



ZAE BAYERN

2019

TÄTIGKEITSBERICHT
ANNUAL REPORT

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 2019

Status: 31 December 2019



*Bitte sammeln Sie Altpapier
für das Recycling.*

HERAUSGEBER

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

TEXTBEITRÄGE UND FOTOS

von den Mitarbeitern des ZAE Bayern
Fotos © ZAE Bayern
Fotos Seite 10, 11, 48, 49 © Katrin Heyer

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 2020
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
Photos © ZAE Bayern
Photos page 10, 11, 48, 49 © Katrin Heyer

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 2020
All rights reserved. No reproduction, copy,
or transmission of this publication without
written permission.

Vorwort	6	Foreword	6
1.0 ALLGEMEINES	10	1.0 GENERAL INFORMATION	10
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	24	1.5 Review	24
1.6 Bei uns zu Gast	40	1.6 Official Visitors	40
2.0 FORSCHUNG	48	2.0 RESEARCH	48
2.1 Neuer Effizienz-Weltrekord für organische Solarmodule	54	2.1 New Efficiency World Record for Organic Solar Modules	54
2.2 Wärmereflektierende Schichten für den Automotive und Luftfahrtbereich	56	2.2 Heat-Reflective Coatings for the Automotive and Aviation Industries	56
2.3 AID – ein neues Tool zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften und Alterungseffekte nanoporöser Materialien	58	2.3 AID – A New Tool for Determining Mechanical Properties and Ageing Effects of Nanoporous Materials	58
2.4 Einfluss der thermischen Vorgeschichte auf die thermophysikalischen Eigenschaften von PCM	60	2.4 Influence of Thermal History on the Thermophysical Properties of PCM	60
2.5 Entwicklung von Phasenwechselmaterialien auf Basis von Salzhydratmischungen	62	2.5 Development of Phase Change Materials Based on Mixtures of Salt Hydrates	62
2.6 Phasenwechselmaterialien in Demonstrationsanwendungen	64	2.6 Phase Change Materials in Demonstration Applications	64
2.7 Entwicklung ganzheitlich optimierter Quartiere: CleanTechCampus Garching	66	2.7 Development of Holistically Optimised Quarters: CleanTechCampus Garching	66

2.8	Entwicklung eines Prüfverfahrens für Thermal-Response-Test-Messeinrichtungen	68	2.8	Development of a Testing Procedure for Thermal Response Test Measuring Equipment	68
2.9	Hocheffiziente Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für Industrie und Gewerbe	70	2.9	Highly Efficient Trigeneration for Industry and Commerce	70
2.10	Höhere Leistungsdichte, weniger Edelmetall – Die PEM-Elektrolyse nähert sich der Gigawatt-Skala	72	2.10	Higher Power Density, Less Noble Metal – PEM Electrolysis is Approaching the Gigawatt Scale	72
3.0	VERÖFFENTLICHUNGEN	74	3.0	PUBLICATIONS	74
3.1	Vorträge und Poster	76	3.1	Presentations and Posters	76
3.2	Veröffentlichungen	85	3.2	Publications	85
3.3	Studienabschlussarbeiten und Dissertationen	91	3.3	Degree and Doctoral Theses	91
3.4	Schutzrechte	93	3.4	Intellectual Property	93
3.5	Mitarbeit in Gremien	94	3.5	Membership in Committees	94
3.6	Akademische Lehrveranstaltungen	98	3.6	Academic Courses	98
3.7	Auszeichnungen	100	3.7	Awards	100
3.8	Sonstiges	101	3.8	Miscellaneous	101
	Adressen	102		Addresses	102

VORWORT

FOREWORD

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



Das ZAE hat stets zwei grundlegende Ziele verfolgt: die Steigerung von Energieeffizienz in jedem möglichen Kontext und eine Erhöhung des Anteils erneuerbar produzierter Energie am Gesamtverbrauch. Jetzt, wo die Folgen des Klimawandels immer spürbarer werden, trägt der Zeitgeist eben diese Ziele auch über das Institut und die Energiebranche hinaus. Immer mehr Menschen rufen immer lauter nach einer schnellstmöglichen Umsetzung der lange verzögerten Energiewende.

Wir geben unser Bestes, um diesen Wandel zu unterstützen. In unseren Kernbereichen Integration und Flexibilisierung, Gebäude und Quartiere, Industrielle Verfahren und Prozesse wollen wir mit gutem Beispiel vorangehen, um möglichst viel zu einer CO₂-neutralen Energieversorgung beizutragen.

Das ist wichtig, denn aktuelle Reformbemühungen sind nicht immer von Erfolg gekrönt und treffen auch auf Widerstand, wie der stockende Ausbau von Windkraftanlagen deutlich macht. Laut Energieprogramm der Landesregierung sollen bis 2025 siebzig Prozent des Stroms in Bayern aus erneuerbaren Quellen stammen. Dazu muss nicht nur der weitere Ausbau erneuerbarer Energiegewinnung forciert, sondern es müssen auch andere Hebel in Bewegung gesetzt werden.

Effizienzmaßnahmen können zum Beispiel Energie einsparen, die dann nicht mehr aus knappen Ressourcen oder mittels neu gebauter Anlagen gewonnen werden muss. Die Nutzung technisch bereits erschließbarer Abwärmequellen könnte knapp 20 % des Endenergiebedarfs der Industrie decken. Eine Flexibilisierung des Stromnetzes durch Sektorenkopplung und Energiespeicher kann die Gesamteffizienz des Systems ebenfalls deutlich steigern. Wer allerdings wirklich umfassende Veränderungen will, muss auch über den Stromsektor hinausdenken. Innovative Konzepte für Gebäude und Quartiere können beispielsweise einen erheblichen Beitrag leisten. Dabei sind die Ansprüche an die Planer groß: Neue oder sanierte Bauten sollen komfortabel und ästhetisch ansprechend sein, wirtschaftlich und ökologisch. So viele Anforderungen

ZAE Bayern has always been pursuing two fundamental goals: to raise energy efficiency in every possible context and to increase the share of renewable energy in the total consumption. Now, as the consequences of climate change become increasingly noticeable, the prevailing zeitgeist is making these very goals popular beyond the institute and energy sector. Ever more people are calling ever louder for an immediate implementation of the long delayed energy turnaround.

We are doing our best to support this change. In our core fields of integration and flexibility, buildings and districts, industrial procedures and processes, we strive to lead by example in order to make the greatest possible contribution to a CO₂-neutral energy supply.

This matters, since current reform efforts are not necessarily crowned with success, sometimes even met with resistance, as the faltering expansion of wind turbines clearly shows. According to the state government's energy programme, seventy percent of Bavaria's electricity is to stem from renewable sources by 2025. This does not only require pushing the further expansion of renewable energy production, but for other levers to be set in motion as well.

Efficiency measures, for instance, can save energy which then no longer needs to be obtained from scarce resources or through newly built plants. Waste heat sources which are already technically exploitable could make up for almost 20 % of the industry's final energy demand. A flexibilisation of the grid through sector coupling and energy storage may also considerably increase the system's overall efficiency. However, for truly comprehensive changes to take place, we must think beyond the electricity sector. Innovative concepts for buildings and districts, for example, may contribute significantly. The expectations towards planners are high: new or renovated buildings are supposed to be comfortable and aesthetically pleasing, economical and ecological. Meeting so many requirements at the same time takes many good ideas and problem assessment from many different angles, which ZAE simply cannot take on alone.

gleichzeitig zu erfüllen, erfordert viele gute Ideen und eine Problembetrachtung aus vielen verschiedenen Blickwinkeln, die das ZAE alleine nicht einnehmen kann.

Die Bayerische Klima-Allianz, der wir am ZAE-Tag im Juli 2019 offiziell beigetreten sind, bietet uns genau diese Vielfalt an Blickwinkeln. Thorsten Glauber, Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz, MdL, begrüßte uns auf dieser Plattform, die Bayerische Staatsregierung, Wirtschaft und Wissenschaft, Kommunen, Verbände und Interessensvertretungen zusammenbringt. Als Partnerschaft zwischen Staat und Zivilgesellschaft soll sie den Klimaschutz in Bayern gesamtgesellschaftlich etablieren, als Vorbild und Motivator den Grundstein für eine nachhaltige Entwicklung des Landes legen. Die Mitglieder sollen voneinander lernen und so gemeinsam dazu beitragen, die jährlichen Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen bis 2050 auf unter zwei Tonnen zu senken.

Daran möchten wir mit unserem Wissen aus der Forschung mitwirken, um eine effektive und nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung sicherzustellen und der Öffentlichkeit die Zusammenhänge zwischen Energie- und Umweltthemen näherzubringen, gerne auch gemeinsam mit Ihnen.

The Bavarian Climate Alliance, which we officially joined on ZAE Day in July 2019, offers us this very variety of perspectives. Thorsten Glauber, Bavarian State Minister for Environmental and Consumer Protection Affairs, MdL, welcomed us to this platform, which joins together the Bavarian state government, commerce and science, local authorities, associations, and interest groups. Being a partnership between state and civil society, it is intended to promote climate protection throughout the Bavarian society and lay the foundations for the state's sustainable development by acting as a role model and motivator. The members are to learn from each other and thus jointly take part in bringing down annual per capita greenhouse gas emissions to less than two tonnes by 2050.

We would like to contribute to this with our knowledge in research to ensure the effective and sustainable development of the energy supply and to raise public awareness of the links between energy and environmental issues, and we would be glad to do so together 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. 160 Mitarbeitenden, 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 gemeinnütziger 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 WissenschaftlerInnen, technisches Personal, Verwaltungsangestellte und Studierende 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 Forschenden 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 CO₂-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 der Industrie und wissenschaftlichen Einrichtungen 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 160 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

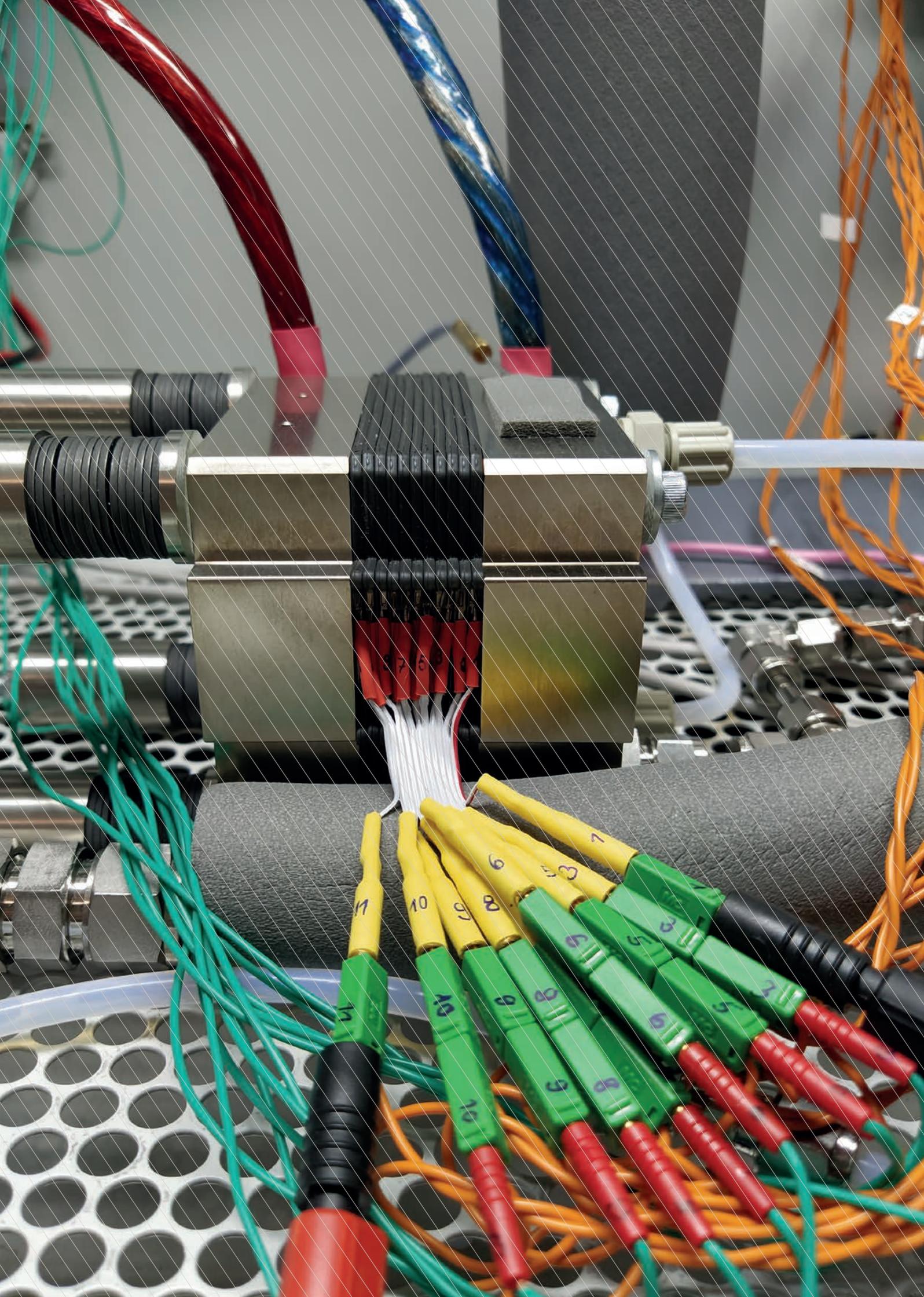
The goal of ZAE Bayern is to realise an energy supply as CO₂-neutral as possible by means of the synergetic use of renewable energies and energy efficiency technology. Therefore, our institute is involved in a large number of research projects with industrial partners from SMEs to major corporations 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

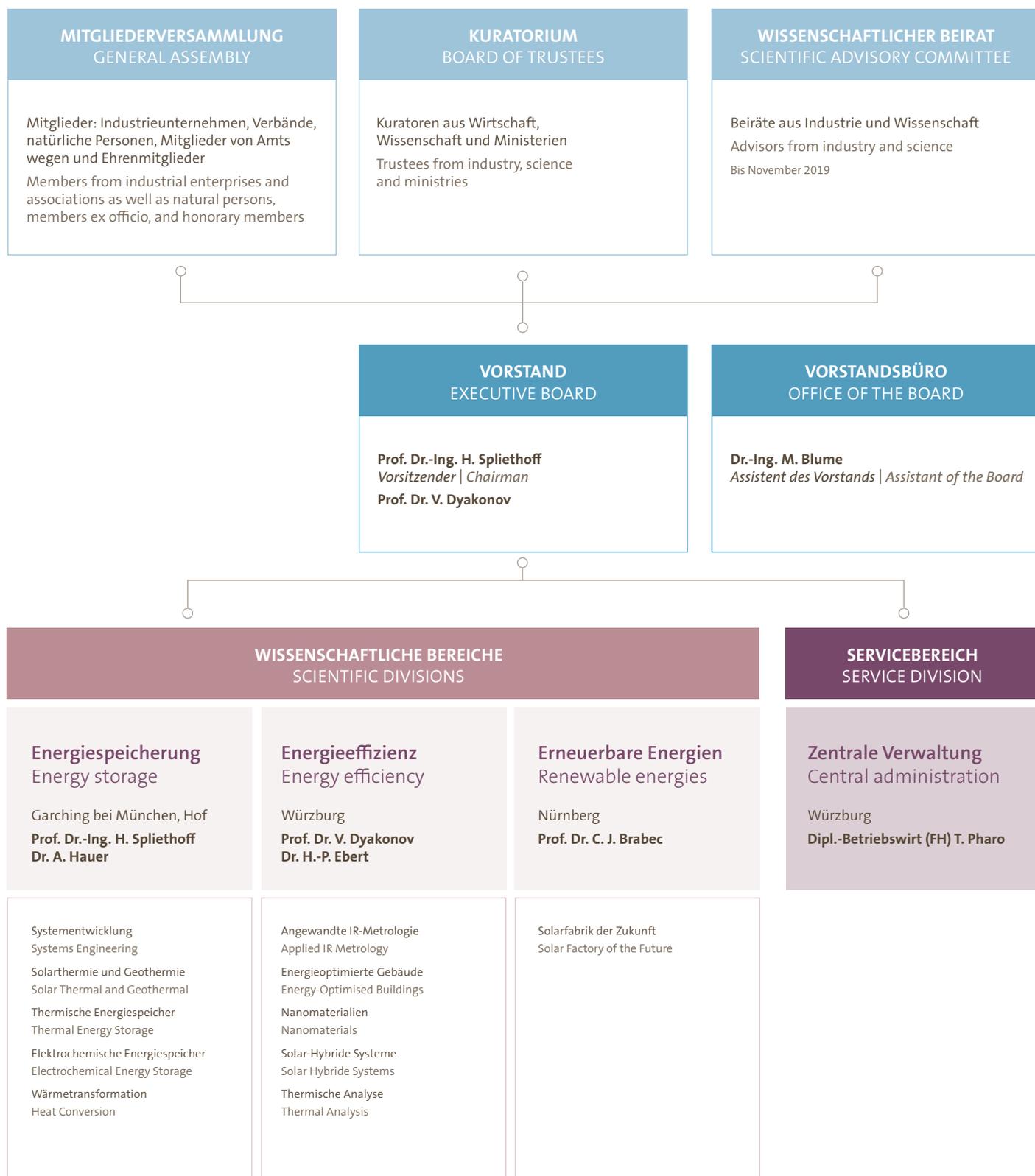
According to our goals, ZAE Bayern seeks cooperation with scientific institutions and the industry. For this purpose, we cooperate particularly closely with the Technical University of Munich (TUM) and the Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Furthermore, ZAE Bayern is a member of the German Renewable 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, Kolbermoor
 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, Rüdenshausen
 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
 31.12.2019
 31/12/2019



VORSTAND

BOARD OF DIRECTORS

Der Vorstand setzte sich Ende 2019 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

Prof. Dr. R. Hellinger (*stellv. Vorsitzender | Deputy Chairman*), Siemens AG, Erlangen

Dr.-Ing. R. Hofer, Bayernwerk AG, Regensburg

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

Univ.-Prof. Dr. N. Hüsing, Paris Lodron University
Salzburg, Salzburg (Österreich)

Prof. Dr.-Ing. M. Kaltschmitt, Institut für
Umwelttechnik und Energiewirtschaft (luE), TU
Hamburg, Hamburg-Harburg

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

Dipl.-Ing. (Univ.) K. Salhoff, Knauf Gips KG, Iphofen

KURATORIUM

BOARD OF TRUSTEES

Dr. J. Kuhn (*Vorsitzender | Chairman*),
va-Q-tec AG, Würzburg

Dr. H. Binder, BTC Technologies GmbH, Ludwigsburg

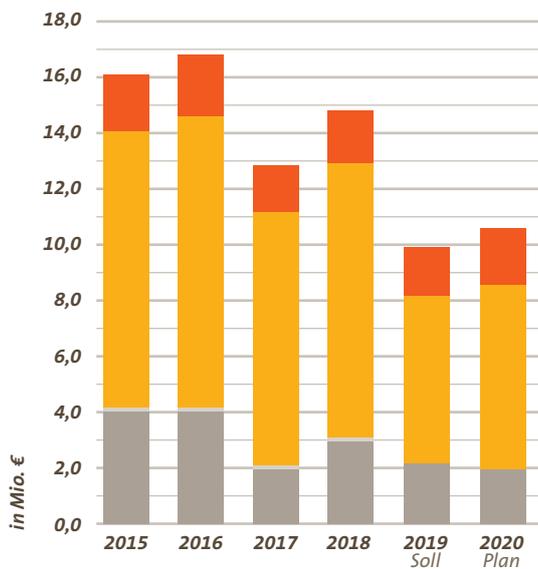
Prof. Dr. rer. nat. P. Denk, Institut für Systemische
Energieberatung (ISE), Hochschule Landshut,
Landshut

1.4

ZAHLEN & FAKTEN

FACTS & FIGURES

ENTWICKLUNG HAUSHALT 2015-2020 BUDGET



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

HAUSHALT UND FINANZEN

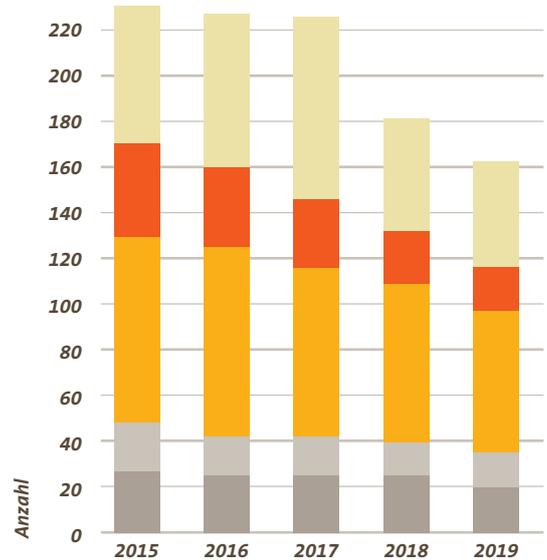
Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2019 auf ca. 9,9 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2015 bis 2020 weist für das Jahr 2019 eine Grundfinanzierung durch das Bayerische Wirtschaftsministerium (BayStMWi) in Höhe von 2,2 Mio. € aus. 7,7 Mio. € aus Drittmitteln konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 6,0 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 1,7 Mio. € Industriemitteln zusammen.

Insgesamt wurden im Jahr 2019 149 Projekte mit 295 Partnern bearbeitet.

PERSONAL

Zum Jahresende 2019 waren am ZAE Bayern 163 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Energietechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 25,8 %. 18 Doktoranden, 5 Masteranden, 8 Bacheloranden und 2 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 22,1 % der Mitarbeiter in Ausbildung.

PERSONALENTWICKLUNG 2015-2019 STAFF



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

BUDGET AND FINANCES

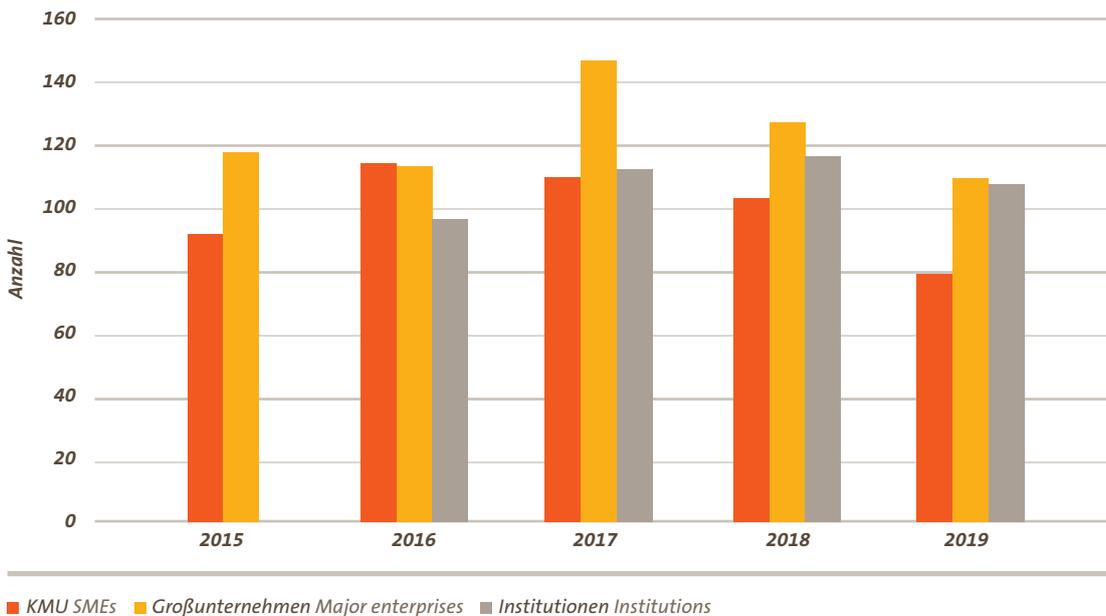
In 2019, the institute's budget came to € 9.9 m. The development of income from 2015 to 2020 depicted in the diagram shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy (BayStMWi) provided basic funding amounting to € 2.2 m in 2019. € 7.7 m third-party funds were raised. The third-party funds comprise € 6.0 m from public project funding and € 1.7 m from industrial sources.

Research was carried out in a total of 295 projects involving 149 partners.

STAFF AND PREMISES

At the end of 2019, ZAE Bayern had 163 staff members. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering, and energy technology. Women made up 25.8 % of the staff. The institute had 18 doctorate-, 5 master-, and 8 bachelor students, and 2 interns. Students and trainees constituted 22.1 % 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

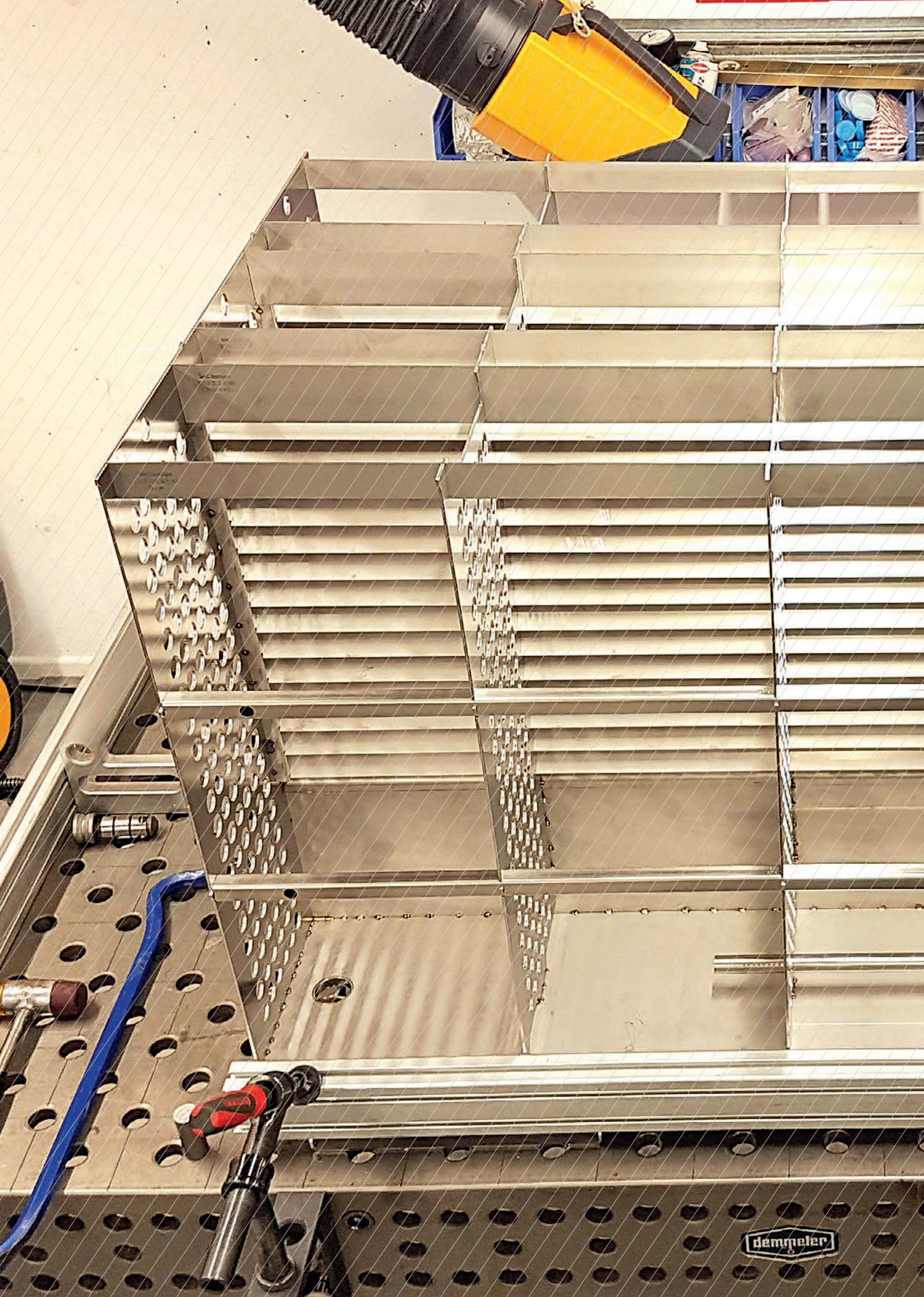
Für eine erfolgreiche, anwendungsnahe Forschung und Entwicklung sind leistungsstarke Partner mit Kompetenzen entlang der Wertschöpfungskette und einer gemeinsamen Zielsetzung von besonderer Bedeutung. Aufgrund seiner über den Standard hinausgehenden Forschungs- und Entwicklungsressourcen in den zentralen 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.



demmeler



1.5

RÜCKBLICK
REVIEW

DAS ZAE BEI DER GEOTHERM 2019

Am 14. und 15. Februar 2019 fand in Offenburg die Fachmesse GeoTHERM statt. Das ZAE war gleich zwei Mal vertreten: mit einem Stand als Aussteller und einem Fachvortrag zum Verbundvorhaben „Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II“, bei dem detailliert die Ergebnisse der Teilprojekte 1 und 5 vorgestellt wurden: Die in Kapitel 2 beschriebene Prüfvorrichtung für Thermal-Response-Test-Geräte und ein Softwaremodell zur Integration verschiedener Geothermiesysteme in Gebäude- und Anlagensimulationen.

Die GeoTHERM ist mit 200 Ausstellern und 3600 Besuchern aus 48 Nationen Europas größte Fachmesse mit Kongress und damit der Marktplatz der gesamten Geothermiebranche.

ZAE AT GEOTHERM 2019

The GeoTHERM trade fair took place in Offenburg on 14 and 15 February 2019. ZAE was present twice, with an exhibitor's booth and a presentation on the joint project "Quality assurance for geothermal probes II", in which the results of subprojects 1 and 5 were presented in detail: The testing rig for thermal response test devices described in chapter 2 as well as a software model for the integration of different geothermal systems into building and system simulations.

With 200 exhibitors and 3600 visitors from 48 nations, GeoTHERM is Europe's largest trade fair and congress and thus the marketplace of the entire geothermal industry.

Abb.1: Der Messestand des ZAE auf der GeoTHERM, im Vordergrund die ZAE-entwickelte Prüfvorrichtung für TRT-Geräte
Fig. 1: ZAE's booth at GeoTHERM with testing rig for thermal response test devices in the foreground



„KÜHLSCHRÄNKE IM NETZ“ – ENERGY-STORAGE-HIGHLIGHTS DES PV-MAGAZINE, 22. FEBRUAR 2019

Zur Energy Storage Europe 2019 hat das PV-Magazine eine Jury aus Branchenexperten darum gebeten, neue Energiespeichertechnologien zu bewerten. Das ZAE Bayern erreichte mit seinen netzdienlichen Kühlschränken den sechsten Platz.

Wir freuen uns über die Wahl zum Speicherhighlight und arbeiten daran, diese Technologie auch außerhalb unserer Labore verfügbar zu machen.

REFRIGERATORS IN THE GRID – ENERGY STORAGE HIGHLIGHTS OF PV-MAGAZINE, 22 FEBRUARY 2019

On the occasion of Energy Storage Europe 2019, PV-Magazine has asked a jury of industry experts to evaluate new energy storage technologies. ZAE Bayern took sixth place with its smart grid ready refrigerators.

We are delighted about being selected as a storage highlight and working on bringing this technology outside of our laboratories as soon as possible.



