford, Canada, 21.-23.05.2018

H. Schmit, C. Rathgeber, L. Sun, S. Hiebler, **Model-based prediction and experimental verification of eutectic PCM**, PCM 2018, Orford, Canada, 21.-23.05.2018

T. Stubhan, J. Levchuk, J. Hauch, C. J. Brabec, **Accelerating Development of the Perovskite Technology with Smart Automation**, International Conference on Perovskite Solar Cells and Optoelectronics (PSCO-18), Lausanne, Switzerland, 30.09.-02.10.2018

K. C. Tam, **Shy Organic Photovoltaics – Visually Attractive Digitally Printed Solar Modules with Hidden Interconnects**, 11<sup>th</sup> International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaics Stability (ISOS 11), Suzhou, Japan, 21.-25.10.2018

K. C. Tam, **Shy Organic Photovoltaics – Visually Attractive Digitally Printed Solar Modules with Hidden Interconnects**, MRS Spring Meeting & Exhibit, Phoenix, USA, 02.-06.04.2018

A. Teuffel, M. Rzepka, H. Spliethoff, **Energy systems modelling approach on storage requirements in the German energy system**, Energy Systems Conference 2018, London, United Kingdom, 19.-20.06.2018

A. Teuffel, **Flexible Sector Coupling through Energy Storage Implementation**, Integration of Sustainable Energy (iSENEC 2018), Nürnberg, Germany, 18.07.18

M. Thommes, S. Braxmeier, M. Mündlein, G. Reichenauer, A. Dukhin, **Pore Size and Porosity Analysis of Meso- and Macroporous Sol-Gel Based Materials by using Electroacoustics**, 8<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials: From Ångströms to Millimeters (CPM8), Boyton Beach, USA, 06.-09.05.2018

H. Weinläder, **Das Verbundvorhaben PCM-Demo II**, PCM-Symposium Einsatz von PCM in Gebäuden, Würzburg, Germany, 14.-15.03.2018

H. Weinläder, **Hinterlüftete PCM-Kühldecke in einem Besprechungsraum**, PCM-Symposium Einsatz von PCM in Gebäuden, Würzburg, Germany, 14.-15.03.2018

M. Yasin, E. Scheidemantel, F. Klinker, H. Weinläder, **Simulation, Validation and Optimization of PCM-Chilled Ceilings**, BauSim 2018, Karlsruhe, Germany, 26.-28.09.2018

### 3.1.3 POSTER POSTERS

K. Anneser, **Energieeffizienter integrierter Solarspeicher auf Basis von gedruckten Solarzellen und Superkondensatoren – Glättung stark fluktuierender Leistung aus regenerativen Energiequellen**, Deutscher Umweltpreis, Erfurt, Germany, 27.-28.10.2018

K. Anneser, P. Potsch, S. Braxmeier, G. Reichenauer, **Hydrothermal aging of electric double layer capacitors based on polymer gel electrolyte**, Electrochemistry 2018, Ulm, Germany, 24.-26.09.2018

M. Armer, M. Fischer, L. Kudriashova, A. Baumann, V. Dyakonov, **Cs<sub>2</sub>AgBiBrxI1-x: A Novel Lead-Free Material for Perovskite Photovoltaics**, 7<sup>th</sup> Sol-Tech Conference, Würzburg, Germany, 04.-05.10.2018

M. Armer, M. Fischer, L. Kudriashova, A. Baumann, V. Dyakonov, **Cs<sub>2</sub>AgBiBrxI1-x: A Novel Lead-Free Material for Perovskite Solar Cells**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

C. Balzer, M. Seitz, M. Thommes, G. Reichenauer, **Absorption Artifacts upon Analysis of Organic Porous Materials with N<sub>2</sub> Adsorption**, 8<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials: From Ångströms to Millimeters (CPM8), Boyton Beach, USA, 06.-09.05.2018

S. Berger, P. Rieder, D. Kiermasch, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Radiative efficiency in planar metal-organic-perovskite solar cells**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

C. Buerhop-Lutz, S. Deitsch, A. Maier, F. Gallwitz, S. Berger, B. Doll, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **A Benchmark for Visual Identification of Defective Solar Cells in Electroluminescence Imagery**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, F. Wenz, C. Zetzmann, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Influence of the Irradiance on the Detection and Performance of PID-Affected PV-Modules**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018

C. Buerhop-Lutz, M. Krause, T. Winkler, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Influence of the Module Temperature on the Performance and EL-Image of Precracked PV-Modules**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.09.-28.09.2018

C. Buerhop-Lutz, J. Teubner, T. Pickel, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Qualitätsdiagnose von PV-Anlagen mit IR-Thermographie – noch präziser in Kombination mit Elektrolumineszenz und Monitoringdaten**, PV Symposium Bad Staffelstein, Bad Staffelstein, Germany, 25.-27.04.2018

B. Büttner, J. Nauschütz, U. Heinemann, G. Reichenauer, C. Scherdel, H. Weinläder, S. Weismann, D. Buch, A. Beck, **Evacuated Glazing with Silica Aerogel Spacers**, 12<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (Eurosun 2018), Rapperswil, Switzerland, 10.-13.09.2018

C. Camus, A. Adrian, J. Bogenrieder, J. Hauch, C. J. Brabec, **Assessment of Technology- and Weather-Specific Temperature Losses of Various Photovoltaic Technologies**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018

- C. Camus, M. Hüttner, D. Lassahn, C. Kurz, J. Hauch, C. J. Brabec, **Data-Filtering-Dependent Variability of Long-Term Degradation Rates of MW-Scale Photovoltaic Power Plants from "Non-Ideal" Monitoring and Weather Data**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018
- B. Doll, J. Kornhas, J. Hepp, C. Buerhop, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Towards true contactless outdoor luminescence of silicon photovoltaic modules with inhomogeneous small area excitation source**, 8<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, USA, 10.-15.06.2018
- P. Dotzauer, T. Greese, L. Hoffmann, A. Jossen, **Electrolyte Characteristics of a Vanadium Flow Battery and Influence on Cell Performance**, 9<sup>th</sup> International Flow Battery Forum, Lausanne, Switzerland, 10.-12.07.2018
- J. Hartmann, J. Manara, M. Zipf, T. Stark, K. Knopp, M. Zänglein, E. Schreiber, F. Schmidt, M. Brunner, M. Müller, **Messsystem für dynamische Materialuntersuchung bei hohen Temperaturen**, Sensoren und Messsysteme 2018, Nürnberg, Germany, 26.-27.06.2018
- N. Henning, M. Ullrich, L. Kudriashova, A. Baumann, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Charge Carrier Dynamics in Methylammonium Lead Iodide probed by TRMC and TRPL**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018
- J. Hepp, A. Vetter, S. Langner, M. Woiton, G. Jovicic, K. Burlafinger, C. J. Brabec, **Quantitative Assessment of Humidity in Encapsulation Materials for Moisture-Sensitive Devices**, 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-28.09.2018
- H. Karrer, T. Behnen, I. Kötting, P. Osgyan, M. Pröll, G. Streib, **QEWS II: TRT-Prüfverfahren – Erste Testergebnisse einer künstlichen Erdwärmesonde**, Der Geothermiekongress 2018, Essen, Germany, 27.-29.11.2018
- A. Käßer, M. Reim, B. Chhugani, D. Gerstenlauer, S. Weismann, **Survey based analysis with focus on automated building system and user comfort**, World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 27.02.18
- R. Kastner, M. Reim, Y. Yu, S. Weismann, **Comparative analysis of life-cycle assessment tools (LCA)**, 12<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (Eurosun 2018), Rapperswil, Switzerland, 10.-13.09.2018
- D. Kiermasch, K. Tvingstedt, L. Gil-Escirg, C. Momblona, M. Sessolo, A. Baumann, H. Bolink, V. Dyakonov, **Charge carrier recombination in planar n-i-p and p-i-n perovskite solar cells – the role of interfaces**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018
- S. Kiesmüller, S. Väth, S. Hammer, J. Pflaum, A. Baumann, V. Dyakonov, **Controlled Growth and Characterization of Large Perovskite MAPI Crystals**, 7<sup>th</sup> Sol-Tech Conference, Würzburg, Germany, 04.-05.10.2018
- S. Kiesmüller, S. Väth, S. Hammer, A. Baumann, V. Dyakonov, **Characterization of mm sized  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  crystals grown by Inverse Temperature Crystallization**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018
- A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, K. Hagel, L. Pendzich, **Versuchsaufbau zur Messung der hydraulischen Systemdichtigkeit von Erdwärmesonden**, Der Geothermiekongress 2018, Essen, Germany, 27.-29.11.2018
- I. Lederer, A. Muzha, A. Krueger, G. Reichenauer, **Contributions of Nanodiamonds and nanoions to charge storage in supercapacitors**, Carbon, Madrid, Spain, 02.-06.07.2018
- L. Ludescher, R. Morak, C. Balzer, S. Braxmeier, F. Putz, N. Hüsing, G. Reichenauer, G. Gor, O. Paris, **Assessing Adsorption-Induced Deformation in Hierarchical Porous CMK-3-Type Materials**, 8<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials: From Ångströms to Millimeters (CPM8), Boyton Beach, USA, 06.-09.05.2018
- F. Machui, H.-J. Egelhaaf, P. Kubis, **Solar factory of the future – R2R-printed PV**, Messe LOPEC, München, Germany, 14.-15.03.2018
- O. Paris, G. Reichenauer, C. Balzer, **Determining Mechanical Properties on Different Structural Levels by Adsorption-Induced Deformation**, 8<sup>th</sup> International Workshop Characterization of Porous Materials: From Ångströms to Millimeters (CPM8), Boyton Beach, USA, 06.-09.05.2018

M. Pröll, **Thermische oder elektrische Energiespeicher – Was ist besser geeignet für ein photovoltaisch unterstütztes Heiz- & Kühlsystem für Bürogebäude?**, Symposium Solarthermie – Technik für die Wärmewende, Bad Staffelstein, Germany, 13.-15.06.2018

C. Rathgeber, S. Hiebler, **Low-temperature latent heat storage based on salt hydrates**, International Sustainable Energy Conference (ISEC 2018), Graz, Austria, 03.-05.10.2018

C. Römer, **VIDI – Schaltbares Vakuum-Isolations-Paneel für energieeffiziente Fassaden**, Workshop Performance Gaps – Der Beitrag von Forschungsprojekten auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand 2050, Wuppertal, Germany, 26.10.18

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Spatially Resolved SAXS on Silica Aerogel – Analysis of Structural Inhomogeneities**, 4<sup>th</sup> International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 24.-26.09.2018

L. Staudacher, G. Fink, **Thermische oder elektrische Energiespeicher – Was ist besser geeignet für ein photovoltaisch unterstütztes Heiz- & Kühlsystem für Bürogebäude?**, Symposium Solarthermie – Technik für die Wärmewende, Bad Staffelstein, Germany, 13.-15.06.2018

K. Swimm, S. Vidi, G. Reichenauer, H. P. Ebert, **Coupling of gaseous and solid phase thermal transport in aerogels**, 4<sup>th</sup> International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 24.-26.09.2018

A. Teuffel, M. Rzepka, H. Spliethoff, **Energy system analysis for the impact of CO<sub>2</sub> mitigation measures in the German energy sector**, Energy Systems Conference 2018, London, United Kingdom, 19.-20.06.2018

M. Ullrich, N. Henning, L. Kudriashova, A. Baumann, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Time-Resolved Microwave Conductivity on Perovskite Materials for Solar Cells**, DPG-Frühjahrstagung, Berlin, Germany, 12.-16.03.2018

T. Weverinck, **PEM Electrolysis for Power-to-Gas: Potential of Hybridization with external Energy Buffer**, 12<sup>th</sup> International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany, 13.-15.03.2018

---

### 3.1.4 KOLLOQUIEN, SEMINARE, FOREN ... COLLOQUIA, SEMINARS, FORUMS ...

---

C. Buerhop-Lutz, **Photovoltaik-relevante Grundlagen zur Thermographie**, DGS Praxisseminar, Erlangen, Germany, 15.06.2018

C. Buerhop-Lutz, **Fault detection in solar parks – Thermography**, Photovoltaics characterization and Thermography workshop, Port Elizabeth, South Africa, 05.07.18

