

2020

TÄTIGKEITSBERICHT
ANNUAL REPORT



zae-bayern.de

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

DER VORSTAND EXECUTIVE BOARD

Dr. Andreas Hauer
Vorsitzender | Chairman of the Board

Dr. Hans-Peter Ebert
Stand: 31. Dezember 2020
Status: 31 December 2020

HERAUSGEBER

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

TEXTBEITRÄGE UND FOTOS

von den Mitarbeitern des ZAE Bayern
Fotos © ZAE Bayern
Fotos Seite 19, 70, 71 © Petra Hoeglmeier
Seite 22, 23 © Martina Vornberger

REDAKTION UND BEARBEITUNG

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang

ZAE BAYERN

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

KONZEPT UND DESIGN

punktschmiede, visuelle kommunikation, München

COPYRIGHT

ZAE Bayern – Bayerisches Zentrum für Angewandte
Energieforschung e. V., Würzburg, Juli 2021
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 19, 70, 71 © Petra Hoeglmeier
Page 22, 23 © Martina Vornberger

COORDINATION AND EDITING

Jan Kunkel, Anja Matern-Lang

ZAE BAYERN

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

CONCEPT AND DESIGN

punktschmiede, visuelle kommunikation, Munich

COPYRIGHT

ZAE Bayern – Bavarian Center for Applied Energy
Research, Würzburg, July 2021
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	44	2.0 RESEARCH	44
2.1 Messung der Wärmeleitfähigkeit bei tiefsten Temperaturen	50	2.1 Measurement of Thermal Conductivity at Very Low Temperatures	50
2.2 Röntgenblick in die Nanowelt – schnelle und zuverlässige Bestimmung spezifischer Oberflächen	52	2.2 An X-ray View into the Nano World – Fast and Reliable Determination of Specific Surfaces	52
2.3 Berührungslose thermophysikalische Charakterisierungsmethode zur energetischen Prozess- und Materialoptimierung	54	2.3 Non-Contact Thermophysical Characterisation Method for Optimisation of Energetic Processes and Materials	54
2.4 Performanceverbesserung bei Vanadium-Redox-Flow-Elektroden: Oberflächengröße übertrumpft Oberflächenoxide	56	2.4 Improved Performance for Vanadium Redox Flow Electrodes: Surface Size Beats Surface Oxides	56
2.5 Steigerung der Energieeffizienz von Bauteilreinigungsmaschinen	58	2.5 Increasing the Energy Efficiency of Component Cleaning Machines	58
2.6 Optimierung des bayerischen Energiesystems mit Sektorkopplung und 100 % erneuerbaren Energien	60	2.6 Energy System Optimisation for Bavaria with Sector Coupling and 100% Renewable Energy	60
2.7 Wirk- und Blindleistungscharakteristika von Prosumerten	62	2.7 Active and Reactive Power Patterns of Prosumers	62

2.8	RENBuild: Regenerative Energieversorgung mit Wärme, Kälte und Strom aus einem Guss	64
2.9	Mit Holzpellets angetriebene Wärmepumpe	66
2.10	Semitransparente organische Photovoltaikmodule für die Fassadenintegration	68

3.0 VERÖFFENTLICHUNGEN

3.1	Vorträge und Poster	72
3.2	Veröffentlichungen	76
3.3	Studienabschlussarbeiten und Dissertationen	81
3.4	Schutzrechte	83
3.5	Mitarbeit in Gremien	84
3.6	Akademische Lehrveranstaltungen	87
3.7	Auszeichnungen	89
3.8	Sonstiges	90

Adressen	92
----------	-----------

2.8	RENBuild: Renewable Energy Supply with Heating, Cooling and Electricity Combined	64
2.9	Heat Pump Driven by Wood Pellets	66
2.10	Semi-transparent Organic Photovoltaic Modules for Façade Integration	68

3.0 PUBLICATIONS

3.1	Presentations and Posters	72
3.2	Publications	76
3.3	Degree and Doctoral Theses	81
3.4	Intellectual Property	83
3.5	Membership in Committees	84
3.6	Academic Courses	87
3.7	Awards	89
3.8	Miscellaneous	90

Addresses	92
-----------	-----------

VORWORT

FOREWORD

Dr. Andreas Hauer
Vorstandsvorsitzender
Chairman of the Board



Während die Corona-Pandemie im Jahr 2020 viele Institutionen an den Rand der Funktionsfähigkeit trieb, überstand das ZAE Bayern die Krise weitgehend unbeschadet. Ein wichtiger Faktor war dabei, dass es uns sehr schnell gelang, sichere und zuverlässige EDV-Strukturen aufzubauen, die Büroarbeit und auch weitgehenden Laborbetrieb von Zuhause aus ermöglichen. Dank des Engagements unserer Mitarbeiter*innen blieben alle laufenden Projekte im Plan. Es wurden sogar historisch viele neue Forschungs- und Entwicklungsvorhaben akquiriert. Das ZAE kann also für das Jahr 2021 auf eine hervorragende Auftragslage bauen.

Das Jahr 2020 brachte aber auch schwerwiegendere Veränderungen für das ZAE. Am 9. Dezember 2020 übernahmen mein Kollege Dr. Hans-Peter Ebert und ich in einer Situation des strukturellen Umbruchs die Vorstandschaft des Vereins. An dieser Stelle möchten wir zunächst ganz herzlich unseren Vorgängern, Prof. Hartmut Spliethoff und Prof. Vladimir Dyakonov, für ihren jahrelangen Einsatz für das ZAE danken. Grund für die Veränderung ist der Beschluss der bayerischen Staatsregierung aus dem Mai, die Wasserstoffforschung zu stärken. In diesem Kontext sollen unsere Standorte Garching (einschließlich der Außenstellen Hof und Arzberg), Erlangen und Würzburg bis Ende 2021 in neue Trägerschaften überführt werden. Außerdem entsprechen wir dieser politischen Neuausrichtung, indem wir unsere Aktivitäten zu den Themen Wasserstoff und Systemintegration verstärken.

Dabei gilt es aber auch, zukunftsfähige Forschungsfelder zu erhalten und ihnen eine gute Entwicklungsperspektive zu sichern. Diese scheint gegeben, denn unsere zentralen Themen, die Integration erneuerbarer Energien und Steigerung der Energieeffizienz, haben 2020 weder im Gebäudebereich noch in der Industrie an Aktualität eingebüßt, eher dazugewonnen. Wärme, Sektorkopplung und Energieeffizienz – Felder, in denen wir uns bereits einen Namen gemacht haben – werden in Zeiten eines intensiv geführten öffentlichen Klimadiskurses unweigerlich weiter an Bedeutung gewinnen. Der Wärmesektor verursacht zum Beispiel mehr

While the Corona pandemic pushed many institutions to the brink of operability in 2020, ZAE Bayern managed to survive the crisis largely unscathed. An important factor in this was how we swiftly managed to set up secure and reliable IT structures allowing for both office work and most laboratory operations to be carried out from home. Owing to the commitment of our staff, all running projects remained on schedule. In fact, we even acquired an unprecedented number of new research and development projects. Therefore, ZAE is looking at great prospects for the year 2021.

However, 2020 also brought more severe changes to ZAE. On 9 December 2020, my colleague Dr. Hans-Peter Ebert and I assumed chairmanship in a time of structural disruption. We would like to take this opportunity to thank our predecessors, Prof. Hartmut Spliethoff and Prof. Vladimir Dyakonov, for their many years of commitment to the ZAE. This change has been brought about by a resolution passed by the Bavarian state government in May to boost hydrogen research. In this context, our divisions in Garching (including the Hof and Arzberg branches), Erlangen, and Würzburg are to be transitioned to new funding structures by the end of 2021. We are also responding to this political realignment by intensifying our activities in hydrogen and system integration.

It is, however, also crucial to sustain future-proof research fields while creating a promising perspective for their development. This seems to be given, since our core topics, the integration of renewable energies and increasing energy efficiency, have lost no relevance in 2020, be it in the building sector or the industry, but rather gained momentum. Heat, sector coupling, and energy efficiency – fields in which we have made a name for ourselves in the past – will inevitably increase in importance with the ongoing intense public debate on climate change. The heating sector, for example, accounts for more than half of Germany's CO₂ emissions, which we aim to further reduce through technological advances such as highly efficient thermal insulation or innovative heat storage systems. After all, without a functioning heat transition, the entire

als die Hälfte der deutschen CO₂-Emissionen, die wir durch Technologieentwicklungen wie hocheffiziente Wärmedämmung oder innovative Wärmespeicher immer weiter reduzieren wollen. Ohne eine funktionierende Wärmewende wird schließlich die gesamte Energiewende nicht zu realisieren sein.

Wir werden gemeinsam alles daransetzen, die erfolgreiche Forschung zu erhalten, die am ZAE Bayern in den vergangenen fast 30 Jahren etabliert wurde. Gerade unser interdisziplinärer Personalstamm mit Naturwissenschaftler*innen und Ingenieur*innen aus Physik, Chemie, Maschinenbau, Elektrotechnik und anderen Fachrichtungen soll dabei fortgeführt werden. Und auch die Breite unserer Forschung, die von grundlegenden Fragestellungen der Materialforschung bis zu großen Demonstrationsanlagen in der konkreten Anwendung reicht, ist Voraussetzung für eine schnelle und erfolgreiche Transformation unseres Energiesystems. Die Ziele sind klar definiert: Klimaneutralität für Deutschland bis 2045, für Bayern bis 2030. Dafür benötigen wir Fortschritt in Forschung und Entwicklung und dafür sind wir angetreten!

energy transition cannot be realised.

Together we will spare no effort to perpetuate the successful research established by ZAE Bayern over the past nearly 30 years. Especially our interdisciplinary team of scientists and engineers with backgrounds in physics, chemistry, mechanical and electrical engineering, as well as other disciplines, is intended to remain. Also, the diversity of our research, ranging from fundamental questions of materials research to large-scale demonstration setups in practical applications, is a prerequisite to a swift and successful transformation of our energy system. The goals are set: Climate neutrality for Germany by 2045, for Bavaria by 2030. For this, we will need to make headway in research and development, and that is what we have set out to accomplish!



Ihr/Yours

Dr. Andreas Hauer





ALLGEMEINES
GENERAL INFORMATION

1.0



1.1

ÜBERBLICK AT A GLANCE



Dr. A. Hauer
Vorstandsvorsitzender
Leiter Bereich Energiespeicherung
Chairman of the Board
Head of Division Energy Storage



Dr. H.-P. Ebert
Vorstand
Leiter Bereich Energieeffizienz
Member of the Board
Head of Division Energy Efficiency

UNSER PROFIL

Das ZAE Bayern ist ein außeruniversitäres Forschungsinstitut für angewandte Energieforschung mit ca. 150 Mitarbeiter*innen, das durch das Bayerische 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 knapp 30 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

OUR PROFILE

ZAE Bayern is a non-university institute for applied energy research with about 150 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 almost 30 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.

sich das ZAE Bayern zu einem national und international anerkannten Forschungsinstitut entwickelt. Hierzu leisten unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die als Wissenschaftler*innen, 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).