Abb. 2: Die Rückseiten zweier Kühlschranksprototypen mit aufgesetztem Kältespeichermodul.

Fig. 2: The backs of two refrigerators with attached cold storage modules.

YOUNG RESEARCHER DES ZAE BAYERN BEI DEN WORLD SUSTAINABLE ENERGY DAYS 2019

Die drei Nachwuchswissenschaftler Bharat Chhugani, Nils Hupp und Katrin Anneser (Co-Autoren Stephan Braxmeier, Andreas Baumann und Gudrun Reichenauer) des ZAE Bayern wurden aufgrund ihrer sehr guten Arbeiten zu den World Sustainable Energy Days 2019 eingeladen, um dort ihre Ergebnisse einem internationalen Fachpublikum zu präsentieren.

Die World Sustainable Energy Days in Wels (Österreich) sind eine der führenden Tagungen im Bereich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit mit über 600 Teilnehmern aus 50 Ländern. In ihrem Rahmen werden jedes Jahr junge Wissenschaftler für ihre hervorragenden Leistungen auf die Young Researchers Conference eingeladen.

ENERGY STORAGE EUROPE UND IRES 2019

Bei der weltweit größten Energiespeichertagung, der Energy Storage Europe, die vom 12. bis 14. März in Düsseldorf stattfand, war das ZAE stark vertreten: Als wissenschaftlicher Leiter, im Scientific Committee, mit einem Keynote-Vortrag und mehrfach als Session-Chair. Ein besonderes Highlight war der 2. Platz im Posterwettbewerb, den Petra Dotzauer entgegennehmen durfte.

Insgesamt nahmen 600 Teilnehmer aus über 50 Ländern an der dreitägigen Tagung teil.

Bei der parallel veranstalteten Energy Storage Europe Exhibition mit 180 Ausstellern aus 25 Ländern und 4000 Besuchern aus 68 Ländern präsentierte sich das ZAE mit einem eigenen Stand.

YOUNG RESEARCHERS OF ZAE BAYERN AT THE WORLD SUSTAINABLE ENERGY DAYS 2019

ZAE Bayern's young scientists Bharat Chhugani, Nils Hupp, and Katrin Anneser (co-authors Stephan Braxmeier, Andreas Baumann, and Gudrun Reichenauer) were invited to the World Sustainable Energy Days 2019 to present their excellent research results to an audience of international experts.

The World Sustainable Energy Days in Wels (Austria) are one of the leading energy efficiency and sustainability conferences with over 600 participants from 50 countries. Every year, young scientists are invited to the Young Researchers Conference in recognition of their outstanding achievements.

ENERGY STORAGE EUROPE AND IRES 2019

ZAE was well represented at the world's largest energy storage conference, Energy Storage Europe, which took place in Düsseldorf from 12 to 14 March: As the scientific chair, in the scientific committee, with a keynote lecture, and providing several session chairs. A particular highlight was the 2nd place in the poster competition, awarded to Petra Dotzauer.

600 participants from more than 50 countries attended the three-day conference.

At the Energy Storage Europe Exhibition, held in parallel with 180 exhibitors from 25 countries and 4000 visitors from 68 countries, ZAE presented itself at its own booth.

WORKSHOP ZU PHASE-CHANGE-MATERIALS

40 Teilnehmer erschienen am 20. März im Garching ZAE, um über Phasenwechselmaterialien zu lernen, berichten und diskutieren. Die Gäste, allesamt vom Fach und in der Entwicklung oder Herstellung von PCM oder ihrer Anwendung in Wärmespeichern tätig, bekamen einen Einblick in die Ausführung und Ergebnisse des Projektes „properPCM“ präsentiert. In Vorträgen und einer Ausstellung von Laborexponaten wurde gezeigt, wie am ZAE neue Phasenwechselmaterialien entwickelt und evaluiert wurden. Außerdem hatten die Gastvortragenden, Sebastian Pinnau von der TU Dresden und Rebecca Ravotti von der Hochschule Luzern, Interessantes über das Screening eutektischer Gemische und Ester als PCM zu berichten.

WORKSHOP ON PHASE CHANGE MATERIALS

40 participants turned up at ZAE Garching on 20 March to learn about, report on, and discuss phase change materials (PCM). The guests, all of them experts in the field and active in the development and production of PCMs or their application in heat storage systems, were given an insight into the execution and results of the "properPCM" project. Through lectures and laboratory exhibits, it was demonstrated how new phase change materials were developed and evaluated at ZAE. Additionally, guest speakers Sebastian Pinnau from TU Dresden and Rebecca Ravotti from the University of Lucerne gave interesting reports on the screening of eutectic mixtures and esters as PCM.



Abb. 3: Dr. Andreas Hauer, ZAE-Bereichsleiter, hält seine Keynote-Rede bei der Energy Storage Europe 2019

Fig. 3: Dr. Andreas Hauer, ZAE Head of Division, holding his keynote speech at Energy Storage 2019

Abb. 4: Der Messestand des ZAE mit Team (v.l. n. r.: Andreas Maußner, Petra Dotzauer, Amadeus Teuffel, Dieter Preßl, Andreas Krönauer, Stefan Hiebler, Maximilian Möckl)

Fig. 4: ZAE Bayern's booth and team (f.l.t.r.: Andreas Maußner, Petra Dotzauer, Amadeus Teuffel, Dieter Preßl, Andreas Krönauer, Stefan Hiebler, Maximilian Möckl)



Abb. 5: Maximilian Möckl informiert Messebesucher über die Arbeit des ZAE in der elektrochemischen Wandlung und Speicherung.

Fig. 5: Maximilian Möckl informing visitors about ZAE's work in electrochemical energy conversion and storage.

ENERGETISCHE STADTSANIERUNG

Am 3. April trafen sich am ZAE in Würzburg verschiedene Akteure, um über Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement zum Thema energetische Stadtsanierung zu diskutieren. Veranstaltet wurde die Fachwerkstatt von Urbanizers – Büro für städtische Konzepte im Auftrag des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung.

ENERGETIC RENOVATION OF CITIES

On 3 April, various players met at ZAE Würzburg to discuss district concepts and redevelopment management with regard to energy-efficient urban redevelopment. The workshop was organised by the Urbanizers office for urban concepts on behalf of the Federal Ministry of the Interior, Building and Community and the Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development.

6



Abb. 6: Teilnehmer des PCM-Workshops in Garching
Fig. 6: Participants of the PCM workshop in Garching

WVV E-MOBILITÄTSTAG

Zahlreiche Besucher nahmen am 4. April am E-Mobilitätstag der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (WVV) im Energy Efficiency Center (EEC) des ZAE in Würzburg teil. Im Anschluss an einen Vortrag der WVV zu Elektromobilität konnte eine Reihe von Elektro- und Hybridfahrzeugen Probe gefahren werden, was viele interessierte Besucher begeistert annahmen.

WVV E-MOBILITY DAY

Numerous visitors attended the e-mobility day of Würzburg's public transport provider WVV on 4 April at ZAE's Energy Efficiency Center in Würzburg. Following a presentation on electromobility by WVV, a number of electric and hybrid vehicles could be taken for a test drive, which was enthusiastically accepted by many interested visitors.

7



Abb. 7: Unser Mitglied, die Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH (WVV), veranstaltet ihren jährlichen E-Mobilitätstag am ZAE in Würzburg.

Fig. 7: Our member WVV, Würzburg's public transport provider, holds their annual e-mobility day at ZAE Würzburg.

ÖKOLOGISCH VORBILDlich: NEUBAU DER UMWELTSTATION DER STADT WÜRZBURG MIT RECYCLING-BETON UND EISSPEICHERHEIZUNG, MAI 2019

Der Neubau der Umweltstation der Stadt Würzburg wurde intensiv durch das ZAE Bayern begleitet. Im Rahmen eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts führte das ZAE daran umfangreiche Lebenszyklusanalysen durch, welche dem Gebäude höchste ökologische Qualität bescheinigen. Dazu wurden die emissionsbedingten Umwelteinwirkungen (z. B. Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial) und der Ressourcenverbrauch (Primärenergie) für die Konstruktion sowie der Energieverbrauch über eine Lebensdauer von 50 Jahren betrachtet. Für die Umweltstation ergab sich gemäß der DGNB-Bewertung die Höchstpunktzahl, womit eine Platin-Auszeichnung im Teilbereich Ökobilanz möglich wäre.

Derzeit beginnt ein, ebenfalls durch das ZAE ausgeführtes, umfangreiches Monitoringprogramm, das einen energieeffizienten Betrieb der Umweltstation sicherstellt. Ein Teil der gewonnenen Daten wird in der Umweltstation online visualisiert.

AN ECOLOGICAL ROLE MODEL: CONSTRUCTION OF WÜRZBURG'S NEW ENVIRONMENTAL STATION WITH RECYCLED CONCRETE AND ICE STORAGE HEATING, MAY 2019

ZAE Bayern was closely involved in the construction of the city of Würzburg's new environmental station. In the course of a project sponsored by the German Federal Environmental Foundation, ZAE carried out extensive life cycle analyses, which confirmed the building's outstanding ecological quality. This involved examining the emission-related environmental impact (e.g. greenhouse effect potential, acidification potential) and the consumption of resources (primary energy) for the construction as well as the energy consumption over a 50-year life span. According to the DGNB evaluation, the environmental station scored the highest possible rating, which would qualify it for a platinum award in the life cycle assessment subsector.

A comprehensive monitoring programme, also carried out by ZAE, is currently being initiated to ensure the environmental station's energy-efficient operation. Part of the data obtained is visualised online in the environmental station.

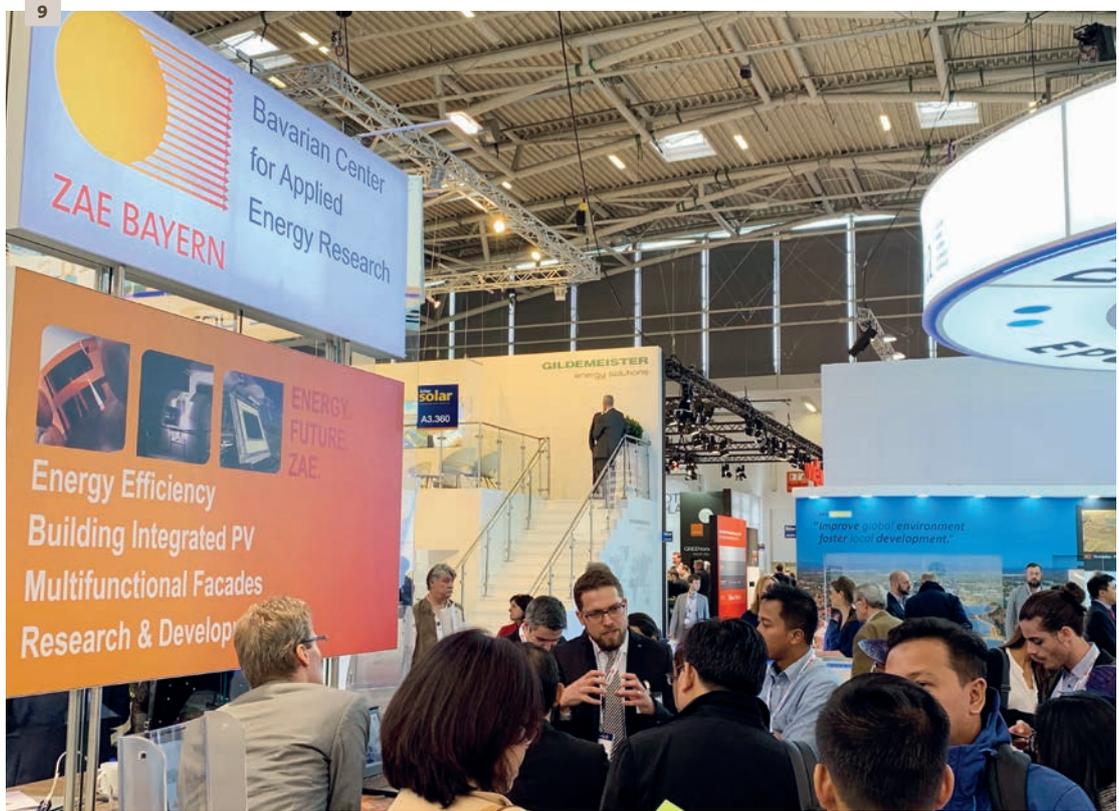


Abb. 8: Ökologisch vorbildlich: Die neue Umweltstation der Stadt Würzburg, begleitet durch das ZAE

Fig. 8: Ecologically exemplary: Würzburg's new environmental station built in cooperation with ZAE

Abb. 9: Dr. Bastian Büttner (Mitte) umringt von interessierten Besuchern am ZAE-Stand auf der Intersolar

Fig. 9: Dr. Bastian Büttner (middle) surrounded by interested visitors at ZAE's Intersolar booth



ZAE BAYERN AUF DER INTERSOLAR IN MÜNCHEN: DEMONSTRATION VON PHOTOVOLTAIK MIT INTEGRIERTEM STROMSPEICHER

Vom 15. bis 17. Mai war das ZAE Bayern auf der Intersolar Europe, der weltweit führenden Fachmesse für die Solarwirtschaft und ihre Partner, mit einem Stand vertreten. Das ZAE informierte über aktuelle Forschungstätigkeiten in den Bereichen Photovoltaik, PV-T, gebäudeintegrierte und organische Photovoltaik, Wärme- und Energiespeicherung sowie energieoptimierte Gebäude und Quartiere. Des Weiteren wurde eine Solarzelle mit integriertem Kurzzeitspeicher als Demonstrator gezeigt. Die bei Photovoltaik natürlicherweise auftretenden und unvermeidbaren schnellen Leistungsfluktuationen – beispielsweise durch Wolken – stellen für viele Anwendungen ein großes Problem dar. Der neuartige integrierte Speicher dient dazu, diese zu glätten.

ZAE BAYERN AT INTERSOLAR MUNICH: DEMONSTRATION OF PV WITH INTEGRATED POWER STORAGE

From 15 to 17 May, ZAE Bayern had a booth at Intersolar Europe, the world's leading trade fair for the solar industry and its partners. ZAE provided information on current research activities in the fields of photovoltaics, PV-T, building-integrated and organic photovoltaics, heat and energy storage, and energy-optimised buildings and districts. Furthermore, a solar cell with integrated short-term storage was demonstrated. The naturally occurring unavoidable rapid power fluctuations in photovoltaics – caused, for instance, by clouds – pose a major problem in many applications. The novel integrated storage serves to smooth these out.

10



Abb. 10: Das Fachforum Thermische Energiespeicher in Meerbusch

Fig. 10: The expert forum on thermal energy storages in Meerbusch

8. FACHFORUM THERMISCHE ENERGIESPEICHER IN MEERBUSCH

Am 24. und 25. Juni fand in Meerbusch bei Düsseldorf das 8. Fachforum Thermische Energiespeicher unter der wissenschaftlichen Leitung des ZAE Bayern statt. Die zweitägige Veranstaltung mit ca. 50 Teilnehmern aus Forschung und Industrie im deutschsprachigen Raum ist ein Experten- und Anwendertreffen. Im Rahmen des Fachforums wurden aktuelle Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte zu verschiedenen Arten thermischer Energiespeicher aus der Perspektive möglicher Anwendungen thematisiert. In diesem Jahr wurde das Fachforum im Zusammenhang mit der Messe THERMPROCESS veranstaltet und mit einem geführten Rundgang über diese verknüpft. Inhaltlich zeigte sich die Verbindung insbesondere durch Vorträge zu Hochtemperatur-Wärmespeichern und zur Abwärmenutzung mittels thermischer Speicher. Außerdem wurden in einer Podiumsdiskussion die Hindernisse und Potenziale thermischer Speicher in industriellen Prozessen erörtert.

8TH EXPERT FORUM ON THERMAL ENERGY STORAGE IN MEERBUSCH

The 8th Expert Forum on Thermal Energy Storage took place in Meerbusch near Düsseldorf on 24 and 25 June under ZAE Bayern's scientific direction. The two-day event, attended by around 50 participants from research and industry in German-speaking countries, is a meeting for experts and users. In the expert forum, current research, development, and demonstration projects on various types of thermal energy storage were discussed from the perspective of possible applications. This year, the expert forum was held in conjunction with the THERMPROCESS trade fair and combined with a guided tour of the exhibition. In terms of content, the connection was particularly evident in presentations on high-temperature heat storage systems and waste heat utilisation via thermal storage. Moreover, the obstacles and potentials for thermal storage in industrial processes were addressed in a panel discussion.

DAS ZAE BAYERN ÜBERNIMMT DAS OFFICE-MANAGEMENT DES IEA ES TCP

Seit dem 1. Juli stellt das ZAE das Sekretariat des IEA ES TCP. Das ZAE überzeugte durch sein starkes Team und setzte sich gegen vier Mitbewerber durch. Das Technical Collaboration Programme der International Energy Agency unterstützt 38 unabhängige, internationale Expertengruppen in ihrer Arbeit. Diese ermöglichen Regierungen und Industrien weltweit, ein breites Spektrum an Programmen und Projekten zu Energietechnologien und verwandten Themen zu verfolgen. Das TCP zum Thema Energiespeicher (ES TCP) verfolgt das Ziel, die Erforschung, Entwicklung, Umsetzung und Integration von Energiespeichertechnologien zu erleichtern. Speichertechnologien sind ein zentraler Bestandteil energieeffizienter und nachhaltiger Energiesysteme. Mit ihrer Hilfe kann eine Effizienzoptimierung erreicht und so eine zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht werden.

Abb. 11: Logo

Fig. 11: Logo

ZAE BAYERN ASSUMES OFFICE MANAGEMENT OF IEA ES TCP

Starting 1 July, ZAE has been providing the secretariat for the IEA ES TCP. ZAE stood out with a strong team and prevailed over four competitors. The technical collaboration programme of the International Energy Agency supports 38 independent, international expert groups in their work. These help governments and industries worldwide to pursue a wide range of programmes and projects on energy technologies and related topics. The Energy Storage TCP (ES TCP) aims to facilitate the research, development, implementation, and integration of energy storage technologies. Storage technologies are crucial components of energy-efficient and sustainable energy systems. With their help, efficiency can be optimised and thus an increasing utilisation of renewable energies be made possible.

11



IEA Technology Collaboration Programme

„ENERGIEFORSCHUNG IST AKTIVER KLIMASCHUTZ“ – BAYERISCHES ZENTRUM FÜR ANGEWANDTE ENERGIEFORSCHUNG VERSTÄRKT DIE BAYERISCHE KLIMA-ALLIANZ

Seit dem 12. Juli ist das ZAE Bayern Mitglied in der Bayerischen Klima-Allianz.

Der Bayerische Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz, Thorsten Glauber, begrüßte bei seinem Institutsbesuch in Würzburg das ZAE als jüngstes Mitglied. Der Staatsminister hob in seiner Ansprache hervor: „Alle Partner der Klima-Allianz können aus dem ZAE Bayern Ideen und Kraft gewinnen.“ Im Anschluss unterzeichneten Glauber und Vorstandsmitglied

“ENERGY RESEARCH IS ACTIVE CLIMATE PROTECTION” – BAVARIAN CENTER FOR APPLIED ENERGY RESEARCH JOINS THE BAVARIAN CLIMATE ALLIANCE

ZAE Bayern has been a member of the Bavarian Climate Alliance since 12 July.

Thorsten Glauber, Bavarian minister for the environment and consumer protection, welcomed ZAE as the newest member during his visit in Würzburg. In his speech, the minister emphasised: "All partners of the Climate Alliance can draw ideas and strength from ZAE Bayern". Afterwards, Glauber and member of the board Prof. Dr. Vladimir Dyakonov signed the joint

12



Prof. Dr. Vladimir Dyakonov die gemeinsame Erklärung der Bayerischen Staatsregierung und des ZAE für eine Zusammenarbeit zum Schutz des Klimas.

Die Bayerische Klima-Allianz bildet eine wichtige Plattform, um für den Klimaschutz bedeutsame Kooperationen und Aktivitäten der bayerischen Staatsregierung, Wirtschaft und Wissenschaft sowie von Kommunen, Verbänden und Interessensvertretungen zu ermöglichen.

declaration of Bavarian state government and ZAE on their cooperation for the protection of the climate.

The Bavarian Climate Alliance is an important platform for facilitating cooperation and activities of the Bavarian state government, industry, science, municipalities, associations, and interest groups, which are important for climate protection.

Abb. 12: ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (links) und Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz Thorsten Glauber, MdL, (rechts) mit der unterzeichneten Beitritts-erklärung zur Bayerischen Klima-Allianz
© Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Fig. 12: Member of the Board Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (left) and State Minister for the Environment and Consumer Protection Thorsten Glauber, MdL (right) with the signed declaration of membership in the Bavarian Climate Alliance
© Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection

Abb. 13: Staatsminister für Umwelt und Verbraucherschutz Thorsten Glauber, MdL bei seinem Eintrag auf der „Wall of Fame“ beim ZAE in Würzburg

Fig. 13: State Minister for the Environment and Consumer Protection Thorsten Glauber, MdL, signing the “Wall of Fame” at ZAE Würzburg

Abb. 14: (v. l. n. r.) Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, Thomas Rampp, Barbara Becker, MdL, Staatsminister Thorsten Glauber, MdL, ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov und ZAE-Bereichsleiter Dr. Hans-Peter Ebert bei einem Rundgang durch das Energy Efficiency Center
© Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Fig. 14: (f.l.t.r.) Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, Thomas Rampp, Barbara Becker, MdL, Minister of State Thorsten Glauber, MdL, ZAE Board Member Prof. Dr. Vladimir Dyakonov and ZAE Head of Division Dr. Hans-Peter Ebert visiting the Energy Efficiency Center
© Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection

13



14



Abb. 15: Großes Interesse für das Gründach-Forum 2019 des Bundesverbandes GebäudeGrün e. V. zum Thema Klimawandel und Planungsgrundlagen am ZAE.

Fig. 15: Great interest in the Green Roof Forum 2019 of the Bundesverband GebäudeGrün e. V. on climate change and planning principles at ZAE



BUGG-TAG DER FORSCHUNG UND LEHRE GEBÄUDEGRÜN AM ZAE BAYERN AM 18. SEPTEMBER 2019 IN WÜRZBURG

Der Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG) führte 2019 erstmals den „BuGG-Tag der Forschung und Lehre Gebäudegrün“ am ZAE in Würzburg durch. Zielgruppe waren alle interessierten und vor allem in den Bereichen Dach-, Fassaden- und Innenraum Begrünung aktiven Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Deutschland. Das Gemeinschaftsprojekt Klima-Forschungs-Station der Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau und des ZAE können Sie noch immer vor Ort besichtigen.

BUGG DAY OF RESEARCH AND EDUCATION GREEN BUILDING AT ZAE BAYERN ON 18 SEPTEMBER 2019 IN WÜRZBURG

The Bundesverband GebäudeGrün e. V. (federal association for green building) held their first "BuGG Day of Research and Education Green Building" at ZAE Würzburg in 2019. It was aimed at interested universities and research institutions in Germany who are active in the fields of roof, facade, and interior greening. The joint project "Climate Research Station" of the State Institute for Viticulture and Horticulture and ZAE is still open to visitors.

HUBERT AIWANGER SPRICHT AUF DEM 3. KLIMA-SCHUTZ-KONGRESS IN WÜRZBURG

Unter Mitwirkung des ZAE Bayern fand am 5. Oktober der 3. Klima-Schutz-Kongress in Würzburg statt. Hubert Aiwanger, Bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie informierte über die Energiewende in Bayern. Im Anschluss beantwortete er Fragen der Kongressteilnehmer. Moderiert wurde die Diskussionsrunde von Prof. Vladimir Dyakonov, wissenschaftlicher Leiter des ZAE Würzburg. Das ZAE beteiligte sich mit zwei von sieben Workshops zu den Themen „Energiewende dezentral oder großräumig vernetzt?“ und „Klimaanpassung für Gebäude und Quartiere“ am Kongress.

HUBERT AIWANGER SPEAKING AT THE 3RD CLIMATE PROTECTION CONGRESS IN WÜRZBURG

On 5 October, the 3rd Klima-Schutz-Kongress (Climate Protection Congress) was held in Würzburg in collaboration with ZAE Bayern. Hubert Aiwanger, Bavarian state minister for economic affairs, regional development and energy, gave information on the energy transformation in Bavaria. He then answered the congress participants' questions. The panel discussion was hosted by Prof. Vladimir Dyakonov, scientific head of ZAE Würzburg. ZAE contributed to the congress with two of seven workshops on the topics "Energy system transformation decentralised or interlinked on a large scale?" and "Climate adaptation for buildings and districts".



Abb. 16: Der Bayerische Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, Hubert Aiwanger (links), eröffnet gemeinsam mit ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov den 3. Klima-Schutz-Kongress am ZAE in Würzburg.

Fig. 16: Bavaria's State Minister for Economic Affairs, Regional Development and Energy, Hubert Aiwanger (left), jointly opens the 3rd Climate Protection Congress at ZAE in Würzburg with Board Member Prof. Vladimir Dyakonov.



Abb. 17: Teilnehmer des 3. Klima-Schutz-Kongresses um den Bayerischen Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie Hubert Aiwanger beim ZAE in Würzburg © Daniel Peter

Fig. 17: Participants of the 3rd Climate Protection Congress and State Minister for Economic Affairs, Regional Development and Energy, Hubert Aiwanger, at ZAE Würzburg © Daniel Peter

Abb. 18: Kieran Oswald präsentiert seine prämierte Abschlussarbeit bei der Preisverleihung.
© VDI, Mirja Kofler

Fig. 18: Kieran Oswald presents his winning thesis at the award ceremony.
© VDI, Mirja Kofler



KIERAN OSWALD GEWINNT VDI-PREIS FÜR SEINE BACHELORARBEIT

Der VDI ehrte am 15. November engagierten Nachwuchs in den Kategorien Bachelor, Master und Dissertation mit einem feierlichen Festakt. In der Kategorie Bachelor war einer unter ihnen Kieran Oswald vom ZAE Garching, der sich in seiner prämierten Arbeit mit der Optimierung von Vanadium Redox-Flussbatterien befasste. Bei einer Stromversorgung aus regenerativen Quellen werden effiziente Speicher für große Energiemengen immer wichtiger. Das ZAE gratuliert ihm zu dieser Auszeichnung.

KIERAN OSWALD WINS VDI PRIZE FOR BACHELOR'S THESIS

On 15 November, the VDI (Association of German Engineers) honoured committed new blood in the categories bachelor, master, and dissertation with a festive ceremony. In the bachelor's category, one of them was Kieran Oswald of ZAE Garching, whose award-winning thesis dealt with the optimisation of vanadium redox flow batteries. With power supply from renewable sources, efficient storages for large quantities of energy are gaining in importance. ZAE congratulates him on this award.

FORUM ENERGIEEFFIZIENTE WÄRMEBEREITSTELLUNG IN GARCHING

Am 19. November fand am ZAE in Garching das Forum Energieeffiziente Wärmebereitstellung statt. Einer der Vorträge traf schon im Titel „Wärme verschieben anstatt verbraten“ den Nagel auf den Kopf der Veranstaltung. Denn in industriellen Prozessen oder Umweltquellen ist Wärme häufig in großem Maß vorhanden. Aufgrund zu geringer Temperaturniveaus, schlechter zeitlicher oder örtlicher Verfügbarkeit kann diese jedoch oft nicht genutzt werden. Die erfolgreiche Umsetzung entsprechender Effizienzmaßnahmen erfordert genaue Prozesskenntnis, welche, besonders bei dynamischen Prozessen, nur durch genaue messtechnische Erfassung erreicht werden kann. Andreas Krönauer vom ZAE konnte anhand erfolgreich abgeschlossener Projekte aufzeigen, dass die messtechnische Erfassung relevanter Energieströme in industriellen Fertigungsprozessen die Realisierung großer Effizienzpotenziale ermöglicht. In einer Podiumsdiskussion wurde am Ende der Veranstaltung erörtert, wie die Wärmewende beschleunigt werden kann.



Abb. 19: Dr. Andreas Hauer, ZAE-Bereichsleiter, eröffnet das Forum Energieeffiziente Wärmebereitstellung.

Fig. 19: Dr. Andreas Hauer, ZAE Head of Division, opens the Forum.



Abb. 20: Richard Gurtner, ZAE, bei seinem Vortrag beim Forum Energieeffiziente Wärmebereitstellung.

Fig. 20: Richard Gurtner, ZAE, gives his presentation at the forum on energy efficient heat supply.

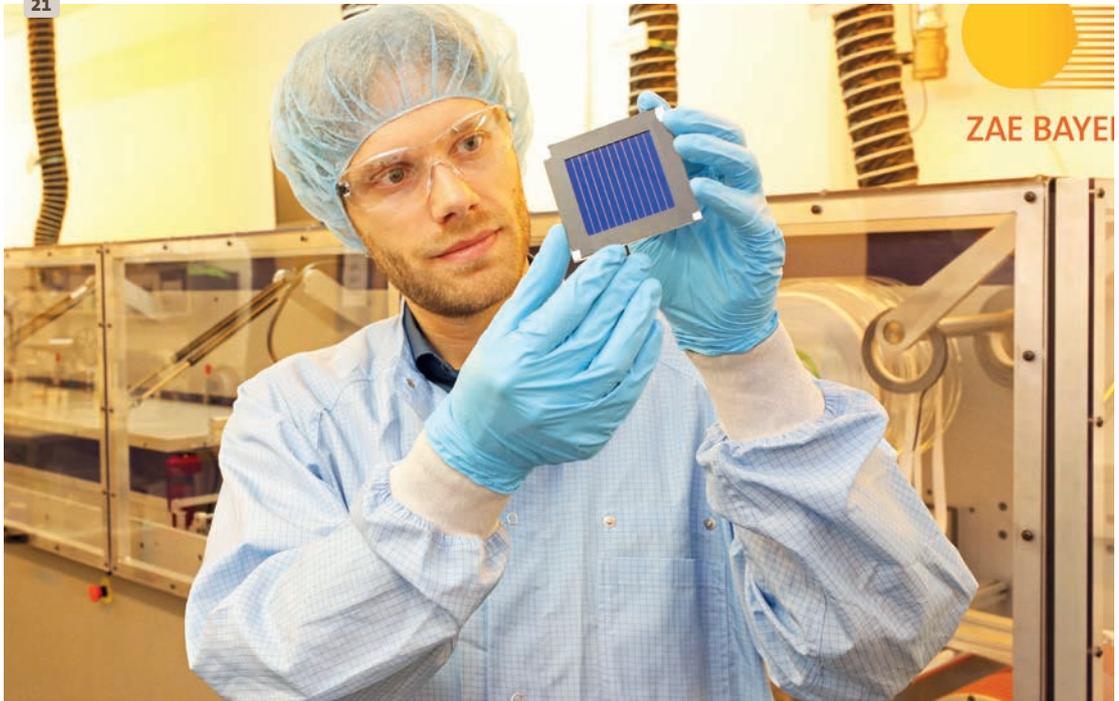
FORUM ON ENERGY-EFFICIENT HEAT SUPPLY IN GARCHING

On 19 November, a forum on energy-efficient heat supply took place at ZAE Garching. One presentation's title hit the nail on the head: "Moving heat instead of burning it". After all, heat is often abundantly available in industrial processes or environmental sources. However, due to insufficient temperature levels, poor temporal or local availability, this heat often cannot be used. The successful implementation of corresponding efficiency measures requires precise process knowledge, which, especially for dynamic processes, can only be achieved through precise metrology. Andreas Krönauer of ZAE was able to show, based on successfully completed projects, how the metrological assessment of relevant energy flows in industrial manufacturing processes allows for great efficiency potentials to be tapped. At the end of the event, a panel discussion was held to explore how the heat transition may be accelerated.