C. Buerhop-Lutz, **Grundlagen der Thermographie**, Praxisseminar Thermographie - Webinar, Erlangen, Germany, 11.06.18

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, T. Winkler, F. Fecher, B. Doll, C. Camus, C. J. Brabec, **Typische Schadensbilder an Photovoltaikmodulen**, Solarakademie Franken, Erlangen, Germany, 23.02.18

C. Camus, **Photovoltaic Energy Generation – Status quo**, Educational Program Functional Materials – Advanced Energy Materials – MIIT Delegation, Nürnberg, Germany, 05.11.2018

I. Channa, **Printed Oxygen and Water Barriers for the Protection of Organic Electronics**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz Highlights aus der aktuellen Forschung, Nürnberg, Germany, 13.12.18

B. Doll, J. Kornhas, J. Hepp, C. Buerhop, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Contactless luminescence of silicon photovoltaic modules with inhomogeneous small area excitation applicable for in-situ outdoor characterization**, Cambridge Sensor Day and PhD Showcase 2018, Cambridge, United Kingdom, 18.10.2018

H. P. Ebert, **Eisspeicher in der Umweltstation**, 9. Netzwerktreffen zum Thema Quartierskonzepte, Würzburg, Germany, 06.03.18

H. P. Ebert, **Energy Efficiency Center**, Tag der Energie der Bayerischen Ingenieurkammer, Würzburg, Germany, 08.09.18

H. P. Ebert, **Energiewende – noch ein Thema?**, ZUSE-Tag Regional, Würzburg, Germany, 20.09.18

H.-J. Egelhaaf, **Future PV, MIIT-Schulung für chinesische Delegation**, Nürnberg, Germany, 05.11.18

S. Eyerer, F. Dawo, C. Wieland, H. Spliethoff, **Moderne ORC-Arbeitsmedien und deren Verträglichkeit mit Konstruktionsmaterialien**, Praxisforum Geothermie.Bayern, München, Germany, 16.-18.10.2018

R.Gurtner, **"The Industrial Waste Heat Utilisation Project"**, ETIP-SNET Workshop, Brussels, Belgium, 11.10.18

R.Gurtner, **Industrial waste heat recovery, technologies and examples**, Fachkonferenz BMWi Exportinitiative Energie AHK Estland/Lettland, Riga, Latvia, 08.-09.10.2018

R.Gurtner, **Überblick Speichertechnologien für die Industrie**, Netzwerktreffen Effizienznetzwerk N-ERGIE Effizienz GmbH, Nürnberg, Germany, 15.11.18

A. Hauer, C. Rathgeber, **IEA ECES Annex 33 3<sup>rd</sup> Expert Meeting**, IEA ECES Annex 33 3<sup>rd</sup> Expert Meeting, Ljubljana, Slovenia, 09.-11.04.2018

A. Hauer, C. Rathgeber, **IEA ECES Annex 33 4<sup>th</sup> Expert Meeting**, IEA ECES Annex 33 4<sup>th</sup> Expert Meeting, Graz, Austria, 01.-02.10.2018

A. Hauer, A. Teuffel, **IEA ECES Annex 35 Task Definition Workshop I**, IEA ECES Annex 35 Task Definition Workshop I, Paris, France, 28.02.18

A. Hauer, A. Teuffel, **IEA ECES Annex 35 Task Definition Workshop II**, IEA ECES Annex 35 Task Definition Workshop II, Graz, Austria, 03.10.18

J. Hepp, A. Vetter, S. Langner, M. Woiton, G. Jovicic, K. Burlafinger, C. J. Brabec, **Quantitative assessment of humidity in encapsulation materials for moisture-sensitive devices**, Cambridge Sensor Day and PhD Showcase 2018, Cambridge, United Kingdom, 18.10.2018

P. Maisch, **Process Development for Inkjet Printing of Organic Photovoltaics**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz Highlights aus der aktuellen Forschung, Nürnberg, Germany, 13.12.18

P. Maisch, **Process Development for Inkjet Printing of Organic Photovoltaics**, FAPS – Lehrstuhlseminar, Nürnberg, Germany, 25.10.18

P. Maisch, **Process Development for Inkjet Printing of Organic Photovoltaics**, i-MEET (WW6) – Lehrstuhlseminar, Erlangen, Germany, 11.12.18

T. Pickel, **Thermografische Messtechnik, Praxisseminar Thermographie**, Erlangen, Germany, 15.06.2018

M. Pröll, **Cluster-Treff – Quartierskonzepte wirtschaftlich gestalten**, Bayern Innovativ, Rödl&Partner, Nürnberg, Germany, 20.03.18

C. Scherdel, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energietechnik**, ZUSE-Tag Regional, Würzburg, Germany, 20.09.18

R. Schex, **IEA SHC Task 53 9<sup>th</sup> Expert Meeting**, IEA SHC Task 53 9<sup>th</sup> Expert Meeting, Dresden, Germany, 10.-11.04.2018

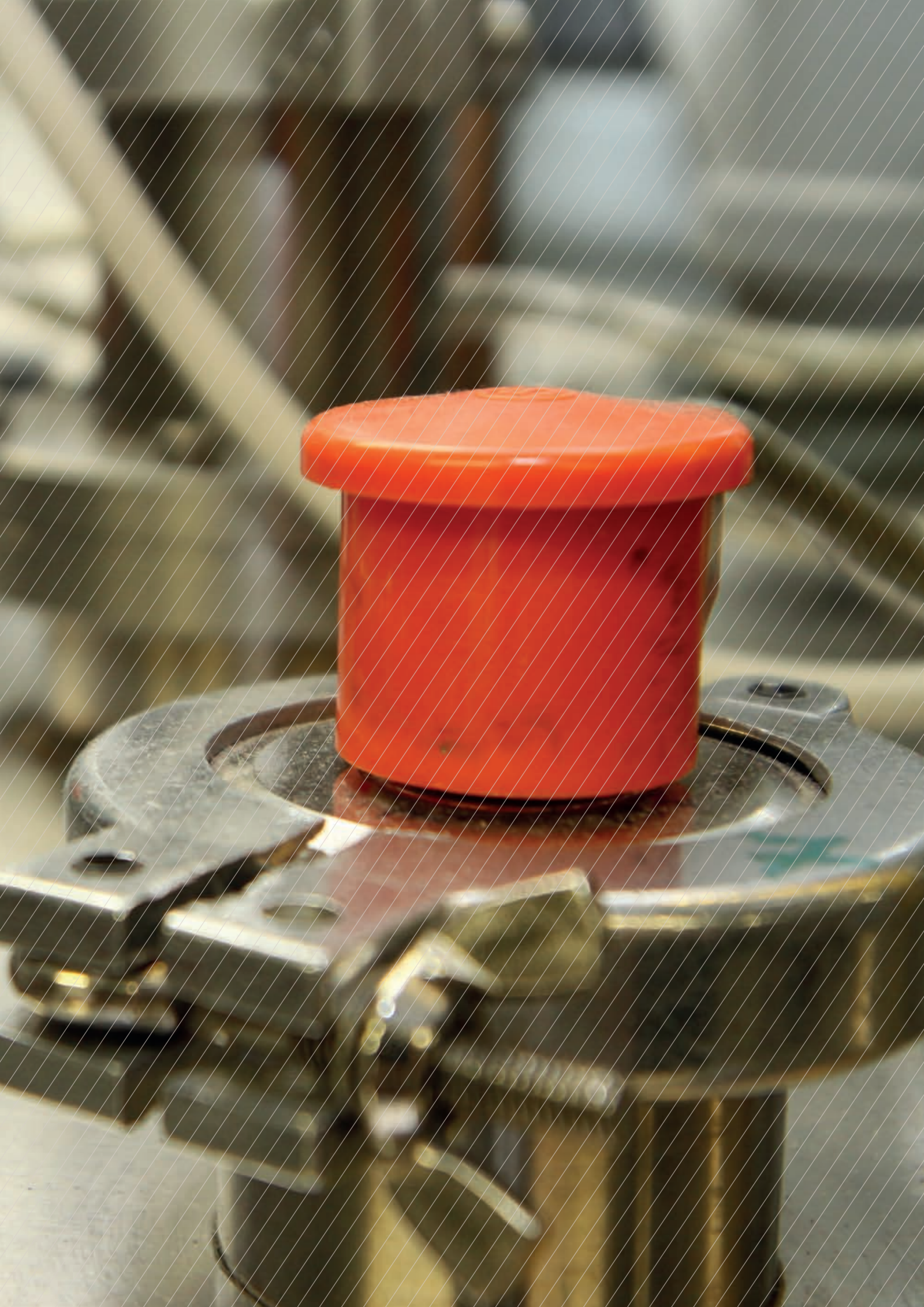
R. Schex, A. Krönauer, **IEA SHC Task 53 Solar Cooling Workshop**, New Generation Solar Cooling & Heating Systems, Dresden, Germany, 12.04.18

K. C. Tam, **Shy Organic Photovoltaics – Visually Attractive Digitally Printed Solar Modules with Hidden Interconnects**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz Highlights aus der aktuellen Forschung, Nürnberg, Germany, 13.12.18

U. Uhrner, R. Reifeltshammer, P. Sturm, J. Werhahn, R. Forkel, S. Emeis, K. Schäfer, E. Petersen, A. Philipp, R. Kunde, **First SmartAQnet results from accompanying air quality modelling**, International workshop on assessing fine-granular modelling and measurement of particulate matter, Neuherberg, Germany, 04.-05.12.2018

S. Weismann, **Energieeffiziente Gebäude – Chance und Herausforderung**, ZUSE-Tag Regional, Würzburg, Germany, 20.09.18





## 3.2 VERÖFFENTLICHUNGEN PUBLICATIONS

### 3.2.1 REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN PEER-REVIEWED PUBLICATIONS

- C. Alkan, C. Rathgeber, P. Hennemann, S. Hiebler, **Poly(ethylene-co-1-tetradecylacrylate) and poly(ethylene-co-1-octadecylacrylate) copolymers as novel solid-solid phase change materials for thermal energy storage**, *Polym. Bull.*, 2018, doi: 10.1007/s00289-018-2478-8
- M. Angerer, M. Becker, S. Härzschel, K. Kröper, S. Gleis, A. Vandersickel, H. Spliethoff, **Design of a MW-scale thermo-chemical energy storage reactor**, *Energy Rep.*, 4, 2018, 507-519, doi: 10.1016/j.egy.2018.07.005
- M. Angerer, M. Djukow, K. Riedl, S. Gleis, H. Spliethoff, **Simulation of Cogeneration-Combined Cycle Plant Flexibilization by Thermochemical Energy Storage**, *J. Energy Res. Technol.*, 140 (2), 2018, 020909, doi: 10.1115/1.4038666
- K. Anneser, J. Reichstein, S. Braxmeier, G. Reichenauer, **Carbon xerogel based electric double layer capacitors with polymer gel electrolytes – improving the performance by adjusting the type of electrolyte and its processing**, *Electrochim. Acta*, 278, 2018, 196-203, doi: 10.1016/j.electacta.2018.05.046
- M. F. Aygüler, A. G. Hufnagel, P. Rieder, M. Wussler, W. Jaegermann, T. Bein, V. Dyakonov, M. L. Petrus, A. Baumann, P. Docampo, **Influence of Fermi Level Alignment with Tin Oxide on the Hysteresis of Perovskite Solar Cells**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10, 2018, 11414-11419, doi: 10.1021/acsami.8b00990
- S. Gao, X. Tang, S. Langner, A. Osvet, C. Harreiß, M. Barr, E. Spiecker, J. Bachmann, C. J. Brabec, K. Forberich, **Time-Resolved Analysis of Dielectric Mirrors for Vapor Sensing**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10 (42), 2018, 36398–36406, doi: 10.1021/acsa-mi.8b11434
- S. T. Birkhold, H. Hu, P. T. Hoger, K. K. Wong, P. Rieder, A. Baumann, L. Schmidt-Mende, **Mechanism and Impact of Cation Polarization in Methylammonium Lead Iodide**, *J. Phys. Chem. C*, 122 (23), 2018, 12140-12147, doi: 10.1021/acs.jpcc.8b00631
- J. Bogenrieder, C. Camus, M. Huettnner, P. Offermann, J. Hauch, C. J. Brabec, **Technology-dependent analysis of the snow melting and sliding behavior on photovoltaic modules**, *J. Renewable Sustainable Energy*, 10, 2018, 021005-1-021005-16, doi: 10.1063/1.5001556
- J. Bogenrieder, M. Hüttner, P. Luchscheider, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Technology-specific yield analysis of various photovoltaic module technologies under specific real weather conditions**, *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, 26 (1), 2018, 74-85, doi: 10.1002/pip.2921
- P. Zhu, B. Fan, X. Du, X. Tang, N. Li, F. Liu, L. Ying, Z. Li, W. Zhong, C. J. Brabec et al., **Improved Efficiency of Polymer Solar Cells by Modifying the Side Chain of Wide-Band Gap Conjugated Polymers Containing Pyrrolo [3,4-f] benzo-triazole-5,7(6H)-dione Moiety**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10, 2018, 22495-22503, doi: 10.1021/acsami.8b05700
- C. Xie, X. Tang, M. Berlinghof, S. Langner, S. Chen, A. Späth, N. Li, R. Fink, T. Unruh, C. J. Brabec, **Robot-Based High-Throughput Engineering of Alcoholic Polymer: Fullerene Nanoparticle Inks for an Eco-Friendly Processing of Organic Solar Cells**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10, 2018, 23225-23234, doi: 10.1021/acsami.8b03621
- J. Will, Y. Hou, S. Scheiner, U. Pinkert, I. M. Hermes, S. A. Weber, A. Hirsch, M. Halik, C. J. Brabec, T. Unruh, **Evidence of Tailoring the Interfacial Chemical Composition in Normal Structure Hybrid Organohalide Perovskites by a Self-Assembled Monolayer**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10, 2018, 5511-5518, doi: 10.1021/acsami.7b15904
- D. Galli, N. Gasparini, M. Forster, A. Eckert, C. Widling, M. Killian, A. Avgeropoulos, V. G. Gregoriou, U. Scherf, C. L. Chochos, C. J. Brabec, T. Ameri, **Suppressing the Surface Recombination and Tuning the Open-Circuit Voltage of Polymer/Fullerene Solar Cells by Implementing an Aggregative Ternary Compound**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 10 (34), 2018, 28803-28811, doi: 10.1021/acsami.8b09174