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 Ar-

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 university 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

beitsgruppen des ZAE Bayern. Aus Verbundprojekten, die gemeinsam mit Partnern aus der Industrie durchgeführt werden, profitiert das ZAE nicht nur durch die 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 auf nationaler und internationaler Ebene nachhaltig positionieren.

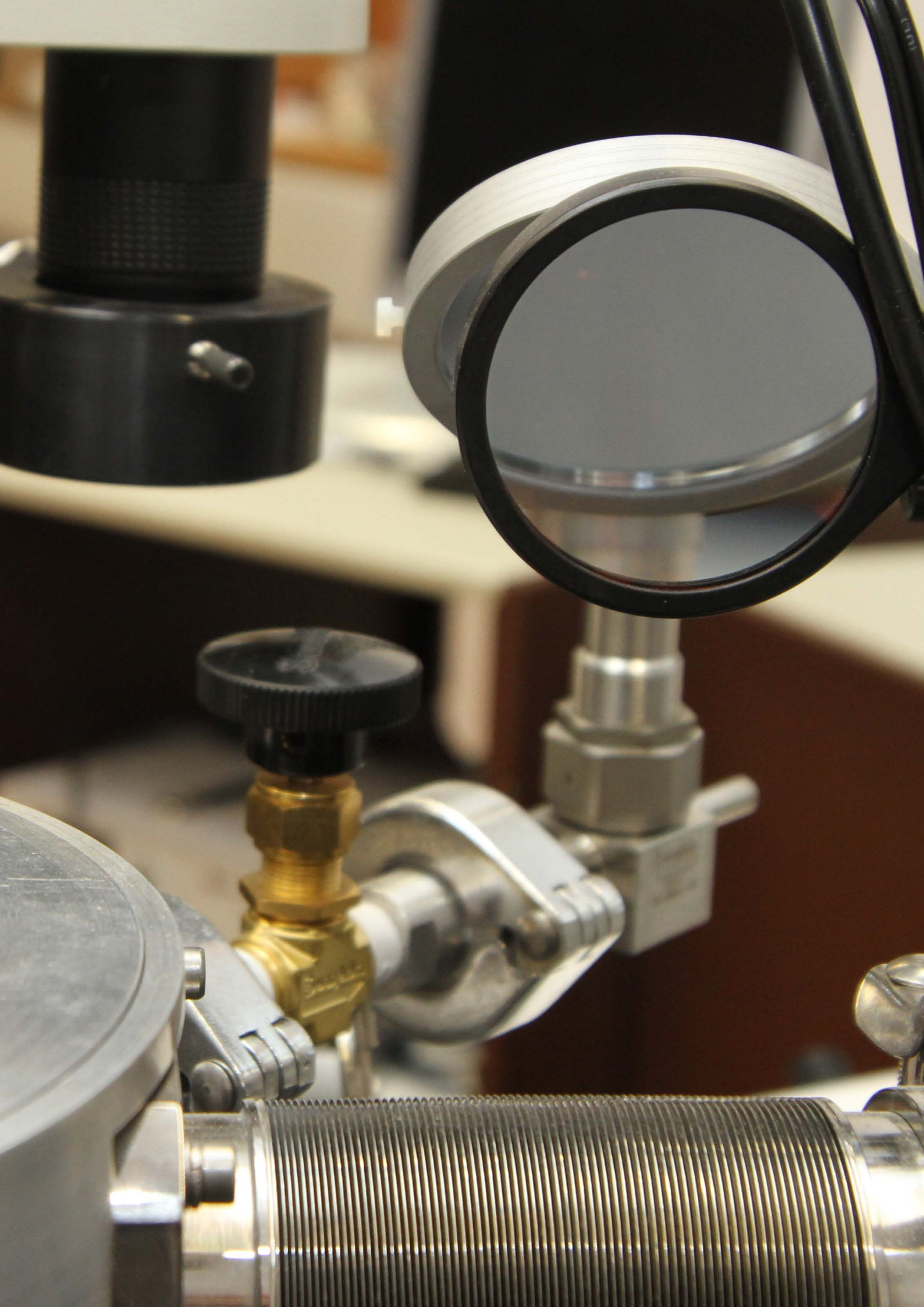
UNSERE KOOPERATIONEN

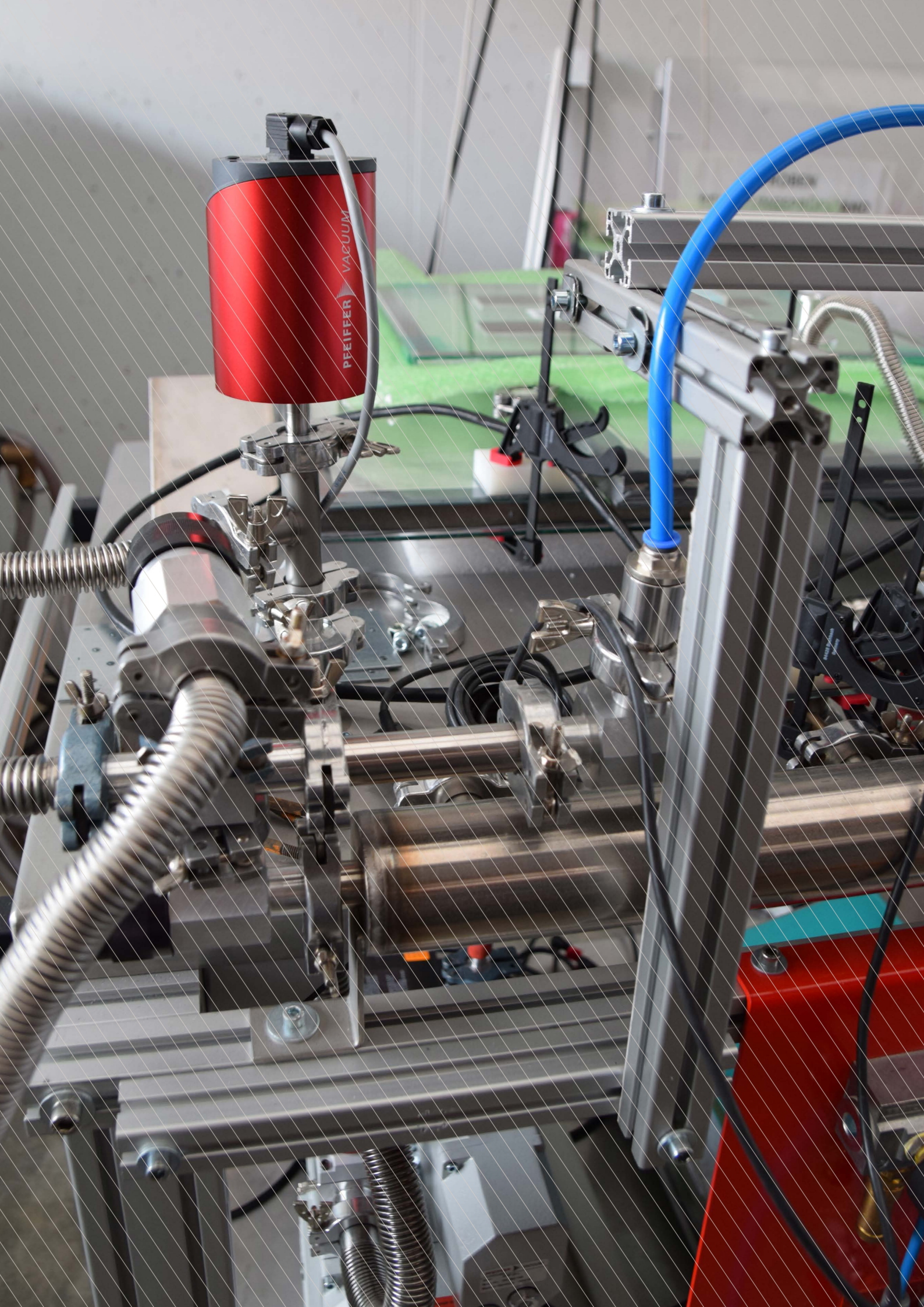
Entsprechend unserer Zielsetzung strebt das ZAE die Zusammenarbeit mit der Industrie und wissenschaftlichen Einrichtungen an. Wir kooperieren dazu in besonderer Weise mit der Technischen Universität München (TUM) und der Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Das ZAE Bayern ist darüber hinaus Mitglied 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.

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

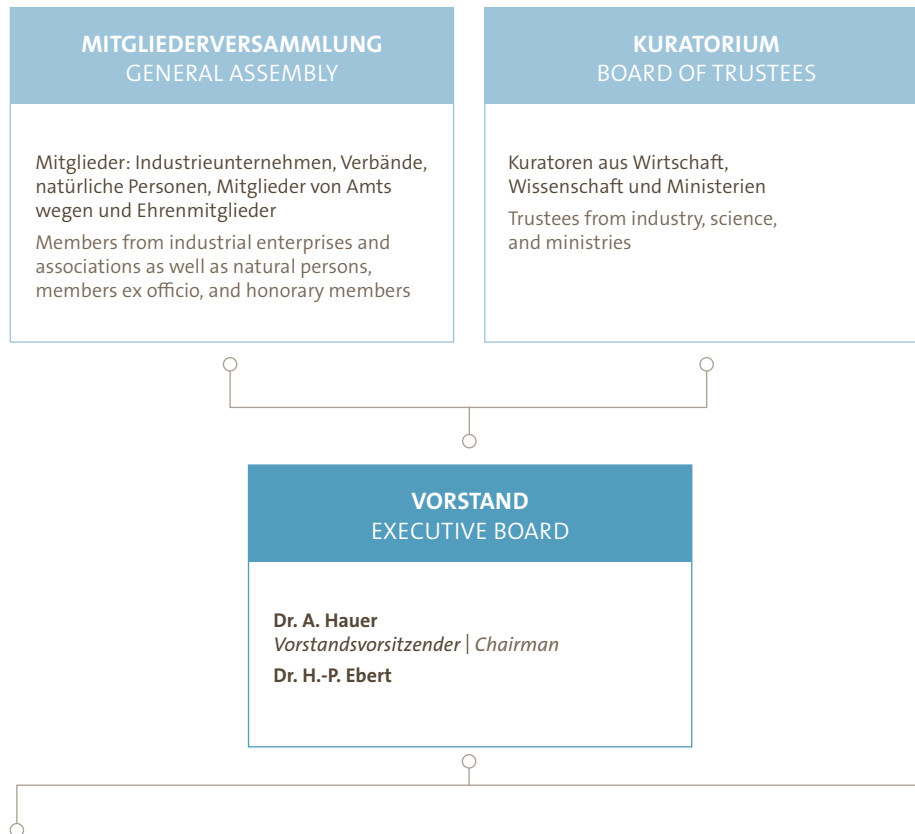
According to our goals, ZAE Bayern seeks cooperation with scientific institutions and the industry. For this purpose, we cooperate particularly closely with the Technical University of Munich (TUM) and the Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Furthermore, ZAE Bayern is a member of the German Renewable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