21

Abb. 21: Dr. Andreas Distler, ZAE Bayern, mit dem organischen Rekord-Solarmodul in der Solarfabrik der Zukunft. Im Hintergrund die Pilotlinie für gedruckte Dünnschichtphotovoltaik.
© ZAE/Kurt Fuchs

Fig. 21: Dr. Andreas Distler of ZAE Bayern holding the organic record module in the Solar Factory of the Future. The pilot manufacturing line for printed thin film photovoltaics in the background.
© ZAE/Kurt Fuchs



EFFIZIENZ-WELTREKORD FÜR ORGANISCHE SOLARMODULE AUFGESTELLT

Ein Forscherteam aus Nürnberg und Erlangen hat eine neue Bestmarke für die Umwandlungseffizienz organischer Photovoltaikmodule gesetzt. Die Wissenschaftler der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, des ZAE Bayern und des Helmholtz-Instituts Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien, einer Außenstelle des Forschungszentrums Jülich, konstruierten in Zusammenarbeit mit der South China University of Technology ein OPV-Modul, das auf einer Fläche von 26 Quadratzentimetern einen Wirkungsgrad von 12,6 Prozent erzielt. Der neue Weltrekord übertrifft den bisherigen Höchstwert, der bei 9,7 Prozent lag, um 30 Prozent.

Dies ist der höchste, jemals für ein organisches Photovoltaikmodul gemeldete Wert.

EFFICIENCY WORLD RECORD FOR ORGANIC SOLAR MODULES SET

A research team from Nuremberg and Erlangen has set a new record for the conversion efficiency of organic photovoltaic modules (OPV). Scientists from Friedrich Alexander University Erlangen-Nuremberg, ZAE Bayern, and the Helmholtz Institute Erlangen-Nuremberg for Renewable Energy, a branch of Forschungszentrum Jülich, in cooperation with the South China University of Technology, designed an OPV-module which achieves an efficiency of 12.6 percent over an area of 26 square centimetres. This new world record surpasses the previous peak value of 9.7 percent by 30 percent.

This is the highest value ever reported for an organic photovoltaic module.



1.6

BEI UNS ZU GAST OFFICIAL VISITORS

BESUCHER IN GARCHING

Abb. 1: Studenten des Lehrstuhls für Energiewirtschaft beim ZAE in Garching

Fig. 1: Students of the Department of Energy Economics at ZAE in Garching

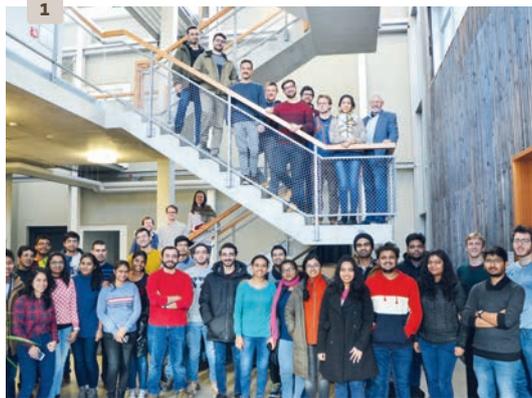


Abb. 2: Projektpartner beim Kick-off-Meeting

Fig. 2: Project partners at the kick-off meeting



Abb. 3: Laborführung mit Teilnehmern des Studententags des ZAE Garching

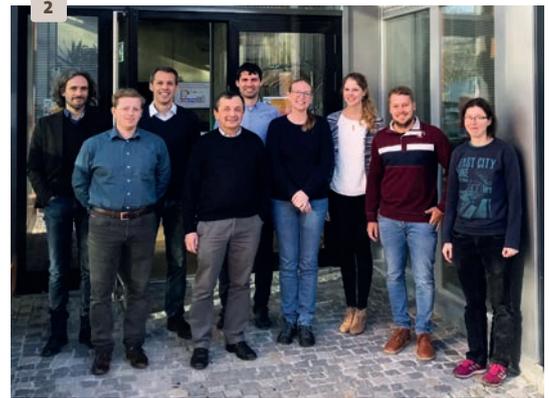
Fig. 3: Participants of ZAE Garching's student day

Abb. 4: Teilnehmer des properPCM-Forschungs- und Industrieworkshops

Fig. 4: Attendants of the properPCM research and industry workshop

- 36 Studenten des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München zu Vorträgen und Laborführung (18.01.2019)
- Die Projektpartner des Industrieprojekts HT-VSI zum Kick-off-Meeting (31.01.2019)
- Studenten der TU München zum Studenten-Infotag (07.02.2019)
- Gäste aus Industrie und Wissenschaft zum properPCM-Forschungs- und Industrieworkshop (20.03.2019)
- Eine Delegation von Enterprise Singapore, die sich über Möglichkeiten der Energiespeicherung informierte (17.05.2019)

VISITORS TO GARCHING



- 36 students from the Department of Energy Economics and Application Engineering of TU Munich for lectures and laboratory tours (18/01/2019)
- The project partners for the kick-off meeting of industrial project HT-VSI (31/01/2019)
- Students of TU Munich for a student info day (07/02/2019)
- Guests from industry and research for the properPCM research and industry workshop (20/03/2019)
- A delegation from Enterprise Singapore, who inquired about chances of energy storage (17/05/2019)

- Besucher aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und dem Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (05.06.2019)
- Eine Gesandtschaft der japanischen Firma Takasago Engineering (01.07.2019)
- Die Projektpartner des Forschungsvorhabens GERDI zum Kick-off-Meeting (11.07.2019)
- Teilnehmer des IEA ECES Annex 27 zu einem dreitägigen Workshop (09.-11.09.2019)
- Die Fachschaft Physik des Apian-Gymnasiums Ingolstadt (27.09.2019)
- Delegierte aus Kolumbien und Peru, die sich über solare Kühlung informierten (21.10.2019)
- Vortragende und Gäste aus der gesamten Energiebranche zum Forum Energieeffiziente Wärmebereitstellung (19.11.2019)
- Visitors from the Bavarian State Office of the Environment and the State Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy (05/06/2019)
- A delegation of Japanese company Takasago Engineering (01/07/2019)
- The project partners of the GERDI research project for their kick-off meeting (11/07/2019)
- Participants of the IEA ECES Annex 27 for a three-day workshop (09-11/09/2019)
- The physics faculty of Apian-Gymnasium Ingolstadt (27/09/2019)
- Delegates from Colombia and Peru, who inquired about solar cooling (21/10/2019)
- Lecturers and guests from the entire energy sector for the forum on energy efficient heat supply (19/11/2019)

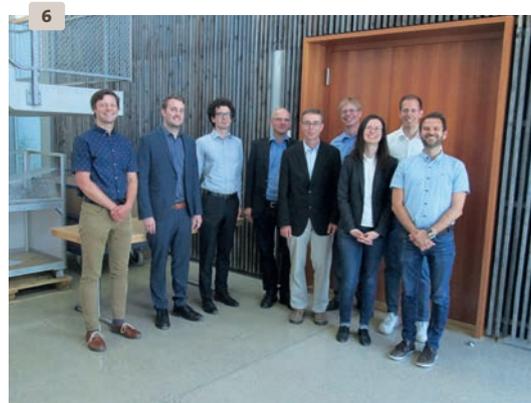


Abb. 5: Eine Delegation aus Singapur beim ZAE in Garching

Fig. 5: A delegation from Singapore at ZAE Garching

Abb. 6: Besucher aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und dem Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Fig. 6: Visitors from the Bavarian State Office of the Environment and the State Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy



Abb. 7: Teilnehmer des IEA ECES Annex 27 bei einem Workshop am ZAE in Garching

Fig. 7: Participants of IEA ECES Annex 27 at a workshop at ZAE Garching

Abb. 8: Die Fachschaft Physik des Apian-Gymnasiums Ingolstadt zu Besuch beim ZAE in Garching

Fig. 8: The physics faculty of Apian-Gymnasium Ingolstadt visiting in Garching

Abb. 9: Eine Delegation aus Kolumbien und Peru informiert sich über solare Kühlung am ZAE in Garching.

Fig. 9: A delegation from Colombia and Peru receiving information on solar cooling at ZAE in Garching



BESUCHER IN HOF (ARZBERG)

- Studenten der FH Hof zur Besichtigung des Testzentrums Arzberg (06.05.2019)
- Leitung und Träger des Projekts C/sells und die zuständige Vertreterin des BMWi zur Besichtigung des Testzentrums Arzberg im Rahmen der Accelerator Tour (24.07.2019)

VISITORS TO HOF (ARZBERG)

- Students of the University of Applied Sciences Hof for a tour of the Arzberg test centre (06/05/2019)
- Project management and sponsors of project C/sells as well as the responsible representative of BMWi visiting the Arzberg test centre as part of the Accelerator Tour (24/07/2019)

Abb. 10: (v. l. n. r.) Nicolas Spengler, EnergieNetz Mitte, Silke Stahl, BMWi, Dr. Albrecht Reuter, FIT, Stefan Göcking, Bürgermeister Stadt Arzberg, Christoph Stegner, ZAE Bayern, am Rechner
© ffe e. V.

Fig. 10: (f.l.t.r.) Nicolas Spengler, EnergieNetz Mitte, Silke Stahl, BMWi, Dr. Albrecht Reuter, FIT, Stefan Göcking, Mayor of Arzberg, Christoph Stegner, ZAE Bayern, at computer
© ffe e. V.



BESUCHER IN WÜRZBURG

- Mitarbeiter des Physikalischen Instituts der Julius-Maximilians-Universität Würzburg (08.01.2019)
- Teilnehmer des Treffens des Aerogel Clusters (11.-13.02.2019)
- Mitglieder des ZIM-Netzwerktreffens SmartQ, (20.02.2019)
- Gäste des E-Mobilitätstags der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs- GmbH (04.04.2019 und 21.09.2019)
- Teilnehmer der 1. Fachwerkstatt „Inter- und innerkommunale Zusammenarbeit“ – Energetische Stadtsanierung (03.04.2019)
- Teilnehmer „Kreis Energieeffizienz Unterfranken“ – bayme – Bayerischer Unternehmensverband Metall und Elektro e. V. (10.04.2019)



VISITORS TO WÜRZBURG

- Employees of the physics department of Julius-Maximilians-Universität Würzburg (08/01/2019)
- Participants of the aerogel cluster meeting (11-13/02/2019)
- Members of the ZIM network meeting SmartQ, (20/02/2019)
- Guests of the e-mobility day of Würzburg's public utility and transport company (04/04/2019 and 21/09/2019)
- Participants of the 1st workshop on "Inter- and intra-communal cooperation" – Energetic urban redevelopment (03/04/2019)
- Participants of "Kreis Energieeffizienz Unterfranken" (Lower Franconian energy efficiency work group) – bayme – Bavarian employers' association metal and electronics (10/04/2019)



Abb. 11: Der Aerogel-Cluster zu Gast am ZAE Bayern bei ZAE-Gruppenleiterin Dr. Gudrun Reichenauer (2. v. r.)

Fig. 11: The Aerogel Cluster visiting ZAE Bayern with ZAE Head of Group Dr. Gudrun Reichenauer (2nd fr.)

Abb. 12: ZAE-Gruppenleiter Stephan Weismann (rechts) bei einem Rundgang mit der VDE-Hochschulgruppe Trier durch das Energy Efficiency Center und die Klima-Forschungs-Station

Fig. 12: ZAE Head of Group Stephan Weismann (right) on a tour of the Energy Efficiency Center and Climate Research Station with the VDE university group Trier

Abb. 13: Teilnehmer des Industrie-, Technologie- und Forschungsausschusses der IHK Würzburg-Schweinfurt am ZAE © IHK Würzburg-Schweinfurt

Fig. 13: Participants of the industry, technology, and research committee of the Chamber of Industry and Commerce Würzburg-Schweinfurt at ZAE © IHK Würzburg-Schweinfurt

Abb. 14: Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (links), Vorstand ZAE, und Dr. Hans-Peter Ebert (rechts), Bereichsleiter ZAE, mit Workshop-Teilnehmern der Jahreskonferenz der Weltkirche und Mission 2019

Fig. 14: Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (left), Member of the Board of ZAE, and Dr. Hans-Peter Ebert (right), Head of Division EF, with workshop participants of the annual conference of the World Church and Mission 2019

Abb. 15: (v. l. n. r.) Dr. Hans-Peter Ebert, Bereichsleiter ZAE, Prof. Dr. Vladimir Dyakonov, Vorstand ZAE, Roswitha Peters, Vorsitzende des AKU der CSU Bezirk Unterfranken und Dr. Anja Weisgerber, MdB, am ZAE
© Martin Schlör

Fig. 15: (f.l.t.r.) Dr. Hans-Peter Ebert, Head of Division ZAE, Prof. Dr. Vladimir Dyakonov, Member of the Board ZAE, Roswitha Peters, Chairwoman of the AKU of the CSU district of Lower Franconia and Dr. Anja Weisgerber, MdB, at ZAE
© Martin Schlör



Abb. 16: ZAE-Mitarbeiter Constantin Römer im Interview am Tag der Forschung und Lehre Gebäudegrün zum Thema Energieeffizienz und Begrünung

Fig. 16: ZAE staff member Constantin Römer being interviewed on the day of research and education for green buildings about energy efficiency and building greening

- Exkursion der VDE-Hochschulgruppe Trier, Verband Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik Bezirk Trier e. V. (24.04.2019)
- Teilnehmer der konstituierenden Sitzung des Industrie-, Technologie- und Forschungsausschusses, IHK Würzburg-Schweinfurt (15.05.2019)
- Workshop-Teilnehmer der Jahreskonferenz der Weltkirche und Mission 2019, Würzburg (28.05.2019)
- Exkursion mit Studierenden der Hochschule für Technik Stuttgart (29.05.2019)
- Besuch des Bayerischen Staatsministers für Umwelt- und Verbraucherschutz, Thorsten Glauber, MdL (12.07.2019)
- Seminarteilnehmer der Gesellschaft für Politische Bildung zum Thema „Energiewende in Deutschland“ (04.09.2019)
- Mitglieder und Delegierte des Arbeitskreises Umweltsicherung und Landesentwicklung der CSU mit Dr. Anja Weisgerber, MdB (05.09.2019)
- Workshop-Teilnehmer am Tag der Forschung und Lehre für Gebäudegrün – Bundesverband und GebäudeGrün e. V. (BuGG) (18.09.2019)
- Teilnehmer am BuGG-Gründach-Forum 2019 zum Thema Klimawandel und Planungsgrundlagen (19.09.2019)
- Delegation aus Indien vom RV (Rashtreeya Vidyalaya) College of Engineering und RV Educational Institutions (24.10.2019)
- Excursion of the VDE university group Trier, electrical engineering, electronics, and information technology association (24/04/2019)
- Participants of the constituent assembly of the industry, technology, and research committee, IHK Würzburg-Schweinfurt (15/05/2019)
- Workshop participants of the annual conference of the World Church and Mission 2019, Würzburg (28/05/2019)
- Excursion with students of the Stuttgart Technology University of Applied Sciences (29/05/2019)
- Visit of Bavaria's state minister for environmental and consumer protection, Thorsten Glauber, MdL (12/07/2019)
- Seminar participants of the Society for Political Education on "The energy system transformation in Germany" (04/09/2019)
- Members and delegates of the CSU party's work group on environmental protection and regional development with Dr. Anja Weisgerber, MdB (05/09/2019)
- Workshop participants at the day of research and education for green buildings – Bundesverband und GebäudeGrün e. V. (federal association for green building) (18/09/2019)
- Participants of the BuGG Green Roof Forum 2019 on climate change and fundamental planning (19/09/2019)
- Delegation from India of RV (Rashtreeya Vidyalaya) College of Engineering and RV Educational Institutions (24/10/2019)

- Barbara Becker, MdL, gemeinsam mit vier Schulklassen bei der Ausstellung Klima-Umwelt-Energie (08.11.2019 und 15.11.2019)
- Teilnehmer der Aktion Public Climate School aus Würzburg (28.11.2019)
- Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik der FAU (19.12.2019)
- Schülerinnen und Schüler aus Würzburg und der Region Mainfranken zur Ausstellung Klima-Umwelt-Energie im Energy Efficiency Center (ganzjährig)



- Barbara Becker, MdL, with four school classes at the exhibition Climate Environment Energy (08/11/2019 and 15/11/2019)
- Participants of the Public Climate School campaign from Würzburg (28/11/2019)
- Members of the chair of thermal process engineering at FAU (19/12/2019)
- Pupils from Würzburg and the Mainfranken region for the exhibition Climate Environment Energy at the Energy Efficiency Center (all year)



Abb. 17: ZAE-Vorstand Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (2. v. r.) erläutert Dr. K. N. Subramanya (2. v. l.) das Konzept „Passive Infrared Night Cooling“ (PINC). Begleitet wurden die indischen Gäste von FHWS-Präsident Prof. Dr. Robert Grebner (1. v. r.) und FHWS-Vizepräsident Prof. Dr. Jürgen Hartmann (1. v. l.).

Fig. 17: ZAE Board Member Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (2nd fr.) explaining the concept of „Passive Infrared Night Cooling“ (PINC) to Dr. K. N. Subramanya (2nd fl.). The Indian guests were accompanied by FHWS President Prof. Dr. Robert Grebner (1st fr.) and FHWS Vice President Prof. Dr. Jürgen Hartmann (1st fl.).

Abb. 18: Studenten des Lehrstuhls für Thermische Verfahrenstechnik der Friedrich-Alexander-Universität im Energy Efficiency Center in Würzburg

Fig. 18: Students from the department of thermal process engineering of Friedrich-Alexander-Universität in the Energy Efficiency Center in Würzburg



Abb. 19: Barbara Becker, MdL, und Stefan Güntner im Gespräch mit Schülern im Energy Efficiency Center in Würzburg

Fig. 19: Barbara Becker, MdL, and Stefan Güntner talking to pupils at the Energy Efficiency Center in Würzburg

Abb. 20: Schulklasse (Besuche ganzjährig)

Fig. 20: School class (visits all year)

BESUCHER IN NÜRNBERG

- Hanwha Science Challenge aus Korea (09.01.2019)
- Prof. Dr. Simon Thiele, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (11.01.2019)
- Delegation aus China (16.01.2019)
- Britta Dassler, MdB, und Prof. Dr.-Ing. Martin Neumann, MdB (05.02.2019)
- Erik Weber, Geschäftsführer beim Gründerzentrum der MIB in Leipzig (25.02.2019)
- Dr. Michael Fraas, Wirtschaftsreferent der Stadt Nürnberg (25.02.2019)
- Prof. Dr. Kathrin M. Möslein, Vizepräsidentin Outreach an der FAU (25.02.2019)
- Lehrer aus dem KEIM-Programm (Keep Energy in Mind) (13.03.2019)
- Delegation aus Cartagena, Kolumbien (13.05.2019)
- Koreanische Delegation (15.05.2019)
- Mitglieder der Forschungsvereinigung 3-D MID e. V. (21.05.2019)
- Delegation aus China (24.05.2019)
- Dr. Uwe Bertholdt, Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e. V. (03.07.2019)
- Karsten Klein, MdB (08.07.2019)
- Dr. Thomas Bauer, Regierungspräsident von Mittelfranken, mit Referenten (23.07.2019)

Abb. 20: FDP-Bundestags-abgeordnete in der Solarfabrik der Zukunft

Fig. 20: FDP members of the Bundestag in in the Solar Factory of the Future

Abb. 21: Dr. Thomas Bauer, Regierungspräsident von Mittelfranken, zu Besuch in Nürnberg

Fig. 21: Dr. Thomas Bauer, President of the Government of Middle Franconia, visiting in Nuremberg



VISITORS TO NUREMBERG

- Hanwha Science Challenge from Korea (09/01/2019)
- Prof. Dr. Simon Thiele, Helmholtz-Institute Erlangen-Nuremberg for Renewable Energies (11/01/2019)
- Delegation from China (16/01/2019)
- Britta Dassler, MdB, and Prof. Dr.-Ing. Martin Neumann, MdB (05/02/2019)
- Erik Weber, managing director of the start-up centre of MIB Leipzig (25/02/2019)
- Dr. Michael Fraas, economic advisor to the city of Nuremberg (25/02/2019)
- Prof. Dr. Kathrin M. Möslein, vice president Outreach of FAU (25/02/2019)
- Teachers from the KEIM programme (keep energy in mind) (13/03/2019)
- Delegation from Cartagena, Colombia (13/05/2019)
- Korean delegation (15/05/2019)
- Members of research association 3-D MID e. V. (21/05/2019)
- Delegation from China (24/05/2019)
- Dr. Uwe Bertholdt, Fogra Research Institute for Media Technologies (03/07/2019)
- Karsten Klein, MdB (08/07/2019)
- Dr. Thomas Bauer, president of the government of Middle Franconia, with officials (23/07/2019)





22



23

Abb. 22: Die Lange Nacht der Wissenschaften

Fig. 22: The Long Night of the Sciences

Abb. 23: CSU-Fraktion in der Solarfabrik der Zukunft

Fig. 23: CSU faction in the Solar Factory of the Future



24



25

Abb. 24: CSU-Fraktion in der Solarfabrik der Zukunft
© CSU-Fraktion

Fig. 24: CSU faction in the Solar Factory of the Future
© CSU faction

Abb. 25: Teilnehmer der 4. Next Generation Solar Energy Konferenz

Fig. 25: Participants of the 4th Next Generation Solar Energy Conference

- Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik (24.07.2019)
- Studenten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (24.07.2019)
- Deutscher Gewerkschaftsbund (18.10.2019)
- Besucher der Langen Nacht der Wissenschaften (19.10.2019)
- Teilnehmer des Laserworkshops am Institute Materials for Electronics and Energy Technology (06.11.2019)
- CSU-Fraktion im Bayerischen Landtag (11.11.2019)
- IHK Nürnberg (18.11.2019)
- Chinesisches Ministerium für Industrie und Informationstechnik (22.11.2019)
- Besucher der 4. Next Generation Solar Energy Konferenz (09.12.2019)

- German Museum of Masterpieces of Science and Technology (24/07/2019)
- Students of Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nuremberg (24/07/2019)
- German Trade Union Confederation (18/10/2019)
- Visitors of the Long Night of the Sciences (19/10/2019)
- Participants of the laser workshop at the Institute Materials for Electronics and Energy Technology (06/11/2019)
- CSU faction of the Bavarian parliament (11/11/2019)
- Nuremberg Chamber of Industry and Commerce (18/11/2019)
- Chinese Ministry of Industry and Information Technology (22/11/2019)
- Visitors of the 4th Next Generation Solar Energy Conference (09/12/2019)



FORSCHUNG
RESEARCH

2.0



SOLARFABRIK DER ZUKUNFT
SOLAR FACTORY OF THE FUTURE

ANGEWANDTE IR-METROLOGIE
APPLIED IR METROLOGY

NANOMATERIALIEN
NANOMATERIALS

THERMISCHE ANALYSE
THERMAL ANALYSIS

THERMISCHE ENERGIESPEICHER
THERMAL ENERGY STORAGE

ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE
ENERGY OPTIMISED BUILDINGS

SYSTEMENTWICKLUNG
SYSTEMS ENGINEERING

SOLARTHERMIE UND GEOTHERMIE
SOLAR THERMAL AND GEOTHERMAL

WÄRMETRANSFORMATION
HEAT CONVERSION

ELEKTROCHEMISCHE ENERGIESPEICHER
ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE

FORSCHUNG RESEARCH

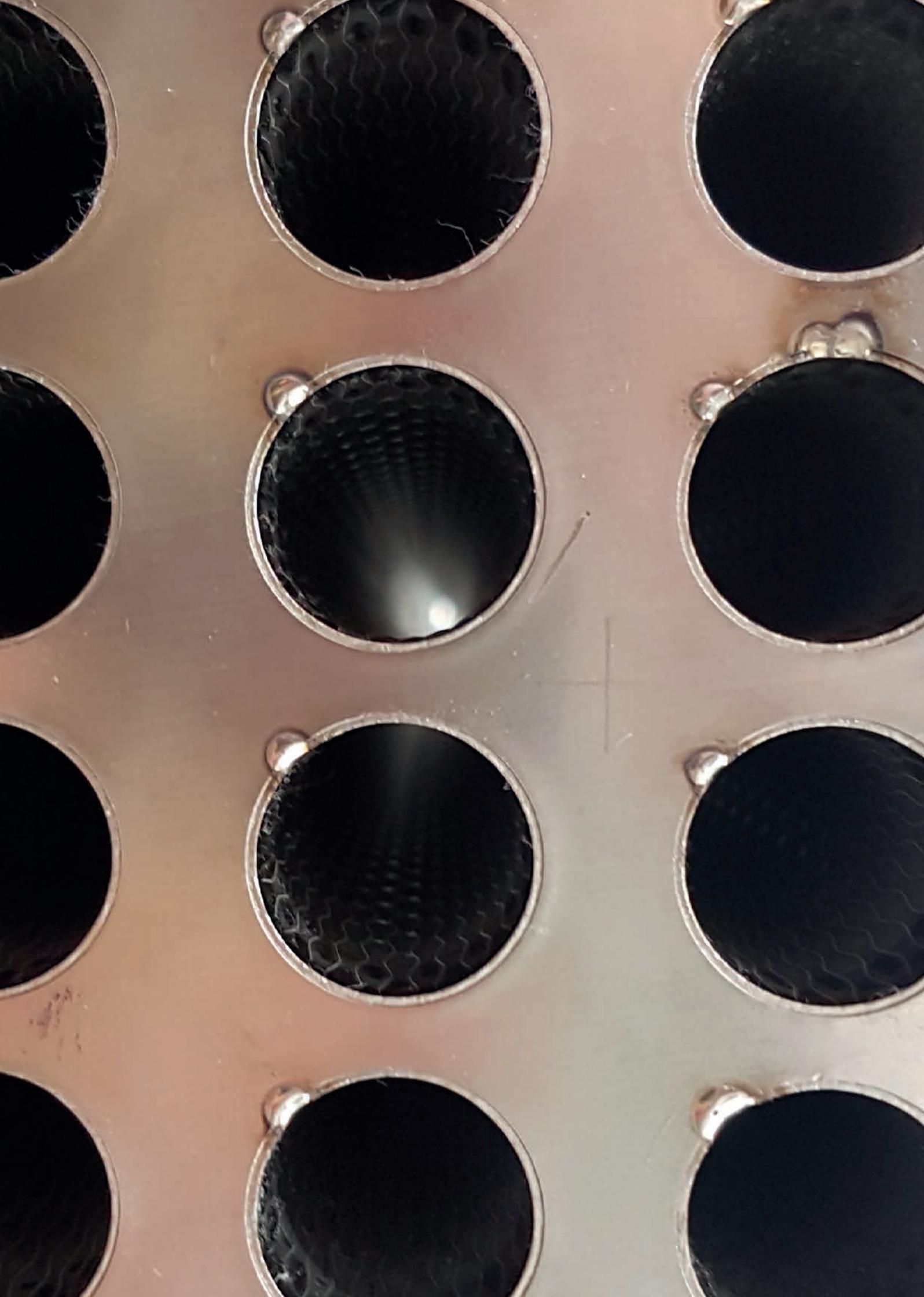
Unser Energiesystem stellt in seiner Gesamtheit eine komplexe Struktur mit, bezüglich Energiebereitstellung, -speicherung, -transport und -verwendung, verschieden stark vernetzten Komponenten dar. Die Forschungsstärke des ZAE Bayern liegt insbesondere in den interdisziplinär und bereichsübergreifend 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 laufende Energiewende. Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiespeicherung sind unabdingbar für eine erfolgreiche Umsetzung derselben, was sich in den Bereichen 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 a.o. by DFG, EU, BMBF) as well as applied projects (funding a.o. by BMWi, EU, BayStMWi, and industry partners). Our core issues carry high social significance, especially with regard to the ongoing changes in the energy system. 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 counter measure, the following chapter gives an overview of ZAE Bayern's current research activity.

2.1

NEUER EFFIZIENZ-WELTREKORD FÜR ORGANISCHE SOLARMODULE

NEW EFFICIENCY WORLD RECORD FOR ORGANIC SOLAR MODULES

Autor | Author
A. Distler, H.-J. Egelhaaf

Ansprechpartner | Contact
Dr. Andreas Distler
Stellv. Gruppenleiter
Solarfabrik der Zukunft
Deputy Head of Group
Solar Factory of the Future

Bereich | Division
Erneuerbare Energien
Renewable Energies
+49 911 56854-9357
andreas.distler@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
FKZ 20.2-3410.5-4-5

Kooperationspartner | Partners
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien
South China University of Technology

Abb. 1: Ergebnis der Messung des organischen Rekord-Solarmoduls (12,6 % Wirkungsgrad auf 26 cm²), durchgeführt durch das unabhängige Zertifizierungslabor des Fraunhofer ISE (Freiburg)

Fig. 1: Measurement result for the organic record solar module (12.6 % efficiency on 26 cm²), carried out by the independent certification laboratory of Fraunhofer ISE (Freiburg)

Das ZAE Bayern ist seit Oktober 2019 Weltrekordhalter für die höchste Umwandlungseffizienz bei organischen Photovoltaikmodulen (OPV). In der Solarfabrik der Zukunft am Energie Campus Nürnberg wurde ein Modul entwickelt und hergestellt, welches auf einer Fläche von 26 cm² bei einer Sonneneinstrahlung von 1000 W/m² eine elektrische Leistung von 0,33 W generiert. Es erreicht damit einen Wirkungsgrad von 12,6 %. Eine kalibrierte Messung unter Standardprüfbedingungen im unabhängigen Zertifizierungslabor des Fraunhofer ISE (Freiburg) bestätigte den Wert (Abb.1). Des Weiteren wurde in der Modulkategorie Submodule > 200 cm², mit einem 204 cm² großen OPV-Modul (Abb. 2) ein neuer zertifizierter Effizienzrekord von 11,7 % aufgestellt.

Mit diesen neuen Bestmarken hält das ZAE erstmals Einzug in die Martin-Green-Tabelle [1] sowie das NREL Champion Module Chart [2], die beiden bedeutendsten technologieübergreifenden Weltranglisten für Photovoltaikmodule. Bemerkenswert ist dabei auch, dass die beiden neuen Weltrekorde jeweils mehr als 30 % über den alten Rekordwerten liegen.

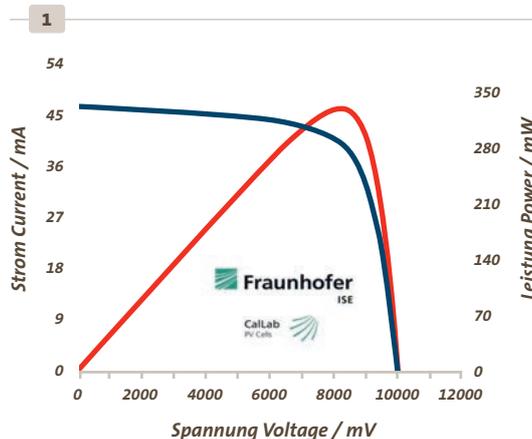
Die dafür entscheidenden Entwicklungen des ZAE betreffen u.a. die hochauflösende Kurzpuls-Laser-

Since October 2019, ZAE Bayern has been holding the world record for highest conversion efficiency in organic photovoltaic (OPV) modules. In the Solar Factory of the Future on Energie Campus Nürnberg, a module was developed and manufactured which generates an electrical output of 0.33 W at a solar radiation of 1000 W/m², employing 26 cm² of surface. Thus, its efficiency is at 12.6 %. A calibrated measurement under standard testing conditions in Fraunhofer ISE's independent certification laboratory confirmed the value (Fig. 1). Furthermore, a new certified efficiency record of 11.7 % was set for the module category of submodules > 200 cm², with a 204 cm² OPV module (Fig. 2).