- T. Kirchartz, S. Korgitzsch, I. Hüpkes, C. O. Ramírez Quiroz, C. J. Brabec, **Performance Evaluation of Semitransparent Perovskite Solar Cells for Application in Four-Terminal Tandem Cells**, *ACS Energy Lett.*, 3, 2018, 1861-1867, doi: 10.1021/acsenergylett.8b00598
- P. Murto, Z. Genene, C. M. Benavides, X. Xu, A. Sharma, X. Pan, O. Schmidt, C. J. Brabec, M. R. Andersson, S. F. Tedde, W. Mammo, E. Wang, **High Performance All-Polymer Photodetector Comprising a Donor-Acceptor-Acceptor Structured Indacenodithiophene-Bithieno [3,4-c] Pyrroletetrone Copolymer**, *ACS Macro Lett.*, 7, 2018, 395-400, doi: 10.1021/acsmacrolett.8b00009
- N. Gasparini, A. Wadsworth, M. Moser, D. Baran, I. Mcculloch, C. J. Brabec, **The Physics of Small Molecule Acceptors for Efficient and Stable Bulk Heterojunction Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 8 (12), 2018, Art.Nr.: 1703398, doi: 10.1002/aenm.201703298
- A. Guerrero, A. Bou, G. Matt, O. Almora, T. Heumüller, G. Garcia-Belmonte, J. Bisquert, Y. Hou, C. J. Brabec, **Switching Off Hysteresis in Perovskite Solar Cells by Fine-Tuning Energy Levels of Extraction Layers**, *Adv. Energy Mater.*, 8 (21), 2018, Art.Nr.: 1703376, doi: 10.1002/aenm.201703376
- X. Liu, X. Du, J. Wang, C. Duan, X. Tang, T. Heumüller, G. Liu, Y. Li, Z. Wang, J. Wang, F. Liu, N. Li, C. J. Brabec, F. Huang, Y. Cao, **Efficient Organic Solar Cells with Extremely High Open-Circuit Voltages and Low Voltage Losses by Suppressing Nonradiative Recombination Losses**, *Adv. Energy Mater.*, 8 (26), 2018, doi: 10.1002/aenm.201801699
- C. Xie, A. Classen, A. Späth, X. Tang, J. Min, M. Meyer, C. Zhang, N. Li, A. Osvet, R. Fink, C. J. Brabec, **Overcoming Microstructural Limitations in Water Processed Organic Solar Cells by Engineering Customized Nanoparticulate Inks**, *Adv. Energy Mater.*, Art.Nr.: 1702857, 2018, doi: 10.1002/aenm.201702857
- A. Wadsworth, Z. Hamid, M. Bidwell, R. S. Ashraf, J. I. Khan, D. H. Anjum, C. Cendra, J. Yan, E. Rezasoltani, A. A. Y. Guilbert, M. Azzouzi, N. Gasparini, J. H. Bannock, D. Baran, H. Wu, J. C. De Mello, C. J. Brabec, A. Salleo, J. Nelson, F. Laquai, I. Mcculloch, **Progress in Poly (3-Hexylthiophene) Organic Solar Cells and the Influence of Its Molecular Weight on Device Performance**, *Adv. Energy Mater.*, Art. Nr.: 1801001, 2018, doi: 10.1002/aenm.201801001
- N. Gasparini, A. Gregori, M. Salvador, M. Biele, A. Wadsworth, S. Tedde, D. Baran, I. Mcculloch, C. J. Brabec, **Visible and Near-Infrared Imaging with Non-fullerene-Based Photodetectors**, *Adv. Mater. (Technologies)*, 3 (7), 2018, Art.Nr.: 1800104, doi: 10.1002/admt.201800104
- A. Wadsworth, M. Moser, A. Marks, M. S. Little, N. Gasparini, C. J. Brabec, D. Baran, I. Mcculloch, **Critical review of the molecular design progress in non-fullerene electron acceptors towards commercially viable organic solar cells.**, *Chem. Soc. Rev.*, 2018, doi: 10.1039/c7cs00892a
- N. Li, I. Mcculloch, C. J. Brabec, **Analyzing the efficiency, stability and cost potential for fullerene-free organic photovoltaics in one figure of merit**, *Energy Environ. Sci.*, 11, 2018, 1355-1361, doi: 10.1039/c8ee00151k
- Q. Xue, R. Xia, C. J. Brabec, H. L. Yip, **Recent advances in semi-transparent polymer and perovskite solar cells for power generating window applications**, *Energy Environ. Sci.*, 11, 2018, 1688-1709, doi: 10.1039/c8ee00154e
- A. Ali, L. S. Khanzada, A. Hashemi, C. Polzer, A. Osvet, C. J. Brabec, M. Batentschuk, **Optimization of synthesis and compositional parameters of magnesium germanate and fluoro-germanate thermographic phosphors**, *J. Alloys Compd.*, 734, 2018, 29-35, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.10.259
- X. Liu, C. Zhang, C. Duan, M. Li, Z. Hu, J. Wang, F. Liu, N. Li, C. J. Brabec, R. A. J. Janssen, G. C. Bazan, F. Huang, Y. Cao, **Morphology Optimization via Side Chain Engineering Enables All Polymer Solar Cells with Excellent Fill Factor and Stability**, *J. Am. Chem. Soc.*, 140, 2018, 8934-8943, doi: 10.1021/jacs.8b05038

- S. Kahmann, M. A. Loi, C. J. Brabec, **Delocalisation softens polaron electronic transitions and vibrational modes in conjugated polymers**, *J. Mater. Chem. C*, 6, 2018, 6008-6013, doi: 10.1039/c8tc00909k
- C. J. Brabec, H. J. Egelhaaf, M. Salvador, **The path to ubiquitous organic electronics hinges on its stability**, *J. Mater. Res.*, 33, 2018, 1839-1840, doi: 10.1557/jmr.2018.239
- X. Tang, M. van den Berg, E. Gu, A. Horneber, G. Matt, A. Osvet, A. J. Meixner, D. Zhang C. J. Brabec, **Local Observation of Phase Segregation in Mixed-Halide Perovskite**, *Nano Lett.*, 18, 2018, 2172-2178, doi: 10.1021/acs.nanolett.8b00505
- D. P. Tabor, L. M. Roch, S. K. Saikin, C. Kreisbeck, D. Sheberla, J. H. Montoya, S. Dwaraknath, M. Aykol, C. Ortiz, H. Tribukait, C. Amador-Bedolla, C. J. Brabec, B. Maruyama, K. A. Persson, A. Aspuru-Guzik, **Accelerating the discovery of materials for clean energy in the era of smart automation**, *Nat. Rev. Mater.*, 3, 2018, 5-20, doi: 10.1038/s41578-018-0005-z
- C. Montenegro Benavides, S. Rechberger, E. Spiecker, M. Berlinghof, T. Unruh, M. Biele, O. Schmidt, C. J. Brabec, S. F. Tedde, **Improving spray coated organic photodetectors performance by using 1,8-diiodooctane as processing additive**, *Org. Electron.*, 54, 2018, 21-26, doi: 10.1016/j.orgel.2017.12.022
- J. Min, Y. N. Luponosov, D. A. Khanin, P. V. Dmitryakov, E. A. Svidchenko, S. M. Peregudova, L. Grodd, S. Grigorian, S. N. Chvalun, S. A. Ponomarenko, C. J. Brabec, **Effects of bridging atom in donor units and nature of acceptor groups on physical and photovoltaic properties of A- $\pi$ -D- $\pi$ -A oligomers**, *Org. Electron.*, 55, 2018, 42-49, doi: 10.1016/j.orgel.2017.12.052
- R. Li, G. Liu, B. Fan, X. Du, X. Tang, N. Li, L. Ying, C. J. Brabec, F. Huang, Y. Cao, **Non-fullerene acceptors end-capped with an extended conjugation group for efficient polymer solar cells**, *Org. Electron.*, 59, 2018, 366-373, doi: 10.1016/j.orgel.2018.05.050
- D. Niesner, M. Hauck, S. Shrestha, I. Levchuk, G. Matt, A. Osvet, M. Batentschuk, C. J. Brabec, H. B. Weber, T. Fauster, **Structural fluctuations cause spin-split states in tetragonal (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>)PbI<sub>3</sub> as evidenced by the circular photogalvanic effect**, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A (PNAS)*, 115, 2018, 9509-9514, doi: 10.1073/pnas.1805422115
- C. Buerhop-Lutz, S. Wirsching, A. Bemm, T. Pickel, P. Hohmann, M. Nieß, C. Voder-mayer, A. Huber, B. Glück, J. Mergheim, C. Camus, J. Hauch, C. J. Brabec, **Evolution of cell cracks in PV-modules under field and laboratory conditions**, *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, 26(4), 2018, 261-272, doi: 10.1002/pip.2975
- C. Buerhop-Lutz, F. W. Fecher, T. Pickel, A. Häring, T. Adamski, C. Camus, J. Hauch, C. J. Brabec, **Verifying defective PV-modules by IR-imaging and controlling with module optimizers**, *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 26 (8), 2018, 622-630, doi: 10.1002/pip.2985
- A. Buttler, H. Spliethoff, **Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2018, 2440-2454, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.003
- C. Camus, A. Adegbenro, J. Ermer, V. Suryaprakash, J. Hauch, C. J. Brabec, **Influence of pre-existing damages on the degradation behavior of crystalline silicon photovoltaic modules**, *J. Renewable Sustainable Energy*, 10, 2018, Art.Nr.: 021004, doi: 10.1063/1.5000294
- M. Dalsass, P. Schmitt, C. Buerhop, P. Luchscheider, J. Hauch, C. J. Brabec, C. Camus, **Utilization of Inverter Operating Point Shifts as a Quality Assessment Tool for Photovoltaic Systems**, *IEEE Photonics J.*, 8, 2018, 315-321, doi: 10.1109/JPHOTOV.2017.2775443
- N. A. Drigo, L. G. Kudriashova, S. Weissenseel, A. Sperlich, A. J. Huckaba, M. K. Nazeeruddin, V. Dyakonov, **Photophysics of Deep Blue Acridane- and Benzonitrile-Based Emitter Employing Thermally Activated Delayed Fluorescence**, *J. Phys. Chem. C*, 122 (39), 2018, 22796-22801, doi: 10.1021/acs.jpcc.8b08716
- S. Mashhoun, Y. Hou, H. Chen, F. Tajabadi, N. Taghavinia, H. J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **Resolving a Critical Instability in Perovskite Solar Cells by Designing a Scalable and Printable Carbon Based Electrode-Interface Architecture**, *Adv. Energy Mater.*, 8, 2018, Art.-Nr. 1802085, doi: 10.1002/aenm.201802085