Stand | Status
31.12.2020
31/12/2020



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

Consolinno Energy GmbH, Pentling

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München

GP JOULE Think GmbH & Co. KG, Reußenköge

Hightex GmbH, Rimsting

IBC Solar AG, Staffelstein

Innovations- und Gründerzentrum Würzburg

Betriebsgesellschaft BioMed/ZmK mbH (IGZ), Würzburg

Karl Endrich KG, Würzburg

Knauf Gips KG, Iphofen

Lang Hugger Rampp GmbH, München

NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb

Porextherm Dämmstoffe GmbH, Kempten

Rauschert Solar GmbH, Judenbach-Heinersdorf

Technologie- und Gründerzentrum Würzburg GmbH (TGZ), Würzburg

va-Q-tec AG, Würzburg

Würzburger Versorgungs- und Verkehrs GmbH, Würzburg

MITGLIEDER VON AMTS WEGEN

MEMBERS EX OFFICIO

Dr. H.-P. Ebert, Würzburg

Dr. A. Hauer, Garching

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, München

NATÜRLICHE PERSONEN/INGENIEURBÜROS

NATURAL PERSONS/CONSULTING ENGINEERS

M. Dietrich, Rüdenhausen

Dr. H. Mehling, Würzburg

Dr. B. Müller, Muggensturm

Dipl.-Ing. M. Portula, Berlin

Dr. B. Reeb, Ellwangen-Hochgreut

T. Speidel, Nürtingen

U. Windelen, Berlin

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

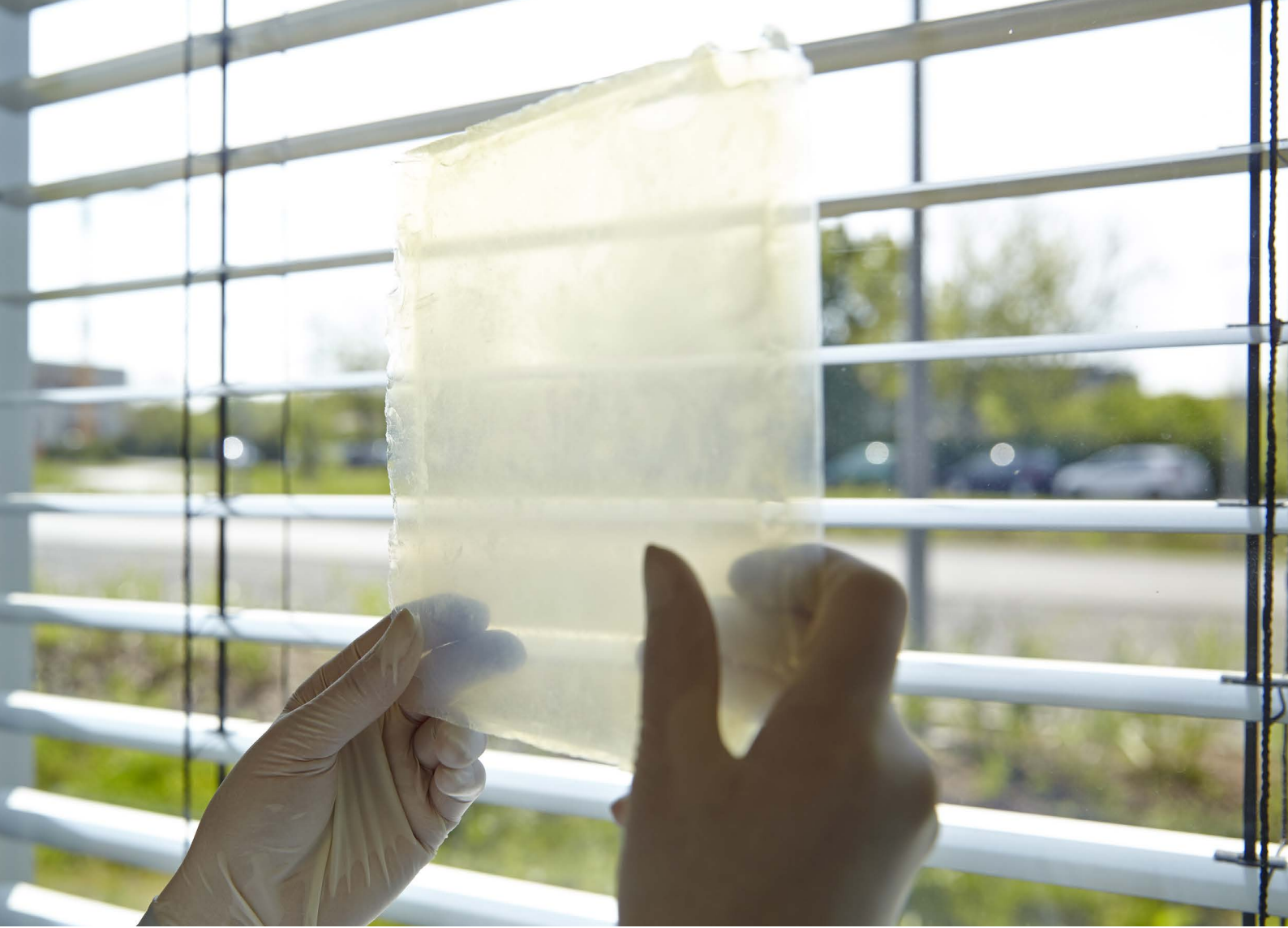
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München

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

VORSTAND BOARD OF DIRECTORS

Der Vorstand setzte sich Ende 2020 wie folgt zusammen:

Dr. A. Hauer, (*Vorsitzender | Chairman*)

Dr. H.-P. Ebert

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

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, Department Chemistry and Physics of Materials, Paris Lodron Universität Salzburg, Salzburg

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

Ministerialrat Dr. F. Leiner, Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, München

Ministerialrat B. Schütze, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

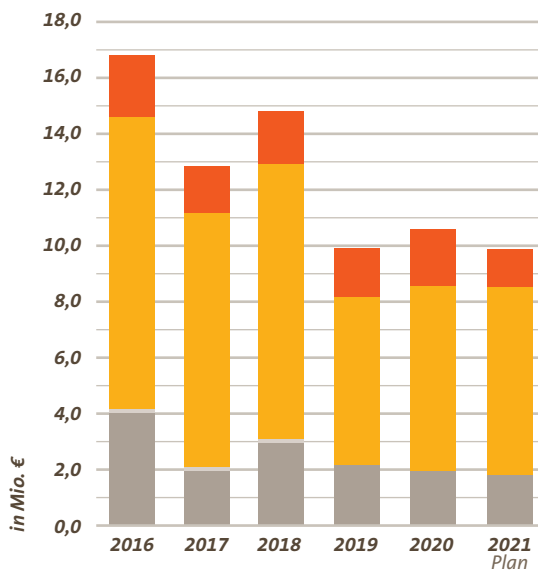
Dipl.-Ing. (Univ.) K. Salhoff, Knauf Gips KG, Iphofen

1.4

ZAHLEN & FAKTEN

FACTS & FIGURES

ENTWICKLUNG HAUSHALT 2016-2021 BUDGET



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

HAUSHALT UND FINANZEN

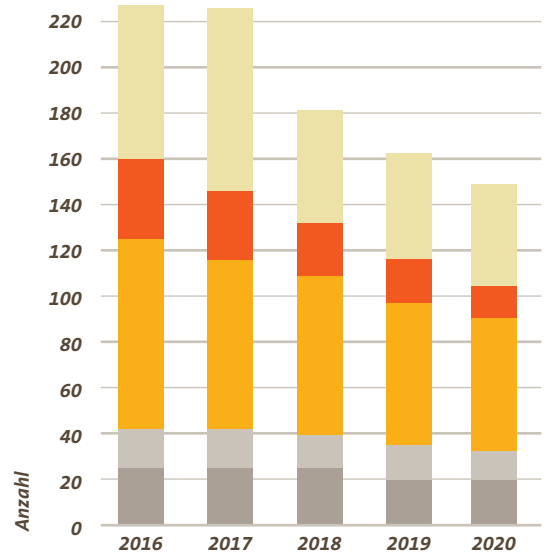
Der Institutshaushalt belief sich im Jahr 2020 auf ca. 9,7 Mio. €. Die in der Abbildung dargestellte Entwicklung der Erträge in den Jahren 2016 bis 2021 weist für das Jahr 2020 eine Grundfinanzierung durch das Bayerische Wirtschaftsministerium (BayStMWi) in Höhe von 2,0 Mio. € aus. 7,7 Mio. € aus Drittmitteln konnten generiert werden. Die Drittmittel setzen sich aus 6,0 Mio. € öffentlichen Projektmitteln und 1,7 Mio. € Industriemitteln zusammen.

Insgesamt wurden im Jahr 2020 128 Projekte mit 304 Partnern bearbeitet.

PERSONAL

Zum Jahresende 2020 waren am ZAE Bayern 149 Mitarbeiter tätig. Überwiegend kamen diese aus den Fachbereichen Physik, Maschinenbau und Energietechnik. Der Anteil weiblicher Beschäftigter betrug 26,2 %. 14 Doktoranden, 4 Masteranden, 6 Bacheloranden und 3 Praktikanten waren im Institut tätig. Somit befanden sich 21,5 % der Mitarbeiter in Ausbildung.