With these new bests, ZAE has entered for the first time the Martin Green Tables [1] and the NREL Champion Module Chart [2], the two most important cross-technological world rankings for photovoltaic modules. It is also noteworthy that both of these new record values are more than 30 % above their predecessors.

The crucial developments ZAE has made to this end concern, among others, high-resolution short-pulse laser structuring, which allows for the interconnection of individual cells into a module by selective ablation of layers. By minimising inactive areas within the module surface, geometric fill factors over 95 % are possible.

Also worthy of special attention is the process control in the manufacture of such modules. Figure 3 shows the measured efficiencies of twelve small (12 cells) and six large (33 cells) modules from a total of four production runs, in relation to the total (blue) or active (red) module area. A yield of 100 % functional modules and an extremely low spread of efficiency values (12.95 ± 0.16 % for the small modules and 12.45 ± 0.14 % for the large modules) underline the excellent reproducibility of the results.



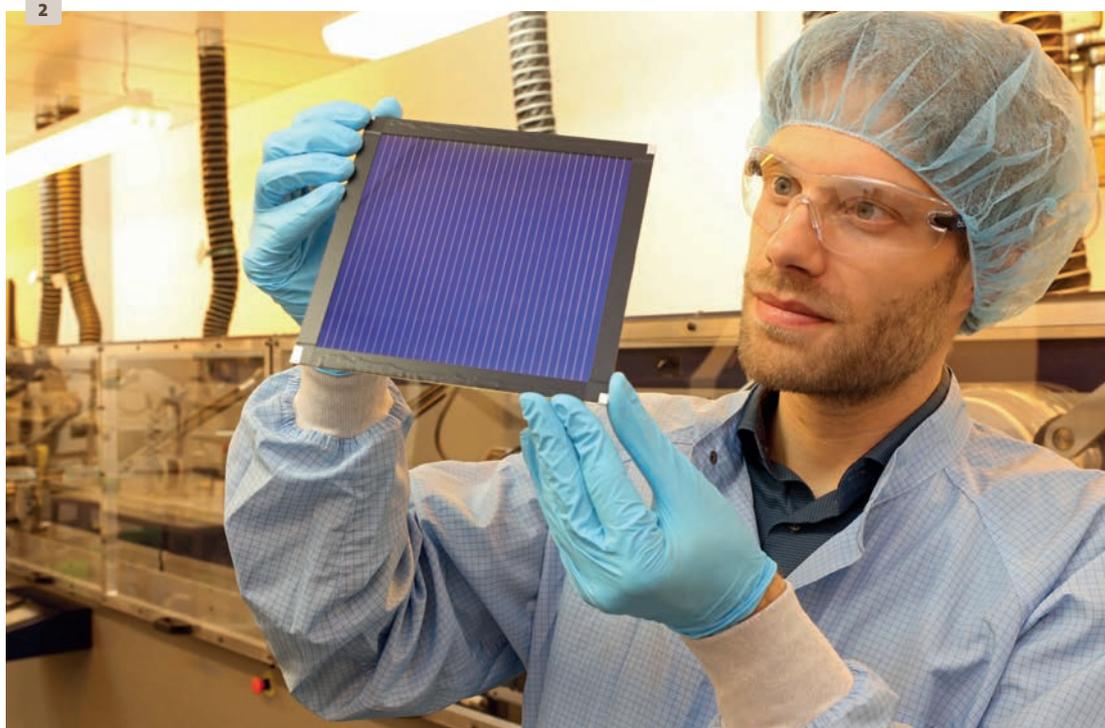


Abb. 2: Organisches Solarmodul mit einer Rekordeffizienz von 11,7 % auf einer Fläche von 204 cm²

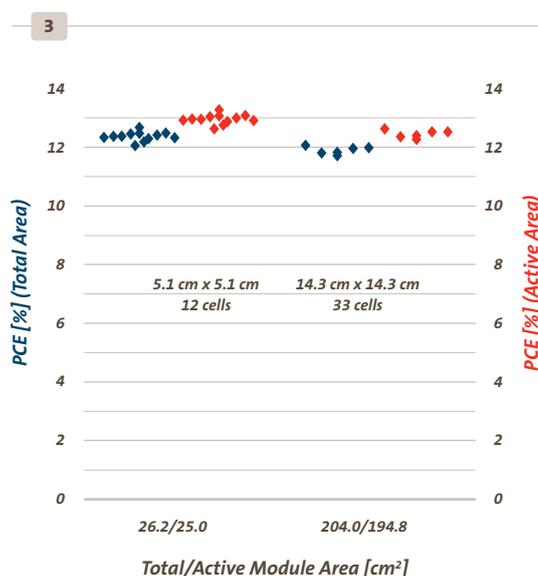
Fig. 2: Organic solar module with a record efficiency of 11.7 % on an area of 204 cm²

strukturierung, welche durch selektives Abtragen von Schichten die Verschaltung einzelner Zellen zu einem Gesamtmodul ermöglicht. Durch Minimierung der inaktiven Bereiche innerhalb der Modulfläche werden so geometrische Füllfaktoren von über 95 % erzielt.

Hervorzuheben ist außerdem die Prozesskontrolle bei der Herstellung derartiger Module. Abbildung 3 zeigt die gemessenen Wirkungsgrade zwölf kleiner (12 Zellen) und sechs großer (33 Zellen) Module aus insgesamt vier Produktionsläufen, bezogen auf die gesamte (blau) bzw. aktive (rot) Modulfläche. Eine Ausbeute von 100 % funktionaler Module und eine extrem geringe Streuung der Effizienzwerte ($12,95 \pm 0,16\%$ für die kleinen bzw. $12,45 \pm 0,14\%$ für die großen Module) verdeutlichen die exzellente Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Dieser Meilenstein in der Forschung an organischen Halbleitern zeigt, dass die jüngsten Leistungsentwicklungen mit zertifizierten Zellwirkungsgraden von über 17 % [1] nicht auf den Labormaßstab beschränkt sind, sondern bereits auf Modul- und Prototypenebene skaliert werden können. So dringt die OPV langsam aber sicher in den Effizienzbereich klassischer Photovoltaikmodule vor und kommt dem Ziel der Kommerzialisierung auf dem Massenmarkt einen Schritt näher.

This milestone in organic semiconductor research demonstrates how the latest performance developments with certified cell efficiencies of over 17 % [1] are not restricted to laboratory dimensions, but can already be scaled up to module and prototype level. Thus, OPV is slowly but surely entering the efficiency range of conventional photovoltaic modules and coming another step closer to mass market commercialisation.



Literatur | References

- [1] M. A. Green et al., Progress in Photovoltaics, 28 (2020) 3.
 [2] NREL www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html

Abb. 3: Umwandlungseffizienz (PCE) bezogen auf die gesamte (blau) bzw. aktive (rot) Modulfläche von zwölf kleinen (12 Zellen, 26,2 cm²) und sechs großen (33 Zellen, 204,0 cm²) Modulen aus insgesamt vier unabhängigen Produktionsläufen

Fig. 3: Power conversion efficiency (PCE) in relation to the total (blue) or active (red) module area of twelve small (12 cells, 26.2 cm²) and six large (33 cells, 204.0 cm²) modules from a total of four independent production runs

2.2

WÄRMEREFLEKTIERENDE SCHICHTEN FÜR DEN AUTOMOTIVE- UND LUFTFAHRTBEREICH

HEAT-REFLECTIVE COATINGS FOR THE AUTOMOTIVE AND AVIATION INDUSTRIES

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 ZF4506403EB9

Kooperationspartner | Partners
Kirsch Kunststofftechnik GmbH
RAS AG

Wärmereflektierende Schichten zur Erhöhung der Energieeffizienz werden in zahlreichen Anwendungen eingesetzt. Aktuell konzentriert sich das ZAE auf zwei neue Entwicklungen: Verglasungen mit transparenten, wärmereflektierenden Beschichtungen für den Automotivbereich und hochtemperaturstabile, wärmereflektierende keramische Wärmedämmschichten für Flugzeugturbinen.

Fahrzeuginnenräume heizen sich bei einfallender Sonnenstrahlung aufgrund ihrer großflächigen Verglasung stark auf. Daraus erwächst ein Bedarf an Scheiben, die Infrarotstrahlung im relevanten Wellenlängenbereich reflektieren (Abb. 1) und gleichzeitig eine hohe Lichtdurchlässigkeit aufweisen (Abb. 2). Besonders für Elektroautos ist außerdem eine Gewichtsreduktion durch die Verwendung von Kunststoff- anstelle von Glas-scheiben vorteilhaft. In einem laufenden Projekt mit Förderung des BMWi werden daher, gemeinsam mit den Industriepartnern Kirsch Kunststofftechnik GmbH und RAS AG, „Transparente IR-Reflexionsschichten für Kunststoffsubstrate auf Basis von Silbrenanodrähten“ entwickelt und getestet. Neben dem Erreichen der gewünschten Spezifikationen besteht eine weitere Herausforderung bei der Entwicklung in der stabilen Aufbringung der Schichten bei Temperaturen von maximal 80 °C.

In Flugzeugturbinen eingesetzte keramische Wärmedämmschichten (englisch: Thermal Barrier Coatings, TBCs) müssen deutlich höheren Temperaturen von über 1400 °C standhalten. Sie schützen metallische Komponenten, wie Turbinenschaufeln, vor den Belastungen, die im Betrieb auftreten. Durch verbesserte

Heat-reflective coatings increase the energy efficiency of numerous applications. Currently, ZAE is focusing on two new developments: glazing with transparent, heat-reflective coatings for the automotive sector and high-temperature stable, heat reflecting ceramic thermal barrier coatings for aircraft turbines.

Vehicle interiors heat up considerably when exposed to solar radiation due to their extensive glazing. This creates a demand for windows, which reflect infrared radiation of the relevant wavelength range (Fig. 1) while at the same time maintaining a high degree of light permeability (Fig. 2). Especially for electric cars, a further advantage is the weight reduction caused by using synthetic panes instead of glass. Therefore, in an ongoing project funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, transparent IR-reflective coatings based on silver nanowires for plastic substrates are being developed and tested with industrial partners Kirsch Kunststofftechnik GmbH and RAS AG. Besides achieving the desired specifications, an additional challenge in the development is the stable application of the coatings at a maximum temperature of 80 °C.

Ceramic thermal barrier coatings (TBCs) used in aircraft turbines are required to withstand significantly higher temperatures up to and over 1400 °C. They protect metal components, such as turbine blades, from the forces occurring during operation. Improved coatings, which reflect specific wavelengths of infrared radiation, can further reduce the heat load on the metal. This allows for higher operating temperatures and, consequently, increased efficiency. In a joint project



Abb. 1: Eine Wärmebildaufnahme zeigt die wesentlich höhere Reflexion von Wärmestrahlung durch eine Scheibe mit wärereflektierender Beschichtung (links im Bild) im Vergleich zu einer unbeschichteten Scheibe (rechts im Bild).

Fig. 1: A thermographic image shows the significantly higher reflection of thermal radiation by a pane with heat-reflective coating (left) compared to an uncoated pane (right).

Schichten, welche Infrarotstrahlung bestimmter Wellenlängen reflektieren, kann der Wärmeeintrag auf das Metall weiter reduziert werden. So werden höhere Betriebstemperaturen und damit einhergehende Wirkungsgradsteigerungen möglich. Im BMWi-geförderten Verbundvorhaben „Entwicklung wärereflektierender Beschichtungen für Triebwerke sowie deren umfassende infrarot-optische und thermische Charakterisierung und Optimierung“ werden entsprechende, hochtemperaturbeständige Schichtsysteme entwickelt und vermessen.

Trotz der stark unterschiedlichen Anwendungstemperaturen und Materialien weisen die beschriebenen Oberflächen ein vergleichbares physikalisches Wirkprinzip auf: die Reflexion von Wärmestrahlung zur Einsparung von Energie. Das kann elektrische Energie sein, wie bei Elektroautos, oder ein Flüssigkraftstoff, wie bei Flugzeugturbinen. Für beide Fälle verfügt das ZAE Bayern über die erforderliche Messtechnik zur umfassenden Materialcharakterisierung und zum Vorantreiben der jeweiligen Entwicklung.

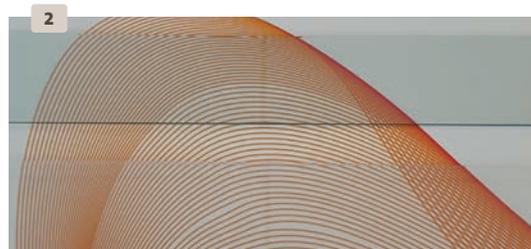


Abb. 2: Man erkennt deutlich, dass zwei Glasplättchen mit (oben) und ohne (unten) wärereflektierende Beschichtung eine ähnlich hohe Transparenz aufweisen.

Fig. 2: Clearly visible, two glass plates with (top) and without (bottom) heat reflective coating exhibit similarly high transparency.

on the development of heat-reflective coatings for engines, their comprehensive infrared-optical and thermal characterisation, and optimisation, corresponding high-temperature stable coating systems are being developed and evaluated.

Despite strongly differing application temperatures and materials, the described surfaces have a comparable physical principle of operation: reflecting thermal radiation to save energy. Said may be electric energy, as in electric cars, or a liquid fuel, as in aircraft turbines. For both cases, ZAE Bayern is equipped with the metrological equipment required for comprehensive material characterisation and for driving forward the respective developments.

2.3

AID – EIN NEUES TOOL ZUR BESTIMMUNG MECHANISCHER EIGENSCHAFTEN UND ALTERUNGSEFFEKTE NANOPORÖSER MATERIALIEN

AID – A NEW TOOL FOR DETERMINING MECHANICAL PROPERTIES AND AGEING EFFECTS OF NANOPOROUS MATERIALS

Autor | Author
G. Reichenauer

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

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

Fördermittelgeber | Funding
Deutsche Forschungsgemeinschaft
FKZ RE1148/10-1

Kooperationspartner | Partners
Paris Lodron Universität Salzburg (PLUS)
Montanuniversität Leoben (MUL)

Literatur | References
[1] F. T. Meehan, Proceedings of the Royal Society of London, Series A 115 (1927) 199-207.
[2] C. Balzer, Adsorption-Induced Deformation of Nanoporous Materials – in-Situ Dilatometry and Modeling, Ph.D. Thesis, Fakultät für Physik und Astronomie, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg 2017.
[3] G. Reichenauer, G. W. Scherer, Journal of Non-Crystalline Solids 277 (2000) 162-172.
[4] G. Reichenauer, G. W. Scherer, Journal of Non-Crystalline Solids 285 (2001) 167-174.
[5] C. Balzer et al., Langmuir 35 (2019) 2948-2956.

AID steht für adsorptionsinduzierte Deformation offener poröser Materialien. Dabei handelt es sich um die Kontraktion oder Ausdehnung eines porösen Festkörpers bei der Adsorption von Gasen oder Dämpfen an dessen innerer Oberfläche. Ursächlich für diese Deformation ist eine Änderung der Grenzflächenenergie des Festkörpergerüsts [1, 2]. Der Effekt, der im Bereich von wenigen Promille bis zu einigen 10 Vol.-% liegen kann [3, 4], ist für die Strukturanalyse meist ein lästiges Artefakt. Richtig interpretiert liefert er allerdings wertvolle Informationen über mechanische Eigenschaften [2–5] oder langsame Veränderungen (Altern) unter Einsatzbedingungen für poröse Materialien von Festkörpern über Granulate und Pulver bis hin zu Kompositen. Besonders deutlich und gut auswertbar ist der AID-Effekt bei nanoporösen Materialien. Gründe dafür sind die hohe spezifische Oberfläche und geringe Porengröße dieser feinstrukturierten Werkstoffe.

Dem neuen Tool liegt das Konzept zu Grunde, dass durch Adsorption theoretisch gut vorhersagbare mechanische Spannungen im Festkörper entstehen. Diese Spannungen lassen sich in der Regel aus der Adsorptionsisotherme berechnen [2–5]. Die Reaktion des Materials, also die Dehnung, verknüpft die Spannung mit den mechanischen Eigenschaften des Festkörpers. Sie kann makroskopisch, mit Hilfe eines Dilatometers, oder mikroskopisch, z. B. anhand von Kleinwinkelstreudaten, erfasst werden [2–5].

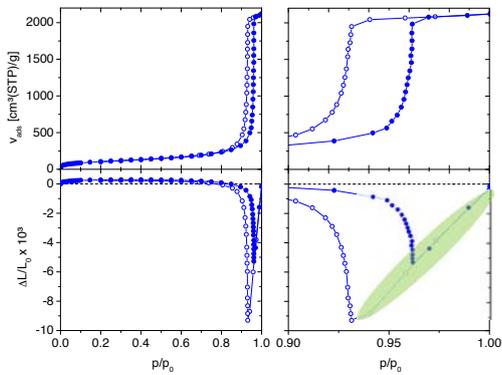
Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Bestimmung des Kompressionsmoduls (aus Verhältnis von Druck und resultierender Volumenänderung) eines nur wenige Millimeter großen Krümelns eines nanoporösen Silicas mit AID. Die Spannung aufgrund von Kapillarkräften

AID is short for the adsorption-induced deformation of open porous materials. This refers to the contraction or expansion of porous solids during the adsorption of gases or vapours on their inner surface. This deformation is caused by a change in the interfacial energy of the solid skeleton [1, 2]. The effect, which can range from a few per mille to several 10 % by volume [3, 4], is usually considered an annoying artefact in structural analysis. When interpreted correctly, however, it provides valuable information on mechanical properties [2-5] or slow changes (ageing) under operating conditions for porous materials from solids to granules, powders, and composites. The AID effect is particularly evident and easy to evaluate for nanoporous materials. Reasons for this are the high specific surface and small pore size of these finely structured materials.

The new tool is based on the principle of adsorption creating theoretically well predictable mechanical stresses in solids. These stresses can usually be calculated from the adsorption isotherm [2-5]. The reaction of the material, i.e. the strain, links the stress to the mechanical properties of the solid. It can be measured macroscopically, using a dilatometer, or microscopically, e.g. using small-angle scattering data [2-5].

Figure 1 shows an example for the determination of the bulk modulus (from the ratio between pressure and resulting volume change) of a crumb of a nanoporous silica, which is only a few millimetres in size, with AID. The stress due to capillary forces can be calculated from the relative gas pressure p/p_0 and the molar volume of the condensed nitrogen at measuring temperature. The deformation was measured simultaneously with the adsorption isotherm using a length

1



2

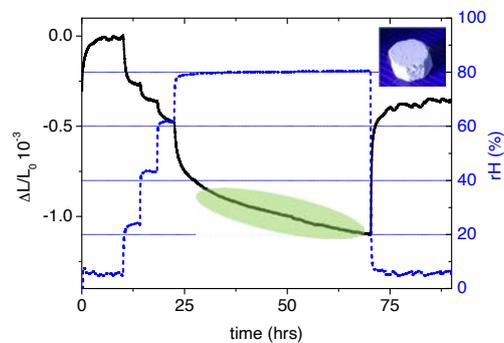


Abb. 1: Adsorptions- und Deformationsisotherme eines nanoporösen Silicamaterials bei der Adsorption von Stickstoff bei 77 K (links: Gesamtübersicht, rechts: Detail zur Bestimmung des Kompressionsmoduls). Der grün markierte Bereich kennzeichnet die Daten, die für die Auswertung herangezogen wurden.

Fig. 1: Adsorption and deformation isotherm of a nanoporous silica material during the adsorption of nitrogen at 77 K (left: general overview, right: detail on the determination of the bulk modulus). The area marked in green indicates the data used for the evaluation.

lässt sich aus dem relativen Gasdruck p/p_0 und dem molaren Volumen des kondensierten Stickstoffs bei Messtemperatur berechnen. Die Deformation wurde mit Hilfe eines Längensensors simultan zur Adsorptionsisotherme gemessen. Die Daten entstanden während der Analyse mit Stickstoff bei 77 K – also simultan zu einem genormten, kommerziell verfügbaren Standardverfahren – unter Einsatz eines am ZAE eigens entwickelten Probenhalters. Die Auswertung der linearen Deformation im Bereich großer relativer Gasdrücke p/p_0 liefert einen Kompressionsmodul von 39 MPa. Eine alternative mechanische Analyse mittels Ultraschalllaufzeitmessungen erbrachte für ein größeres Stück der gleichen Probe einen Wert von 32,4 MPa. Über die Auswertung der Daten bei kleinen relativen Drücken lässt sich der Kompressionsmodul des unporösen Silicagerüsts zu ca. 30 GPa ermitteln.

Abbildung 2 zeigt die über ein empfindliches Dilatometer bestimmte Schrumpfung eines Komposits auf Basis pyrogener Kieselsäure unter Wasserdampf bei 25 °C. Ab Feuchten von 40 % ist bereits eine voranschreitende Deformation der Probe zu erkennen. Auch wenn der Effekt mit weniger als 0,2 Promille in 50 Stunden sehr klein ist, ist er messtechnisch schnell erfassbar und erlaubt eine Vorhersage von Alterungseffekten.

sensor. The data was obtained during the analysis with nitrogen at 77 K, i.e. simultaneously to a standardised, commercially available procedure, employing a sample holder especially developed at ZAE. The evaluation of the linear deformation under high relative gas pressures p/p_0 yields a bulk modulus of 39 MPa. An alternative mechanical analysis via ultrasonic transit time measurements yielded a value of 32.4 MPa for a larger piece of the same sample. By evaluating the data at low relative pressures, the bulk modulus of the nonporous silica framework can be determined to be about 30 GPa.

Figure 2 depicts the shrinkage of a composite based on fumed silica under steam at 25 °C, as determined by a sensitive dilatometer. From moistures of 40 % onwards, a progressing deformation of the sample becomes evident. Even though the effect is very small at less than 0.2 per mille in 50 hours, it can be measured quickly and allows for the prediction of ageing effects.

Abb. 2: Relative lineare Dickenänderung eines Komposits auf Basis eines hydrophilen Kieselsäurepulvers bei Änderung der relativen Feuchte. Der fast lineare Abfall der Probendicke im Bereich zwischen 30 und 70 Stunden spiegelt die Deformation der Probe unter der adsorptionsinduzierten Spannung wieder (grün markierter Bereich).

Fig. 2: Relative linear thickness variation of a composite based on a hydrophilic silica powder for varying relative humidity. The almost linear decrease in sample thickness in the region between 30 and 70 hours reflects the deformation of the sample under the adsorption-induced stress (region marked in green).

2.4

EINFLUSS DER THERMISCHEN VORGESCHICHTE AUF DIE THERMOPHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN VON PCM

INFLUENCE OF THERMAL HISTORY ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF PCM

Ansprechpartner | Author
**M. Brütting, S. Vidi,
 F. Hemberger**

Ansprechpartner | Contact
Michael Brütting
 Projektleiter
 Thermische Analyse
 Project Manager
 Thermal Analysis

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

Fördermittelgeber | Funding
**Bundesministerium für
 Wirtschaft und Energie**
 FKZ 03ET1584A

Kooperationspartner | Partners
**Fraunhofer-Institut für Solare
 Energiesysteme ISE**

Phasenwechselmaterialien (PCM) ermöglichen thermische Energiespeicherung mit hoher Speicherdichte innerhalb eines kleinen, definierten Temperaturintervalls. Für Planung und Auslegung entsprechender Speichersysteme müssen daher die thermophysikalischen Eigenschaften des verwendeten PCMs sehr genau bekannt sein. Seine Wärmeleitfähigkeit ist zum Beispiel entscheidend für die Speicherleistung. Sie gibt vor, mit welcher Geschwindigkeit Wärme im Material transportiert wird, bestimmt also die Dauer von Be- und Entladevorgängen.

Untersuchungen zeigten nun, dass die thermische Vorgeschichte des Materials einen großen Einfluss auf seine Wärmeleitfähigkeit haben kann. Der entscheidende Parameter ist dabei die Abkühlrate, also die Geschwindigkeit, mit der das Material erstarrt. Durch Veränderung der Abkühlrate lässt sich die Kristallstruktur des Materials verändern, welche die Wärmeleitfähigkeit direkt beeinflusst.

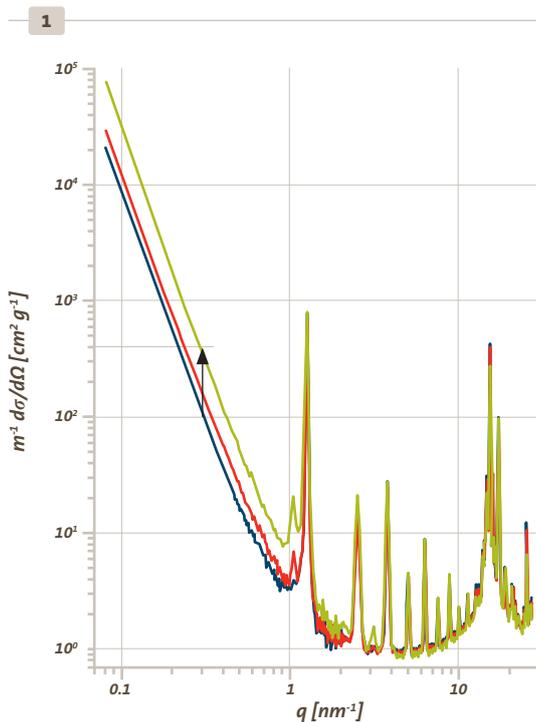
Um die Grenzen dieser Beeinflussung zu ermitteln, wurden Proben des PCMs RT70HC des Herstellers Rubitherm bei stark unterschiedlichen Abkühlraten auskristallisiert. Sehr dünne Proben wurden mit flüssigem Stickstoff behandelt, um extrem hohe Abkühlraten von etwa 8 K/s zu erzielen. Andere wurden, im Kontrast dazu, in einer Klimakammer nur wenige Kelvin unterhalb der Kristallisationstemperatur gelagert, was Abkühlraten von etwa 0,04 K/s ermöglichte. Durch diese stark unterschiedlichen Verfahren entstanden mit bloßem Auge erkennbare Unterschiede in der Materialstruktur.

Phase change materials (PCM) allow for thermal energy storage at a high storage density within a small, defined temperature range. Hence, for the planning and design of such storage systems, the thermophysical properties of the utilised PCM must be very accurately known. Its thermal conductivity, for example, is decisive for the storage's performance. It determines the speed of heat transport within the material and thus the speed of loading and unloading processes.

Research has now shown that the thermal history of the material may have major influence on its thermal conductivity. The key parameter for this is the cooling rate, i.e. the speed at which the material solidifies. By changing the cooling rate, the crystal structure of the material may be altered, directly influencing its thermal conductivity.

To determine the limits of this influence, samples of manufacturer Rubitherm's PCM RT70HC were crystallised at strongly varying cooling rates. Very thin samples were treated with liquid nitrogen to achieve extremely high cooling rates around 8 K/s. Others, in contrast, were stored in a climate chamber at only a few kelvin below crystallisation temperature, which allowed for cooling rates of about 0.04 K/s. These strongly differing processes caused differences in the material structure visible to the naked eye.

Precise structural analyses via small-angle X-ray scattering revealed the rapidly cooled samples to have four times the specific surface area of their slowly cooled counterparts (Fig. 1). Consequently, the structures in the slowly cooled samples were four times as large

**Abkühlrate**

■ Langsam 0.04 K/s ■ Mittel 0.4 K/s ■ Schnell 8 K/s

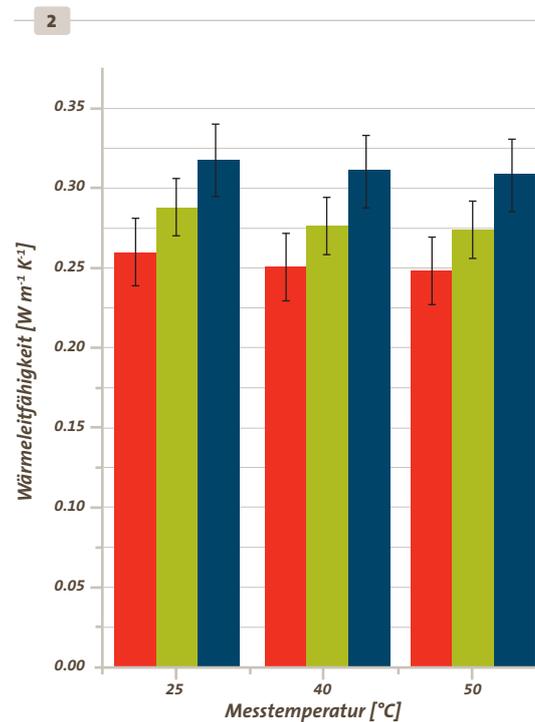
Schnelle Abkühlrate

Vierfache Oberfläche

¼ Strukturgröße im Vergleich zur langsamen Abkühlrate

Genaue Strukturanalysen durch Röntgenkleinwinkelstreuung zeigten, dass die schnell abgekühlten Proben im Vergleich zu ihren langsam abgekühlten Gegenständen die vierfache spezifische Oberfläche besitzen (Abb. 1). Folglich waren also auch die Strukturen der langsam abgekühlten Proben viermal so groß wie die der schnell abgekühlten. Durch die deutlich größere Anzahl an Störstellen für den Wärmetransport verringerte sich entsprechend die Wärmeleitfähigkeit des Materials. Abbildung 2 zeigt die gemessene Wärmeleitfähigkeit für unterschiedliche Abkühlraten und Messtemperaturen. Ein signifikanter Einfluss der Abkühlrate auf die Wärmeleitfähigkeit ist erkennbar. Die schnell abgekühlte Probe zeigt eine um 24 % niedrigere Wärmeleitfähigkeit als die langsam abgekühlte.

Die Messungen zeigten, dass die thermische Vorgeschichte von PCM eine wichtige Rolle für ihre Wärmeleitfähigkeit spielt und daher bei der Materialcharakterisierung beachtet werden muss. Nur so können exakte Materialparameter ermittelt und für die Auslegung von Anwendungen sinnvoll eingesetzt werden.

**Abkühlrate**

■ Schnell 8 K/s ■ Mittel 0.4 K/s ■ Langsam 0.04 K/s

Abb. 1: Auswertung der Strukturanalyse mittels Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS) für Proben mit unterschiedlicher Abkühlrate

Fig. 1: Evaluation of the structural analysis via small-angle X-ray scattering (SAXS) for samples with different cooling rates

Abb. 2: Gemessene Wärmeleitfähigkeit für Proben mit unterschiedlicher Abkühlrate bei verschiedenen Messtemperaturen.