- A. Früh, H. J. Egelhaaf, H. Hintz, D. Quinones, C. J. Brabec, H. Peisert, T. Chassé, **PMMA as an effective protection layer against the oxidation of P3HT and MDMO-PPV by ozone**, *J. Mat. Res.*, 33 (13), 2018, 1891-1901, doi: 10.1557/jmr.2018.74
- S. Englisch, J. Wirth, N. Schrenker, K.C. Tam, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, E. Spiecker, **Mechanical Failure of Transparent Flexible Silver Nano-wire Networks for Solar Cells using 3D X-Ray Nano Tomography and Electron Microscopy**, *Microscopy and Microanalysis*, 24 (2), 2018, 558-559, doi: 10.1017/S1431927618014988
- S. Eyerer, P. Eyerer, M. Eicheldinger, B. Tübke, C. Wieland, H. Spliethoff, **Theoretical analysis and experimental investigation of material compatibility between refrigerants and polymers**, *Energy*, 163, 2018, 782-799, doi: 10.1016/j.energy.2018.08.142
- A. Fateh, D. Borelli, F. Devia, H. Weinläder, **Summer thermal performances of PCM-integrated insulation layers for lightweight building walls: effect of orientation and melting point temperature**, *Therm. Sci. Eng. Prog.*, 6, 2018, 361-369, doi: 10.1016/j.tsep.2017.12.012
- M. Fischer, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Doping Profile in Planar Hybrid Perovskite Solar Cells Identifying Mobile Ions**, *ACS Appl. Energy Mater.*, 1 (10), 2018, 5129-5134, doi: 10.1021/acs.jpcc.8b08716
- F. Fischer, W. Lutz, J.-Ch. Buhl, E. Lävemann, **Insights into the hydrothermal stability of zeolite 13X**, *Microporous Mesoporous Mater.*, 262, 2018, 258-268, doi: 10.1016/j.micromeso.2017.11.053
- N. Giesbrecht, J. Schlipf, I. Grill, P. Rieder, V. Dyakonov, T. Bein, A. Hartschuh, P. Müller-Buschbaum, P. Docampo, **Single-crystal-like optoelectronic properties of MAPbI<sub>3</sub> perovskite polycrystalline thin films**, *J. Mater. Chem. A*, 6, 2018, 4822-4828, doi: 10.1039/C7TA11190H
- S. Goetz, D. Li, V. Kolb, J. Pflaum, T. Brixner, **Coherent two-dimensional fluorescence micro-spectroscopy**, *Opt. Express*, 26 (4), 2018, 3915-3925, doi: 10.1364/OE.26.003915
- P. Dreher, R. Schmidt, A. Vetter, J. Hepp, A. Karl, C. J. Brabec, **Non-destructive imaging of defects in Ag-sinter die attach layers – A comparative study including X-ray, Scanning Acoustic Microscopy and Thermography**, *Microelectron. Reliab.*, 88-90, 2018, 365-370, doi: 10.1016/j.microrel.2018.07.121
- Y. Hu, E. M. Hutter, P. Rieder, I. Grill, J. Hanisch, M. F. Aygüler, A. G. Hufnagel, M. Handloser, E. Ahlswede, T. Bein, A. Hartschuh, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, A. Baumann, T. J. Savenije, M. L. Petrus, P. Docampo, **Understanding the Role of Cesium and Rubidium Additives in Perovskite Solar Cells: Trap States, Charge Transport and Recombination**, *Adv. Energy Mater.*, 8 (16), 2018, 1703057, doi: 10.1002/aenm.201703057
- E. Gu, X. Lin, X. Tang, G. Matt, A. Osvet, Y. Hou, S. Jäger, C. Xie, A. Karl, R. Hock, C. J. Brabec, **Single molecular precursor ink for AgBiS<sub>2</sub> thin films: synthesis and characterization**, *J. Mater. Chem. C*, 6, 2018, 7642-7651, doi: 10.1039/c8tc01195h
- D. Kiermasch, A. Baumann, M. Fischer, V. Dyakonov, K. Tvingstedt, **Revisiting lifetimes from transient electrical characterization of thin film solar cells; a capacitive concern evaluated for silicon, organic and perovskite devices**, *Energy Environ. Sci.*, 11 (3), 2018, 629-640, doi: 10.1039/C7EE03155F
- I. Lederer, C. Balzer, G. Reichenauer, **Contributions of storage sites located in micro- and meso/macropores to the capacitance of carbonaceous double layer capacitor electrodes**, *Electrochim. Acta*, 281, 2018, 753-760, doi: 10.1016/j.electacta.2018.05.196
- P. Maisch, **Digitaldruck organischer Optoelektronik auf 3D-Körper, OLE-3D**, *Fachzeitschrift PLUS*, 9, 2018
- P. Maisch, K. C. Tam, P. Schilinsky, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **Shy Organic Photovoltaics: Digitally Printed Organic Solar Modules With Hidden Interconnects**, *Solar RRL*, 2 (7), 2018, 1800005:1-9, doi: 10.1002/solr.201800005

- J. Manara, T. Stark, M. Zipf, M. Arduini, H. P. Ebert, J. Hartmann, A. Tutschke, A. Hallam, J. Hanspal, M. Langley, **Entwicklung und Test eines langwelligen Strahlungsthermometers zur berührungslosen Temperaturmessung in Gasturbinen während des Betriebs**, *Techn. Mess.*, 85 (1), 2018, 28-39, doi: 10.1515/teme-2017-0077
- B. Nienborg, S. Gschwander, G. Munz, D. Fröhlich, T. Helling, R. Horn, H. Weinläder, F. Klinker, P. Schossig, **Life cycle assessment of thermal energy storage materials and components**, *Energy Procedia*, 155, 2018, 111-120, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.063
- C. Rathgeber, H. Schmit, L. Miró, L. F. Cabeza, A. Gutierrez, S. N. Ushak, S. Hiebler, **Enthalpy-temperature plots to compare calorimetric measurements of phase change materials at different sample scales**, *J. Storage Mater.*, 15, 2018, 32-38, doi: 10.1016/j.est.2017.11.002
- C. Rathgeber, A. Grisval, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Concentration dependent melting enthalpy, crystallization velocity, and thermal cycling stability of pinacone hexahydrate**, *Thermochim. Acta*, 670, 2018, 142-147, doi: 10.1016/j.tca.2018.10.025
- A. Ristic, F. Fischer, A. Hauer, N. Zabukovec Logar, **Improved performance of binder-free zeolite Y for low-temperature sorption heat storage**, *J. Mater. Chem. A*, 6, 2018, 11521–11530, doi: 10.1039/C8TA00827B
- H. Schmit, D. Rudaleviciene, C. Rathgeber, S. Hiebler, **"Influence of different basic raw materials from technical to laboratory grade on the maximum storage capacity of  $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ "**, *Thermochim. Acta*, 670, 2018, 178-183, doi: 10.1016/j.tca.2018.10.026
- J. Settlein, J. Oehm, B. Bozkaya, H. Leicht, M. Wiener, G. Reichenauer, G. SEXTL, **The external surface area of carbon additives as key to enhance the dynamic charge acceptance of lead-carbon electrodes**, *J. Storage Mater.*, 15, 2018, 196-204, doi: 10.1016/j.est.2017.11.016
- C. O. Ramírez Quiroz, Y. Shen, M. F. Salvador, K. Forberich, N. Schrenker, G. Spyropoulos, T. Heumüller, B. Wilkinson, T. Kirchartz, E. Spiecker, P. J. Verlinden, X. Zhang, M. A. Green, A. Ho-Baillie, C. J. Brabec, **Balancing electrical and optical losses for efficient 4-terminal Si-perovskite solar cells with solution processed percolation electrodes**, *J. Mater. Chem. A*, 6, 2018, 10149-10149, doi: 10.1039/c7ta10945h
- C. O. Ramírez Quiroz, Y. Shen, M. F. Salvador, K. Forberich, N. Schrenker, G. Spyropoulos, T. Heumüller, B. Wilkinson, T. Kirchartz, E. Spiecker, P. J. Verlinden, X. Zhang, M. A. Green, A. Ho-Baillie, C. J. Brabec, **Correction: Balancing electrical and optical losses for efficient 4-terminal Si-perovskite solar cells with solution processed percolation electrodes**, *J. Mater. Chem. A*, 6, 2018, 3583-3592, doi: 10.1039/c8ta90069h
- C. Stegner, M. Dalsass, P. Luchscheider, C. J. Brabec, **Monitoring and assessment of PV generation based on a combination of smart metering and thermographic measurement**, *Sol. Energy*, 163, 2018, 16-24, doi: 10.1016/j.solener.2018.01.070
- S. Strohm, F. Machui, S. Langner, P. Kubis, N. Gasparini, M. F. Salvador, I. McCulloch, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, **P3HT: Non-fullerene acceptor based large area, semi-transparent PV modules with power conversion efficiencies of 5%, processed by industrially scalable methods**, *Energy Environ. Sci.*, 11, 2018, 2225-2234, doi: 10.1039/c8ee01150h
- C. Sun, L. Chen, S. Shi, B. Reeb, C. A. Lopez, J. A. Alonso, U. Stimming, **Visualization of the Diffusion Pathway of Protons in  $(\text{NH}_4)_2\text{Si}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{P}_4\text{O}_{13}$  as an Electrolyte for Intermediate-Temperature Fuel Cells**, *Inorg. Chem.*, 57, 2018, 676-680, doi: 10.1021/acs.inorgchem.7b02517
- P. Tan, M. Brütting, S. Vidi, H. P. Ebert, P. Johansson, A. S. Kalagasidis, **Characterizing phase change materials using the T-History method: On the factors influencing the accuracy and precision of the enthalpy-temperature curve**, *Thermochim. Acta*, 666, 2018, 212-228, doi: 10.1016/j.tca.2018.07.004
- S. A. Tarasenko, A. V. Poshakinskiy, D. Simin, V. A. Soltamov, E. N. Mokhov, P. G. Baranov, V. Dyakonov, G. V. Astakhov, **Spin and Optical Properties of Silicon Vacancies in Silicon Carbide – A Review**, *Phys. Status Solidi B*, 255 (1), 2018, 1700258, doi: 10.1002/pssb.201700258

Y. Wang, J. Kuckelkorn, D. Li, J. Du,  
**Evaluation on distributed renewable  
 energy system integrated with a Passive  
 House building using a new energy  
 performance index**, *Energy*, 161, 2018,  
 81-89, doi: 10.1016/j.energy.2018.07.140

Y. Wang, J. Kuckelkorn, D. Li, J. Du,  
**A novel coupling control with  
 decision-maker and PID controller for  
 minimizing heating energy consumption  
 and ensuring indoor environmental  
 quality**, *Journal of Building Physics*,  
 2018, doi: 10.1177/1744259118792582

M. Zipf, J. Manara, T. Stark, M. Arduini,  
 H. P. Ebert, J. Hartmann, **Infrared-optical  
 characterization of emitting and  
 absorbing gases at high temperatures  
 and high pressures**, *High Temp. High  
 Press.*, 47 (1), 2018, 3-21

---

### 3.2.2 BÜCHER, MANUSKRIPTE BOOKS, MANUSCRIPTS

---

H. P. Ebert, B. Büttner, R. Kastner,  
 S. Weismann, H. Weinläder,  
 J. Manara, C. Römer, A. Baumann,  
 M. Reim, A. Beck, **Energieeffiziente  
 Gebäude und Gebäudetechnik**,  
 in: *Technologien für die Energiewende  
 – Politikbericht*, eds.: Wuppertal Institut,  
 ISI, IZES, Wuppertal, 2018, 115-118, ISSN  
 1862-1953