PERSONALENTWICKLUNG 2016-2020 STAFF



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

BUDGET AND FINANCES

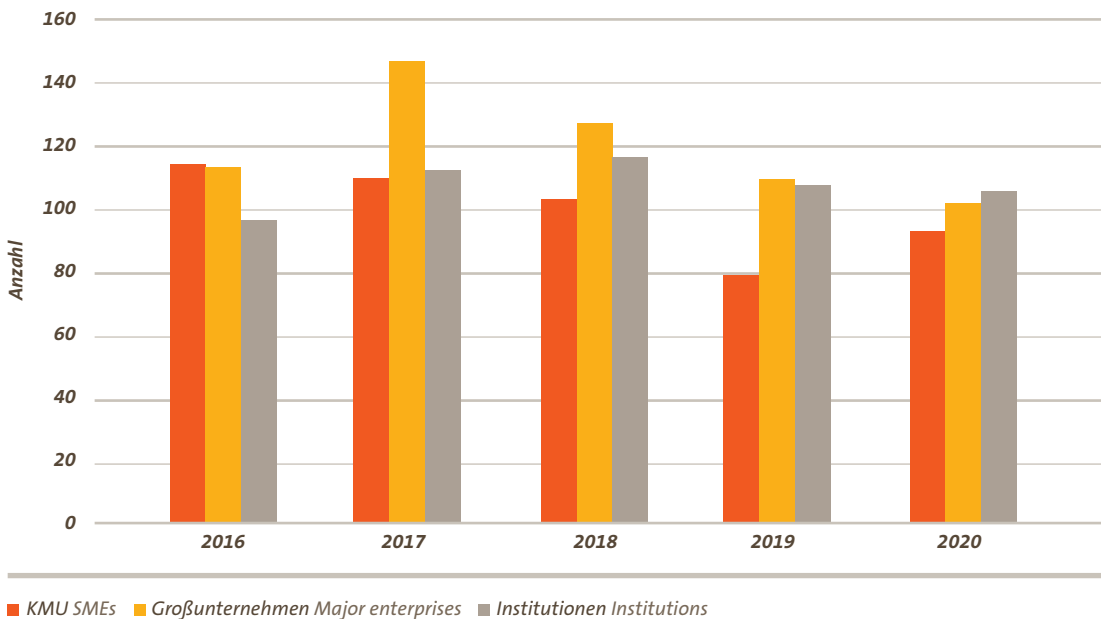
In 2020, the institute's budget came to € 9.7 m. The development of income from 2016 to 2021 depicted in the diagram shows that the Bavarian Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy (BayStMWi) provided basic funding amounting to € 2.0 m in 2020. € 7.7 m third-party funds were raised. 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 128 projects involving 304 partners.

STAFF AND PREMISES

At the end of 2020, ZAE Bayern had 149 staff members. The majority of the employees came from the fields of physics, mechanical engineering, and energy technology. Women made up 26.6 % of the staff. The institute had 14 doctorate-, 4 master- and 6 bachelor students, as well as 3 interns. Students and trainees constituted 21.5 % 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.



UConn-Crestonville-CT

Planting
Kilimanjaro
Tahoe



LWC



1.5

RÜCKBLICK REVIEW

SCHNELLER, BESSER, ENERGIEEFFIZIENTER: NEUE METHODE ZUR OBERFLÄCHENBESTIMMUNG IN DER ZEMENTINDUSTRIE

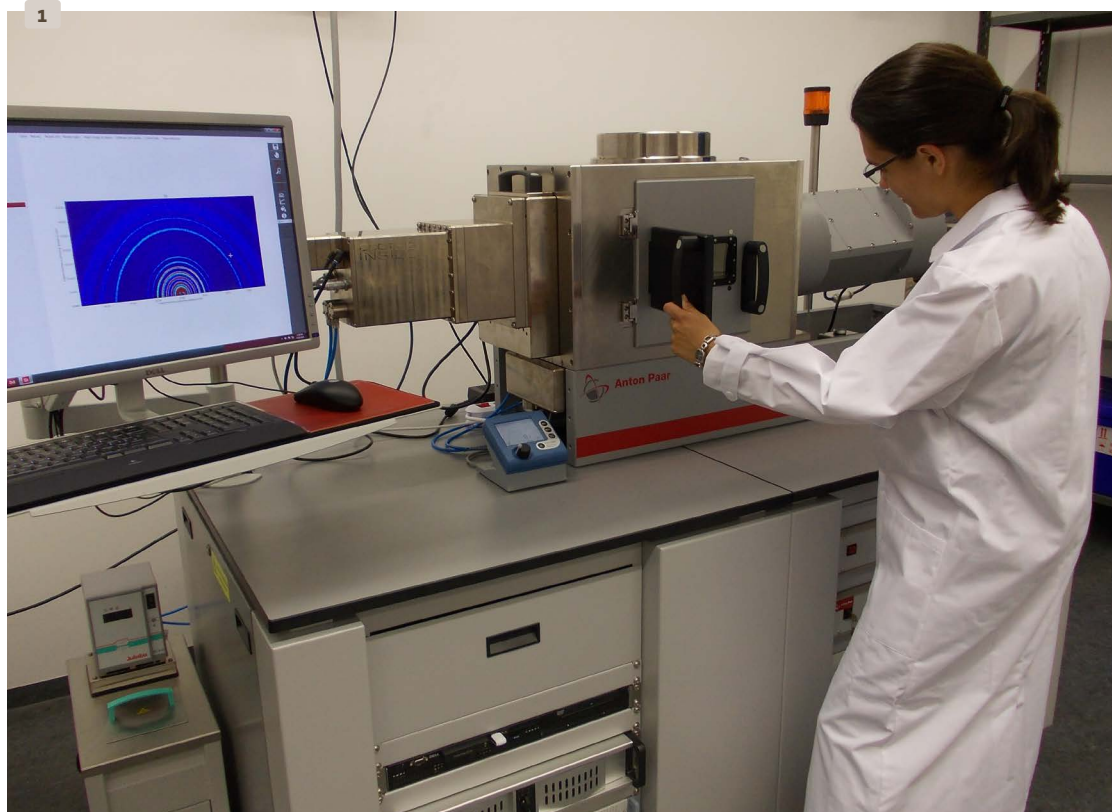
Der Bereich EF und die Schwenk Zement KG haben ein neues Werkzeug zur schnellen Analyse spezifischer Oberflächen von Zementpulvern etabliert, das bisher hauptsächlich der Grundlagenforschung vorbehalten war: Röntgenkleinwinkelstreuung oder kurz SAXS (Small Angle X-ray Scattering). Die Methode ist vergleichbar mit der Streuung eines Laserstrahls beim Durchgang durch eine Glasscheibe mit aufgerauter Oberfläche. Die Aufweitung des Strahls durch Streuung gibt Aufschluss über die Oberflächenrauigkeit der Scheibe. Messungen liefern innerhalb von Minuten den strukturellen Fingerabdruck der getesteten Zemente. Sie kommen sowohl in der Materialentwicklung als auch zur Qualitätskontrolle in der Produktion zum Einsatz.

QUICKER, BETTER, MORE ENERGY EFFICIENT: NEW SURFACE CHARACTERISATION METHOD FOR THE CEMENT INDUSTRY

Division EF and Schwenk Zement KG have established a new tool for the rapid analysis of the specific surfaces of cement powders, which used to be largely exclusive to basic research: small angle X-ray scattering, or SAXS for short. The method works similar to the scattering of a laser beam passing through the roughened surface of a glass pane. The widening of the beam caused by scattering provides information on the pane's surface roughness. Measurements provide the structural fingerprint of the tested cements within minutes. They are used both in material development and quality control during production.

Abb. 1: SAXS-Untersuchung im Labor des Bereichs EF

Fig. 1: SAXS analysis in Division EF's laboratory



PROJEKT SOLARSPLIT UNTER DEN HIGHLIGHTS DES PV MAGAZINE

Auch im Jahr 2020 fand sich das ZAE unter den Finalisten der Highlights des pv magazine. Das Projekt SolarSplit wurde von der sechsköpfigen Expertenjury ausgewählt:



Die Integration eines PCM-Latentwärmespeichers in ein elektrisch betriebenes Kühlsystem sollte sowohl dessen Effizienz bei der Entladung des Speichers als auch die Anpassungsfähigkeit an volatile Stromquellen verbessern. Zur Erhöhung der Netzdienlichkeit des Systems reduzierte der Speicher Spitzen in der Netzeinspeisung. Da das Speichermaterial über einen Wärmetauscher in direktem Kontakt mit dem Kältemittelkreislauf stand, sank die Effizienz des Kühlsystems dabei nicht.

Regelungsstrategien wurden erprobt und bewertet, ein eigens entwickeltes Messgerät erlaubte die Überwachung des Ladezustands anhand des Dichteunterschieds zwischen geschmolzenem und festem Speichermaterial.

Das Ergebnis: Im Vergleich zum Betrieb ohne Speicher waren – je nach Höhe der Kühllast – Leistungssteigerungen zwischen 9 und 28 Prozent möglich. Der Eigenverbrauch an PV-Strom erhöhte sich um 5 bis 8 Prozent.

PROJECT SOLARSPLIT ONE OF PV MAGAZINE'S HIGHLIGHTS

Once more in 2020, ZAE Bayern was among the finalists for pv magazine's highlights. Project SolarSplit was selected by a jury of six experts:

Abb. 2: Das im Projekt SolarSplit erfolgreich getestete Kühlsystem mit Latentwärmespeicher

Fig. 2: The cooling system with latent heat storage successfully tested in the SolarSplit project

The integration of a PCM latent heat storage system into an electrically powered cooling system aimed to improve, both, its efficiency in discharging the storage and its adaptability to volatile power sources. To increase the system's usefulness to the grid, the storage shaved down peaks in the feed-in. Since the storage medium was in direct contact with the refrigerant circuit via a heat exchanger, the efficiency of the cooling system remained constant.

Control strategies were trialled and evaluated while a custom-developed measuring device allowed for monitoring of the state of charge based on the difference in density between molten and solid storage material.

The outcome: Compared to operation without storage, increases in power between 9 and 28 percent were achievable, depending on the cooling load. The self-consumption of PV electricity increased by 5 to 8 percent.

KONSORTIUM ENTWICKELT NEUE GENERATION DER WÄRMEDÄMMUNG FÜR HOCHTEMPERATURÖFEN

Am 12. August 2020 vermeldete unser Industriepartner SGL Carbon die Entwicklung einer neuen Generation der Wärmedämmung für Hochtemperaturöfen. Die Neuerung fußte auf einen Durchbruch im BMWi-geförderten Verbundprojekt „AeroFurnace“. Als Verbundkoordinator und Projektpartner sind wir besonders stolz, an diesem Erfolg beteiligt gewesen zu sein. Die Arbeitsgruppe Nanomaterialien forscht seit längerem an der Entwicklung von Hochtemperaturdämmsystemen auf der Basis von Kohlenstoff-Aerogelen mit herausragenden Isolationseigenschaften.

CONSORTIUM DEVELOPS NEW GENERATION OF THERMAL INSULATION FOR HIGH-TEMPERATURE FURNACES

On 12 August 2020, our industrial partner SGL Carbon announced a newly developed generation of thermal insulation for high-temperature furnaces. The innovation was based on a breakthrough in the joint project “AeroFurnace” which was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Being the joint coordinator as well as project partner, we are particularly proud to have been involved in this success. The Nanomaterials group has long been researching the development of high-temperature insulation systems based on carbon aerogels with outstanding insulation properties.