Fig. 2: Measured thermal conductivity for samples with different cooling rates at different measuring temperatures.

as those in the rapidly cooled ones. Due to the significantly larger number of interference points for heat transport, the material's thermal conductivity was correspondingly smaller. Figure 2 illustrates the measured thermal conductivity for different cooling rates and measuring temperatures. The significant influence of the cooling rate on thermal conductivity is evident. The quickly cooled sample has a 24 % lower thermal conductivity than the slowly cooled one.

The measurements proved that the thermal history of PCMs significantly influences their thermal conductivity and must therefore be taken into account in material characterisation. Only this way, exact material parameters may be determined and used sensibly in the design of applications.

2.5

ENTWICKLUNG VON PHASENWECHSELMATERIALIEN AUF BASIS VON SALZHYDRATMISCHUNGEN

DEVELOPMENT OF PHASE CHANGE MATERIALS BASED ON MIXTURES OF SALT HYDRATES

Autor | Author
**C. Rathgeber, H. Schmit,
S. Hiebler**

Ansprechpartner | Contact
Dr. Stefan Hiebler
Gruppenleiter
Thermische Energiespeicher
Head of Group
Thermal Energy Storage

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 89 329442-35
stefan.hiebler@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
**Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie**
FKZ 03ET1342A

Literatur | References

- [1] C. Rathgeber et al., *Chemie Ingenieur Technik*, 90(1-2) (2018) 193-200.
[2] W. Voigt et al., *Pure and Applied Chemistry*, 74(10) (2002) 1909-1920.
[3] H. Schmit et al., *Refrigeration Science and Technology*, 2018-May (2018) 182-189.

Latentwärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM) erreichen hohe Energiespeicherdichten in schmalen Temperaturbereichen. Die meisten PCM durchlaufen wiederholte Schmelz- und Kristallisationsübergänge, um Wärme zu speichern und wieder abzugeben. Im Temperaturbereich von 0–100 °C sind Salzhydrate meist kostengünstiger als vergleichbare organische PCM und bieten gleichzeitig höhere Energiedichten [1]. Da die meisten anwendungsrelevanten Salzhydrate bereits bekannt sind, werden vermehrt Mischungen aus ihnen untersucht. Zur Identifikation geeigneter Zusammensetzungen und Reduktion des experimentellen Aufwands dienen dabei Vorhersagemodelle zur Berechnung von Fest-flüssig-Phasendiagrammen.

Im Projekt „Vorhersagemethoden und Charakterisierung von Stoffmischungen zur Entwicklung effizienter Phasenwechselmaterialien in relevanten Temperaturbereichen (properPCM)“ wurde das sogenannte modifizierte BET-Modell angewandt. [2, 3]. Abbildung 1 zeigt die so berechneten Fest-flüssig-Phasendiagramme der zweikomponentigen Systeme Lithiumnitrat-Wasser und Magnesiumnitrat-Wasser sowie des entsprechenden dreikomponentigen Systems Lithiumnitrat-Magnesiumnitrat-Wasser. Das dreikomponentige System enthält die Salze Lithiumnitrat (magenta) und Magnesiumnitrat (orange) sowie die Salzhydrate Lithiumnitrat Trihydrat (blau), Magnesiumnitrat Dihydrat (grün) und Magnesiumnitrat Hexahydrat (rot). Die als PCM geeigneten Zusammensetzungen entsprechen den Zusammensetzungen der lokalen Temperaturminima der Phasengrenzflächen.

Insgesamt wurden im Projektzeitraum die Zusammensetzungen und Schmelztemperaturen von mehr als 150 Eutektika vorhergesagt. Zur Überprüfung der Berechnungen wurden 40 Eutektika mittels dynamischer Differenzkalorimetrie experimentell untersucht. Im Anschluss wurden 16 verifizierte Eutektika über ei-

Latent heat storages with phase change materials (PCM) achieve high storage densities in narrow temperature ranges. Most PCMs undergo repeated melting and crystallisation to store and release heat. For the temperature range of 0-100 °C, salt hydrates are usually less expensive than comparable organic PCMs, while offering higher energy densities [1]. Since most application relevant salt hydrates are already known, an increasing number of mixtures of them is being investigated. Prediction models for the calculation of solid-liquid phase diagrams help with the identification of suitable compositions and with reducing experimental effort.

In the project "Property prediction and characterization of mixtures for the development of efficient phase change materials in relevant temperature ranges (properPCM)", the so-called modified BET model was employed [2, 3]. Figure 1 shows the calculated solid-liquid phase diagrams of the two-component systems lithium nitrate-water and magnesium nitrate-water as well as the corresponding three-component system lithium nitrate-magnesium nitrate-water. The three-component system contains the salts lithium nitrate (magenta) and magnesium nitrate (orange) as well as the salt hydrates lithium nitrate trihydrate (blue), magnesium nitrate dihydrate (green), and magnesium nitrate hexahydrate (red). The compositions suitable as PCMs correspond with the compositions of the local temperature minima of the phase interfaces.

In total, the compositions and melting temperatures of more than 150 eutectics were predicted over the project period. To verify the calculations, 40 eutectics were experimentally examined via differential scanning calorimetry. Subsequently, 16 verified eutectics were subjected to thermal cycling stability tests over a prolonged period. In the assessment of the cycle stability, special attention was paid to the visual detection of a possible phase separation. Figure 2 shows two

1

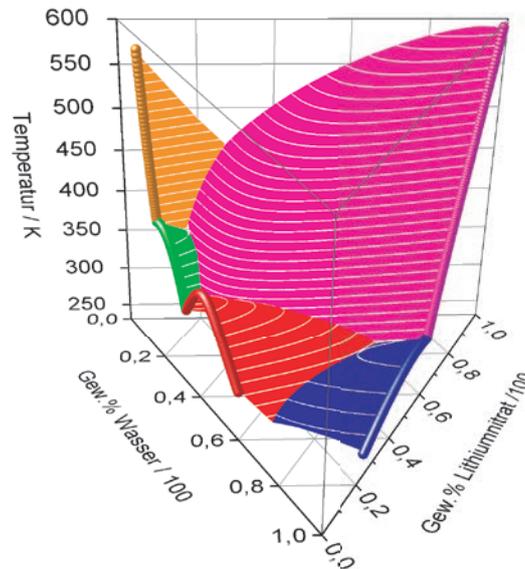
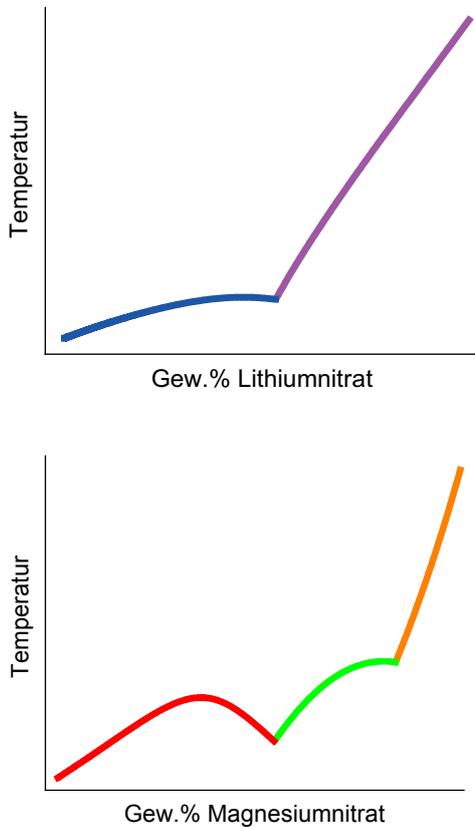


Abb. 1: Phasendiagramme Lithiumnitrat–Wasser (links oben), Magnesiumnitrat–Wasser (links unten), Lithiumnitrat–Magnesiumnitrat–Wasser (rechts)

Fig. 1: Phase diagrams lithium nitrate–water (top left), magnesium nitrate–water (bottom left), lithium nitrate–magnesium nitrate–water (right)

nen längeren Zeitraum thermischen Zyklenstabilitätstests unterzogen. Bei der Beurteilung der Zyklenstabilität wurde besonderes Augenmerk auf die visuelle Erkennung einer möglichen Phasenseparation gelegt. Abbildung 2 zeigt zwei Proben nach 135 Schmelz- und Kristallisationsübergängen bei einer Temperatur oberhalb der berechneten Schmelztemperatur. Während Probe Nr. 43 keine Phasenseparation aufweist, deutet die Feststoffablagerung am Boden von Probe Nr. 60 auf eine leichte Separation hin.

Die Durchführung thermischer Zyklenstabilitätstests unter anwendungsorientierten Bedingungen und die visuelle Untersuchung auf Phasenseparation ermöglichen die zuverlässige Bewertung der Langzeitstabilität Salz-Wasser-basierter PCM. In Zukunft können mit Hilfe der entwickelten Methodik kosteneffiziente PCM mit hohen Energiedichten für energierelevante Temperaturbereiche bereitgestellt werden.

samples after 135 melting and crystallisation transitions at a temperature above the calculated melting point. While sample no. 43 shows no phase separation, the sediment at the bottom of sample no. 60 indicates a slight separation.

Thermal cycling stability tests under application-oriented conditions and the visual examination for phase separation allow for reliable evaluation of the long-term stability of salt–water based PCMs. In the future, the developed methods can be used to provide cost-efficient PCMs with high energy densities for energy-relevant temperature ranges.

Abb. 2: Visuelle Untersuchung der Phasenseparation von Salzhydratmischungen nach thermischer Zyklierung

Fig. 2: Visual examination of phase separation in salt hydrate mixtures after thermal cycling



2.6

PHASENWECHSELMATERIALIEN IN DEMONSTRATIONSANWENDUNGEN

PHASE CHANGE MATERIALS IN DEMONSTRATION APPLICATIONS

Autor | Author
H. Weigländer, F. Klinker

Ansprechpartner | Contact
Dr. Helmut Weigländer
Projektleiter
Energieoptimierte Gebäude
Project Manager
Energy-Optimised Buildings

Bereich | Division
Energieeffizienz
Energy Efficiency
+49 931 70564-348
helmut.weigländer
@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
FKZ 03ET1240A

Kooperationspartner | Partners
Rubitherm Technologies GmbH

va-Q-tec AG
Universität Kassel,
Fachgebiet Bauphysik
Ingenieurbüro
Prof. Dr. Hauser GmbH
Deerns Deutschland GmbH
Fraunhofer Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Ecowin GmbH
Prof. Dr. Gäth & Partner
H. M. Heizkörper
GmbH & Co. KG

Literatur | References
[1] Weigländer Helmut, PCM-Demo II: PCM in Demonstrationsanwendungen, Abschlussbericht, TIB Hannover.

Im Juni 2019 endete das vom ZAE Bayern koordinierte und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Verbundvorhaben „PCM-Demo II“. Es behandelte die Evaluierung unterschiedlicher Systeme mit PCM (Phasenwechsellmaterialien) für den Einsatz in Gebäuden. Dabei sollten einerseits Betriebserfahrungen gesammelt, andererseits die energetische Performance der Systeme ermittelt werden.

Die PCM-Systeme befanden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien von der Forschungsinstallation bis zum kommerziell ausgeführten Projekt. Im Einzelnen handelte es sich um:

- Eine hinterlüftete PCM-Kühldecke (Forschungsinstallation),
- PCM-Kompaktspeicher zur Belüftung von Büroräumen (Prototypeninstallation),
- PCM-gestützte Lüftungsgeräte für Büroräume (Forschungsinstallation),
- ein Energiespeicherhaus mit PCM-haltigem Estrich (Forschungsinstallation),
- eine wasserdurchströmte PCM-Kühldecke (kommerzielle Installation),
- PCM-Gipskartonplatten an Decken und Wänden zur passiven Raumkühlung (kommerzielle Installation),
- einen modularen PCM-Wärmespeicher für Wohngebäude (Prototypeninstallation).

Es zeigte sich, dass die Systeme äußerst energieeffizient arbeiten können. Ein Lüftungssystem mit PCM-Kompaktspeichern (Abb. 1) erreichte mittlere Arbeitszahlen (EER) von 4 bis 7 (Abb. 2). Konventionelle Systeme erreichen üblicherweise EER von 3 bis 4. In der untersuchten Sommerperiode überstieg die maximale Raumlufttemperatur 26 °C nicht. Andere Systeme erreichten EER von bis zu 10, allerdings bei teilweise höheren Raumtemperaturen. Voraussetzung für eine

The joint project "PCM-Demo II", coordinated by ZAE Bayern and funded by the Federal Ministry for Economics and Energy, ended in June 2019. It involved the evaluation of different systems employing PCM (phase change materials) for building services. The objective was to gather operational experience on the one hand while determining the systems' energetic performance on the other.

The PCM systems were in various stages of development, from research installation to commercial project. In detail they were:

- a ventilated PCM cooling ceiling (research installation),
- compact PCM storages for the ventilation of offices (prototype installation),
- PCM-supported office ventilation units (research installation),
- an energy storage house with PCM added to the screed (research installation),
- a water-cooled PCM cooling ceiling (commercial installation),
- PCM plasterboards on ceilings and walls for passive space cooling (commercial installation),
- a modular PCM heat storage for residential buildings (prototype installation).

The systems proved capable of operating at very high energy efficiency. A ventilation system with compact PCM storages (Fig. 1) achieved an average energy efficiency ratio (EER) of 4 to 7 (Fig. 2). Conventional systems achieve typical EERs of 3 to 4. Over the examined summer period, the maximum room temperature did not exceed 26 °C. Other systems achieved EERs up to 10, but partly at higher room temperatures. A high energy efficiency always requires the cool night air to be fed into the room after flowing through the storage to regenerate the PCM. Thus, also its remaining cooling potential is used for nocturnal room cooling.



hohe Energieeffizienz ist hierbei immer, dass die zur Regeneration des PCM verwendete kühle Nachtluft nach Durchströmen des Speichers dem Raum zugeführt wird. So wird auch ihr verbleibendes Kühlpotenzial zur nächtlichen Raumauskühlung genutzt.

Im Projekt wurde aber auch deutlich, dass PCM-Systeme in der Praxis nicht immer optimal betrieben werden. Regelung und Betriebsparameter sind, selbst bei kommerziellen Installationen, häufig nicht auf das System abgestimmt. Dies kann schlimmstenfalls sogar den Energieverbrauch erhöhen. In Schulungsräumen, die mit einem PCM-Kühldeckensystem ausgerüstet waren, stellten die Nutzer die Thermostate fast durchgängig auf Temperaturen unterhalb des Phasenwechselbereichs des verwendeten PCM. Seine passive Kühlwirkung konnte sich so nicht entfalten, da die aktive Kühlung bereits vorher zuschaltete. Nichtsdestotrotz wurde das ungenutzte PCM jede Nacht aktiv regeneriert.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass seitens der Planer, ausführenden Gewerke, Gebäudebetreiber und Nutzer erheblicher Informations- und Abstimmungsbedarf besteht, was Auslegung, Installation und Betrieb von PCM-Systemen betrifft. Eine solche Abstimmung ist besonders dann schwierig, wenn auch die Nutzer miteinbezogen werden müssen. Zum Zeitpunkt der Planung und Gebäudeerstellung sind diese oft noch nicht bekannt, später können sie wechseln. Weiterhin besteht noch Bedarf an der Entwicklung geeigneter Regelstrategien. Erst wenn diese beiden Hemmnisse erfolgreich ausgeräumt sind, kann das beträchtliche Energieeinsparpotenzial der PCM-Systeme voll genutzt werden.

The project, however, also revealed that PCM systems are not always operated ideally in practice. Controls and operating parameters are often not properly adapted to the system, even in commercial installations. In the worst case, this can even increase energy consumption. Almost without exception, the users of seminar rooms equipped with a PCM cooling ceiling set the thermostats to temperatures below the phase change range of the applied PCM. This prevented the passive cooling effect from unfolding, since the active cooling was set to activate sooner. Nevertheless, the unused PCM was actively regenerated every night.

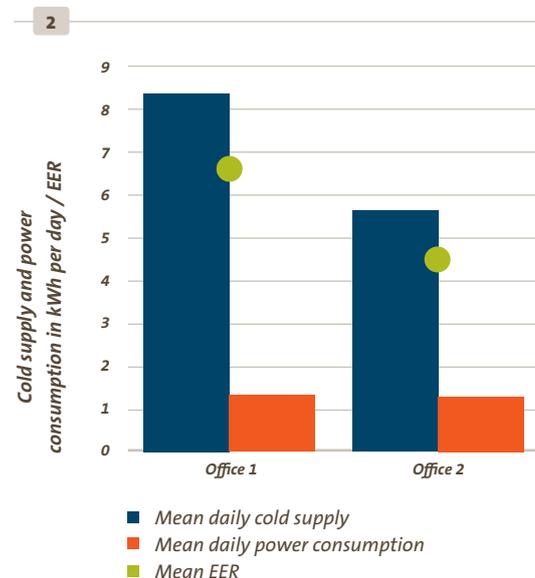


Abb. 1: Prototypinstallation von PCM-Kompaktspeichern zur temperierten Frischluftversorgung zweier Büroräume © Rubitherm Technologies GmbH

Fig. 1: Prototype installation of compact PCM storages supplying tempered fresh air to two offices © Rubitherm Technologies GmbH

Abb. 2: Mittlere tägliche Energiemengen für in den Raum eingebrachte Kälte und Stromverbrauch (beide Werte für Kühl- und Regenerationsbetrieb) sowie mittlere EER für das System aus Abb. 1

Fig. 2: Mean daily energy consumption for space cooling and electricity (both values for cooling and regeneration) and average EER for the system in Fig. 1

The results reveal how planners, contractors, building operators, and users have a considerable need for information and coordination regarding the design, installation, and operation of PCM systems. Such coordination becomes particularly difficult once the users need to be involved. At the time of planning and building construction, they are often not yet known; later on, they may change. Moreover, there is a need for the development of suitable control strategies. Only when these two obstacles have been successfully removed, the considerable energy saving potential of PCM systems can be put to full use.

2.7

ENTWICKLUNG GANZHEITLICH OPTIMIERTER QUARTIERE: CLEANTECHCAMPUS GARCHING

DEVELOPMENT OF HOLISTICALLY OPTIMISED QUARTERS: CLEANTECHCAMPUS GARCHING

Autor | Author
A. Hermes, J. M. Kuckelkorn

Ansprechpartner | Contact
M.Sc. Anna Hermes
 Projektleiterin
 Systementwicklung
 Project Manager
 Systems Engineering

Bereich | Division
Energiespeicherung
 Energy Storage
 +49 89 329442-57
 anna.hermes@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
 FKZ 03ET1407B

Kooperationspartner | Partners
Technische Universität München (TUM)
Hochschule Ansbach
SWM Services GmbH

Der Forschungscampus in Garching, auf dem auch der Bereich Energiespeicherung des ZAE Bayern zu finden ist, ist ein Beispiel für ein hochkomplexes Quartier mit verschiedensten Gebäudenutzungsarten. Ein Großteil der Gebäude gehört zur Technischen Universität München (TUM) und wird von 7500 Beschäftigten und 17000 Studenten genutzt. Seit den 1970er-Jahren verlegt die TUM nach und nach Fakultäten, Institute und Teile der Verwaltung von ihrem Stammgelände in München nach Garching [1]. Zudem sind am dortigen Campus zahlreiche Forschungseinrichtungen, einige Lehrstühle der Ludwig-Maximilians-Universität München und das Leibniz-Rechenzentrum vertreten (Abb. 1). Diese kontinuierlich gewachsene Struktur bedingt Gebäude diverser Baualtersklassen mit entsprechend unterschiedlicher Qualität der Gebäudehülle und -technik. Auch für die kommenden Jahre ist ein stetiger Ausbau des Campus geplant. Der vorläufige Endausbau wird aktuell für das Jahr 2040 erwartet.

Im Jahr 2016 begann das Verbundvorhaben „CleanTechCampus Garching“, in dem, unter Berücksichtigung des fortlaufenden Ausbaus, innovative Strategien für die zukünftige Energieversorgung des Campus entwickelt wurden. Das ZAE übernahm dabei unter anderem die Analyse von Versorgungsstrategien im Bereich der Erzeugung und Verteilung von Wärme und Kälte.

Die Wärmebereitstellung erfolgt aktuell über ein lokales, durch die TUM betriebenes Heizkraftwerk. Die dort erzeugte Wärme wird über ein Heißwassernetz an die Abnehmer verteilt. Die Kälteerzeugung findet überwiegend dezentral statt, wobei sowohl Absorptions- als auch Kompressionskältemaschinen zum Einsatz kommen. Zudem existiert ein Brunnenwassernetz, das vor allem der Kühlung von Laboren und Rückkühlung von Kältemaschinen dient.

The research campus in Garching, where ZAE Bayern's energy storage division is located, is an example for a highly complex quarter with a wide range of building utilisation types. The majority of the buildings are owned by the Technical University of Munich (TUM) and used by 7500 employees and 17000 students. Since the 1970s, the TUM has been gradually relocating faculties, institutes, and parts of its administration from its main grounds in Munich to Garching [1]. Additionally, numerous research facilities, several chairs of the Ludwig-Maximilians-Universität München, and the Leibniz Supercomputing Centre are located on the campus (Fig. 1). This gradually grown structure results in buildings of various age classes with correspondingly varying quality of building envelope and technology. Further steady expansion of the campus is planned for the coming years. The preliminary final expansion is currently expected for the year 2040.

In 2016, the joint project "CleanTechCampus Garching" was launched, in which innovative strategies for the future energy supply of the campus were developed under consideration of the ongoing expansion. ZAE Bayern took responsibility, among other things, for the analysis of supply strategies in the area of heat and cold generation and distribution.

The heat supply is currently provided by a local cogeneration plant operated by the TUM. The heat is then distributed to the consumers via a local heat network. Cooling is mainly decentralised, with both absorption and compression chillers in use. Moreover, there is a well water network, primarily used for cooling laboratories and re-cooling refrigeration machines.

By developing future scenarios and network simulations, several options for the expansion of the district heating system have been developed within the project. Options for increasing energy efficiency by lower-



Abb. 1: Luftbildaufnahme des Forschungscampus Garching
© Ernst A. Graf/TUM

Fig. 1: Aerial view of the research campus in Garching
© Ernst A. Graf/TUM

Durch Entwicklung von Zukunftsszenarien und Netzsimulationen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts verschiedene Ausbauvarianten im Bereich der Fernwärme erarbeitet. Geprüft wurden auch Möglichkeiten, mittels Absenkung der Vor- und Rücklauftemperaturen des Fernwärmenetzes die Energieeffizienz zu erhöhen und künftig innovative Technologien mit niedrigeren Systemtemperaturen einbinden zu können.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Dimensionierung der Bestandsleitungen auch für das Endausbauszenario eine deutliche Absenkung der Netztemperaturen und auch eine Verringerung der Temperaturspreizung erlaubt. Weiterhin wurden verschiedene Versorgungsstrategien, wie zum Beispiel zur zentralen und dezentralen Kältebereitstellung, erarbeitet und verglichen.

Die Ergebnisse dieser Betrachtungen flossen in die durch die Projektpartner an der TUM betreute Gesamtsimulation ein, in der spartenübergreifend die Entwicklung der Strom- Wärme- und Kälteversorgung modelliert und optimiert wurde. Auf dieser Basis wurde gemeinsam eine Roadmap bis zum Jahr 2040 entwickelt. Die Ergebnisse des Vorhabens werden Mitte 2020 veröffentlicht.

ing the flow and return temperatures of the local heat network were also examined to allow for the future integration of innovative technologies with lower system temperatures.

The simulation results show that the existing piping's dimensioning is sufficient to allow for a significant reduction of grid temperatures and a reduction of the temperature spread for the final expansion scenario. Furthermore, different supply strategies, e.g. for centralised and decentralised cold supply, were developed and compared.

The results of these considerations were incorporated into the overall simulation conducted by the project partners at TUM, in which the development of the electricity, heat, and cold supply was modelled and optimised across all sectors. On this basis, a roadmap leading to the year 2040 was jointly developed. The project results will be published in mid-2020.

Literatur | References
[1] Technische Universität München
www.forschung-garching.tum.de

2.8

ENTWICKLUNG EINES PRÜFVERFAHRENS FÜR THERMAL-RESPONSE-TEST-MESSEINRICHTUNGEN

DEVELOPMENT OF A TESTING PROCEDURE FOR THERMAL RESPONSE TEST MEASURING EQUIPMENT

Autor | Author
H. Karrer

Ansprechpartner | Contact
Dipl.-Ing. Hanne Karrer
Stellv. Gruppenleiterin
Solarthermie und Geothermie
Deputy Head of Group
Solar Thermal and Geothermal

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 89 329442-48
hanne.karrer@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
**Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie**
FKZ 03ET1386A-G

Kooperationspartner | Partners
**European Institute for Energy
Research (EIFER)**

**Karlsruher Institut für
Technologie, Institut für
Angewandte Geowissen-
schaften (KIT AGW)**

**Hochschule Biberach, Institut für
Gebäude- und Energiesysteme
(HBC IGE)**

**Steinbeis-Forschungsinstitut
für solare und zukunftsfähige
thermische Energiesysteme
(Solites)**

enOware GmbH

Burkhardt GmbH

Literatur | References
[1] Verein Deutscher Ingenieure
e. V., VDI-Richtlinie 4640 Blatt 5
Entwurf: Thermische Nutzung des
Untergrunds – Thermal Response
Test, Beuth Verlag GmbH, Düssel-
dorf, 2016.

Aufgrund der großen Bandbreite möglicher Anwendungen kann die oberflächennahe Geothermie mit Erdwärmesonden und verwandten Systemen einen wichtigen Beitrag zur Energiewende liefern. Erdwärmesonden sind vertikal bis zu 400 m tief ins Erdreich eingebrachte U-Rohre oder Koaxialrohre, über die dem Untergrund Heizwärme entzogen oder Abwärme, beispielsweise aus der Gebäudekühlung, zugeführt wird. Mittels mehrerer, nahe zusammenliegender Erdwärmesonden können auch preiswerte Wärmespeicher realisiert werden. Da es sich dabei um einen Eingriff in den Untergrund mit möglichen Folgen für Grundwasser und Boden handelt, muss bei Planung, Bau und Betrieb besonders sorgfältig gearbeitet werden. So werden ein effizienter Betrieb bei hoher Anlagenlebensdauer gewährleistet und potenzielle Schäden zuverlässig vermieden. Im BMWi-geförderten Verbundvorhaben „Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II mit Beteiligung am IEA ECES Annex 27“ untersuchen daher sieben Verbundpartner in sechs Teilprojekten verschiedene Aspekte der Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden.

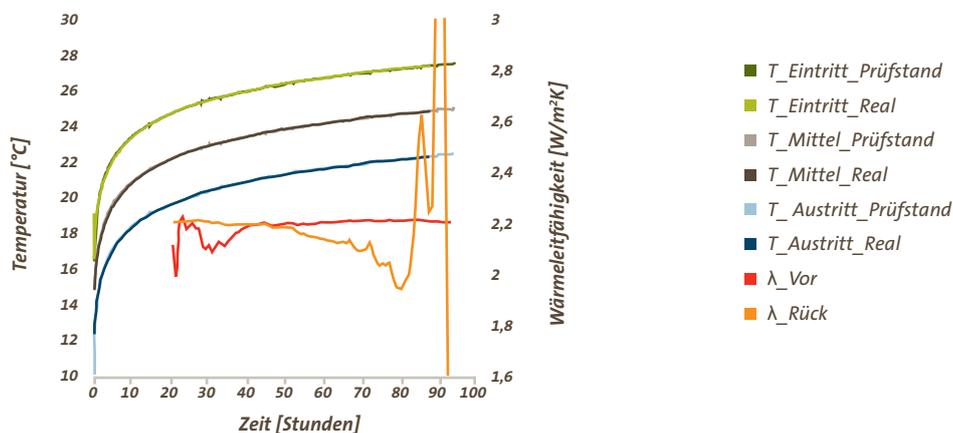
Unter anderem wurde ein Verfahren zur Überprüfung von Messeinrichtungen für Thermal-Response-Tests

Owing to its wide range of possible applications, near-surface geothermal energy generation via geothermal probes and related systems can contribute significantly to the transformation of the energy system. Geothermal probes are U-pipes or coaxial pipes, inserted vertically into the ground down to a maximum depth of 400 m, through which heat is extracted from the subsoil for heating purposes or waste heat, for example from the cooling of buildings, is fed into it. Using several geothermal probes in close proximity, inexpensive heat storages may be realised as well. Since this poses an interference with the subsoil, possibly resulting in consequences for groundwater and soil, particular care must be taken during planning, construction, and operation. This ensures efficient operation and a long service life while reliably preventing potential damage. In the joint project "Quality assurance for geothermal probes II with participation in IEA ECES Annex 27", funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, seven partners are therefore investigating various aspects of quality assurance for geothermal probes in six subprojects.

Among other things, a procedure for the testing of measuring equipment for thermal response tests (TRT)

2

TRT am Prüfstand und an realer Sonde ZAE B1 in Wolfersdorf



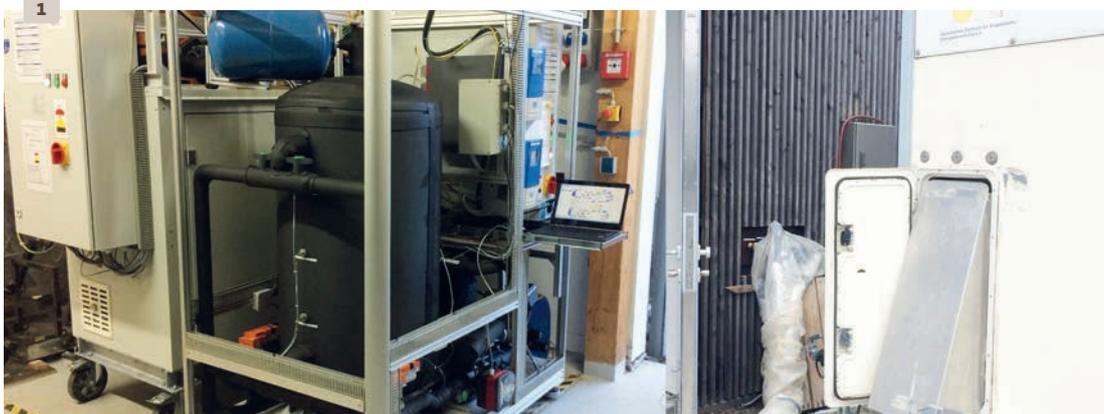


Abb. 1: Am ZAE Bayern entwickelter und aufgebauter TRT-Prüfstand mit angeschlossenem TRT-Gerät

Fig. 1: TRT testing rig developed and set up at ZAE Bayern with TRT device connected

(TRT) nach der VDI-Richtlinie 4640, Blatt 5 [1] entwickelt. Der TRT hat sich seit Anfang der 2000er-Jahre in Deutschland als Verfahren zur In-situ-Bestimmung thermischer Parameter des Untergrunds bei der Auslegung großer geothermischer Anlagen bewährt. Beim fluidgesteuerten TRT wird dem Untergrund über eine erste Testsonde Wärme zugeführt und die Temperaturantwort der Sonde über die Zeit gemessen. Allerdings weisen TRT-Geräte teilweise erhebliche Unterschiede auf, da einerseits die genutzten Messeinrichtungen meist von den Anbietern selbst konzipiert und gebaut werden, andererseits unterschiedliche Auswerteverfahren zum Einsatz kommen.