R. Kunde, M. Adeili, F. Volz, **Instructions  
 for the Gravimetric Quantification of  
 Dust Emissions in Case of Long  
 Measuring Periods and Transient  
 Emissions Behaviour due to Modification  
 of the Dust Measuring Method in  
 Accordance with VDI 2066-1**,  
 in: *Methods for Measuring Emissions of  
 Particulate Matter from Solid Biomass  
 Combustion*, eds.: V. Lenz, D. Thrän,  
 D. Pfeiffer, DBFZ, Leipzig, 2018, 150-161,  
 ISBN 978-3-946629-28-3

P. Maisch, L. Lucera, C. J. Brabec,  
 H.-J. Egelhaaf, **Flexible Carbon-based  
 Electronics: Flexible Solar Cells**,  
 in: *Flexible Carbon-based Electronics*,  
 eds.: P. Samori, V. Palermo, X. Feng,  
 Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA,  
 Weinheim, 2018, 51-69, ISBN 978-3-527-  
 34191-7

### 3.2.3

#### REFERIERTE TAGUNGSBANDBEITRÄGE CONFERENCE PAPERS

- B. Büttner, J. Nauschütz, U. Heinemann, G. Reichenauer, C. Scherdel, H. Weinläder, S. Weismann, D. Buch, A. Beck, **Evacuated Glazing with Silica Aerogel Spacers**, 12<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (Eurosun 2018), Rapperswil, Switzerland, 10.-13.09.2018
- B. Doll, T. Pickel, O. Schreer, C. Zetzmann, J. Teubner, C. Buerhop-Lutz, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **High throughput, outdoor characterization of silicon photovoltaic modules by moving electroluminescence measurements**, SPIE Optics + Photonics 2018, San Diego, USA, 19.-23.08.2018, doi: 10.1117/12.2320518
- F. Fischer, M. Long, S. Fendt, H. Spliethoff, **Comparison of Fixed and Fluidized Bed Reactors for the Methanation of Biogenic Syngas**, Thermal & Catalytic Sciences Symposium, Auburn, USA, 08.-10.10.2018
- J. Hartmann, J. Manara, M. Zipf, T. Stark, K. Knopp, M. Zänglein, P. Lenski, E. Schreiber, F. Schmidt, M. Brunner, M. Müller, F. Möller, **Thermophysical property measurements at high-temperatures for power engineering and additive manufacturing processes**, 14<sup>th</sup> Quantitative InfraRed Thermography Conference (QIRT 2018), Berlin, Germany, 25.-29.06.2018, doi: 10.21611/qirt.2018.005
- J. Hartmann, J. Manara, M. Zipf, T. Stark, K. Knopp, M. Zänglein, E. Schreiber, F. Schmidt, M. Brunner, M. Müller, **Experimental setup for dynamic material investigation at high temperatures**, Sensoren und Messsysteme 2018, Nürnberg, Germany, 26.-27.06.2018, p. 516-519, ISBN 978-3-8007-4683-5
- S. Herrmann, M. Geis, M. Hauck, F. Fischer, S. Fendt, M. Gaderer, H. Spliethoff, **BioCORE – Thermo-dynamic evaluation of a biogas powered reversible SOC system**, 13<sup>th</sup> European SOFC & SOE Forum, Lucerne, Switzerland, 03.-06.07.2018
- R. Kastner, M. Reim, Y. Yu, S. Weismann, **Comparative Analysis of Life-Cycle Assessment Tools (LCA) Using the Example of Different Energy Supply Variants of a Purpose-Built Building**, 12<sup>th</sup> International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (Eurosun 2018), Rapperswil, Switzerland, 10.-13.09.2018
- A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, **Monitoring und Betriebsoptimierung eines Passivhaus-Schulneubaus**, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018, p. 107
- A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, K. Hagel, **Vertical Hydraulic Conductivity of Borehole Heat Exchanger Systems before and after Freeze-Thaw-Cycle Stress**, 2<sup>nd</sup> Research Track of the International Ground Source Heat Pump Assosiation, Stockholm, Sweden, 18.-19.09.2018, p. 422-430, doi: 10.22488/oksta-te.18.000001
- A. Robrecht, J. M. Kuckelkorn, **Monitoring und Betriebsoptimierung der Plusenergieschule Schmuttertal-Gymnasium Diedorf**, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018
- L. Staudacher, G. Fink, **Thermische oder elektrische Energiespeicher – Was ist besser geeignet für ein photovoltaisch unterstütztes Heiz- & Kühlsystem für Bürogebäude?**, Symposium Solarthermie – Technik für die Wärmewende, Bad Staffelstein, Germany, 13.-15.06.2018, p. 117-118
- A. Teuffel, A. Buttler, M. Rzepka, T. Mueller, H. Spliethoff, **Development and validation of an optimizing energy systems modeling framework using mixed integer linear programming**, International Conference on Energy Engineering and Smart Grids, Cambridge, United Kingdom, 25.-26.06.2018
- M. Yasin, E. Scheidemantel, F. Klinker, H. Weinläder, **Simulation, Validation and Optimization of PCM-Chilled Ceilings**, **BauSim 2018**, Karlsruhe, Germany, 26.-28.09.2018, p. 383-391, doi: 10.5445/IR/1000085743

### 3.2.4

#### SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN MISCELLANEOUS PUBLICATIONS

C. Balzer, G. Reichenauer, **Determining pore size distributions and mechanical properties of microporous carbons using adsorption induced strain data**, Carbon 2018, Madrid, Spain, 02.-06.07.2018

C. Buerhop-Lutz, M. Krause, T. Winkler, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Influence of the Module Temperature on the Performance and EL-Image of Pre-cracked PV-Modules**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 1147-1151, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-5CV.1.1

C. Buerhop-Lutz, S. Deitsch, A. Maier, F. Gallwitz, S. Berger, B. Doll, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **A Benchmark for Visual Identification of Defective Solar Cells in Electroluminescence Imagery**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 1287-1289, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-5CV.3.15

C. Buerhop-Lutz, T. Pickel, F. Wenz, C. Zetzmann, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Influence of the Irradiance on the Detection and Performance of PID-Affected PV-Modules**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 2001-2004, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-6DV.1.18

C. Buerhop-Lutz, T. Winkler, F. Enzenberger, T. Patel, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Performance Analysis of Pre-Cracked PV-Modules at Cyclic Loading Conditions**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 1554-1558, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-6BO.6.6

C. Camus, A. Adrian, J. Bogenrieder, J. Hauch, C. J. Brabec, **Assessment of Technology- and Weather-Specific Temperature Losses of Various Photovoltaic Technologies**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 1177-1181, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-5CV.1.13

C. Camus, M. Hüttner, D. Lassahn, C. Kurz, J. Hauch, C. J. Brabec, **Data-Filtering-Dependent Variability of Long-Term Degradation Rates of MW-Scale Photovoltaic Power Plants from "Non-Ideal" Monitoring and Weather Data**, Proc. 35<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Brussels, Belgium, 24.-27.09.2018, p. 2069-2074, doi: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-6DV.1.44

B. Chhugani, F. Klinker, H. Weinläder, S. Weismann, **Performance enhancement of room integrated PCM wallboards with night ventilation**, World Sustainable Energy Days 2018, Wels, Austria, 28.02.-02.03.2018

B. Doll, J. Kornhas, J. Hepp, C. Buerhop, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **Towards true contactless outdoor luminescence of silicon photovoltaic modules with inhomogeneous small area excitation source**, Proc. 7<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, USA, 09.-15.06.2018

B. Doll, T. Pickel, O. Schreer, C. Zetzmann, J. Teubner, C. Buerhop, J. Hauch, C. Camus, C. J. Brabec, **High throughput outdoor characterization of silicon photovoltaic modules by moving electroluminescence measurements**, Proc. SPIE 10766, Infrared Sensors, Devices, and Applications VIII, San Diego, USA, 11/2018, 107660K, doi: 10.1117/12.2320518

H. P. Ebert, **Die Vision eines energie- und ressourceneffizienten Gebäudezustands, HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik (69), Springer VDI-Verlag, 03/2018, p. 22-24**

A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, gwf Gas + Energie, Essen, 11/2018, p. 50-57

A. Hauer, **Breites Forschungsfeld**, stadt + werk, Tübingen, 11/12 2018, p. 16-17

A. Käßer, M. Reim, B. Chhugani,  
D. Gerstenlauer, S. Weismann, **Survey  
based analysis with focus on automated  
building system and user comfort**, World  
Sustainable Energy Days 2018, Wels,  
Austria, 28.02.-02.03.2018

Florian Nagler Architekten GmbH,  
Wimmer Ingenieure GmbH, J. Böhler,  
H. Mayr, R. Busch-Maass, K. Doberer,  
K. Meitinger, K. Rohlfis, Merz Kley Partner  
ZT GmbH, K. Merz, B. Grözinger, M. Peter,  
A. Raupach, H. König, H.-P. Kirchmann,  
A. Kreil, A. Robrecht, L. Meyering,  
**Entwicklung eines integralen und zu-  
kunftswisenden Planungsansatzes für  
den Neubau des Gymnasiums Diedorf  
bei Umsetzung des Plusenergiestandards  
in Holzbauweise und Entwicklung neuer  
Lösungen für offene Lernlandschaften  
mit umfassendem Monitoring und Doku-  
mentation**, DBU-Abschlussbericht 2.  
Förderphase, Augsburg, 08/2016

J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum,  
A. Robrecht, **Qualitätssicherung und  
Monitoring bei Neubauten und  
Sanierungen**, DBU-Fachinfo Nr. 5,  
Osnabrück, 08/2018, p. 11

I. Lederer, A. Muzha, A. Krueger,  
G. Reichenauer, **Contributions of  
nanodiamonds and nanoions to  
charge storage in supercapacitors**,  
Carbon 2018, Madrid, Spain,  
02.-06.07.2018

V. Lorrmann, M. Wiener, G. Reichenauer,  
**Electrical double layer capacitors –  
insights from fundamental research and  
their impact on storage devices**,  
Carbon 2018, Madrid, Spain,  
02.-06.07.2018

P. Maisch, M. K. Hamjah, **Digitaldruck  
organischer Optoelektronik auf  
3D-Körper (OLE-3D)**, FAU Department  
Werkstoffwissenschaften,  
Erlangen-Nürnberg, 09/2018

C. Römer, **Die Klima-Forschungs-  
Station auf der Landesgartenschau 2018  
in Würzburg**, Gebäude Grün, 03/2018,  
p. 6-9



# STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN 3.3

## DEGREE AND DOCTORAL THESES

### 3.3.1 STUDIENABSCHLUSSARBEITEN DEGREE THESES

M. Armer, Preparation and characterization of lead-free perovskites for solar cell applications, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2018, Master

F. Bauer, Infrarot-optische Charakterisierung keramischer Wärmedämmschichten bei hohen Temperaturen, Hochschule für angewandte Wissenschaften Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, 07/2018, Bachelor

S. Berger, Herstellung von flüssigprozessierten Perowskit-Solarzellen und Charakterisierung mittels Elektrolumineszenz-Spektroskopie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 07/2018, Master

F. Birett, Konstruktion, Fertigung und Test eines Drei-Medien-Wärmeübertragers auf Basis von Aluminium-Multiport-Extrusionsprofilen, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Fakultät Regenerative Energien und Energieeffizienz, 07/2018, Bachelor

L. Bogischef, Einbindung einer Kombination aus PV und Wärmepumpe in ein Nahwärmenetz mit saisonalem Speicher, Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, 06/2018, Master

F. Brust, Herstellung und Charakterisierung bleihaltiger Perovskitkristalle, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 08/2018, Bachelor

E. Calderón del Rivero, Quantitative and qualitative electroluminescence analysis in Si photovoltaic panels with different cameras, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Physik, 03/2018, Master

V. Doora, Literaturrecherche zu potenziellen Speicher materialien für thermische Absorptionsspeicher, Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, 12/2018, Bachelor

T. Eißler, Passive Infrarot Nachtkühlung - Modellierung und Validierung eines Berechnungsmodells mit anschließender Parameter- und Szenarienstudie, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz, Fakultät Bauingenieurwesen, 08/2018, Bachelor

F. Enzenberger, Analyse des Degradationsverhaltens von PV-Modulen hinsichtlich der Entstehung und Veränderungen von Zellrissen unter zyklischer mechanischer Belastung, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 09/2018, Master