3

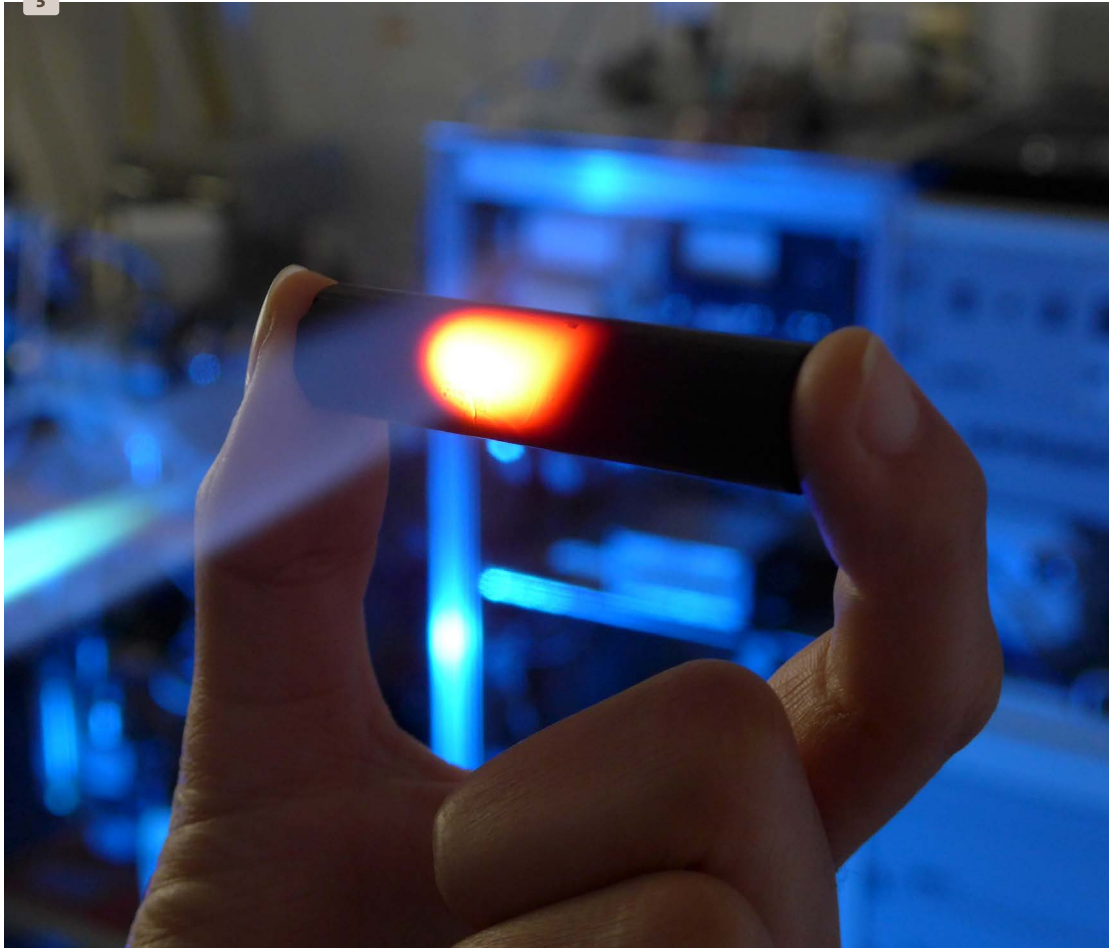


Abb. 3: Hochtemperaturwärmedämmung im Einsatz

Fig. 3: High-temperature thermal insulation in action

STELLUNGNAHME DES BEREICHS ES ZUR ROLLE DER ANGEWANDTEN ENERGIEFORSCHUNG IN DER CORONAKRISE

Im Jahr 2020 machten sich die Mitarbeiter*innen des Bereichs ES Gedanken darüber, wie die Energieforschung in Zeiten der Krise und darüber hinaus zu einer nachhaltigen Verbesserung unserer Lebensumstände beitragen kann. Daraus entstand eine im August veröffentlichte Stellungnahme, die an dieser Stelle für sich selbst sprechen soll:

ANGEWANDTE ENERGIEFORSCHUNG ZUR STÄRKUNG DES ENERGIESYSTEMS GEGENÜBER DEN AUSWIRKUNGEN DER CORONA-KRISE

Ausgangssituation

Durch die Corona-Krise reduzieren sich in Bayern, in Deutschland und weltweit der Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen. Gleichzeitig geraten Kommunen, Unternehmen und auch private Haushalte durch Einnahmeausfälle in finanzielle Schwierigkeiten. Anstehende Investitionen in Umwelt- und Klimaschutz, die nachhaltige Transformation des Energiesystems und die Erreichung der Ziele des Pariser Übereinkommens sind gefährdet. Andererseits lässt sich in der Krisensituation erkennen, wie wirkungsvoll durch politischen Gestaltungswillen tiefgreifende Veränderungen erreicht werden können – die Energiewende ist möglich!

Angesichts dieser Ausgangslage sieht sich die angewandte Energieforschung dringenden Fragestellungen gegenüber: Welche Energietechnologien können zur Bekämpfung derartiger Virensausbrüche implementiert werden? Wie können Fördergelder und Konjunkturprogramme eingesetzt werden, um während und nach der Krise Versorgungssicherheit und regionale Wertschöpfung im Bereich Energie auf lokaler Ebene zu stärken? Wie kann die Energieversorgung umgestaltet werden, so dass die CO₂-Emissionen dauerhaft, ohne einen Rückfall in alte Muster (Rebound-Effekt) gesenkt werden können, wenn

DIVISION ES STATEMENT ON THE ROLE OF APPLIED ENERGY RESEARCH IN THE CORONA CRISIS

In 2020, the staff of Division ES reflected on how energy research can contribute to a sustainable improvement of our living conditions in times of crisis and beyond. Out of this emerged a statement published in August, which shall speak for itself below:

APPLIED ENERGY RESEARCH TO STRENGTHEN THE ENERGY SYSTEM IN THE FACE OF THE CORONA CRISIS

Initial Situation

As a result of the Corona Crisis, energy consumption and the associated CO₂ emissions are decreasing in Bavaria, Germany, and the world. Simultaneously, municipalities, companies, and private households are experiencing financial difficulties due to a drop in revenue. Pending investments in environmental and climate protection, the transformation of the energy system towards sustainability, and the goals of the Paris Agreement are at risk. At the same time, the crisis reveals how effectively fundamental change can be achieved with the political will to shape—the energy transition is possible!

In light of this situation, applied energy research is facing urgent questions: Which energy technologies could be implemented to combat viral outbreaks? How can subsidies and stimulus programmes strengthen the stability of supply and the regional creation of value in the energy field on a local level during and after the crisis? How can the energy supply be redesigned to permanently reduce CO₂ emissions without relapsing into old patterns (rebound effect) when consumption goes back up due to the "ramp-up" of industry and transport?

der Energieverbrauch durch das "Hochfahren" von Industrie und Verkehr wieder ansteigt?

Im Folgenden soll anhand von Projekten und Projektideen des Bereichs Energiespeicherung des ZAE Bayern aufgezeigt werden, welchen Beitrag angewandte Energieforschung zu diesen Fragestellungen liefern kann. Dabei sind die Projekte in drei Ebenen unterteilt:

Energietechnologien zur Bekämpfung von Pandemien

Energietechnologien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und Stärkung der Resilienz der Energieversorgung

Energieeffizienztechnologien zur Verminderung von Rebound-Effekten und zur Unterstützung der Energiewende

In the following, projects and ideas from ZAE Bayern's Energy Storage division will be used to illustrate the contribution applied energy research can make to these issues. The projects are divided into three tiers:

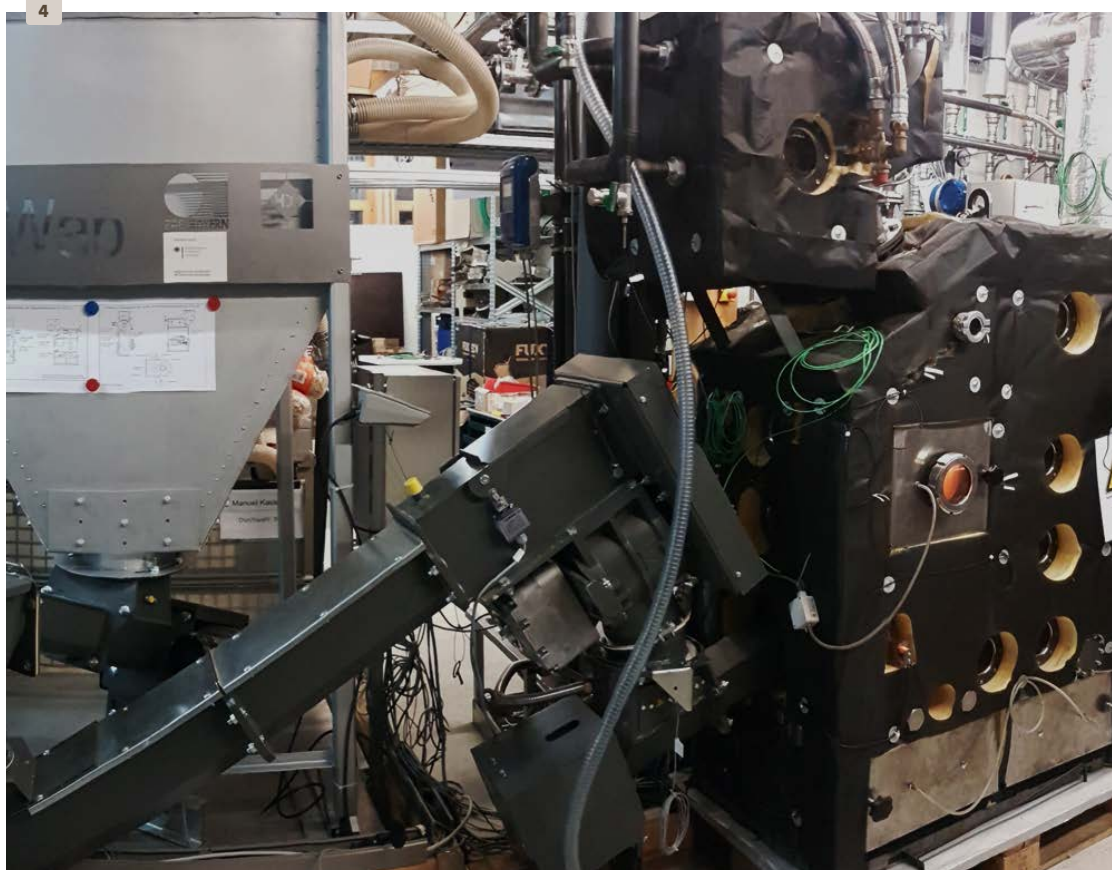
Energy technology to combat pandemics

Energy technology for increased security and resilience of the energy supply

Energy efficiency technology to reduce rebound effects and support the energy transition

Abb. 4: Energietechnologien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit: mit Hackschnitzeln gefeuerte Absorptionswärmepumpe aus dem Projekt BioWap und geothermische Weichenheizung

Fig. 4: Energy technology for an increased security of supply: absorption heat pump driven with wood chips from project BioWap and geothermal point heating system



Energietechnologien zur Bekämpfung von Pandemien

Energietechnologien zur Bekämpfung von Pandemien können an verschiedenen Stellen des Virusgeschehens ansetzen, unter anderem bei der Vermeidung von Ausbreitungs- und Übertragungsprozessen, bei der Reduktion der Viruskonzentration in der Raumluft oder beim Transport temperaturempfindlicher medizinischer Güter.