Mit dem neu entwickelten Prüfstandverfahren kann nun, neben dem TRT-Gerät selbst, auch das Auswerteverfahren geprüft werden. Da es sich um eine Prüfstandmessung handelt, bei der die Erdwärmesonde emuliert wird, kann unter standardisierten und reproduzierbaren Randbedingungen gearbeitet werden. Der durch das ZAE entwickelte und gebaute Prüfstand funktioniert nach dem Hardware-in-the-Loop-Prinzip: Das TRT-Gerät wird an ihn angeschlossen wie an eine Erdwärmesonde (Abb. 1). Er misst Eintrittstemperatur und Volumenstrom und gibt die Werte an ein Simulationsmodell weiter. Dieses berechnet, unter Einbezug der vorgegebenen Untergrundeigenschaften, eine Austrittstemperatur, welche wiederum durch den Prüfstand an das TRT-Gerät ausgegeben wird. Erste Versuche ergaben eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen Messungen an einer realen Sonde und am Prüfgerät, das dieselben Untergrundeigenschaften emulierte (Abb. 2). Der Prüfstand wurde Anfang März auf der Fachmesse GeoTHERM in Offenburg vorgestellt und stieß auf reges Interesse bei TRT-Anbietern.

according to VDI guideline 4640, sheet 5 [1] was developed. Since the early 2000s, the TRT has proven a viable method for the in-situ determination of thermal parameters of the subsoil when designing large geothermal plants in Germany. In fluid-controlled TRTs, a first test probe is used to introduce heat to the subsoil, the temperature response of the probe is measured over time. TRT devices, however, may differ considerably, since on the one hand the utilised measuring equipment is usually designed and built by the service providers themselves, on the other hand different evaluation methods are being employed.

The newly developed procedure now allows for testing of the TRT device itself as well as of the evaluation method. Since it is a testing rig method with an emulated geothermal probe, work can be carried out under standardised and reproducible boundary conditions. The testing rig developed and built by ZAE follows the hardware-in-the-loop principle: the TRT device connects to it like to an actual geothermal probe (Fig. 1). The rig measures inlet temperature and volume flow, then passes these values on to a simulation model. The model calculates an outlet temperature, taking into account the given subsoil properties, which in turn is output to the TRT device by the testing rig. First trials revealed a very high degree of correspondence between measurements on a real probe and the testing rig emulating the same subsoil properties (Fig. 2). The testing rig was presented at the GeoTHERM trade fair in Offenburg in early March and met with great interest by TRT providers.

Abb. 2: Die hellblaue, dunkelgrüne und graue Linie zeigen die Austritts-, Eintritts- und Mitteltemperatur gemessen am Prüfstand, die dunkelblaue, hellgrüne und dunkelgraue Linie die Austritts-, Eintritts- und Mitteltemperatur gemessen an einer realen Sonde. Die Konvergenz des Ergebnisses für die Wärmeleitfähigkeit bei der Prüfstandmessung ist einmal als sequenzielle Vorwärtsauswertung (rote Linie) und einmal als sequenzielle Rückwärtsauswertung (orange Linie) aufgetragen.

Fig. 2: The light blue, dark green and grey lines show the outlet, inlet, and average temperature measured with the testing rig, the dark blue, light green, and dark grey lines show the outlet, inlet, and average temperature measured on a real probe. The convergence of the result for thermal conductivity during the testing rig measurement is plotted once as sequential forward evaluation (red line) and once as sequential backward evaluation (orange line).

2.9

HOCHEFFIZIENTE KRAFT-WÄRME-KÄLTE-KOPPLUNG FÜR INDUSTRIE UND GEWERBE

HIGHLY EFFICIENT TRIGENERATION FOR INDUSTRY AND COMMERCE

Autor | Author
C. Wuschig

Ansprechpartner | Contact
Dipl.-Ing. Christian Wuschig
Projektleiter
Wärmetransformation
Project Manager
Heat Conversion

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 89 329442-44
christian.wuschig
@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
**Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie**
FKZ 03ET1013A

**Bayerisches Staatsministerium
für Wirtschaft, Landesent-
wicklung und Energie**
FKZ 44-6665a2/84/4

Kooperationspartner | Partners
Scherdel Energietechnik GmbH
Kompetenzzentrum für
**Kraft-Wärme-Kopplung an der
Ostbayerischen Technischen
Hochschule Amberg-Weiden**

Literatur | References
[1] M. Riepl, Naturumlaufaustreiber für mehrstufige Absorptionswärmepumpen, Dissertation, TU München, Fakultät für Maschinenwesen, vstl. 06/2020.
[2] C. Wuschig et al., Entwicklung einer hocheffizienten Kraft-Wärme-Kälte-Anlage, Schlussbericht zu FKZ 03ET1013A.

Die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) gehört zu den der effizientesten Möglichkeiten, Erdgas in Strom und Wärme umzuwandeln. Die Technologie ist ein wichtiger Baustein der Energiewende, da sie gut genug regelbar ist, um die Schwankungen der Strombereitstellung aus Wind und Sonne auszugleichen. Biogas und Brennstoffe aus Power-to-Gas-Verfahren machen ihre Nutzung auch in der Zukunft sinnvoll und wahrscheinlich.

Die in einem solchen BHKW erzeugte Wärme kann eine Absorptionskältemaschine (AKM) antreiben und so Kälte für den Nutzer bereitstellen. Solche Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssysteme (KWKK-Systeme) verbessern in einer Vielzahl von Anwendungsfällen in Industrie, Gewerbe, Krankenhäusern oder Rechenzentren die Wirtschaftlichkeit und Effizienz von BHKWs oder machen deren Einsatz erst sinnvoll. Für die Anwendung im kleinen Leistungsbereich (< 250 kW) sind AKM auf dem Markt verfügbar, die mit einem Wirkungsgrad (EER = Energy Efficiency Ratio) von 0,75 Wärme in Kälte umwandeln können.

Das ZAE entwickelt für BHKW mit elektrischer Leistung von ca. 20 kW ein KWKK-System mit angepasster Kältemaschine, deren EER bei 0,9, also 20 % über dem Stand der Technik, liegt. Möglich wird dies durch einen speziell entwickelten Rauchgaswärmeübertrager, der die Wärme aus dem Abgas des BHKW an das Arbeitsmedium der AKM weitergibt (Abb. 1). Herausforderungen, um einen wirtschaftlichen Einsatz in diesem kleinen Leistungsbereich zu ermöglichen, sind dabei die Effizienz des Wärmeübertragers, aber auch die Prozesssicherheit bei Rauchgastemperaturen von 500 °C und eine kompakte Bauweise [1]. Gemeinsam mit der Scherdel Energietechnik GmbH wurde ein KWKK-System mit einer solchen AKM entwickelt [2] und im La-

Decentralised combined heat and power generation (CHP) via cogeneration unit is one very efficient way of converting natural gas into electricity and heat. The technology is an essential component of the energy transition, as it is controllable enough to compensate for fluctuations in the electricity supply from wind and sun. Biogas and power-to-gas fuels offer good long-term prospects for their use.

The heat generated in a CHP plant can drive an absorption chiller and thus provide cooling for the user. Such combined cooling, heat, and power (CCHP) systems improve the economy and efficiency of CHP units in a variety of applications in industry, commerce, hospitals, or computing centres, or make their use sensible in the first place. For low-power applications (< 250 kW), there are absorption chillers available on the market, capable of converting heat into cold at an efficiency of 0.75.

ZAE is developing a CCHP system with adapted chiller for CHP units with an electrical output of approx. 20 kW. The chiller's EER is at 0.9, i.e. 20 % above the state of the art. This is made possible through a specially developed flue gas heat exchanger which transfers heat from the CHP's exhaust gas to the working medium of the absorption chiller (Fig. 1). The main challenges for economical use in this small capacity range are the efficiency of the heat exchanger, process reliability at flue gas temperatures of 500 °C, and compact design [1]. In cooperation with Scherdel Energietechnik GmbH, a CCHP system with this type of absorption chiller was developed [2] and set up in ZAE's laboratory (Fig. 2). The flue gas heat exchanger and overall system were successfully tested.

1

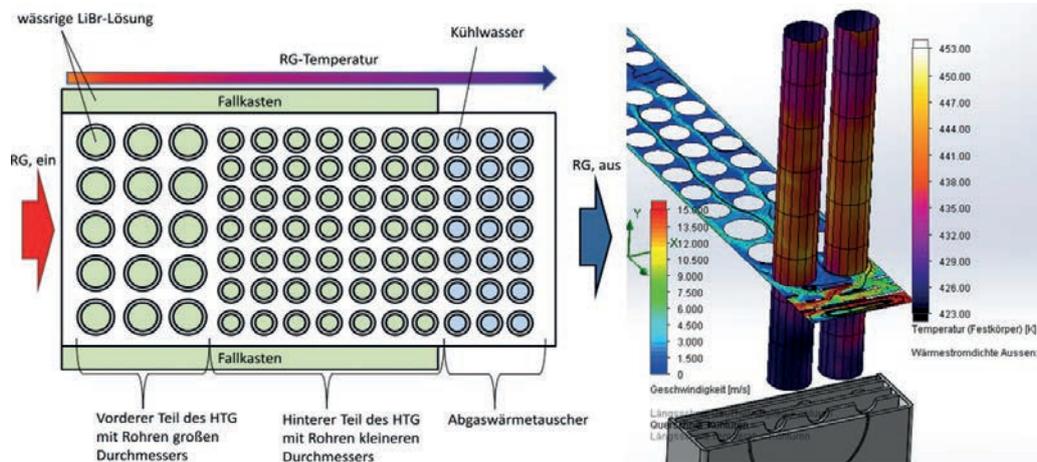


Abb. 1: Aufbaukonzept und Analyse des rauchgasbetriebenen Wärmeübertragers

Fig. 1: Design and analysis of the flue gas driven heat exchanger

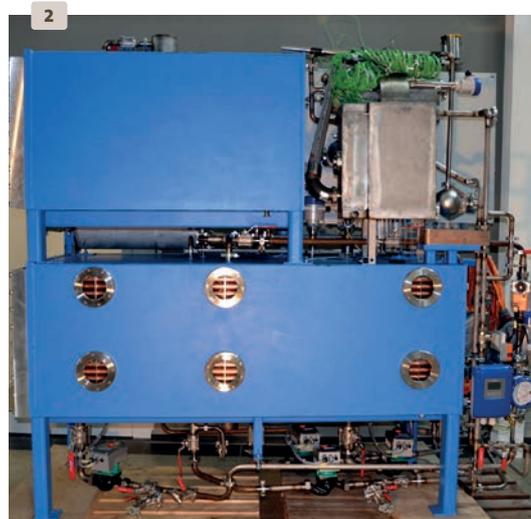
bor des ZAE aufgebaut (Abb. 2). Der Rauchgaswärmeübertrager und das Gesamtsystem wurden erfolgreich erprobt.

In einem zweiten Projekt („Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für Industrie und Gewerbe“) in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung wird nun die Konstruktion der AKM überarbeitet, um kleiner (Zielgröße eine Europalette) und leichter zu werden. Außerdem wird das Gesamtsystem weiter validiert und optimiert. In Folge ist dann die Demonstration der Funktionalität und Wirtschaftlichkeit des Systems in realen Anwendungen vorgesehen. Potenzielle Anwender für einen Feldtest werden noch gesucht.

In a second project (“Trigeneration for Industry and Commerce“), carried out in cooperation with the Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung, the chiller's design is now being revised in order to shrink in size (the target size is one euro pallet) and weight. Also, the overall system is being further validated and optimised. Subsequently, the functionality and economic efficiency of the system are to be demonstrated in real applications. We are still looking for potential users for a field test.

Abb. 2: Gemeinsam mit Scherdel Energietechnik entwickelte Absorptionskältemaschine mit Rauchgaswärmeübertrager für einen EER von 0,9

Fig. 2: Absorption chiller with flue gas heat exchanger jointly developed with Scherdel Energietechnik for an EER of 0.9



2.10

HÖHERE LEISTUNGSDICHTE, WENIGER EDELMETALL – DIE PEM-ELEKTROLYSE NÄHERT SICH DER GIGAWATT-SKALA

HIGHER POWER DENSITY, LESS NOBLE METAL – PEM ELECTROLYSIS IS APPROACHING THE GIGAWATT SCALE

Autor | Author
M. Möckl

Ansprechpartner | Contact
Maximilian Möckl
Projektleiter
Elektrochemische Energiespeicher
Project Manager
Electrochemical Energy Storage

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 089 329442-77
maximilian.moeckl
@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Bundesministerium für Bildung und Forschung FKZ 035FK211-2

Kooperationspartner | Partners
Helmholtz-Zentrum Berlin
Prof. Marcus Bär

Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg
Prof. Karl Mayrhofer

Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Physikalische Chemie
Prof. Thomas Bein

Technische Universität München, Lehrstuhl für Technische Elektrochemie
Prof. Hubert A. Gasteiger

Technische Universität München, Lehrstuhl für Theoretische Chemie
Prof. Karsten Reuter

Technische Universität München, Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme
Prof. Thomas Hamacher

Greenerity GmbH

Heraeus GmbH

H-TEC GmbH

Linde AG

Dank Elektrolyse und Direct-Air-Capture sind wir einer Zukunft ohne fossile Energieträger technisch bereits relativ nahe. Mit Strom aus erneuerbaren Quellen können aus Wasser Wasserstoff gewonnen oder aus der Luft hochreines CO₂ und Stickstoff abgeschieden werden. Die Synthese von Methan, Ammoniak und vieler anderer Grundchemikalien benötigt nur wenige weitere Schritte. Im Mobilitätssektor überzeugen die verfügbaren Brennstoffzellenfahrzeuge gegenüber batterieelektrischen Modellen: schnelles Auftanken, hohe Reichweite ohne Einbrüche bei Kälte und weniger ressourcenintensive Herstellung. Die hohen Preise allerdings schrecken noch viele Käufer ab. Und auch der Anteil an erneuerbarem Strom im Netz ist noch zu gering, um gegenüber der Nutzung fossiler Energieträger eine signifikante CO₂-Einsparung zu bewirken.

In der Praxis stehen diese Ersatztechnologien für fossile Energieträger also noch ganz am Anfang. Wasserstoff aus Elektrolyse macht nur wenige Prozent des gesamten Verbrauchs aus. Deutschlands aktuell größte geplante Elektrolyseanlage im Hamburger Hafen soll etwa 100 MW leisten. Das wäre gut zehnmals mehr als der bisherige Spitzenreiter, in Anbetracht unseres enormen Energieverbrauchs aber dennoch zu wenig. Nur 50 bis 100 der gut 15000 deutschen Tankstellen könnte die neue Anlage versorgen.

Um die weltweite Mobilität auf Wasserstoff umzustellen, müssten bis 2100 jährlich etwa 150 GW Elektrolyseleistung neu installiert werden [1]. In solchen Dimensionen wird aber die Materialverfügbarkeit zum kritischen Parameter: Die Anoden aller heute eingesetzten PEM-Elektrolyseure (PEM = Proton Exchange Membrane) basieren auf Iridium. Dessen Eignung ist bisher ohne Vergleich, ein Ersatz auch mittel- bis langfristig nicht in Aussicht.

Owing to electrolysis and direct air capture, a future without fossil fuels appears fairly close. Using electricity from renewable sources, we can extract hydrogen from water or capture highly pure CO₂ and nitrogen from air. The synthesis of methane, ammonia, and many other basic chemicals requires only few additional steps. As regards the mobility sector, the available fuel cell vehicles offer convincing advantages over battery-driven models: quick refuelling, long range with no performance loss at low temperatures, and less resource-intensive production. The high prices, however, are still putting off many buyers. Moreover, the percentage of renewable electricity in the grid is still too low to achieve significant CO₂ savings over the use of fossil fuels.

In practice, these replacement technologies for fossil fuels are therefore still in their infancy. Hydrogen from electrolysis accounts for only a few percent of the total consumption. Germany's largest electrolysis plant, planned to be built in the port of Hamburg, is to have a capacity of about 100 MW. At a good ten times more than the current front-runner, this would still be too little in consideration of our enormous energy consumption. The new plant could supply only 50 to 100 of Germany's roughly 15000 filling stations.

To globally switch all mobility to hydrogen, about 150 GW of new electrolysis capacity would have to be installed annually until the year 2100 [1]. At such dimensions, however, material availability becomes a critical parameter: The anodes of all PEM (Proton Exchange Membrane) electrolyzers in use today are based on iridium. Its suitability is unrivalled to date, and in the medium to long term, there is no sign of a substitute.



Abb. 1: Vollautomatisierter Teststand für PEM-Elektrolyse-Zellstapel

Fig. 1: Fully automatic testing rig for PEM electrolysis cell stacks

Die jährlich verfügbaren etwa 7 Tonnen Iridium erlauben, bei den aktuell gängigen Katalysatorbeladungen von etwa 2 mg/cm^2 , einen Zubau von etwa 10 GW/a . Eine Reduktion der Beladung ist also unumgänglich, alleine schon, um einen Preisanstieg durch Verknappung zu verhindern. Dieses Ziel verfolgen die Partner des Projekts „Kopernikus P2X – Phase 2“. Ein neu entwickeltes Katalysatorsystem ermöglicht eine vergleichbare bis leicht bessere Performance bei einer Iridiumbeladung von nur noch rund $0,2 \text{ mg/cm}^2$.

Das ZAE testet derzeit die Langzeitstabilität der neuen Katalysatoren und entwickelt Methoden, die Lebensdauer von Membran-Elektroden-Einheiten der nächsten Generation zu bestimmen. Darüber hinaus werden Hochleistungszellen mit ca. 5- bis 10-mal höherer Stromdichte als ihre gewöhnlichen Pendanten erforscht. Strom- und Leistungsdichte werden mittels dünner Membranen und optimierter Zellkomponenten ohne Verluste beim Wirkungsgrad gesteigert. Die insgesamt höchste erzielte Stromdichte liegt bei 25 A/cm^2 , die Leistungsdichte bei etwa 75 W/cm^2 [2]. Zum Vergleich: Ähnliche Werte erreichen die Außenflächen der Brennelemente in Kernkraft-Leistungsreaktoren.

Hohe Leistungsdichten sind grundlegend für den industriellen Einsatz von Membranprozessen, da darin Reaktionen nur an zweidimensionalen Grenzflächen ablaufen. Durch Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Beladungsreduktion und laufende Analyse der Alterungsvorgänge bringt das ZAE die PEM-Elektrolyse näher an die Technologiereife für die Gigawatt-Skala und macht eine breite Verwendung von Wasserstoff als Energievektor und Rohstoff der Zukunft ein Stück weit wahrscheinlicher.

The approximately 7 tonnes of iridium available annually allow for an expansion of about 10 GW/a at today's common catalyst loads of about 2 mg/cm^2 . A load reduction is therefore unavoidable, if only to prevent rising prices due to shortages. This is the aim of the partners in the "Kopernikus P2X – Phase 2" project. A newly developed catalyst system provides comparable to slightly better performance at an iridium load of only about 0.2 mg/cm^2 .

ZAE is currently assessing the long-term stability of these new catalysts and developing methods to determine the lifespan of next-generation membrane electrode assemblies. Furthermore, high-performance cells with a current density approximately 5 to 10 times higher than their conventional counterparts are being researched. At no loss in efficiency, current and power density are being increased in these by using thin membranes and optimised cell components. The overall highest current density achieved is 25 A/cm^2 , the highest power density lies around 75 W/cm^2 [2]. For comparison: Similar values can be measured on the outer surfaces of fuel elements in nuclear power reactors.

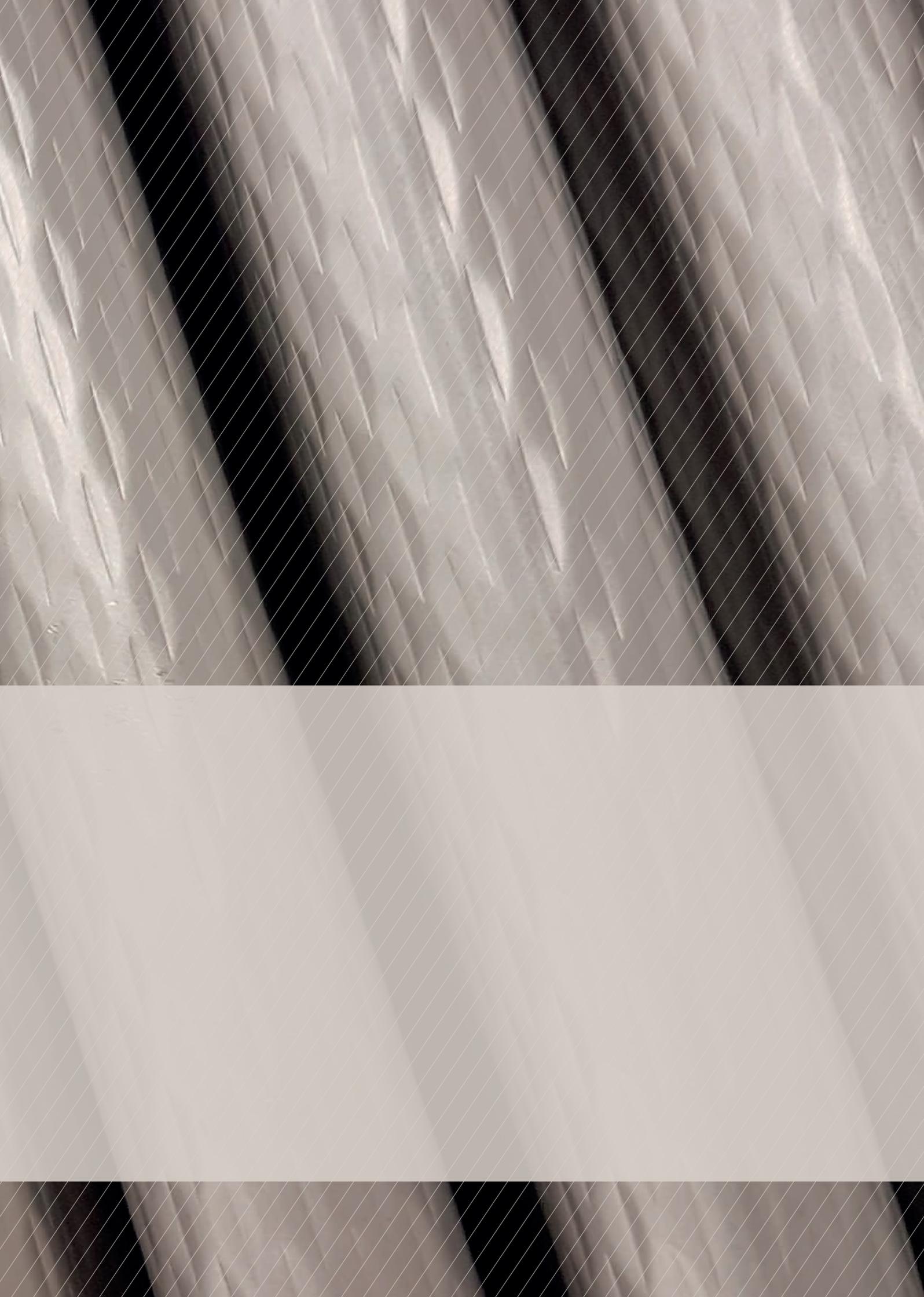
High power densities are essential for the industrial application of membrane processes, since therein reactions only occur at two-dimensional interfaces. By increasing the power output while simultaneously reducing the iridium load and continuously analysing the ageing processes, ZAE is bringing PEM electrolysis closer to technological maturity for the gigawatt scale and increasing the likelihood of a broad use of hydrogen as an energy vector and resource of the future.

Literatur | References

- [1] M. Bernt, A. Siebel, H. Gasteiger, Analysis of Voltage Losses in PEM Water Electrolyzers with Low Platinum Group Metal Loadings, *Journal of The Electrochemical Society*, 165 (5) F305-F314 (2018).
- [2] M. Möckl, M. Bernt, J. Schröter, A. Jossen, Proton exchange membrane water electrolysis at high current densities: Investigation of thermal limitations, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (3), 1417-1428 (2020).

VERÖFFENTLICHUNGEN
PUBLICATIONS

3.0



3.1 VORTRÄGE UND POSTER

PRESENTATIONS AND POSTERS

3.1.1 EINGELADENE PLENARVORTRÄGE PLENARY INVITED LECTURES

C. J. Brabec, **AMANDA – a platform for automated and autonomous solar material & device innovation**, Next-Gen. IV: PV Materials, Groningen, the Netherlands, 09.-12.06.2019

B. Büttner, V. Lenz, F. Giovanetti, M. Knoop, T. Kuhn, B. Bueno et al., **Potenziale im Gebäudesektor für effiziente Energieverwendung**, FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Berlin, Germany, 22.-23.10.2019

V. Dyakonov, **Defects in Silicon Carbide for Quantum Applications**, 1st Sino-German Symposium "Defect Engineering in SiC Device Manufacturing – Atomistic Simulations, Characterization and Processing", Beijing, China, 10.-13.11.2019

V. Dyakonov, **Defects in wide gap silicon carbide**, 8th South African Conference on Photonic Materials, Kariega, South Africa, 06.-10.05.2019

V. Dyakonov, **Light generation pathways in donor:acceptor based emitters under optical and electrical excitation**, 5th International Fall School on Organic Electronics, Moscow Region, Russia, 15.-20.09.2019

V. Dyakonov, **Optically and electrically addressable spin states in 2D and 3D organic and inorganic semiconductors**, 16th International Symposium on Spin and Magnetic Field Effects in Chemistry and Related Phenomena, St. Petersburg, Russia, 18.-23.08.2019

V. Dyakonov, **Room Temperature Initialization and Readout of Intrinsic Spin Defects in a Van der Waals Crystal**, Smart NanoMaterials 2019, Paris, France, 10.-13.12.2019

H.-J. Egelhaaf, **How to make OPV modules with a world record efficiency**, 4th Next Generation Solar Energy Conference, Nürnberg, Germany, 08.-10.12.2019

H.-J. Egelhaaf, **Organic Solar Modules – Photovoltaics Light?**, Synergietreffen der DLR, Erlangen, Germany, 10.10.19

H.-J. Egelhaaf, **Printed Optoelectronic Systems**, Symposium on progress in organic optoelectronics and energy conversion, Malaga, Spain, 12.-13.12.2019

F. Fischer, A. Krönauer, E. Lävemann, A. Hauer, **Mobiler Sorptionsspeicher zur Abwärmenutzung an einer Müllverbrennung**, 8. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 24.-25.06.2019

A. Hauer, **Annex 33: Material Development for Compact Thermal Energy Storage**, 8th Symposium on Heat and Electricity Storage, Swiss Competence Center for Energy Research, Dübendorf, Switzerland, 05.11.19

A. Hauer, **Die Rolle thermischer Energiespeicher in der Energiewende**, 3. Vernetzung 2019 StoREgio, Mannheim, Germany, 24.09.19

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling by Energy Storage Implementation**, Energy Storage Europe 2019: IEA Technology Collaboration Platform "Energy Conservation through Energy Storage" Symposium, Düsseldorf, Germany, 12.-14.03.2019

A. Hauer, **Flexible Sektorkopplung – Die Rolle der Energiespeicherung im zukünftigen Energiesystem**, 4. Herbstworkshop „Energiespeichersysteme“ der TU Dresden, Dresden, Germany, 14.10.19

A. Hauer, **Innovation of Storage Technologies: "Flexible Sector Coupling"**, DCSP/BSW/BVES Workshop "Energy and Heat: Combining CSP, PV and storage Technologies – A holistic approach for making the most of solar energy", Berlin, Germany, 11.04.19

A. Hauer, **Present and Future Role of Thermal Energy Storage in Germany and Around the Globe**, Workshop: "Compact Heat Storage: Research, Development & Markets", Ottawa, Canada, 03.05.19

A. Hauer, **Speicherung thermischer Energie – Möglichkeiten und Grenzen**, 8. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 24.-25.06.2019

A. Hauer, **The Value of Energy Storage**, Energy Storage Europe 2019: "Benefit of Energy Storage for the Energy System", Düsseldorf, Germany, 12.-14.03.2019

A. Hauer, **Thermische Energiespeicher für Elektrizitätserzeugung und industrielle Anwendungen**, FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Berlin, Germany, 22.-23.10.2019

A. Hauer, **Wärmetransport mit Lastkraftwagen**, IEA-Tagung "Thermische Speicher" Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Österreich, Wien, Austria, 07.03.19

N. Kevlishvili, E. Figgemeier, H. Ehrenberg, M. Fichtner, M. Brütting, **Herausforderungen und Perspektiven bei Lithium-Ionen-Batterien**, FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Berlin, Germany, 22.-23.10.2019

J. Manara, **Messung der Emissionsgrade von Folienwärmedämmungen**, Tagung des AK Thermophysik 2019, Leoben, Austria, 08.-09.04.2019

D. Preßl, M. Riepl, **Offene und geschlossene Absorptionssysteme: Aktuelle Forschungstätigkeiten am ZAE Bayern**, ASUE-Arbeitskreissitzung "Gaswärmepumpen/Kältetechnik", Siegburg, Germany, 16.05.19

C. Rathgeber, A. Hauer, **Material and Component Development for Thermal Energy Storage**, Energy Storage Europe 2019: IEA Technology Collaboration Platform "Energy Conservation through Energy Storage" Symposium, Düsseldorf, Germany, 12.-14.03.2019

C. Rathgeber, **Material development for low temperature latent heat storage**, Webinar "IEA SHC Solar Academy: Material and Component Development for Thermal Energy Storage – Task 58", 27.11.19

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Thermal cycling stability of PCM based on salt hydrates**, Workshop: "SCCER HaE", Luzern, Switzerland, 13.11.19

C. Rathgeber, **Wärmespeicherung: Anwendungsbeispiele und Wirtschaftlichkeit**, 6. Treffen des Energieeffizienz-Netzwerks München/Oberbayern, Denklingen, Germany, 20.02.19

C. Rathgeber, E. Lävemann, A. Hauer, **Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher**, 8. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 24.-25.06.2019

3.1.2 FACHVORTÄGE CONTRIBUTED TALKS

R. Abdusalamov, M. Itskov, B. Milow, G. Reichenauer, A. Rege, **Investigation of the fractal properties of aerogels utilizing diffusion-limited aggregation models**, 8th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry, Kassel, Germany, 28.-30.08.2019

K. Anneser, S. Braxmeier, G. Reichenauer, **Influence of micropores to the capacitance of electric double layer capacitors based on gel polymer electrolytes and porous carbon xerogel electrodes**, Hybrid and Nanomaterials Conference, Sitges, Spain, 11.-15.03.2019

K. Anneser, S. Braxmeier, A. Baumann, G. Reichenauer, **Stabilized regenerative power supply via coupling of solar cells with electrical double layer capacitors**, Young Energy Researchers Conference, Wels, Austria, 27.-28.02.2019

M. Armer, J. Höcker, L. Kudriashova, S. Hammer, K. Tvingstedt, A. Baumann et al., **Structural and optical properties of Cs₂AgBiBr₆, a lead-free perovskite for photovoltaic applications**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