E. Faßbender, Analyse des solarthermischen Potentials im mehrgeschossigen Wohngebäudebestand, Technische Universität München, Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen, 07/2018, Master

T. Frank, Experimentelle Validierung eines Kalibrations- und Auswertemodells zur Messung der Schmelzenthalpie von Phasenwechselmaterialien mittels der T-History Methode, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 12/2018, Bachelor

P. Fritz, Neue Bewertungskriterien und Langzeit-Evaluierung für solare Nahwärmanlagen, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 06/2018, Master

T. Fuchs, Vergleich und bauphysikalische Bewertung von Fassadenbegrünungssystemen und deren Komponenten, Technische Universität München, Campus Straubing, Biotechnologie und Nachhaltigkeit, 07/2018, Master

N. Henning, Ladungsträgerdynamiken in Metall-Halogenid-Perowskitfilmen untersucht mit TRMC und TRPL, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2018, Master

C. Herrmann, Energieeffiziente Komponenten in der textilen Architektur, Hochschule für angewandte Wissenschaften Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, 01/2018, Bachelor

L. Höcht, Laser scribing of perovskite solar modules, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 07/2018, Master

L. Hoffmann, **Physikalische Eigenschaften des Elektrolyten einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie und deren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Zelle**, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lehrstuhl für Chemische Verfahrenstechnik, 09/2018, Master

G. Hu, **Technischer Vergleich von Solarthermie- und Photovoltaik als solare Unterstützung für ein Luft-Wasser-Wärmepumpen Heizsystem im Einfamilienhaus**, Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, 08/2018, Bachelor

N. Hupp, **Experimentelle Charakterisierung von PVT-Kollektoren für Strom-, Wärme- und Kälteproduktion**, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz, Fakultät Bauingenieurwesen, 08/2018, Bachelor

M. Hüttner, **Evaluation von Methoden zur Bestimmung von Degradationsraten realer Megawatt-Photovoltaikanlagen**, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik, 04/2018, Master

M. Jakob, **Untersuchung des Einflusses von Transportschichten auf die Performance von NIP-Perovskitsolarzellen mittels Impedanzspektroskopie**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 06/2018, Master

V. Kiesewetter, **Prädiktives Modell für die Verdunstungsleistung von Pflanzen im Außenbereich**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Ansbach, Campus Feuchtwangen, nachhaltige Gebäudetechnik, 09/2018, Bachelor

S. Kiesmüller, **Beyond Perovskite-Photovoltaics – Herstellung und Charakterisierung von organometallischen Perovskitkristallen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2018, Master

A. Kirschbaum, **Entwicklung eines Konzeptes für einen Versuchsaufbau zur Messung der hydraulischen Systemdichtheit von Erdwärmesonden unter der Berücksichtigung des Einflusses von Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 07/2018, Master

N. Kischlat, **Umbau und Teilbetriebnahme eines Versuchstands zur Untersuchung der thermischen Energiespeicherung in flüssigen Sorbentien**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 08/2018, Master

J. Klotz, **Einsatz von unterschiedlichen Antilösemitteln für die Herstellung und Charakterisierung von bleihaltigen Perovskit-Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 08/2018, Bachelor

M. Klüpfel, **Elektrische und Thermophysikalische Untersuchung einer PV-Warmfassade**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, 08/2018, Bachelor

I. Kötting, **Entwicklung und Umsetzung eines Regelkonzeptes einer künstlichen Erdwärmesonde zur Zertifizierung von Messeinrichtungen für Thermal Response Tests**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 10/2018, Master

M. Krause, **Untersuchung des Einflusses thermomechanischer Belastung auf PV-Module**, Technische Hochschule Lübeck, Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften, 03/2018, Bachelor

J. Küffner, **"Transfer of room-temperature crystallized perovskite solar cells from spin coating in controlled atmosphere to doctor blading in ambient conditions"**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 03/2018, Master

P. Löser, **Aufbau und Messung eines begrünten Fassadenteststandes zur Untersuchung der Auswirkungen auf die Energieeffizienz von Gebäuden und auf das umliegende Mikroklima im Stadt-raum**, Hochschule Nordhausen, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, 12/2018, Master

D. Maiberger, **Strahlungsthermometrische Charakterisierung unterschiedlicher Keramiken bei hohen Temperaturen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 08/2018, Bachelor

M. Merkel, **Spatially resolved photoluminescence imaging of perovskite films**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 05/2018, Master

L. Merz, **Schaltbare Funktionswerkstoffe für den Membranbau**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 02/2018, Bachelor

N. Oehm, **Superkondensatoren im Druckverfahren auf der Basis von Kohlenstoffelektroden und Polymergelelektrolyten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 03/2018, Master

J. Ostermair, **CFD-Optimierung eines Rauchgaswärmeübertragers für mit Biomasse direkt gefeuerte Absorptionswärmepumpen**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 09/2018, Bachelor

M. Pfab, **Methods of Determining modified BET Parameter for Prediction of Ternary Salt Hydrate Phase Diagrams**, Technische Universität München, Lehrstuhl für funktionelle Materialien, 10/2018, Master

L. Ranzinger, **Optimierung einer eutektischen Apparatur**, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Fakultät Elektro- und Informationstechnik, 08/2018, Bachelor

M. Rieblinger, **Modellierung, Simulation und Variantenvergleich eines solaren Nahwärmenetzes**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Fakultät für Maschinenbau, 03/2018, Bachelor

M. Schmidmayer, **Energetische Sanierung eines denkmalgeschützten Palas**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen, 07/2018, Master

M. Schmidt, **Untersuchung des Kristallisationsverhaltens von wässriger Lithiumbromidlösung für die Anwendung in einem sorptiven Energiespeicher**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 11/2018, Master

M. Scholl, **Entwicklung eines neuen Schichttransferverfahrens bei Floating Film Transfer Method (FTM) für die automatisierte Übertragung von P3HT:PCBM-Schichten zur Herstellung von organischen Solarzellen unter Verwendung eines Pipettierroboters**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 12/2018, Master

J. Schröter, **Gas Permeation in a High Pressure PEM Electrolyzer**, Technische Universität München, Fakultät für Physik, 09/2018, Master

M. Schultes, **Untersuchung der technischen Aspekte der Hausübergabe in dem mit Niedertemperatur-Fernwärme versorgten Neubaugebiet "Kommunikationszone"**, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen, 08/2018, Bachelor

S. Somangoudar, **Modelling and Simulation of Damage in Silicon Solar Panels**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Technische Mechanik, 04/2018, Master

L. Spiegel, **Entwicklung und Test einer innovativen Regelstrategie zur energieoptimierten Regeneration von Kühldecken mit PCM**, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik, 09/2018, Bachelor

A. Toshev, **Betrieb, Effizienzbewertung und Optimierung eines 3-Leiter VRF-Klimasystems mit Phasenwechselfpeicher**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 11/2018, Bachelor

M. Ullrich, **Zeitaufgelöste Mikrowellenleitfähigkeit an Perowskit-Dünnschichten für Solarzellen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2018, Master

M. Wagenhöfer, **Steady state microwave conductivity Messung an Perowskiten**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 08/2018, Bachelor

L. Wald, **Kopplung eines Superkondensators mit einer Silizium-Solarzelle - Aufbau eines Demonstratormoduls**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 10/2018, Bachelor

F. Wenz, Einfluss der Einstrahlungsintensität auf die Detektion und Leistung von Photovoltaik-Modulen und -Anlagen mit potential-induzierter Degradation, Karlsruher Institut für Technologie, Lichttechnisches Institut, 03/2018, Master

C. Wissgott, Abhängigkeit des Schichtdickenverlaufs von den Parametern des beschleunigten Doctor Blading-Prozesses für die Herstellung organischer Solarzellen, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 11/2018, Bachelor

---

### 3.3.2

#### DISSERTATIONEN

#### DOCTORAL THESES

---

H. Schmit, "Contribution to an increased applicability of salt hydrates as PCM hydrates as PCM", TU München, Maschinenwesen, 06/2017

F. W. Fecher, Simulation of thin-film photovoltaic modules: 2D and 3D spatially resolved electrical and electrothermal finite element calculations, FAU Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 03/2018

F. Fischer, Hydrothermale Stabilität von 13X-Zeolithen: Experimentelle Untersuchung und Modellierung, TU München, Maschinenwesen, 10/2018

M. A. Makhdoom, Low Temperature Processing Route of Silicon Nanoparticle Layers for Solar Cell Application, FAU Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 10/2018

## PATENTE 3.4

### PATENTS

H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, F. Hoga,  
P. Kubis, **Verfahren und Vorrichtung  
zur Herstellung eines Substrats,**  
DE102016216187 A1

A. Krönauer, J. Krämer, **Verfahren und  
Vorrichtung zur Nutzung der im Abgas  
einer Verbrennungseinrichtung  
enthaltenen Wärme,**  
DE102016223570A1

C. Römer, H. P. Ebert, M. Reim,  
**Fassadenelement sowie Wärmerohr zur  
passiven Nutzung oberflächennaher  
Geothermie und deren Anwendung in  
der Gebäudehülle,** DE102016009601A1

## 3.5 MITARBEIT IN GREMIEN

### MEMBERSHIP IN COMMITTEES

---

#### R. AUER

Mitglied, **Fachausschuss Sachverständigenwesen Photovoltaik (PV) und Photovoltaische Anlagentechnik (PVAT)**, IHK Mittelfranken, Nürnberg

Member, **Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT)**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Expert Referee, **European Union (EU)**

Honorary professor, **Rijksuniversiteit Groningen, University of Groningen, Netherlands**, since 01.09.2018

Principal Investigator, **Solar Technologies Go Hybrid (SolTech)**

---

#### PROF. DR. C. J. BRABEC

Chair of the Editorial Advisory Board, **Advanced Energy Materials**, Wiley VCH

Principal Investigator, **Cluster of Excellence (proposal) "Engineering of Functional Material Interfaces" (FUMIN)**, Erlangen

Member of the Scientific Advising Board, **CRANN AMBER, Trinity College**, Dublin, Ireland

Principal Investigator, **CRC 953 "Synthetic Carbon Allotropes"**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Collaborating Principal Investigator, **CSC "111" Initiative of the Heeger Center**, Beijing, China

Member of the Editorial Board, **Emerging Materials Research**, ice publishing, London, United Kingdom

Deputy Spokesman, Member of the Academic Heads, Member of the Steering Committee, **Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN)**, Nürnberg

Member of the Board of Directors, **Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN)**, Nürnberg

Netzwerkkoordinator, **Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien**, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin

Principal Investigator, **GRK 1896 "In-Situ Microscopy with Electrons, X-rays and Scanning Probes"**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor, **Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien, (HI ERN)**, Erlangen

Mitglied des Programmkomitees, **iSEneC 2018 – Integration of Sustainable Energy Expo & Conference**, Nürnberg, 17.-18.07.2018

Editor, **Journal of Photonics for Energy**, SPIE, Bellingham, USA

Vorstand, **Kompetenznetzwerk Wasser und Energie Oberfranken-Ost e. V.**, Hof

Reviewer, **Multiple Journals in the Field of Materials, Semiconductors and Energy (Nature Family, EES, Advanced Family etc.)**

Member of Scientific Board, **PE Graduate School**, Imperial College, London, UK

Member of the Editorial Board, **Progress in Photovoltaics**, Wiley VCH, Weinheim

---

#### M. BRÜTTING

Vertreter des ZAE Bayerns, **DIN-Ausschuss NA 062-08-14 AA "Thermische Analyse"**, Berlin

Expert, **International Energy Agency (IEA), Implementing Agreement "Energy Conservation Through Energy Storage ECES"**, Annex 33 "Material and Component Development for Thermal Energy Storage"

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

---

#### DR. CLAUDIA BUERHOP-LUTZ

Member, **AK 373.0.30 – Thermographie**, Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Deputy Chair, **VDI-Fachausschuss GPL FB2 FA 202.2: Richtlinie 2879 Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV (Flug-Drohne)**, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)

Deputy Chair, **VDI-Fachausschuss GPL FB2 FA 202.2: Richtlinie 2883 Blatt 1 und Blatt 2 Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen**, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)

Member, VGB-Standard VGB-S-823-33-  
<2017-mm> RDS-PP Application Guide-  
line Part 33: Photovoltaic Power Plants

---

**DR. CHRISTIAN CAMUS**

Member of Scientific Committee,  
European PV Solar Energy Conference  
and Exhibition (EUPVSEC), Marseille,  
France, 09.-13.09.2018