Energy Technology to Combat Pandemics

Energy technologies may be applied at various points of the viral cycle to combat pandemics, including the prevention of spread and transmission processes, the reduction of the virus concentration in indoor air, or the transport of temperature-sensitive medical goods.



Die Vermeidung von Ausbreitungs- und Übertragungsprozessen erfolgt in erster Linie durch Kontaktbeschränkungen sowie Abstandsregeln. In Folge dessen wurde und wird vermehrt in Homeoffice bzw. Homeschooling gearbeitet bzw. gelernt. Um die Auswirkungen dieser Verlagerung von Arbeits- und Lernstätten auf das Energiesystem besser verstehen zu können, sind Studien erforderlich, die das reduzierte Verkehrsaufkommen und die geänderten Energieverbräuche der Haushalte untersuchen. Dabei können auch Erkenntnisse über die Auswirkungen derartiger Dezentralisierungsprozesse auf die Förderung regionaler Wertschöpfung sowie die Umsetzung bzw. Anforderungen an die Digitalisierung gewonnen werden.

Für die Reduktion der Viruskonzentration in geschlossenen Räumen – am Arbeitsplatz, im ÖPNV, im Flugzeug etc. – werden Lüftungs- und Klimatisierungssysteme eingesetzt. Um wirkungsvoll die Viruskonzentration zu vermindern, ist bei der Auslegung solcher Systeme auf ausreichende Frischluftzufuhr und/oder eine effektive Filterung der Innenluft zu achten. Das ZAE Bayern verfügt über langjährige Erfahrung in der Entwicklung innovativer Klimatisierungssysteme mit geringem Primärenergieverbrauch.

Für den Transport temperaturempfindlicher medizinischer Güter, wie Medikamente und Impfstoffe, eignen sich Systeme, die Wärmespeichermaterialien hoher Speicherkapazität in Kombination mit Wärmedämmelementen verwenden. Derartige Systeme ermöglichen eine passive Temperaturstabilisierung über einen langen Zeitraum ohne den Einsatz zusätzlicher Hilfeenergie. Am ZAE Bayern werden solche Wärmespeichermaterialien (Phase Change Materials, PCM) seit über 20 Jahren entwickelt und charakterisiert.

Energietechnologien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und Stärkung der Resilienz der Energieversorgung

Die Corona-Krise zeigt, wie schnell die bisher selbstverständliche Versorgungssicherheit gefährdet sein kann.

The prevention of spread and transmission processes is primarily achieved through contact restrictions and distance rules. As a result, more and more people have been working or studying at home. To better understand the impact this shift in working and learning spaces has on the energy system, studies are required to analyse the reduced traffic volume and altered energy consumption of households. This can also provide insights into the effects of such decentralisation processes on the promotion of regional value creation as well as on the implementation and requirements of digitalisation.

Ventilation and air-conditioning systems are used to lower the virus concentration in enclosed spaces—at the workplace, in public transport, in aircraft, etc. In order to effectively do so, such systems must be designed to provide a sufficient fresh air supply and/or effective filtration of the indoor air. ZAE Bayern has many years of experience in the development of innovative air conditioning systems with low primary energy consumption.

For the transport of temperature-sensitive medical goods, such as drugs and vaccines, systems which combine heat storage materials with a high storage capacity and thermal insulation elements are suited. Such systems allow for passive temperature stabilisation over a long period of time without the need for auxiliary energy. At ZAE Bayern, such heat storage materials have been developed and characterised for over 20 years.

Energy Technology for Increased Security and Resilience of the Energy Supply

The Corona Crisis highlights how quickly the, previously taken-for-granted, security of supply can be jeopardised. In the energy sector, security of supply can be achieved through decentralised energy production and storage, which is independent of imports. Such an energy supply promotes the resilience needed in our future energy system, i.e. it ensures the system's proper functioning and the fulfilment of consumers' energy needs. Energy technologies which focus on regional value creation

Im Energiesektor lässt sich Versorgungssicherheit durch eine importunabhängige, dezentrale Energieerzeugung und -speicherung realisieren. Eine solche Energieversorgung fördert die notwendige Resilienz unseres zukünftigen Energiesystems, stellt also die Funktionsfähigkeit des Systems und die Deckung des Energiebedarfs der Verbraucher sicher. Besonders attraktiv sind Energietechnologien, welche den Fokus auf regionale Wertschöpfung legen. Wenn sowohl Produkte als auch Arbeitsleistungen aus dem näheren Umfeld des Verbrauchers bereitgestellt werden, profitieren Haushalte und Kommunen multifaktoriell.

Im Folgenden werden beispielhaft zwei Projekte des ZAE Bayern vorgestellt, in denen Energietechnologien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit entwickelt werden. Im Projekt BioWap wird ein mit Holzhackschnitzeln direkt befeuertes Absorptionswärmepumpen-System erprobt. Der integrierte thermische Wärmepumpenprozess macht eine Umweltwärmequelle mit niedriger Temperatur nutzbar und verdoppelt die Effizienz im Vergleich zu herkömmlichen Heizkesseln. Auf diese Art bereitgestellte Wärme und Kälte für Klimatisierung oder industrielle Zwecke reduziert den Brennstoffbedarf um bis zu 50 %. Zudem wird die Belastung des Stromnetzes im Vergleich zu konventionellen elektrischen Wärmepumpen stark verringert. Aufgrund des geringen Strombedarfs und der guten Lagerfähigkeit des umweltfreundlichen Brennstoffs ist das System nahezu unabhängig von Stromerzeugung aus volatilen erneuerbaren Energien.

An Stelle energieintensiver elektrischer Beheizung können Flächen im Außenbereich, die im Winter eisfrei zu halten sind (z. B. Weichen im Zugverkehr), durch den Einsatz erdgekoppelter Wärmepumpen mit einem reduzierten Energiebedarf beheizt werden. Mit der im Projekt GERDI (weiter-) entwickelten Technologie direkt gekoppelter CO₂-Erdwärmesonden, die ausschließlich Erdwärme nutzen, entfällt der elektrische Energiebedarf für Pumpen oder einen Kompressor. Diese Technologie ermöglicht eine wartungsfreie, vollständig regenerative und emissionsfreie Beheizung ohne Belastung des Stromnetzes.

are particularly attractive. If products and labour are both provided from the consumer's immediate vicinity, households and municipalities benefit in many ways.

In the following, two of ZAE Bayern's projects will be presented as examples, in which energy technologies for an increase in supply security are being developed. In the BioWap project, an absorption heat pump system directly fired with woodchips is undergoing trials. The integrated thermal heat pump process harnesses a low-temperature environmental heat source while doubling efficiency compared to conventional boilers. Heat and cold provided in this manner for air conditioning or industrial purposes reduces fuel requirements by up to 50%. Moreover, the load on the electrical grid is greatly reduced relative to conventional electric heat pumps. Due to its low electricity demand and the environmentally friendly fuel's easy storability, the system is virtually independent of volatile renewable energy generation.

In lieu of energy-intensive electrical heating, outdoor areas which need to be kept ice-free in winter (e.g. railway switches) may be heated using less energy by applying geothermally coupled heat pumps. The technology of directly coupled CO₂ borehole heat exchangers, which exclusively use geothermal energy, (further) developed in the GERDI project, eliminates the electrical energy demand of pumps or a compressor. It enables maintenance-free, fully regenerative, and emission-free heating without straining the electrical grid.

Energy Efficiency Technology to Reduce Rebound Effects and Support the Energy Transition

As the Corona crisis progresses, the improvement of energy efficiency is shifted further into the foreground. This is because, despite the temporary drop in energy consumption and CO₂ emissions, so-called rebound effects are a likely possibility: A rapid and sharp rise in emissions could occur as the industry ramps up again. Energy-efficient technologies could counteract this.

Energieeffizienztechnologien zur Verminderung von Rebound-Effekten und zur Unterstützung der Energiewende

Im Verlauf der Corona-Krise rückt die Verbesserung der Energieeffizienz weiter in den Vordergrund. Denn trotz der vorerst gesunkenen Energieverbräuche und CO₂-Emissionen sind sogenannte Rebound-Effekte zu befürchten: Ein schneller und starker Anstieg der Emissionen könnte mit dem Wiederhochfahren der Industrie eintreten. Energieeffiziente Technologien können dem entgegenwirken.

Am ZAE Bayern wird an Projekten zur Steigerung der Energieeffizienz gearbeitet. Im Rahmen des Verbundprojekts Gießerei Heunisch entwickelt das ZAE Bayern ein Energiespeichersystem zur Nutzung diskontinuierlicher industrieller Abwärme eines Schmelzofens in einer Gießerei, um diese während der Stillstandzeiten des Ofens zur Bereitstellung von Prozess- und Heizwärme sowie Prozesskälte nutzen zu können. Erreicht wird dies durch den Einsatz eines innovativen Wärmespeichers bis 300 °C, einer Absorptionswärmepumpe und der effizienten Verknüpfung mit weiteren Wärmequellen und -senken. Der Wärmespeicher ist als Zweistoffspeicher ausgeführt, in dem eine Feststoffschüttung im Direktkontakt mit einer umströmenden Wärmeträgerflüssigkeit steht.

Ein großer Teil des Primärenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf Prozesse energieintensiver Industrien bei Temperaturen im Bereich von etwa 200 bis 1.000 °C. Zur Steigerung industrieller Energieeffizienz befasst sich das Projekt HT-VSI mit der Entwicklung einer hocheffizienten Hochtemperatur-Wärmedämmung in Form einer Vakuumsuperisolation (VSI). Gemäß Berechnungen können mit dieser, im Bereich bis ca. 100 °C bereits etablierten, Technologie auch bei hohen Temperaturen vier- bis zehnfach bessere Dämmwerte bei konkurrenzfähiger Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Solche Dämmmaterialien eignen sich auch zur Effizienzsteigerung von Hochtemperatur-Brennstoffzellen.