- M. Armer, J. Höcker, L. Kudriashova, S. Hammer, K. Tvingstedt, A. Baumann et al., **Structural and optical properties of Cs₂AgBiBr₆, a lead-free perovskite for photovoltaic applications**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019
- A. Baumann, M. Ullrich, N. Henning, P. Dörflinger, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Charge Carrier Transport in Organo-Metal Halide Perovskites Probed by Time-Resolved Microwave Conductivity**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019
- C. J. Brabec, **Accelerating Material Innovation**, Workshop, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen, the Netherlands, 08.03.19
- C. J. Brabec, **NFAs – a panacea for OPV?**, Internationale Winterschule Kirchberg, XXXIIIrd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Kirchberg, Austria, 11.03.19
- S. Braxmeier, C. Balzer, C. Scherdel, G. Reichenauer, **Quantitative Analyse von Sauerstoff-Gruppen poröser Kohlenstoffe mit EDX**, AKK-Frühjahrstagung, Friedberg, Germany, 29.03.19
- B. Büttner, **Klimaanpassung für Gebäude und Quartiere**, 3. Klimaschutzkongress Würzburg, Würzburg, Germany, 05.10.19
- I. A. Channa, **Printed moisture and oxygen barriers for the protection of optoelectronics**, Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, 05.06.19
- H.-J. Egelhaaf, **Gedruckte Photovoltaik für die Gebäudeintegration**, IHK-Fachforum "Eigenstromversorgung in Unternehmen durch Photovoltaik", Nürnberg, Germany, 18.11.19
- H.-J. Egelhaaf, **Gedruckte Photovoltaik und deren Anwendungsfelder**, Lange Nacht der Wissenschaften, Nürnberg, Germany, 19.10.19
- S. Feroze, **R2R Manufacturing of Organic and Perovskite Solar Modules**, Next-Gen. IV: PV Materials, Groningen, the Netherlands, 09.-12.06.2019
- M. Fischer, A. Baumann, V. Dyakonov, **Identification of trap states by photo-induced transient spectroscopy in metal halide perovskites**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019
- J. Graubmann, M. Arduini, G. Baur, M. Ganß, G. Maier, J. Möller et al., **Silver nanowires: a new nanomaterial with advances for electrical, optical and IR systems**, SPIE Security+Defence 2019, Strasbourg, France, 09.-12.09.2019
- R. Gurtner, **„Toolbox“ für Unternehmen: Potenzialermittlung und Konzeptentwicklung zur Steigerung der Energieeffizienz**, 8. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 24.-25.07.2019
- R. Gurtner, **Abwärmenutzung in der Industrie durch Energiespeicherung bei über 100 °C**, Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Energieverfahrenstechnik und des Arbeitsausschusses Thermische Energiespeicherung, Frankfurt, Germany, 06.-07.03.2019
- K. Hagel, **Systemtriazialzelle zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit von Erdwärmesondensystemen unter Berücksichtigung von Frost-Tau-Wechseln**, Fachgespräch: Durchlässigkeitsveränderungen durch Erdwärmesonden – Auswirkungen auf die Genehmigungssituation, Offenburg, Germany, 13.02.19
- J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, D. Ochs, M. Zänglein, J. Manara et al., **Einsatz optischer Sensoranwendungen für additive Fertigungsverfahren**, WerkstoffWoche 2019, Dresden, Germany, 18.-20.09.2019
- J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, M. Zänglein, J. Manara, T. Stark et al., **Optical Sensor Systems for Additive Manufacturing**, TEMPMEKO & TEMPBEIJING 2019 Symposium – 14th Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science & Metrology and Meteorology for Climate 2019, Chengdu, China, 10.-14.06.2019
- J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, M. Zänglein, J. Manara, T. Stark et al., **Optische Sensorik für die additive Fertigung**, 4SMARTS 2019 – Symposium für Smarte Strukturen und Systeme, Darmstadt, Germany, 22.-23.05.2019

F. Hemberger, M. Brütting, A. Göbel, S. Vidi, H.-P. Ebert, **Determination of thermal diffusivity of different crystal structures of phase change materials by means of the flash method**, 34th International Thermal Conductivity Conference, Wilmington, USA, 17.-20.06.2019

F. Hemberger, M. Brütting, A. Göbel, **Ringvergleich Temperaturleitfähigkeit PCM mit Flashmethoden**, AK Thermophysik, Leoben, Austria, 08.-09.04.2019

Y. Joumani, B. Hay, R. Razouk, K. Anhalt, S. Sarge, J. Wu et al., **EMPIR Hi-TRACE Project – Metrological Facilities for Measuring Thermophysical Properties up to 3000 °C**, TEMPMEKO & TEMPBEIJING 2019 Symposium – 14th Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science & Metrology and Meteorology for Climate 2019, Chengdu, China, 10.-14.06.2019

H. Karrer, A. Kirschbaum, M. Riegger, A. Van de Ven, R. Zorn, **Das Verbundvorhaben QEWS II – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II**, GeoTHERM 2019, Offenburg, Germany, 14.-15.02.2019

M. Kausche, **Zweistufige Biomasse-Wärmepumpe – Komponenten**, System, Potential, 8. Statuskonferenz „Energetische Biomassenutzung“, Leipzig, Germany, 17.-18.09.2019

D. Kiermasch, L. Gil-Escrig, A. Baumann, H. J. Bolink, K. Tvingstedt, V. Dyakonov, **Identifying recombination dynamics in efficient perovskite solar cells with transient optoelectrical techniques via active layer thickness alteration**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

F. Klinker, H. Weindl, L. Spiegel, S. Weismann, **Development and testing of an energy-efficient control strategy for chilled PCM ceilings**, Eurotherm Seminar #112, Lleida, Spain, 15.-17.05.2019

M. S. Kotova, J. Junker, G. Lodi, A. Baumann, K. Tvingstedt, A. Sperlich et al., **Role of triplet excitons in non-fullerene based organic solar cells**, 5th International Fall School on Organic Electronics, Moscow Region, Russia, 15.-20.09.2019

M. Kotova, J. Junker, A. Baumann, K. Tvingstedt, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Triplet Excitons in Non-Fullerene Acceptor-Polymer Blends and Organic Solar Cells**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

A. F. Leonard, M. L. Piedboeuf, C. Balzer, G. Reichenauer, N. Job, **How do micropores of carbon xerogels influence their electrochemical behaviour as anodes for Lithium-Ion Batteries?**, 8th international Conference on Carbon for energy storage and environment protection, Alicante, Spain, 20.-24.10.2019

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Development of PCM based on the calculation and experimental verification of solid-liquid phase diagrams of salt hydrate mixtures**, Eurotherm Seminar #112, Lleida, Spain, 15.-17.05.2019

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hoock, S. Hiebler, **Development of Salt Hydrate Mixtures for Low-Temperature Latent Heat Storage**, 9th Energy Colloquium of the Munich School of Engineering, Garching, Germany, 01.08.19

G. Reichenauer, C. Scherdel, **Small angle X-ray scattering – a unique and versatile tool for the characterization of carbons**, 7th German-Japanese Symposium „Development and Technology of Carbon Materials“, Würzburg, Germany, 24.-25.09.2019

M. Reim, J. Bohl, **Klima-Forschungs-Station**, BuGG-Fassadenbegrünungs-symposium, Düsseldorf, Germany, 21.11.19

P. Rieder, M. Fischer, V. Dyakonov, **Energetic Trap Landscape in Perovskite Solar Cells**, 8th SolTech Conference 2019, Nürnberg, Germany, 30.09.-02.10.2019

A. Ristić, F. Fischer, A. Hauer, N. Z. Logar, **Modified binder-free zeolite NaY for low-temperature sorption heat storage**, Eurotherm Seminar #112, Lleida, Spain, 15.-17.05.2019

- A. Robrecht, J. M. Kuckelkorn,
Praxisbeispiel: Betriebsoptimierung und Energieeffizienz eines Plusenergie-Gebäudeensembles, 7. VDI-Fachtagung "Energiesysteme Quartiere und Gebäude", Nürnberg, Germany, 22.-23.10.2019
- M. Rödel, T. Stark, J. Manara, J. Pflaum,
Determining Dispersion Relations of Strongly Coupled Metal/Organic Hybrid Structures, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019
- C. Römer, J. Bohl, **Klimaforschungsstation Würzburg: Gemeinschaftsprojekt von LWG und ZAE**, BuGG-Tag Forschung und Lehre Gebäudegrün, Würzburg, Germany, 18.09.19
- M. Rottmann, **Isolierung von Hochtemperatur-Wärmespeichern**, 8. Fachforum Thermische Energiespeicher, Meerbusch, Germany, 24.-25.06.2019
- M. Rottmann, **Seasonal Hot Water Storage with Vacuum Super Insulation**, 6th Swiss Symposium Thermal Energy Storage, Luzern, Switzerland, 25.01.19
- R. Schex, A. Krönauer, S. Pöllinger, S. Tafelmeier, S. Hiebler, T. Korth et al., **Field test results of a PV-HVAC system with PCM storage for improved grid interaction**, International Conference on Solar Heating and Cooling 2019, Santiago, Chile, 04.-07.11.2019
- R. Schex, A. Krönauer, S. Pöllinger, S. Tafelmeier, S. Hiebler, T. Korth et al., **Klimasystem mit Latentwärmespeicher zur verbesserten Netzkopplung**, Deutsche Kälte- und Klimatagung 2019, Ulm, Germany, 21.-22.11.2019
- H. Schmit, D. Rudaleviciene, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Calorimetric Investigation of two Factors Influencing the Maximum Storage Capacity of Calcium Chloride Hexahydrate**, 4th International Conference Innovative Materials, Structures and Technologies, Riga, Latvia, 25.-27.09.2019
- A. Sperlich, N. Bunzmann, S. Weißenseel, L. Kudriashova, J. Grüne, B. Krugmann et al., **Optically and Electrically Excited Intermediate Electronic States in Donor:Acceptor Based OLEDs**, 16th International Symposium on Spin and Magnetic Field Effects in Chemistry and Related Phenomena, St. Petersburg, Russia, 18.-23.08.2019
- A. Sperlich, A. Gottscholl, M. Kianinia, V. Soltamov, C. Bradac, C. Kasper et al., **Room Temperature Initialisation and Readout of Intrinsic Spin Defects in a Van der Waals Crystal**, 20th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, Würzburg, Germany, 21.-26.07.2019
- S. Weis, G. Reichenauer, C. Scherdel, **Spatially resolved SAXS of continuous structural gradients in sol-gel derived solids**, SAXSexcites: International SAXS Symposium 2019, Graz, Austria, 24.-25.09.2019
- S. Weismann, **FuE am ZAE – vom Material zum Quartier**, SmartQ-Netzwerktreffen, Würzburg, Germany, 20.02.19
- S. Weismann, **Hybride Energieversorgung mit PV-Anlage und innovativer Speicherung – Autarkie am Beispiel der neuen Würzburger Umweltstation**, 3. Klimaschutzkongress Würzburg, Würzburg, Germany, 05.10.19
- M. Zipf, J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, J. Hartmann, **Berührungslose Temperaturmessung an Verbrennungsgasen bei hohen Temperaturen und hohen Drücken**, 20. GMA/ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019, Nürnberg, Germany, 25.-26.06.2019

3.1.3 POSTER POSTERS

B. Chhugani, M. Yasin, F. Klinker, H. Weinläder, S. Weismann, M. Reim, **Performance Analysis and Energy Saving Potential of Room Integrated PCM Wallboards for Passive Cooling Application**, Central Europe towards Sustainable Building 2019, Praha, Czech Republic, 02.-04.07.2019

A. Distler, H.-J. Egelhaaf, M. Heyder, L. Wendt, **OPV – Organische Photovoltaik**, Lange Nacht der Wissenschaften, Nürnberg, Germany, 19.10.19

P. Dörflinger, A. Baumann, A. Sperlich, V. Dyakonov, **Time-Resolved Microwave Conductivity on Lead Halide Perovskite Films**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

P. Dotzauer, D. Kucevic, H. C. Hesse, A. Jossen, **Open Battery Models for Electrical Grid Applications (open_BEAs)**, 13th International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany, 13.-15.03.2019

P. Dotzauer, D. Kucevic, B. Tepe, H. C. Hesse, A. Jossen, **Open source battery models for grid applications (open_BEAs)**, The International Flow Battery Forum, Lyon, France, 09.-11.07.2019

J. Hameury, S. Clausen, F. Manoocheri, D. Lanevski, R. Kersting, J. Manara et al., **Improvement of emissivity measurements on low emissivity insulation materials**, 19th International Metrology Congress, Paris, France, 24.-26.09.2019

J. Hartmann, J. Manara, M. Zipf, T. Stark, M. Arduini, K. Knopp et al., **Experimental set-up for dynamic material investigation at high temperatures for power engineering and additive manufacturing**, 44th Freiburg Infrared Colloquium, Freiburg, Germany, 19.-20.03.2019

J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, D. Ochs, M. Zänglein, M. Arduini et al., **Optische Sensorik für die additive Fertigung**, 20. GMA/ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019, Nürnberg, Germany, 25.-26.06.2019

S. Hiebler, A. Krönauer, S. Pöllinger, P. Hooock, F. Bailly, M. Laudahn et al., **PCM-Speicher in Kühlschränken für Demand Side Management**, Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Energieverfahrenstechnik und des Arbeitsausschusses Thermische Energiespeicherung, Frankfurt, Germany, 06.-07.03.2019

J. Höcker, M. Armer, V. Drach, V. Dyakonov, A. Baumann, **Investigation of organic/inorganic lead tribromide perovskite single crystals**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

F. Hoga, **Solarzellen-Piano**, Lange Nacht der Wissenschaften, Nürnberg, Germany, 19.10.19

K. Knopp, P. Lenski, D. Ochs, M. Zänglein, M. Müller, J. Hartmann et al., **Systematische thermophysikalische Charakterisierung von Wärmedämmschichten**, 20. GMA/ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019, Nürnberg, Germany, 25.-26.06.2019

I. Kötting, H. Karrer, **QEWS II: Prüfverfahren für TRT-Geräte – Analyse der ersten Testergebnisse**, Der Geothermiekongress 2019, München, Germany, 20.-21.11.2019

M. Möckl, A. Teuffel, A. Jossen, **Distributed Sector Coupling: Techno-Economic Optimization of On-Site Hydrogen and Heat Co-Generation in Gas Stations with Local Renewable Energy Sources**, 13th International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany, 13.-15.03.2019

T. Noisser, M. Börner, G. Reichenauer, C. Scherdel, **Organic/Inorganic Hybrid Xerogels Based on Stöber Particles**, Hybrid and Nanomaterials Conference 2019, Sitges, Spain, 11.-15.03.2019

M. Pinnekamp, J. Kuckelkorn, K. Hagel, L. Pendzich, **Untersuchungen zum Einfluss der Druck- und Temperaturbedingungen auf den Durchlässigkeitsbeiwert von Erdwärmesonden-Systemen durch veränderte Randumläufigkeiten an der Kontaktfläche zwischen Sondenrohr und Hinterfüllbaustoff**, Der Geothermiekongress 2019, Science Bar, München, Germany, 20.-21.11.2019

D. Preßl, M. Radspieler, E. Lävemann, **Industrial Waste Heat Driven Thermal Absorption Cold Storage with High Energy Density**, 13th International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany, 13.-15.03.2019

G. Reichenauer, F. Hemberger, S. Vidi, H.-P. Ebert, **Determining the Thermal Conductivity of Carbonaceous Materials**, 7th German-Japanese Symposium „Development and Technology of Carbon Materials”, AKK Herbsttagung, Würzburg, Germany, 24.-25.09.2019

G. Reichenauer, C. Balzer, **Micropore size distributions and mechanical properties of porous carbons determined from adsorption-induced strain data**, 7th German-Japanese Symposium „Development and Technology of Carbon Materials”, AKK Herbsttagung, Würzburg, Germany, 24.-25.09.2019

P. Rieder, A. Baumann, V. Dyakonov, **Impact of precursor stoichiometry on the energetic trap landscape in methylammonium lead iodide perovskite solar cells**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

C. Scherdel, T. Scherb, G. Reichenauer, **Preparation of organic and carbon nano- and microspheres by a Stöber-like process**, 20th International Sol-Gel Conference, St. Petersburg, Russia, 24.-30.08.2019

F. Schwarz, M. Fischer, A. Baumann, V. Dyakonov, **Deep Level Transient Spectroscopy on Perovskite Solar Cells**, DPG-Frühjahrstagung der Sektion Kondensierte Materie, Regensburg, Germany, 31.03.-05.04.2019

L. Staudacher, **Steigerung des solaren Deckungsanteils und des Eigenverbrauchsanteils im Einfamilienhaus**, 29. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Bad Staffelstein, Germany, 21.-23.05.2019

C. Stegner, **PQ-Charakteristiken von Prosumern**, C/sells TP 4/6 Konferenz „Vom Labor ins Netz“, München, Germany, 17.07.19

H. Weinläder, F. Klinker, T. Haussmann, S. Weismann, **Monitoring of PCM-systems for buildings**, Seminar on Advances in Thermal Energy Storage, Lleida, Spain, 15.-17.05.2019

S. Weis, G. Reichenauer, C. Scherdel, **Continuous structural gradients in sol-gel derived organic and carbon aerogels**, 20th International Sol-Gel Conference, St. Petersburg, Russia, 24.-30.08.2019

3.1.4

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

I. A. Channa, **Printed moisture and oxygen barriers for the protection of optoelectronics**, EnCN-Jahreskonferenz, Nürnberg, Germany, 05.12.19

I. A. Channa, **Printed moisture and oxygen barriers for the protection of optoelectronics**, OLE-3D PBA Meeting, Nürnberg, Germany, 03.12.19

A. Distler, **ZAE Bayern – Solar Factory of the Future**, Workshop "Wallonia meets EnCN", Bruxelles, Belgium, 09.12.19

P. Dotzauer, **Open Source Modellierung von Stromspeichersystemen (open_BEA)**, 3. Flow-Batterie-Kolloquium in Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 25.09.19

H.-P. Ebert, **Chancen der Elektromobilität in Städten und Kommunen**, Informationsveranstaltung der Regierungen von Unter- und Mittelfranken „Elektromobilität – Erfahrungen, Konzepte & Perspektiven“, Iphofen, Germany, 31.10.19

H.-P. Ebert, **Energiewende – noch ein Thema?**, Jahrestagung Weltkirche und Mission, Würzburg, Germany, 28.05.19

H.-P. Ebert, **Innovative Materialkonzepte zur effizienten Energienutzung**, Seminar der VDE-Hochschulgruppe Würzburg-Schweinfurt, Schweinfurt, Germany, 12.11.19

H.-P. Ebert, **Multifunktionale Gebäudehüllen für klimagerechte Gebäude**, ZAE-Tag, Würzburg, Germany, 12.07.19

H.-P. Ebert, **Praxisbericht: Energieeffizienz in Bürogebäuden**, bayme/vbm Arbeitskreis Energieeffizienz Unterfranken "Verluste in der energetischen Unternehmensinfrastruktur vermeiden", Würzburg, Germany, 19.04.19

H.-J. Egelhaaf, **R2R Manufacturing of Organic Solar Modules**, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne in Sion, Sion, Switzerland, 11.04.19

H.-J. Egelhaaf, **R2R Manufacturing of Organic Solar Modules**, Madrid Institute for Advanced Studies, Madrid, Spain, 29.04.19

H.-J. Egelhaaf, **R2R Manufacturing of Organic Solar Modules**, South China University of Technology, Guangzhou, China, 04.-17.03.2019

H.-J. Egelhaaf, **Recent Advances in High-Throughput Process Development**, Helmholtz-Institut Accelerating Materials Seminar, Erlangen, Germany, 17.07.19

S. Feroze, **Roll-to-Roll manufacturing of Organic Photovoltaics and their applications within a Building Integrated PV System**, EnCN-Jahreskonferenz, Nürnberg, Germany, 05.12.19

A. Hauer, **Wärmewende und Sektorenkopplung**, Forum Energieeffiziente Wärmebereitstellung, Garching, Germany, 19.11.19

A. Hauer, A. Teuffel, IEA ECES Annex 35 Kick-off Experts Meeting & Workshop, Bad Tölz, Germany, 16.-18.10.2019

A. Hauer, C. Rathgeber, IEA ECES Annex 33 5th Experts Meeting & Workshop, Ottawa, Canada, 01.-02.05.2019

A. Hauer, C. Rathgeber, IEA ECES Annex 33 6th Experts Meeting & Workshop, Messina, Italy, 09.-11.10.2019

F. Hoga, M. Braun, **Einsatz von OPV in der Fassadentechnik**, EnCN-Jahreskonferenz, Nürnberg, Germany, 05.12.19

J. M. Kuckelkorn, **Podiumsdiskussion: Unter welchen Voraussetzungen ist die Quartiersversorgung mit Strom, Wärme und Kälte wirtschaftlich?**, 7. VDI-Fachtagung "Energiesysteme Quartiere und Gebäude", Nürnberg, Germany, 22.-23.10.2019

M. Pröll, **"Abschlussworkshop futureSuN „Mit solaren Wärmenetzen in die Zukunft“**, 24. Dresdner Fernwärme-Kolloquium, Dresden, Germany, 24.-25.09.2019

M. Reuß, H. Karrer, IEA ECES Annex 27 7th Experts Meeting & Workshop, Osaka, Japan, 10.-12.04.2019

M. Reuß, H. Karrer, IEA ECES Annex 27 8th Experts Meeting & Workshop, Garching, Germany, 09.-11.09.2019

M. Rottmann, **Vergleich zwischen Plattenverfahren und Hitzdrahtverfahren zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von evakuiertem expandiertem Perlit bei hohen Temperaturen**, Seminar über Energieforschung, Fakultät für Physik und Astronomie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg, Germany, 02.07.19

S. Weismann, **Hybride Energieversorgung mit PV-Anlage und innovativer Speicherung – Autarkie am Beispiel der neuen Würzburger Umweltstation**, Bilateraler Austausch mit Universität Taschkent, Würzburg, Germany, 22.11.19

F. Yang, **Upscaling of Perovskite Photovoltaics**, EnCN-Jahreskonferenz, Nürnberg, Germany, 05.12.19

VERÖFFENTLICHUNGEN 3.2

PUBLICATIONS

3.2.1

REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN PEER-REVIEWED PUBLICATIONS

- S. Alam, A. Gavrik, R. Meitzner, S. Hoepfener, V. Dyakonov, A. Baumann et al., **Thermally induced degradation of PBDTTT-CT: PCBM based polymer solar cells**, *J. Phys. D*, 52 (47), 2019, 475501
- 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**, *Polymer Bulletin*, 76 (4), 2019, 2021-2039
- C. Balzer, A. M. Waag, F. Putz, N. Huesing, O. Paris, G. Y. Gor et al., **Mechanical Characterization of Hierarchical Structured Porous Silica by in Situ Dilatometry Measurements during Gas Adsorption**, *Langmuir*, 35 (8), 2019, 2948-2956
- K. Bareiß, C. Rua, M. Möckl, T. Hamacher, **Life cycle assessment of hydrogen from proton exchange membrane water electrolysis in future energy systems**, *Applied Energy*, 237, 2019, 862-872
- M. Brütting, S. Vidi, F. Hemberger, H.-P. Ebert, **Dynamic T-History method – A dynamic thermal resistance for the evaluation of the enthalpy-temperature curve of phase change materials**, *Thermochim. Acta*, 671, 2019, 161-169
- C. Camus, P. Offermann, M. Weissmann, C. Buerhop, J. Hauch, C. J. Brabec, **Site-specific assessment of mechanical loads on photovoltaic modules from meteorological reanalysis data**, *Sol. Energy*, 188, 2019, 1134-1145
- V. M. Caselli, M. Fischer, D. Meggiolaro, E. Mosconi, F. D. Angelis, S. D. Stranks et al., **Charge Carriers Are Not Affected by the Relatively Slow-Rotating Methylammonium Cations in Lead Halide Perovskite Thin Films**, *J. Phys. Chem. Lett.*, 10, 2019, 5128-5134
- I. A. Channa, A. Distler, M. Zaiser, C. J. Brabec, H.-J. Egelhaaf, **Thin Film Encapsulation of Organic Solar Cells by Direct Deposition of Polysilazanes from Solution**, *Adv. En. Mater*, 9 (26), 2019, 1900598
- B. Chhugani, M. Yasin, F. Klinker, H. Weinläder, S. Weismann, M. Reim, **Performance Analysis and Energy Saving Potential of Room Integrated PCM Wallboards for Passive Cooling Application**, *Earth Environ. Sci.*, 290, 2019, 012142
- A. Classen, L. Einsiedler, T. Heumueller, A. Graf, M. Brohmann, F. Berger et al., **Absence of Charge Transfer State Enables Very Low V-OC Losses in SWCNT:Fullerene Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 9, 2019, Art.Nr.: 1801913
- A. Classen, T. Heumüller, I. Wabra, J. Gerner, Y. He, L. Einsiedler et al., **Revealing Hidden UV Instabilities in Organic Solar Cells by Correlating Device and Material Stability**, *Adv. Energy Mater.*, 9, 2019, Art.Nr.: 1902124
- B. Doll, E. C. Del Rivero, J. Hepp, T. Pickel, C. Buerhop, R. Knecht et al., **Quantitative Assessment of the Influence of Camera and Parameter Choice for Outdoor Electroluminescence Investigations of Silicon Photovoltaic Panels**, *Zeitschrift für Naturforschung Section A - A Journal of Physical Sciences*, 74 (8), 2019
- X. Du, T. Heumüller, W. Gruber, A. Classen, T. Unruh, N. Li et al., **Efficient Polymer Solar Cells Based on Non-fullerene Acceptors with Potential Device Lifetime Approaching 10 Years**, *Joule*, 3, 2019, 215-226
- H.-P. Ebert, S. Braxmeier, D. Neubert, **Intercomparison of Thermophysical Property Measurements on Iron and Steels**, *Int. J. Thermophys.*, 40 (11), 2019, 96
- A. Fateh, D. Borelli, H. Weinläder, F. Devia, **Cardinal orientation and melting temperature effects for PCM-enhanced light-walls in different climates**, *Sustain. Cities Soc.*, 51, 2019, 101766
- C. Fenner, P. Gräb, G. Reichenauer, C. Scherdel, K. Beierle, E. Geidel, **Aerogele – Moderne Funktionswerkstoffe für den Chemieunterricht?**, *CHEMKON*, 26 (8), 2019, 336-344
- T. Ferschke, A. Hofmann, W. Brütting, J. Pflaum, **Application of Fluorescent Molecules as Non-Invasive Sensors for Opto-Electronic Characterization on Nanometer Length Scales**, *ACS Appl. Electron. Mater.*, 2019

- N. Gasparini, S. Kahmann, M. Salvador, J. D. Perea, A. Sperlich, A. Baumann et al., **Favorable Mixing Thermodynamics in Ternary Polymer Blends for Realizing High Efficiency Plastic Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.* 2019, 9 (19), 2019, 1803394
- N. Gasparini, S. Kahmann, M. F. Salvador, J. D. Perea, A. Sperlich, A. Baumann et al., **Favorable Mixing Thermodynamics in Ternary Polymer Blends for Realizing High Efficiency Plastic Solar Cells**, *Adv. Energy Mater.*, 9, 2019, Art.Nr.: 1803394
- J. Graubmann, M. Arduini, G. Baur, M. Ganß, G. Maier, J. Möller et al., **Silver nanowires: a new nanomaterial with advances for electrical, optical and IR systems**, *Proc. SPIE* 11159, 11159, 2019, 1115903
- B. Gumpert, C. Wieland, H. Spliethoff, **Thermo-hydraulic simulation of district heating systems**, *Geothermics*, 82, 2019, 244-253
- S. Hammer, T. Ferschke, G. v. Eyb, J. Pflaum, **Phase transition induced spectral tuning of dual luminescent crystalline zinc-phthalocyanine thin films and OLEDs**, *Appl. Phys. Lett.*, 115, 2019, 263303
- J. Hepp, A. Vetter, S. Langner, M. Woiton, G. Jovicic, K. Burlafinger et al., **Infrared absorption imaging of water ingress into the encapsulation of (opto-)electronic devices**, *IEEE J. Photovoltaics*, 9 (1), 2019, 252 - 258
- J. Hocker, D. Kiermasch, P. Rieder, K. Tvingstedt, A. Baumann, V. Dyakonov, **Efficient Solution Processed $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ Perovskite Solar Cells with PolyTPD Hole Transport Layer**, *Z. Naturforsch. A*, 74 (8), 2019, 665-672
- Y. Hou, C. Xie, V. V. Radmilovic, B. Puscher, M. Wu, T. Heumüller et al., **Assembling Mesoscale-Structured Organic Interfaces in Perovskite Photovoltaics**, *Adv. Mater.*, 31, 2019, Art.Nr.: 1806516
- A. Karl, A. Osvet, A. Vetter, Ph. Maisch, N. Li, H.-J. Egelhaaf et al., **Discriminating Bulk versus Interface Shunts in Organic Solar Cells by Advanced Imaging Techniques**, *Prog. Photovoltaics*, 27 (5), 2019, 460-468
- D. Kiermasch, L. Gil-Escrig, A. Baumann, H. J. Bolink, V. Dyakonov, K. Tvingstedt, **Unravelling steady-state bulk recombination dynamics in thick efficient vacuum-deposited perovskite solar cells by transient methods**, *J. Mater. Chem. A*, 7, 2019, 14712-14722
- P. Kubis, J. Winter, A. Gavrilova, M. Hennel, S. Schlosser, I. Richter et al., **All sub-nanosecond laser monolithic interconnection of OPV modules**, *Prog. Photovoltaics*, 27 (6), 2019, 479-490
- L. Ludescher, R. Morak, C. Balzer, A. M. Waag, S. Braxmeier, F. Putz et al., **In-situ small-angle neutron scattering investigation of adsorption-induced deformation in silica with hierarchical porosity**, *Langmuir*, 35 (35), 2019, 11590-11600
- P. Maisch, L. M. Eisenhofer, K. C. Tam, A. Distler, M. M. Voigt, C. J. Brabec et al., **A generic surfactant-free approach to overcome wetting limitations and its application to improve inkjet-printed P3HT:non-fullerene acceptor PV**, *J. Mater. Chem. A*, 7 (21), 2019, 13215-13224
- J. Möllenkamp, M. H. Rittmann-Frank, A. Häberle, T. Beikircher, W. Schölkopf, **Diminution of Useful Solar Gains by Capacitive Thermal Losses and Thermal Piping Losses in a Solar Process Heat Plant With Parabolic Trough Collectors in Switzerland**, *J. Sol. Energy Eng.*, 141, 2019
- P. Ostermeier, S. DeYoung, A. Vandersickel, S. Gleis, H. Spliethoff, **Comprehensive investigation and comparison of TFM, DenseDPM and CFD-DEM for dense fluidized beds**, *Chem. Eng. Sci.*, 196, 2019, 291-309
- P. Ostermeier, A. Vandersickel, S. Gleis, H. Spliethoff, **Mechanical Characterization of Hierarchical Structured Porous Silica by in Situ Dilatometry Measurements during Gas Adsorption**, *J. Energy Res. Technol.*, 141 (7), 2019, 070707
- M. L. Piedboeuf, A. Leonard, G. Reichenauer, C. Balzer, N. Job, **How do the micropores of carbon xerogels influence their electrochemical behavior as anodes for lithium-ion batteries?**, *Microporous Mesoporous Mater.*, 275, 2019, 278-287