---

**PROF. DR. V. DYAKONOV**

Mitglied des Beirats, Bayerischer Cluster  
"Energietechnik", Nürnberg

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis  
Unterfranken, Bayernwerk AG

Mitglied des Kuratoriums, Fördergemein-  
schaft für das Süddeutsche Kunststoff-  
zentrum, Würzburg

Mitglied, Forschungsnetzwerk Erneuer-  
bare Energien, Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie, Berlin

Mitglied des Direktoriums  
ForschungsVerbund Erneuerbare Energi-  
en (FVEE), Berlin

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

Editorial Advisory Board, Int. Journal  
Solar RRL, Wiley

Vorstandsmitglied, Physikalisches  
Institut, Julius-Maximilians-Universität  
Würzburg

Member of External Advisory Board,  
Project "Sustainable Novel Flexible  
Organic Watts Efficient Reliability  
(Sunflower)", European Union, FP7 ICT

Editorial Advisory Board, Scientific  
Reports, Springer-Nature

---

**DR. H.-P. EBERT**

Mitglied im Organisationskomitee,  
2. Klimaschutzkongress, Würzburg,  
17.03.2018

Vorschlagsberechtigte Stelle,  
Bayerischer Energiepreis,  
Bayern Innovativ, Nürnberg

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis  
Unterfranken, Bayernwerk AG

Mitglied, Energie- und Umweltaus-  
schuss der IHK Würzburg-Schweinfurt,  
Würzburg

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

Mitglied im Programmkomitee, FVEE  
Jahrestagung 2018, ForschungsVerbund  
Erneuerbare Energien,  
Berlin, 17.-18.10.2018

Mitglied, Industrie-, Technologie- und  
Forschungsausschuss der IHK Würz-  
burg-Schweinfurt

Mitglied im Programmkomitee, iSEneC  
2018 – Integration of Sustainable Energy  
Expo & Conference, Nürnberg, 17.-  
18.07.2018

Vorsitz, Lenkungsausschuss Arbeitskreis  
Thermophysik, Gesellschaft für thermi-  
sche Analyse e. V. (GEFTA), Darmstadt

Mitglied, Prüfungsausschuss Physiklabo-  
ranten, IHK Würzburg-Schweinfurt

Member of Scientific Committee,  
WSED next! Conference, Wels, Austria,  
28.02.-02.03.2018

---

**DR. F. FISCHER**

Expert, International Energy Agency  
(IEA), Implementing Agreement "Energy  
Conservation Through Energy Storage  
ECES", Annex 33 "Material and Compo-  
nent Development for Thermal Energy  
Storage"

---

**DR. J. HAUCH**

Geschäftsführendes Vorstandsmitglied,  
ENERGIEregion Nürnberg e. V., Nürnberg

Mitglied, GUK682.1: Gedruckte Elektro-  
nik, Deutsche Kommission für Elektro-  
technik, Frankfurt, Germany

Stellvertretende Wissenschaftliche  
Leitung, iSEneC 2018 – Integration of  
Sustainable Energy Expo & Conference,  
Nürnberg, 17.-18.07.2018

Mitglied, K141: Nanotechnologie,  
Deutsche Kommission für Elektrotechnik,  
Frankfurt, Germany

Mitglied, TC113: Nanotechnology for  
electrotechnical products and systems,  
International Electrotechnical Commis-  
sion, Geneva, Switzerland

---

**DR. A. HAUER**

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

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

Member of Scientific Committee, **Energy Storage China**, Tangshan, China, 19.-20.09.2018

Conference Chair, **Energy Storage Europe**, Düsseldorf, 13.-15.03.2019

Member of Scientific Committee, **Energy Storage North America**, Pasadena, USA, 06.-08.11.2018

Member of Scientific Committee, **EnerStock Conference**, Adana, Turkey, 25.-28.04.2018

Fachliche Leitung, **Fachforum "Thermische Energiespeicher"**, Meerbusch, 03.-04.07.2018

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

Mitglied, **International Energy Agency (IEA), Advisory Group "Grid Integration of Variable Renewables - GIVAR"**, Paris, France, 2018

Operating Agent, **International Energy Agency (IEA), Implementing Agreement "Energy Conservation Through Energy Storage ECES"**, Annex 33 "Material and Component Development for Thermal Energy Storage"

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"

Tagungsbeirat, **IRES International Renewable Energy Storage Conference 2018**, Düsseldorf, 13.-15.03.2018

Member of the Editorial Board, **Journal of Energy Storage**, Elsevier, Frankfurt, 2018

Tagungsbeirat, **Symposium "Thermische Solarenergie"**, Connexio, Bad Staffelstein, 14.-15.06.2018

---

**DR. U. HEINEMANN**

Member of Scientific Committee, **International Vacuum Insulation Symposium (IVIS)**

---

**DR. S. HIEBLER**

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

---

**H. KARRER**

Mitglied, **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**

Member of Scientific Committee, Session Chair, **22. Internationale Passivhaustagung 2018**, München, 09.-10.3.2018

Member of Scientific Committee, Session Chair, **6. VDI-Fachtagung "Energiesysteme und Energieversorgung für Gebäude, Quartiere und Industrieanlagen"**, Nürnberg, 23.-24.10.2018

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

---

**DR. J. MANARA**

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

Mitglied, **VDI-Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 2.51 "Angewandte Strahlungsthermometrie"**, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE), Berlin/Frankfurt a. M.

---

**PROF. DR. J. PFLAUM**

Gutachterliche Tätigkeit, **Alexander von Humboldt-Stiftung**, Berlin

Gutachterliche Tätigkeit, **Baden-Württemberg Stiftung**, Stuttgart

Gutachterliche Tätigkeit, **Carl-Zeiss-Stiftung**, Jena

Gutachterliche Tätigkeit, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**, Bonn

Member of Scientific Committee, **International Conference on Organic Electronics (ICOE)**, Bordeaux, France, 18.-22.07.2018

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



---

**C. RATHGEBER**

Mitglied, DIN-Ausschuss

NA 082-00-20 AA "Thermische Energiespeicher für gewerbliche bzw. relevante Anwendungen", Berlin

Mitglied, International Energy Agency (IEA), Implementing Agreement "Energy Conservation Through Energy Storage ECES", Annex 33 "Material and Component Development for Thermal Energy Storage"

---

**DR. G. REICHENAUER**

Mitglied, Arbeitskreis Kohlenstoff, Deutsche Keramische Gesellschaft e. V.

Mitglied, DIN-Ausschuss "Partikel- und Oberflächenmesstechnik", Berlin

---

**M. REUSS**

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, CEN TC 451 Water wells and borehole heat exchangers, Paris, France

Mitglied, CEN TC 451 Water wells and borehole heat exchangers, Working Group 2 - Borehole heat exchangers, Paris, France

Obmann, DIN-Ausschuss NA 119-07-03-02 UA „Erdwärmesonden“, Berlin

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

Mitglied, VDI-Fachausschuss Energiespeicher, Düsseldorf

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

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

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

---

**PROF. DR. H. SPLIETHOFF**

Jurymitglied, Bayerischer Energiepreis, Bayern Innovativ, Nürnberg

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

Gutachterliche Tätigkeit, European Union (EU)

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

Mitglied, The Combustion Institute, Deutsche Sektion, Göttingen

Mitglied, VDI-Richtlinienausschuss VDI 3925 "Werkzeuge zur Bewertung von Abfallbehandlungsverfahren", Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)

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

Mitglied, Wissenschaftlicher Beirat, VGB PowerTech e. V., Essen

---

**L. STAUDACHER**

Mitglied, VDI-Richtlinienausschuss VDI 3988 "Solarthermische Prozesswärme", Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)

---

**A. TEUFFEL**

Mitglied, International Energy Agency (IEA), Implementing Agreement "Energy Conservation Through Energy Storage ECES", Annex 28 "Distributed Energy Storage for the Integration of Renewable Energy"

Mitglied, International Energy Agency (IEA), Implementing Agreement "Energy Conservation Through Energy Storage ECES", Annex 35 "Flexible Sector Coupling through Energy Storage Implementation"

---

**DR. H. WEINLÄDER**

Mitglied, Fachverband Transparente Wärmedämmung, Gundelfingen

---

**S. WEISMANN**

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

## 3.6 VORLESUNGEN LECTURES

C. J. Brabec, **Elektrische, magnetische, optische Eigenschaften**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Seminar How to Start a Company and Basics of IP Management**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Anwendung**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Seminar Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektrotechnik und der Energietechnologie**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft lösungsprozessierte Halbleiter**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Devices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, **Thin Films: Processing, Characterization and Functionalities**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

C. J. Brabec, C. Camus, **Seminar on Solar Energy**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018, WS 2018/19

C. J. Brabec, **Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Grundlagen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2018/19

C. J. Brabec, **Electronic Materials**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2018/19

C. J. Brabec, **Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Organische Photovoltaik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2018/19

V. Dyakonov, H. P. Ebert, J. Manara, G. Reichenauer, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2018

V. Dyakonov, **Opto-elektronische Materialeigenschaften**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, SS 2018

V. Dyakonov, J. Fricke, J. Pflaum, **Seminar über Energieforschung**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2017/18, SS 2018, WS 2018/19

H.-J. Egelhaaf, **Organic Electronics Processing**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

H.-J. Egelhaaf, **Anleitung zur wissenschaftlichen Arbeit**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2018

H.-J. Egelhaaf, **Physikalische Chemie Organischer Solarzellen**, Eberhard Karls Universität Tübingen, WS 2017/18

H.-J. Egelhaaf, **Photophysics and Electronic Transport**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2017/18, SS 2018

J. Fricke, M. Geßner, **Einführung in die Energietechnik**, Julius-Maximilians Universität Würzburg, WS 2017/18, WS 2018/19

A. Hauer, **Ringvorlesung Umwelt – Integration erneuerbarer Energien durch flexible Sektorkopplung**, Technische Universität München, WS 2018/19

J. M. Kuckelkorn, **Studentische Exkursion zum Geothermie-Heizwerk in Aschheim**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, SS 2018

J. Manara, **Physikalische Grundlagen im Bereich der Medizintechnik**, Krankenpflegeschule an der Klinik Kitzinger Land, WS 2018

M. Pröll, **Solarthermisches Praktikum**, Technische Universität München, SS 2018, WS 2018/19

H. Spliethoff, **Energiesysteme II**, Technische Universität München, SS 2018

H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme II**, Technische Universität München, SS 2018

H. Spliethoff, **Thermal Power Plants**, Technische Universität München, SS 2018

H. Spliethoff, **Energiesysteme I**, Technische Universität München, WS 2017/18

H. Spliethoff, **Regenerative Energiesysteme I**, Technische Universität München,  
WS 2017/18

H. Spliethoff, **Prozesstechnik und Umweltschutz in modernen Kraftwerken**,  
Technische Universität München,  
WS 2017/18

H. Spliethoff, **Strom- und Wärmespeicher**,  
Technische Universität München,  
WS 2017/18

## 3.7 AUSZEICHNUNGEN AWARDS

---

**C. J. BRABEC**, Auszeichnung, **Highly Cited Researcher**, Kategorie **Werkstoffwissenschaften**, Highly Cited Researchers List 2018, Clarivate Analytics/Web of Science

---

**B. CHHUGANI, F. KLINKER**, Auszeichnung, **Young Researcher Conference Award**, World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 27.02.2018

---

**D. KIERMASCH, K. TVINGSTEDT, L. GIL-ESCIRG, C. MOMBLONA, M. SESSOLO, A. BAUMANN, H. BOLINK, V. DYAKONOV**, Posterpreis, **Park Systems Outstanding Poster Award**, DPG Frühjahrstagung, Fachverband Chemische Physik und Polymerphysik

---

**P. POTSCH**, Auszeichnung, **herausragende Leistung in der Berufsabschlussprüfung zum Physiklaboranten**, IHK Würzburg-Schweinfurt, Bad Kissingen, Germany, 18.10.2018

---

**SEMINARGRUPPE "OPV-FASSADE FÜR DAS ZAE-GEBÄUDE IN ERLANGEN"**, Auszeichnung, **2. Platz beim Innovationspreis Erneuerbare Energien der Frank-Seuling-Stiftung**, Prof. Krippner (THN) in Kooperation mit Gruppe SFF, Nürnberg, Germany, 11.12.2018