ZAE Bayern is carrying out research aimed at increasing energy efficiency. As part of a joint project, ZAE Bayern is developing an energy storage system for the utilisation of discontinuous industrial waste heat from the melting furnace of a foundry, in order to use it as a source of process and space heat as well as for process cooling during the furnace's downtimes. It does so by using an innovative heat storage for temperatures up to 300°C, an absorption heat pump, and efficient linking with other heat sources and sinks. The heat storage employs a dual-material design, in which a solid bed is in direct contact with a heat transfer fluid flowing around it.

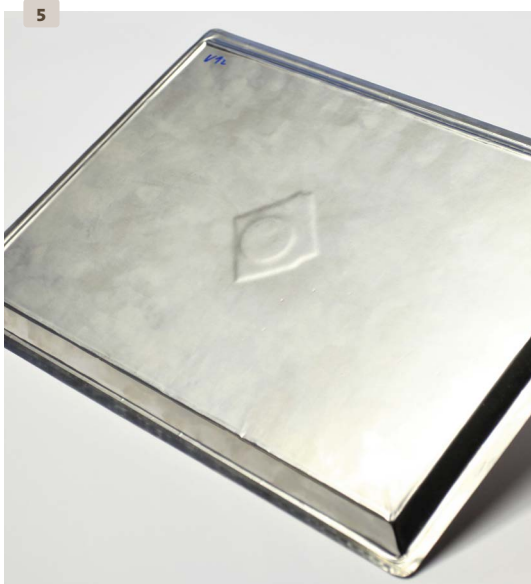
A large share of Germany's primary energy consumption is accounted for by processes in energy-intensive industries at temperatures ranging between around 200 and 1,000°C. To increase industrial energy efficiency, the HT-VSI project is concerned with the development of a highly efficient high-temperature thermal insulation taking the form of a vacuum super insulation (VSI). According to calculations, this technology, which is already established for temperatures up to about 100°C, can achieve four- to tenfold better insulation values at a competitive price, also at high temperatures. Such insulation materials may also be used to increase the efficiency of high-temperature fuel cells.

DREI ZAE-PROJEKTE IN DER IEA-INITIATIVE „TODAY IN THE LAB, TOMORROW IN ENERGY?“

Das Programm dient der Sichtbarmachung von Arbeit und Ergebnissen des „Technical Collaboration Programme“-Netzwerks der International Energy Agency (IEA) in der Öffentlichkeit sowie bei Entscheidungsträgern in Industrie und Politik. Die gewählten Projekte sollten sich in der vorkommerziellen Phase befinden und mit nachhaltiger Energienutzung beschäftigen.

In „Industrielle Abwärmenutzung durch thermische Energiespeicherung (iAST)“ wird ein thermischer Energiespeicher mit doppeltem Speichermedium entwickelt. Feste Materialanteile, zum Beispiel Steine, erhöhen dabei die Kapazität und senken gleichzeitig die Anschaffungskosten.

Das Projekt „Hochtemperatur-Vakuumsuperisolation (HT-VSI)“ befasst sich mit der Entwicklung einer hocheffizienten Wärmedämmung zur zeitlich entkoppelten Nutzbarmachung industrieller Abwärme. Die im Vergleich mit herkömmlichen Materialien um den Faktor 4 bis 10 effizientere Dämmung ist auch in anderen Anwendungen einsetzbar.



THREE OF ZAE'S PROJECTS PART OF IEA INITIATIVE "TODAY IN THE LAB, TOMORROW IN ENERGY?"

The programme aims to promote the work and results of the International Energy Agency's (IEA) Technical Collaboration Programme network to the public as well as to decision makers in industry and politics. The selected projects had to be in the pre-commercial phase and address sustainable energy use.

In "Improving Industrial Waste Heat Recovery (iAST)", a thermal energy storage system with dual storage media is being developed. Mixing in solid materials, such as rocks, increases storage capacity while simultaneously reducing acquisition cost.



Abb. 5: Hocheffizientes Vakuumsuperisulationspaneel
Fig. 5: Highly efficient vacuum superinsulation panel

Abb. 6: Feststoffschüttung im Inneren des Speichers aus dem Projekt iAST

Fig. 6: Solid medium in the iAST storage system

„Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II (QEWS II)“ behandelte schließlich Probleme bei der oberflächennahen Geothermie. Technologische, ökonomische und ökologische Fehlschläge bei Erdwärmesystemen wurden analysiert und daraus Lösungen für deren reibungslose Installation und Wartung entwickelt.

The project "High-Temperature Vacuum Super Insulation (HT-VSI)" deals with the development of a highly efficient thermal insulation for the temporally decoupled utilisation of industrial waste heat. The insulation, which is 4 to 10 times more efficient than conventional materials, may also be employed in other applications.

Finally, "Quality Assurance for Borehole Heat Exchangers II (QEWS II)" dealt with problems in near-surface geothermal energy. Technological, economic, and ecological failures in geothermal systems were analysed to develop solutions for their frictionless installation and maintenance.

BAHNBRECHENDE FORSCHUNG ZUR SOLARENERGIETECHNOLOGIE

Im Rahmen des EU-geförderten Projekts „Molecular Solar Thermal Energy Storage Systems (MOST)“ wurde ein neues System entwickelt, das Solarenergie durch Photoisomerie chemisch speichern und zur Raumheizung nutzbar machen kann. Das ZAE entwickelte dabei den projektspezifischen Hybridkollektor.

GROUND BREAKING RESEARCH IN SOLAR ENERGY TECHNOLOGY

In the EU funded project “Molecular Solar Thermal Energy Storage Systems (MOST)”, a new system was developed which can chemically store solar energy through photoisomerism and thereby make it available for space heating. ZAE was in charge of developing the project-specific hybrid collector.

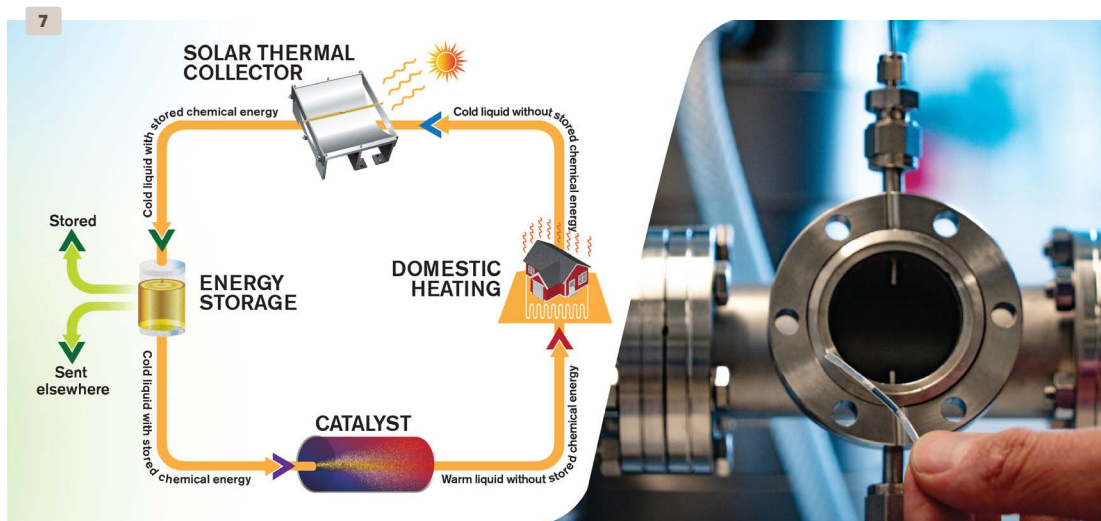


Abb. 7: Schema des im Projekt MOST entwickelten Systems
© Yen Strandqvist, Johan Bodell, Chalmers University of Technology

Fig. 7: Schematic of the system developed in the MOST project
© Yen Strandqvist, Johan Bodell, Chalmers University of Technology

8

Abb. 8: Die Würzburger
Umweltstation

© Michael Lauricella

Fig. 8: The Würzburg
Environmental Station

© Michael Lauricella



DIE UMWELTSTATION IN WÜRZBURG – EIN MODELL- UND ANSCHAUUNGSPROJEKT MIT VORBILDFUNKTION

2020 wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und das Umweltbundesamt zum ersten Mal der Bundespreis Umwelt & Bauen vergeben. Neben vier Preisträgern wurde dabei die Umweltstation in Würzburg mit einem Anerkennungspreis in der Kategorie Nichtwohngebäude gewürdigt. Der Bereich EF war, im Rahmen zweier durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekte, an Planungsphase und Bauphase bis zur Inbetriebnahme 2019 beteiligt.

THE ENVIRONMENTAL STATION IN WÜRZBURG – AN EXEMPLARY MODEL AND DEMONSTRATION PROJECT

In 2020, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the German Federal Environmental Agency presented the first Federal Environment & Building Award. Alongside four award winners, the Environmental Station in Würzburg was honoured with a recognition award in the non-residential buildings category. In two projects funded by the Federal Environmental Foundation, Division EF was involved in the planning and construction phases up to the 2019 commissioning.

NETZWERK WISSEN²

Nach rund sechs Jahren der Kooperation haben das Netzwerk Wissen², ein Zusammenschluss von Würzburger Initiativen an der Schnittstelle von Schule und Wissenschaft, und die Stadt Würzburg ihre weitere Kooperation schriftlich besiegelt. Die Vereinbarung wurde am 21. Oktober 2020 von den Netzwerkpartnern und dem Bildungsbüro der Stadt Würzburg unterzeichnet.

Das Netzwerk Wissen² bietet wissenschaftliche Unterstützung für Schüler*innen, die im schulischen und außerschulischen Kontext eigene Forschungsprojekte erarbeiten.

NETWORK WISSEN²

After about six years of cooperation, the network Wissen² (Knowledge²), an association of initiatives from Würzburg at the interface between school and science, and the City of Würzburg have sealed their further cooperation in writing. The agreement was signed on 21 October 2020 by the network partners and the city's education office.

The Wissen² network offers scientific support to students who are working on their own research projects in and out of school.