- R. Pili, A. Romagnoli, M. Jiménez-Arreola, H. Spliethoff, C. Wieland, **Simulation of Organic Rankine Cycle – Quasi-steady state vs dynamic approach for optimal economic performance**, *Energy*, 167, 2019, 619-640
- F. Putz, A. Waag, C. Balzer, S. Braxmeier, M. S. Elsaesser, L. Ludescher et al., **The Influence of Drying and Calcination on Surface Chemistry, Pore Structure and Mechanical Properties of Hierarchically Organized Porous Silica Monoliths**, *Microporous Mesoporous Mater.*, 288, 2019, 109578
- L. Rakocevic, F. Ernst, N. T. Yimga, S. Vashishtha, T. Aernouts, T. Heumüller et al., **Reliable Performance Comparison of Perovskite Solar Cells Using Optimized Maximum Power Point Tracking**, *Solar RRL*, 3, 2019,
- C. Rathgeber, H. Schmit, S. Hiebler, W. Voigt, **Application of the modified BET model to concentrated salt solutions with relatively high water activities: Predicting solubility phase diagrams of NaCl + H₂O, NaCl + LiCl + H₂O, and NaCl + CaCl₂ + H₂O**, *Calphad*, 66, 2019, 101633
- N. Schrenker, P. Schweizer, M. Moninger, N. Karpstein, M. Mackovic, G. Spyropoulos et al., **Mechanical and Electrical Failure of Silver Nanowire Electrodes: A Scale Bridging In Situ Electron Microscopy Study**, *Microsc. Microanal.*, 25, 2019
- B. Smit, F. Hüwe, N. Payne, O. Okaoye, I. Bauer, J. Pflaum et al., **Ultrafast Pathways of the Photoinduced Insulator-Metal Transition in a Low-Dimensional Organic Conductor**, *Adv. Mater.*, 31 (19), 2019, 1900652
- C. Stegner, O. Glaß, T. Beikircher, **Comparing smart metered, residential power demand with standard load profiles**, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 20, 2019, 100248
- X. Tang, G. Matt, S. Gao, E. Gu, O. Almora, C. J. Brabec, **Electrical-Field-Driven Tunable Spectral Responses in a Broadband-Absorbing Perovskite Photodiode.**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 11, 2019, 39018-39025
- A. Tournebize, D. Deribew, A. Gregori, R. C. Hiorns, A. Distler, H.-J. Egelhaaf et al., **Influence of material migration on the mechanical integrity of inverted organic solar cells**, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 200, 2019, 110008
- Y. Wang, J. Du, J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum, X. Gu, D. Li, **Identifying the feasibility of establishing a passive house school in central Europe: An energy performance and carbon emissions monitoring study in Germany**, *Renewable and Sustainable Energy Rev.*, 113, 2019, 109256
- W. G. Wedel, A. Vandersickel, H. Spliethoff, **Benchmarking and Potential of Heat Pumps for Flue Gas Condensation**, *Int. J. Thermodyn.*, 22 (3), 2019, 168-175
- M. Yasin, E. Scheidemantel, F. Klinker, H. Weinläder, S. Weismann, **Generation of a simulation model for chilled PCM ceilings in TRNSYS and validation with real scale building data**, *J. Build. Eng.*, 22, 2019, 372-382
- A. A. Yousefi Amin, N. Killilea, M. Sytnyk, P. Maisch, K. C. Tam, H.-J. Egelhaaf et al., **Fully Printed Infrared Photodetectors from PbS Nanocrystals with Perovskite Ligands**, *ACS Nano*, 13 (2), 2019, 2389-2397
- C. Zhang, T. Heumüller, S. Leon, W. Gruber, K. Burlafinger, X. Tang et al., **A top-down strategy identifying molecular phase stabilizers to overcome microstructure instabilities in organic solar cells**, *Energy Environ. Sci.*, 12, 2019, 1078-1087
- C. Zhang, T. Heumüller, W. Gruber, O. Almora, X. Du, L. Ying et al., **Comprehensive Investigation and Analysis of Bulk-Heterojunction Microstructure of High-Performance PCE11:PCBM Solar Cells**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 11, 2019, 18555-18563

3.2.2 BÜCHER, MANUSKRIPTE BOOKS, MANUSCRIPTS

G. Reichenauer, Properties of Carbon Aerogels and Their Organic Precursors in: **Organic and Carbon Gels – From Laboratory Synthesis to Applications**, eds.: A. Aegerter, M. Prassas, Springer, Berlin, 2019, 87-116

3.2.3 REFERIERTE TAGUNGSBANDBEITRÄGE CONFERENCE PAPERS

B. Chhugani, F. Klinker, N. Hupp, H. Weinläder, S. Weismann, **Experimental investigation of two hybrid Photovoltaic Thermal Collectors (PVT) for electricity and thermal energy generation**, World Sustainable Energy Days 2019, Wels, Austria, 27.02.-01.03.2019

J. Hartmann, K. Knopp, P. Lenski, M. Zänglein, J. Manara, T. Stark et al., **Optische Sensorik für die additive Fertigung**, 4SMARTS 2019 – Symposium für Smarte Strukturen und Systeme, Darmstadt, Germany, 22.-23.05.2019

H. Schmit, D. Rudaleviciene, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Calorimetric Investigation of Two Factors Influencing the Maximum Storage Capacity of Calcium Chloride Hexahydrate**, 4th International Conference “Innovative Materials, Structures and Technologies”, Riga, Latvia, 25.-27.09.2019, p. 012076

U. Uhrner, R. Reifeltshammer, P. Sturm, R. Forkel, S. Emeis, K. Schäfer et al., **First SmartAQnet Results from Accompanying Air Quality Modelling**, Mid-term and 1st International Networking Workshop of the SmartAQnet Project, München, Germany, 04.-05.12.2020, p. 8

M. Zipf, J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, J. Hartmann, **Berührungslose Temperaturmessung an Verbrennungsgasen bei hohen Temperaturen und hohen Drücken**, 20. GMA/ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019, Nürnberg, Germany, 25.-26.06.2019

3.2.4

TECHNISCHE BERICHTE TECHNICAL REPORTS

A. Baumann, K. Anneser, S. Braxmeier, **Potential der Perowskit-Photovoltaik: Untersuchung relevanter physikalischer Parameter und Materialeigenschaften sowie effizienzlimitierender Faktoren in Hybrid-Perowskit-Solarzellen**, HYPER, Bundesministerium für Bildung und Forschung, FKZ 03SF0514B

H.-P. Ebert, S. Braxmeier, P. Dotzauer, T. Greese, G. Reichenauer, M. Rzepka et al., **Entwicklung innovativer Elektroden zur Leistungs- und Effizienzsteigerung von Vanadium Redox-Flow-Batterien**, ELVABATT, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03SF0514B

D. Flum, P. Schraml, N. Panten, F. Junge, C. Bauerdick, M. Helfert et al., **Gemeinsamer Schlussbericht zum Projekt ETA-Fabrik: Energieeffiziente Fabrik für interdisziplinäre Technologie- und Anwendungsforschung**, ETA-Fabrik, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ET1145F

S. Hiebler, J. Linn, W. Pfeffer, C. Rathgeber, M. Remy, H. Schmit et al., **Entwicklung eines Latentwärmespeichers und eines PCM-Slurry auf Salzhydratbasis mit Phasenwechseltemperatur 15 °C**, PC-Cools_S, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ESP138D

A. Krönauer, S. Hiebler, P. Hoock, S. Pöllinger, F. Bailly, M. Laudahn, **Thermische Speicher als verschiebbare Lasten in elektrischen Netzen**, DiTES4Grid, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ESP330A

E. Lävemann, M. Radspieler, D. Preßl, **Materialien und Komponenten für Sorptionswärmespeicher mit hoher Energiedichte, Teilprojekt C, Absorptionswärme- und -kältespeicher**, MaKSorE, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03SF0441D

J. Manara, M. Arduini, A. Kehl, P. M. Siemens, J. Renz, T. Renz et al., **Funktionalisierte Membrankonstruktionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden**, FMESG, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ET1309A

B. Nienborg, S. Henninger, S. Gschwander, R. Horn, R. DiBari, F. Klinker et al., **Ökologische Bewertung ausgewählter Konzepte und Materialien zur Wärme- und Kältespeicherung**, Speicher-LCA, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ET1333B

H. Weinländer, F. Klinker, F. Pawelz, T. Wollheim, R. Gross, S. Schlitzberger et al., **PCM in Demonstrationsanwendungen**, PCM-Demo II, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ET1240A

S. Weismann, B. Büttner, B. Chhugani, H.-P. Ebert, U. Heinemann, S. Hippeli et al., **Betriebsoptimierung, Monitoring, Entwicklung von interdisziplinären Steuerungs- und Regelungskonzepten und Forschungsbetrieb an innovativen Anlagen und Komponenten eines Forschungs- und Demonstrationsgebäudes**, IEA EBC Annex 65 – MoniResearch, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03ET1245A

3.2.5

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN MISCELLANEOUS PUBLICATIONS

H.-P. Ebert, **Fassaden mit variablen Wärmedämmwerten**, IKZplus ENERGY 5/2019, Arnsberg, 26.11.2019

H.-J. Egelhaaf, R. Krippner, **Strom aus der Wand: Innovative Solar-Module**, Wirtschaft in Mittelfranken, Nürnberg, 10/2019, p. 22-25

A. Hauer, **Thermische Energiespeicher – vom Material zur Komponente**, nachhaltige Technologien, Gleisdorf, 04/2019, p. 18-20

J. Manara, **Am Anfang war das Zelt**, B+B Bauen im Bestand 7/2019, Köln, 07/2019, p. 50-54

T. Ohrdes, D. Büchner, H. Haufe, M. Zobel, J. von Appen, N. Rehault et al., **Smarte Gebäude im Energiesystem**, Die Energiewende – smart und digital, Berlin, 01.03.19, p. 79-84

M. Reuß, H. Karrer, **Qualitätssicherung bei Planung, Bau und Betrieb von Erdwärmesonden-Anlagen**, bbr 11/2019, Bonn, 11/2019, p. 60-67

A. Robrecht, **Klassenziel erreicht – Monitoring und Qualitätssicherung Plusenergieschule Diedorf**, Gebäude Energieberater 02/2019, Stuttgart, 02/2019, p. 12-16

W. Schmid, H. Weinländer, F. Klinker, F. Hoppe, B. Boiting, **Schneller in den Markt durch Systemtechnik – PCM und das Henne-Ei Problem**, TGA Fachplaner, Stuttgart, 01/2019, p. 6-10

L. Schmidt-Mende, S. Olthof, V. Dyakonov, **Perowskit-Halbleiter für Solarzellen und Optoelektronik – Eine Halbleiter-Tinte für die Zukunft**, Physik in unserer Zeit, 6 (50), Weinheim, 06/2019, p. 298-304

STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN 3.3

DEGREE AND DOCTORAL THESES

3.3.1 STUDIENABSCHLUSSARBEITEN DEGREE THESES

- T. Behnen, **Untersuchung des Einsatzes von Wärmetransformatoren zur Optimierung der Nutzung von Wärmequellen für die Fernwärmeversorgung**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 05/2019, Master
- S. Castano Parga, **Experimental Investigation of the Heat and Mass Exchanger in an Absorption Thermal Storage System**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 12/2019, Master
- P. Dörflinger, **Transiente Mikrowellenleitfähigkeit: Ladungsträgerdynamik verschiedener Perovskit-Solarzellenabsorber**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 12/2019, Master
- C. Güttler, **Transparente niedrigemittierende Beschichtungen auf Basis nanoskaliger Silberdrähte**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 08/2019, Bachelor
- S. Häfele, **Röntgenfluoreszenzspektroskopie an Perovskitabsorbern**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2019, Bachelor
- M. Kirst, **Bestimmung mechanischer Eigenschaften von mesoporösen Silica-Nassgelen mit in-situ SAXS**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 10/2019, Bachelor
- M. Knörich, **Validierung eines Wärmespeichermodells in unterschiedlichen Simulationsumgebungen**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 03/2019, Master
- L. Kupfer, **Lebenszyklusanalyse einer hochwärmedämmenden Fassadenverbundkonstruktion**, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, 01/2019, Bachelor
- L. Macher, **Herstellung dünner, rissfreier, organischer Aerogelmembranen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 10/2019, Bachelor
- P. Oehrl, **Hochaufgelöste Messung der adsorptionsinduzierten Deformation mesoporöser pulverförmiger Materialien**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 09/2019, Bachelor
- J. Ort, **Entwicklung und Optimierung eines solarunterstützten Lüftungssystems im alpinen Umfeld**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 03/2019, Master
- M. Pinnekamp, **Bestimmung von Einflüssen auf den Durchlässigkeitsbeiwert von Erdwärmesonden**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 11/2019, Bachelor
- J. Rausch, **Dynamische TRNSYS-Gebäudesimulation einer deutschen Wohngebäudegeneration auf Basis der TABULA-Gebäudetypologie**, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, 03/2019, Bachelor
- D. Rose, **Auslegung und Simulation eines kavitationsgefährdeten Pumpensystems mit EES und ANSYS Fluent**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, Fakultät Maschinenbau, 09/2019, Bachelor
- F. Rost, **Passive oberflächennahe Erdwärmennutzung zur Erhöhung der Energieeffizienz von Fassaden und Gebäuden**, Hochschule Reutlingen, Fakultät Technik, 09/2019, Master
- B. Saparov, **Stable Electrode Materials for Scalable Perovskite Solar Devices**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 09/2019, Master
- M. Steinberger, **"Thermo-oxidation of Organic Solar Cells and the Effect of Ni(dtc)₂ as Stabilizing Additive"**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 04/2019, Master

D. Xin, **Untersuchung eutektischer Mischungen zur Latentwärmespeicherung auf Separation**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 05/2019, Master

3.3.2 DISSERTATIONEN DOCTORAL THESES

K. Anneser, **Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren zur Stabilisierung fluktuierender photovoltaischer Leistung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie

M. Bernt, **Analysis of Voltage Losses and Degradation Phenomena in PEM Water Electrolyzers**, Technische Universität München, Fakultät für Chemie

J. Bogenrieder, **Anpassung von Photovoltaiksystemen an Anforderungen eines zukünftigen Elektrizitätsversorgungssystems**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät

I. A. Channa, **Entwicklung von lösungsverarbeiteten Dünnschichtbarrieren für die Verpackung von Dünnschichtelektronik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät

M. Dalsass, **Qualitätsbewertung von großflächigen Photovoltaik-Generatoren anhand von Wechselrichterdaten und thermografischen Untersuchungen**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät

H. Fink, **Untersuchung von Verlustmechanismen in Vanadium-Flussbatterien**, Technische Universität München, Fakultät für Physik

P. Maisch, **Prozessentwicklung für den Tintenstrahldruck organischer Photovoltaik**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät

M. Pröll, **Entwicklung eines schwach konzentrierenden CPC PVT Flachkollektors**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät

SCHUTZRECHTE **3.4**

INTELLECTUAL PROPERTY

T. Greese, **Elektrode für chemische Reaktoren, insbesondere für Redox-Flow-Batterien und Redox-Flow-Batterie mit einer solchen Elektrode**, DE102018222728, Gebrauchsmuster, 02.05.19

T. Greese, T. Rieth, **Monopolarplattenbauteil für chemische Reaktoren, insbesondere für Redox-Flow-Batterien, Verfahren zur Herstellung eines Monopolarplattenbauteils und Redox-Flow-Batterie mit einem solchen Monopolarplattenbauteil**, DE102018200818A1, Patent, 18.07.19

3.5 MITARBEIT IN GREMIEN

MEMBERSHIP IN COMMITTEES

DR. A. BAUMANN

Mitglied, Forschungsnetzwerk Energie – Erneuerbare Energien, BMWi

PROF. DR. C. J. BRABEC

Organiser, 4th International Conference on Next Generation Solar Energy, Nürnberg, Germany, 08.-10.12.2019

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

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

Reviewer, Diverse Fachzeitschriften zu Materialforschung, Halbleitern und Energie

Member of the Board of Directors, Energie Campus Nürnberg e. V., Nürnberg

Member, Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Expert Referee, Europäische Union

Netzwerkkoordinator, Forschungsnetzwerk Energie – Erneuerbare Energien, BMWi

M. BRÜTTING

Vertreter des ZAE Bayern, DIN-Ausschuss „Thermische Analyse“, Deutsches Institut für Normung e. V.

Participant, International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”, Task 58 Annex 33 “Material and Component Development for Thermal Energy Storage”

Vertreter des ZAE Bayern, RAL-Gütegemeinschaft PCM e.V., Stuttgart

PROF. DR. V. DYAKONOV

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis Unterfranken, Bayernwerk

Mitglied des Kuratoriums, Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoffzentrum, Würzburg

Mitglied, Forschungsnetzwerk Energie – Erneuerbare Energien, BMWi

Mitglied des Direktoriums, Forschungsverbund Erneuerbare Energien, Berlin

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

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

Editorial Advisory Board, Scientific Reports, Springer Nature, Berlin

Editorial Advisory Board, Solar RRL, Wiley, Hoboken

DR. H.-P. EBERT

Mitglied im Organisationskomitee, 3. Klimaschutzkongress, Würzburg, Germany, 05.10.2019

Vorschlagsberechtigte Stelle, Bayerischer Energiepreis, Bayern Innovativ Nürnberg

Mitglied, Beirat des Technologie- und Gründerzentrums Würzburg, Würzburg

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis Unterfranken, Bayernwerk

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

Mitglied International Organizing Committee, European Conference on Thermophysical Properties, Venezia, Italy, 14.-17.09.2020

Mitglied im Programmkomitee, FVEE-Jahrestagung 2019, Berlin, 22.-23.10.2019

Vorsitz, Gesellschaft für thermische Analyse e. V., Lenkungsausschuss Arbeitskreis Thermophysik, Darmstadt

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

Mitglied im Program Committee, iSEnEC – Integration of Sustainable Energy Expo & Conference, Nürnberg

Mitglied, Prüfungsausschuss Physiklabo- ranten der IHK Würzburg-Schweinfurt, Würzburg

Mitglied im Scientific Committee, WSED next! Conference

DR. A. HAUER

Mitglied des Präsidiums, **Bundesverband Energiespeicher e. V.**, Berlin

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

Conference Chair, **Energy Storage Europe**, Düsseldorf, Germany, 12.-14.03.2019

Member, **Energy Storage Partnership – ESP – of the World Bank Group**, Bruxelles, Belgium, 18.-19.06.2019

Member of Scientific Committee, **Energy Storage Summit Japan 2019**, Tokyo, Japan, 11.-13.06.2019

Member of Scientific Committee, **EnerStock Conference**, Ljubljana, Slovenia, 09.-11.06.2021

Fachliche Leitung, **Fachforum „Thermische Energiespeicher“**, Meerbusch, Germany, 24.-25.06.2019

Chair, **German/Japanese Executive Roundtable on Energy Storage**, Düsseldorf/Tokio, 11.03./04.06.2019

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

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

Member of Executive Committee, **International Energy Agency IEA, TCP “Energy Storage”**, London, United Kingdom, 23.-24.05.2019; Zürich, Switzerland, 06.-07.11.2019

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, TCP “Energy Storage”**, Annex 33 “Compact Thermal Energy Storages – Material Development and System Integration”

Operating Agent, **International Energy Agency IEA, TCP “Energy Storage”**, Annex 35 “Flexible Sector Coupling by the Implementation of Energy Storage”

Tagungsbeirat, **IRES International Renewable Energy Storage Conference 2019**, Düsseldorf, Germany, 12.-14.03.2019

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

Tagungsbeirat, **Symposium “Solarthermie und innovative Wärmesysteme”**, Bad Staffelstein, Germany, 21.-23.05.2019

DR. U. HEINEMANN

Mitglied im Advisory Board, **International Vacuum Insulation Symposium**, Kyoto, Japan, 19.-21.09.2019

Mitglied im Scientific Committee, **International Vacuum Insulation Symposium**, Kyoto, Japan, 19.-21.09.2019

DR. S. HIEBLER

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

H. KARRER

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

Secretariat, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**

DR. J. M. KUCKELKORN

Member of Scientific Committee, Session Chair, **7. VDI-Fachtagung “Energiesysteme Quartiere und Gebäude” 2019**, Nürnberg, Germany, 22.-23.10.2019

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie – Energiewendebauen**, BMWi

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

Mitglied, **Richtlinienausschuss VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ Blatt 6**, Düsseldorf

DR. J. MANARA

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

Mitglied, Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 2.51 „Angewandte Strahlungsthermometrie“, Verein Deutscher Ingenieure e. V.

PROF. DR. J. PFLAUM

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

Scientific Committee, **International Conference on Organic Electronics**, Hasselt, Belgium, 24.-28.06.2019

Mitglied des Fakultätsrats, **Physikalisches Institut, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

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

Mitglied der Studienfachkommission Funktionswerkstoffe, **Physikalisches Institut/Fakultät für Chemie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

Mitglied des Prüfungsausschusses Funktionswerkstoffe, **Physikalisches Institut/Fakultät für Chemie, Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

DR. M. PRÖLL

Mitglied, Richtlinienausschuss VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ Blatt 5, Düsseldorf

C. RATHGEBER

Member, **International Energy Agency IEA, Implementing Agreement “Energy Conservation Through Energy Storage ECES”**, Annex 33 “Material and Component Development for Thermal Energy Storage”

Mitglied, Richtlinienausschuss: **VDI 4657 Blatt 2 „Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesysteme – Thermische Energiespeicher“**, Düsseldorf, Germany, 2019

DR. G. REICHENAUER

Mitglied, **Arbeitskreis Kohlenstoff, Deutsche Keramische Gesellschaft e. V.**

Mitglied, **DIN-Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik“**, Deutsches Institut für Normung e. V.

M. REUSS

Mitglied, **CEN TC 451 Water wells and borehole heat exchangers**, Paris, France, 2017

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”

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

M. RIEPL

Mitglied, **Arbeitskreis Gaswärmepumpen, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.**

Mitglied des Vorstandes, **Green Chiller Verband für Sorptionskälte**, Berlin

C. RÖMER

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie – Energiewendebauen, BMWi**

PROF. DR. H. SPLIETHOFF

Jurymitglied, **Bayerischer Energiepreis, Bayern Innovativ Nürnberg**

Mitglied, **Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung e. V.**, Essen

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

Mitglied, **Gutachtertätigkeit für die EU und diverse Forschungseinrichtungen**

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

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

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

L. STAUDACHER

Mitglied, Richtlinienausschuss VDI
3988 „Solarthermische Prozesswärme“,
Düsseldorf

Stellv. Obmann, Richtlinienausschuss VDI
4640 „Thermische Nutzung des Unter-
grundes“, Blatt 4, Düsseldorf

DR. H. WEINLÄDER

Mitglied, Fachverband Transparente
Wärmedämmung, Gundelfingen

S. WEISMANN

Vertreter des ZAE Bayern, IBPSA-
Germany, Regional Affiliate of the Inter-
national Building Performance
Simulation Association, Dresden

3.6 AKADEMISCHE LEHRVERANSTALTUNGEN

ACADEMIC COURSES

C. J. BRABEC

Devices, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Electronic Materials, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2018/19

Elektrische, magnetische, optische Eigenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

How to Start a Company, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Anwendung (WET II), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Grundlagen (OpEt-G), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20

Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Elektrotechnologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20

Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektrotechnik und der Energietechnologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft lösungsprozessierte Halbleiter, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Organische Photovoltaik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20

Seminar on Solar Energy, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019, WS 2019/20

V. DYAKONOV

Hauptseminar – Grundlagen der Experimentellen Physik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2019

Oberseminar Physik – Fortgeschrittene Themen der Experimentellen Physik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2019

Opto-elektronische Materialeigenschaften, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2019

V. DYAKONOV, J. FRICKE, J. PFLAUM Seminar über Energieforschung, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2018/19, SS 2019, WS 2019/20

H.-J. EGELHAAF

Anleitung zur wissenschaftlichen Arbeit-E, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Energy Materials, South China University of Technology, WS 2019/20

Organic Electronics Processing, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2019

Photophysics and Electronic Transport, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2018/2019, SS 2019

J. FRICKE, M. GESSNER

Einführung in die Energietechnik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2018/19, SS 2019

J. PFLAUM

Moderne Physik 2, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2018/19, WS 2019/20

Quanteninformation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2019

M. PRÖLL

MSPE – Laboratory Course on Energy Systems, Technische Universität München, SS 2019

MSPE – Laboratory Course on Energy Systems, Technische Universität München, WS 2018/19

Praktikum Erneuerbare Energien, Technische Universität München, SS 2019

Praktikum Erneuerbare Energien, Technische Universität München, WS 2018/19

C. RATHGEBER

Latentwärmespeicherung – Grundlagen und Anwendungen, Technische Universität München, WS 2019/20

H. SPLIETHOFF

Energiesysteme I, Technische Universität
München, SS 2019

Energiesysteme II, Technische Universität
München, SS 2019

**Prozesstechnik und Umweltschutz in
modernen Kraftwerken**, Technische
Universität München, WS 2018/19

Regenerative Energiesysteme I,
Technische Universität München, WS
2018/19

Regenerative Energiesysteme II,
Technische Universität München, SS
2019

Strom- und Wärmespeicher, Technische
Universität München, WS 2018/19

Thermal Power Plants, Technische
Universität München, SS 2019

3.7 AUSZEICHNUNGEN AWARDS

C. J. BRABEC

Auszeichnung, Highly Cited Researcher,
Kategorie Werkstoffwissenschaften,
Highly Cited Researchers List 2019,
Clarivate Analytics/Web of Science

SONSTIGES 3.8 MISCELLANEOUS

M. BERNT

Fernsehbeitrag, **Kommt der Nachfolger des Dieseltreibstoffs aus Bayern?**, Sat 1, 17:30 Bayern, 20.04.2019

PROJEKT DITES 4 GRID

Artikel, **Speicher-Highlights Platz 6: Kältespeicher im Kühlschranks hilft Lasten zu verschieben**, pv magazine, 22.02.2019

P. DOTZAUER

Vortrag, **Open battery models for electrical grid application**, Workshop open_BEA, Garching, Germany, 15.04.2019

V. DYAKONOV

Moderation, **3. KlimaSchutzKongress**, Würzburg, 05.10.2019

Begrüßung, Moderation, **ZAE-Tag 2019**, Würzburg, 12.07.2019

H.-P. EBERT

Podiumsdiskussion, **Sonnenstadt Würzburg – solare Nutzung im Bischofshut**, Würzburg, 14.10.2019

BEREICH ENERGIEEFFIZIENZ

Aussteller, **Intersolar Europe 2019**, München, 15.-17.05.2019

A. HAUER

Fernsehbeitrag, **Energiewende – Herausforderung für Deutschland**, Bayerischer Rundfunk, Rundschau, 20.04.2019

A. KIRSCHBAUM

Fernsehbeitrag, **Holz: Alter Baustoff – neu gedacht**, ARD-alpha, Faszination Wissen, 01.10.2019

M. NEESER, S. WEISMANN

Info-Poster, **Die Eisspeicherheizung**, Dauerexponat in der Umweltstation der Stadt Würzburg

BEREICH ERNEUERBARE ENERGIEN

Aussteller, **Die Lange Nacht der Wissenschaften**, Nürnberg, Germany, 19.10.2019

Aussteller, **Internationale Fachmesse für gedruckte Elektronik (LOPEC) 2019**, München, Germany, 19.-21.03.2019

C. RÖMER

Radiointerview, **Fachtagung in Würzburg: Wie grüne Fassaden dem Stadtklima nutzen**, Bayerischer Rundfunk, Würzburg, 18.09.2019

Fernsehinterview, **Odysso: Geniales Grünzeug**, Südwestdeutscher Rundfunk, Würzburg, 23.05.2019

GRUPPE SFF

Artikel, **Nürnberg wird zur Wasserstoff-Hauptstadt**, Nürnberger Nachrichten, 04.09.2019

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

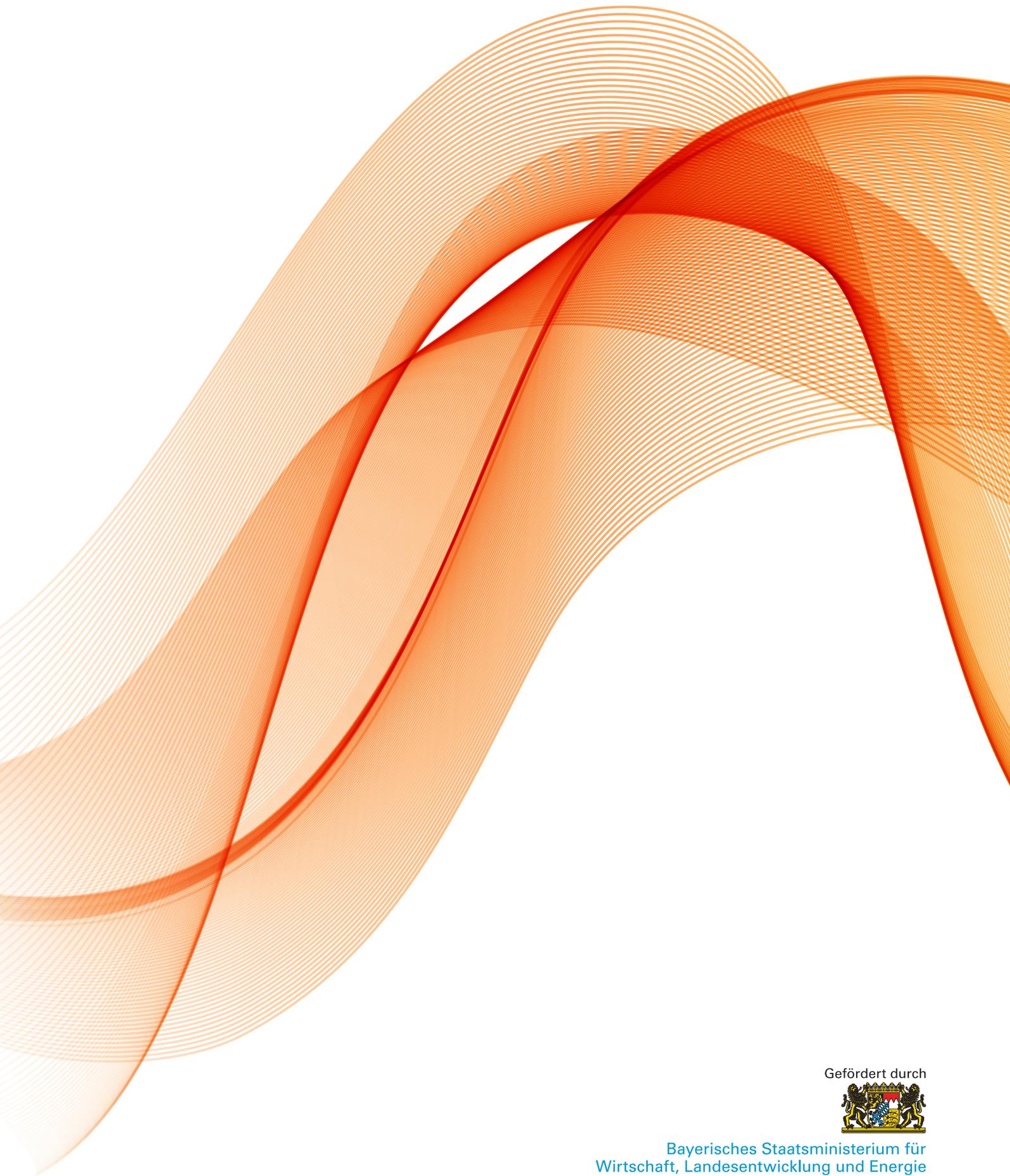


HOF

Bismarckstr. 28
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