---

**S. STROHM**, **EnCN Energy Award**, **Honored for his master's thesis**, Energie Campus Nürnberg, Nürnberg, Germany, 13.12.2018

## SONSTIGES 3.8 MISCELLANEOUS

---

### BEREICH EF

Aussteller, **Hannover Messe**, Hannover, Germany, 23.-27.04.2018

Aussteller, **Insulation Expo Europe (IEX 2018)**, Köln, Germany, 16.-17.05.2018

Aussteller, **Intersolar 2018**, München, Germany, 20.-22.06.2018

Tag der offenen Tür, **Maus-Türöffnertag**, Würzburg, Germany, 03.10.2018

Aussteller, **Campusfestival**, Würzburg, Germany, 08.07.2018

Aussteller, **Landesgartenschau 2018, Klimaforschungsstation**, Würzburg, Germany, 12.04.-07.10.2018

Informationstag, **ZUSE-Tag Regional**, Würzburg, Germany, 20.09.2018

---

### BEREICH RE

Aussteller, **Messe für organische und gedruckte Elektronik (LOPEC)**, München, Germany, 14.-15.03.2018

Aussteller, **Stadt(ver)führungen: Solarmodule aus dem Drucker – die Solarfabrik der Zukunft**, Nürnberg, Germany, 22.09.2018

---

### P. DOTZAUER

Gastvortrag Vorlesung, **Vorlesung Strom- und Wärmespeicher – Redox-Flow-Batterien für stationäre Speicher**, Technische Universität München, 26.11.2018

---

### H. P. EBERT

Interview, **Klimawandel und Städte**, Radiointerview für Bayern 1, 19.09.2018

---

### A. HAUER

Interview, **"Wir brauchen unbedingt eine zeitliche Entkopplung"**, Energie & Management, 5/2018, S. 9

Interview, **Ein neuer Begriff etabliert sich**, pv magazine, März 2018, S. 44-47

---

### A. KIRSCHBAUM

Exkursion, **Besichtigung des Gymnasiums Diedorf mit algerischer Delegation**, Diedorf, Germany, 19.06.2018

---

### J. M. KUCKELKORN

Review, **Technologien für die Energiewende, Kap. 1.2 Tiefengeothermie**, 13,1 Wuppertal Report – Teilbericht 2 zum Teilprojekt A, BMWi-Leitprojekt "Trends und Perspektiven der Energieforschung"

Fachvortrag, **Kommunale Energiekonzepte**, Besuch einer Delegation des steirischen Landtags, 16.05.2018

Fachbeitrag, **Effizienz- und Leistungssteigerung der Geothermie-Fernwärmeversorgung**, Prospekt der AFK-Geothermie GmbH, 2018

---

### J. MANARA

Pressebericht, **Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung**, HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik, 69 (12), 2018

Pressebericht, **Membrandächer überzeugen mit Lichtdurchlass**, [www.enbausea.de/daemmung/aktuelles/artikel/membrandaecher-ueberzeugen-mit-lichtdurchlass-6100.html](http://www.enbausea.de/daemmung/aktuelles/artikel/membrandaecher-ueberzeugen-mit-lichtdurchlass-6100.html)

Pressebericht, **Sind Membrane die Zukunft?**, Main-Post, Würzburg, 22.10.2018

Symposium, **3. MESG Symposium**, Würzburg, Germany, 27.09.2018

---

### A. MAUSSNER

Fachvortrag, **Bedeutung industrieller Kälte – Relevanz, Systeme, Speicher**, Bayern Innovativ – Innovative Gewerbelösungen für Tiefenkälte und Abwärmenutzung, Ponnath DIE MEISTERMETZGER GmbH, Kemnath, 29.11.2018

Fachvortrag, **Toolbox für Unternehmen – Potenzialermittlung und Konzeptentwicklung zur Steigerung der Energieeffizienz**, Bayern Innovativ – Thermische Speicher zur Steigerung der Energieeffizienz, ZAE-Bayern Garching, 24.04.2018

Gastvortrag Energieeffizienz-Netzwerk, **ZAE-Analyse Abwärmepotenziale**, Netzwerktreffen – GlasNET2.0, Bad Gandersheim, 27.11.2018

# ADRESSEN ADDRESSES

## WÜRZBURG

Magdalene-Schoch-Str. 3  
97074 Würzburg  
Germany

Sitz des Vereins (VR 1386) | Registered Office

### BEREICHE DIVISIONS

Energieeffizienz | Energy Efficiency

T + 49 931 70564-0

F + 49 931 70564-600

ef@zae-bayern.de

Zentrale Verwaltung | Central Administration

T + 49 931 70564-351

F + 49 931 70564-600

ca@zae-bayern.de



## GARCHING

Walther-Meißner-Str. 6  
85748 Garching  
Germany

### BEREICHE DIVISIONS

Energiespeicherung | Energy Storage

T + 49 89 329442-0

F + 49 89 329442-12

es@zae-bayern.de



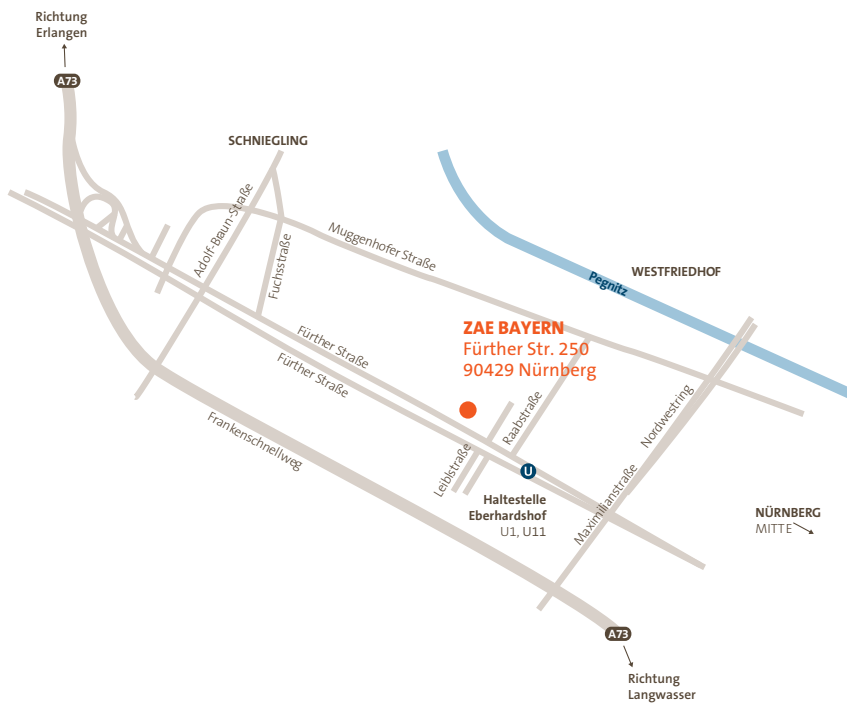


## ERLANGEN

Immerwahrstr. 2  
91058 Erlangen  
Germany

### BEREICHE DIVISIONS

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

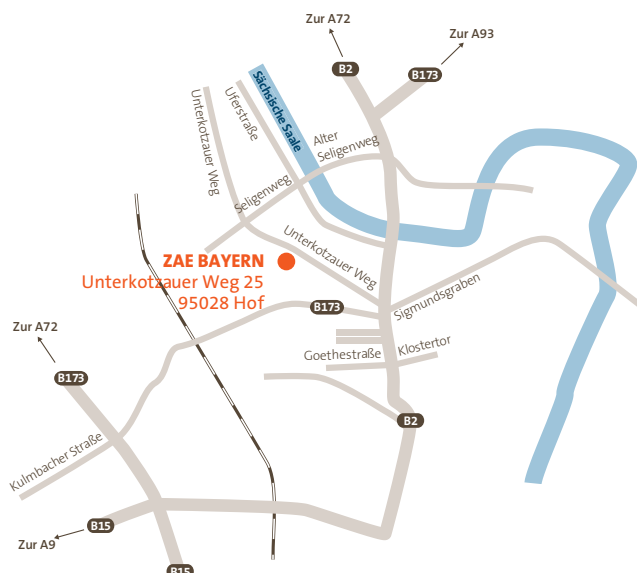


## NÜRNBERG

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

### BEREICHE DIVISIONS

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

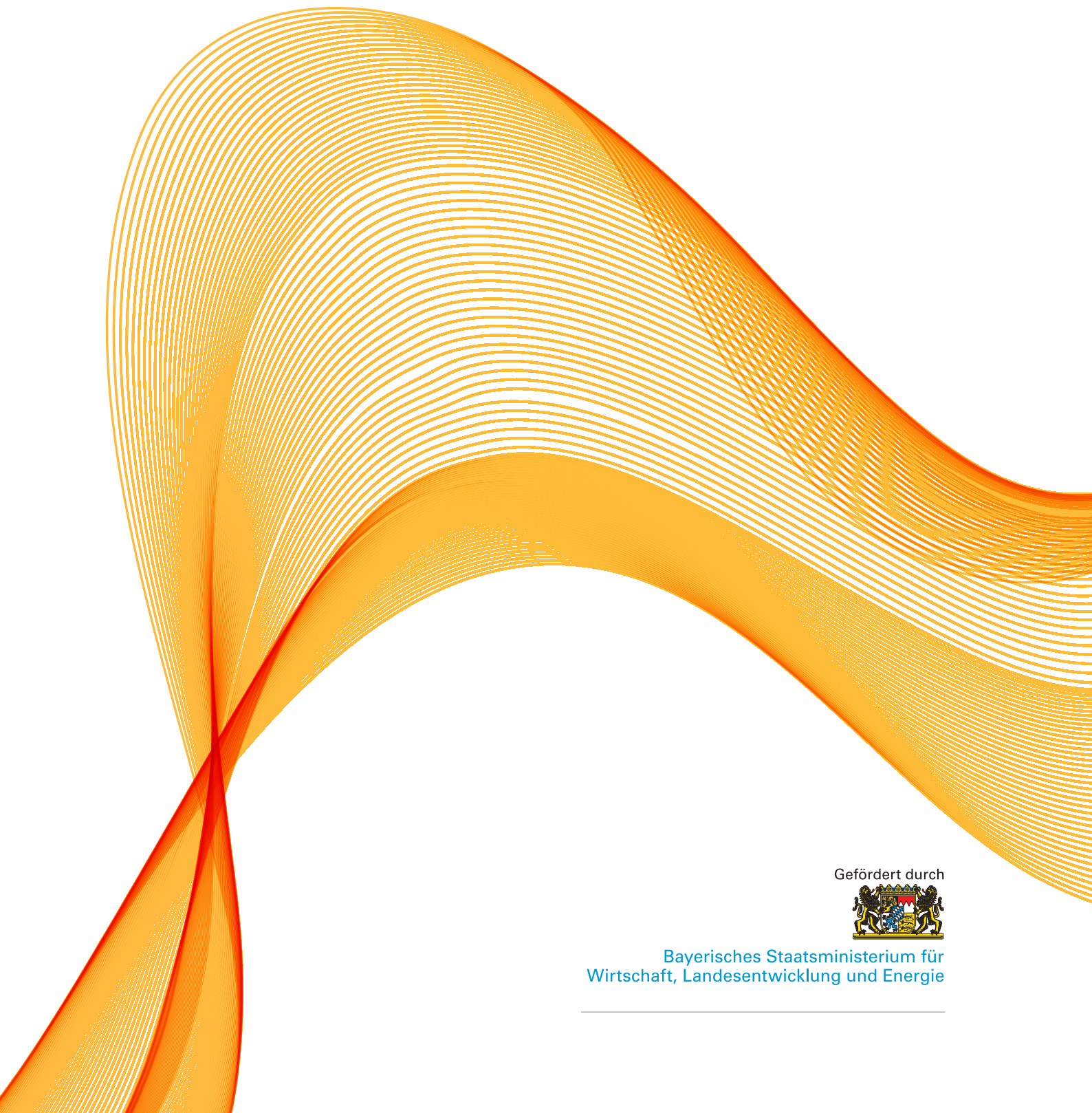


## HOF

Unterkotzauer Weg 25  
95028 Hof  
Germany

### BEREICHE DIVISIONS

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



Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

---