Abb. 9: Akteure des Netzwerks Wissen² und der Stadt Würzburg (v. l. n. r.): Prof. Dr. Hartwig Frimmel (Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU), Leiter des Mineralogischen Museums), Dr. Hans-Peter Ebert (Vorstand ZAE Bayern), Christoph Petschenka (Geschäftsführer Initiative Junge Forscherinnen und Forscher e. V.), Prof. Dr. Thomas Trefzger (JMU, MIND Center), Prof. Dr. Robert Grebner (Präsident Hochschule für Angewandte Forschung Würzburg-Schweinfurt), Judith Jörg (Bildungsbürgermeisterin Stadt Würzburg), Prof. Dr. Markus Riederer (JMU, Leiter des Botanischen Gartens)
© Christian Weiß

Fig. 9: Members of the Wissen² network and the City of Würzburg (f.l.t.r.): Prof. Dr. Hartwig Frimmel (Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU), director of the mineralogical museum), Dr. Hans-Peter Ebert (ZAE Bayern board of directors), Christoph Petschenka (managing director of Initiative Junge Forscherinnen und Forscher e. V.), Prof. Dr. Thomas Trefzger (JMU, MIND Center), Prof. Dr. Robert Grebner (president of the University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt), Judith Jörg (educational mayor of Würzburg), Prof. Dr. Markus Riederer (JMU, director of the botanical garden)
© Christian Weiß

10



Abb. 10: Virtuelle Verleihung des Innovation Leben Award am 10. November 2020

© Bayern Innovativ

Fig. 10: Virtual presentation of the Innovation Leben Award on 10 November 2020

© Bayern Innovativ

INNOVATION LEBEN AWARD 2020

Unter den eingegangenen Bewerbungen für den Innovation Leben Award 2020 konnte das ZAE Bayern mit seinem Innovationsprojekt „Vakuumisulationspaneele (VIP) als Superisolationen zur Verbesserung der Energieeffizienz“ überzeugen. Das Projekt wurde im Bereich Neue Werkstoffe in der Kategorie Technologieinnovation nominiert und zählte am Ende zu den Top 25 der Bewerber.

INNOVATION LEBEN AWARD 2020

Among the entries submitted for the Innovation Leben Award 2020, ZAE Bayern was able to convince the jury with its innovative project “Vacuum Insulation Panels (VIP) as Super Insulation for Improving Energy Efficiency”. The project was nominated in the New Materials section of the Technology Innovation category and ultimately ranked among the top 25 applicants.

GLOBAL EXCELLENCE AWARD 2020 DER ENERGY AND ENVIRONMENT FOUNDATION FÜR DR. ANDREAS HAUER

Die indische Energy and Environment Foundation, eine NGO mit der Zielsetzung, möglichst vielen Menschen nachhaltige Energie verfügbar zu machen, verlieh 2020 zum zehnten Mal ihre Global Awards.

Der Global Excellence Award im Bereich der erneuerbaren Energien ging dabei an unseren Vorstandsvorsitzenden, Dr. Andreas Hauer. Die Entscheidung wurde durch eine vierköpfige Fachjury getroffen. Die Verleihung im Rahmen des, ebenfalls durch die Energy and Environment Foundation organisierten, World Renewable Energy Technology Congress, fand virtuell statt.

GLOBAL EXCELLENCE WARD 2020 OF THE ENERGY AND ENVIRONMENT FOUNDATION GOES TO DR. ANDREAS HAUER

The Indian Energy and Environment Foundation, an NGO dedicated to making sustainable energy available to as many people as possible, presented its tenth Global Awards in 2020.

The Global Excellence Award in the field of renewable energies went to ZAE's chairman of the board, Dr Andreas Hauer. The choice was made by a jury of four experts. The award ceremony took place virtually as part of the World Renewable Energy Technology Congress, also held by the Energy and Environment Foundation.



Abb. 11: Global Excellence Award der Energy and Environment Foundation für Dr. Andreas Hauer
© Energy and Environment Foundation

Fig. 11: Global Excellence Award of the Energy and Environment Foundation for Dr. Andreas Hauer
© Energy and Environment Foundation

1.6

BEI UNS ZU GAST OFFICIAL VISITORS

BESUCHER IN GARCHING



Abb. 1: Abschluss des Projekts QEWS II im Januar

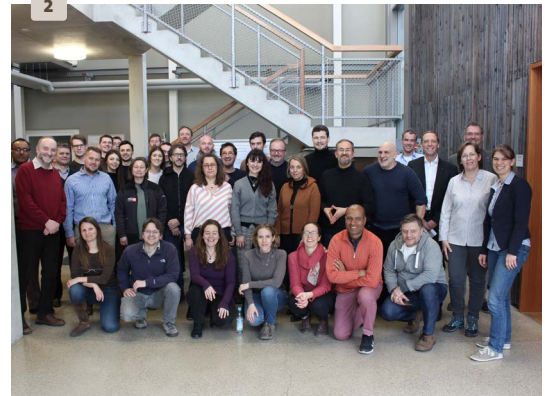
Fig. 1: Final meeting of project QEWS II in January

Abb. 2: Vertreter*innen des Netzwerkes Cost Action Geothermal DHC in Garching

Fig. 2: Representatives of the Cost Action Geothermal DHC network in Garching

- Abschlusstreffen zum Projekt QEWS II mit Vertreter*innen der beteiligten Projektpartner HBC-IGE, KIT-AGW, EIFER, Solites und Esiomconsulting sowie Dr. Andreas Koch als Repräsentant des Projektträgers Jülich (30.01.2020)
- Tunesische Delegation auf einer Seminartour mit dem Fokus solare Kühlung (05.02.2020)
- Mitglieder des Forschungsnetzwerks Cost Action Geothermal DHC (20.02.2020)
- Delegation der Danish Energy Agency des dänischen Klima- und Energeministeriums (08.07.2020)
- Martin Ecker, Geschäftsführer der HDG Bavaria GmbH, und Wolfgang Aich, Projektleiter, zum Abschlussmeeting des Projekts BioWap (17.09.2020)

VISITORS TO GARCHING



- Final meeting of the parties involved in project QEWS I: HBC-IGE, KIT-AGW, EIFER, Solites and Esiomconsulting as well as Dr. Andreas Koch representing Project Management Jülich (30/01/2020)
- Tunesian delegation on a seminar tour focused on solar cooling (05/02/2020)
- Members of the Cost Action Geothermal DHC research network (20/02/2020)
- Delegation of the Danish Ministry for Climate and Energy's Danish Energy Agency (08/07/2020)
- Martin Ecker, director of HDG Bavaria, and Wolfgang Aich, project manager, for the final meeting of project BioWap (17/09/2020)

BESUCHER IN WÜRZBURG



- Fraktion Bündnis 90/Die Grünen des Bayerischen Landtags (16.01.2020)
- Arbeitskreis Effizienz des Netzwerkes „LandSchafttEnergie“. Das Projekt LandSchafttEnergie wird von den Bayerischen Staatsministerien für Wirtschaft, Energie und Technologie (StMWi) sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) unterstützt. (21.01.2020)
- Barbara Becker, MdL, mit Schüler*innen des Gymnasiums Gaibach in der Ausstellung Klima-Umwelt-Energie (14.02.2020)
- Arbeitsgemeinschaft Würzburger Frauen und Frauenorganisationen (AWF) (21.02.2020)
- Barbara Lehrieder, Stadträtin der Stadt Würzburg, und Bürger*innen im Energy Efficiency Center (04.03.2020)
- Freie Wähler, Kreistagsfraktion Nürnberger Land (03.10.2020)

VISITORS TO WÜRZBURG



- Bavarian faction of Bündnis 90/Die Grünen (16/01/2020)
- Efficiency working group of the “LandSchafttEnergie” network, a project supported by the Bavarian State Ministries for Economic Affairs, Energy and Technology (StMWi) as well as Food, Agriculture and Forestry (StMELF) (21/01/2020)
- Barbara Becker, Member of the Bavarian Parliament, with students from Gaibach at the Climate-Environment-Energy exhibition (14/02/2020)
- Working group Women of Würzburg and Women's Organisations (21/02/2020)
- Barbara Lehrieder, city councillor of Würzburg, with citizens at the Energy Efficiency Center (04/03/2020)
- Freie Wähler, Nuremberg district council (03/10/2020)

Abb. 3: Fraktionsvorsitzende B'90 Grüne Katharina Schulze, MdL, bei ihrem Eintrag auf der „Wall of Fame“ im Energy Efficiency Center
© Pressebüro/Fraktion Bündnis 90/Die Grünen

Fig. 3: Katharina Schulze, chairperson of the Bavarian Parliament's Green faction, signing the "Wall of Fame" in the Energy Efficiency Center
© Press Office/Fraktion Bündnis 90/Die Grünen

Abb. 4: Barbara Becker, MdL, besuchte gemeinsam mit Schüler*innen des Gymnasiums Gaibach die Ausstellung Klima-Umwelt-Energie. Vor Ort wurden in einem multimediale Angebot Informationen zu diversen Themen mit Bezug zur Energieeffizienz dargeboten.

Fig. 4: Barbara Becker, Member of the Bundestag, visited the Climate-Environment-Energy exhibition with students from Gaibach. On site, information on various energy efficiency-related topics was given in a multimedia presentation.



Abb. 5: Dr. Michaela Reim, Mitarbeiterin des ZAE, informierte die Arbeitsgemeinschaft Würzburger Frauen (AWF) über die Forschungsaufgaben im Energy Efficiency Center.
© Barbara Lehnrieder, AWF

Fig. 5: Dr. Michaela Reim, ZAE staff member, briefed the Würzburg Women's Association on the research at the Energy Efficiency Center.
© Barbara Lehnrieder, AWF



Abb. 6: Barbara Lehnrieder, Stadträtin der Stadt Würzburg, und Bürger*innen besuchen das Energy Efficiency Center. Bereichsleiter Dr. Hans-Peter Ebert erläutert die Funktionsweise von Kohlenstoff-Aerogel zur elektrischen Energiespeicherung.

Fig. 6: Barbara Lehnrieder, city councillor of Würzburg, and citizens visit the Energy Efficiency Center. Head of Division Dr. Hans-Peter Ebert explains how carbon aerogel is used to store electrical energy.

BESUCHER IN NÜRNBERG

- Studenten aus Korea, Chonnam National University (21.01.2020)
- Printed Electronics Franken (29.01.2020)
- Christian Zwanziger, MdL, Bündnis 90/Die Grünen (25.02.2020)
- Dr. Stefan Kaufmann, MdB, CDU (30.07.2020)

VISITORS TO NUREMBERG

- Students from Korea, Chonnam National University (21/01/2020)
- Printed Electronics Franconia (29/01/2020)
- Christian Zwanziger, Member of the Bavarian Parliament, Bündnis 90/Die Grünen (25/02/2020)
- Dr. Stefan Kaufmann, Member of the Bundestag, CDU (30/07/2020)

FORSCHUNG
RESEARCH

2.0

THERMISCHE ANALYSE
THERMAL ANALYSIS

NANOMATERIALIEN
NANOMATERIALS

ANGEWANDTE IR-METROLOGIE
APPLIED IR METROLOGY

ELEKTROCHEMISCHE ENERGIESPEICHER
ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE

THERMISCHE ENERGIESPEICHER
THERMAL ENERGY STORAGE

SYSTEMENTWICKLUNG
SYSTEMS ENGINEERING

SOLARTHERMIE UND GEOTHERMIE
SOLAR THERMAL AND GEOTHERMAL

ENERGIEOPTIMIERTE GEBÄUDE
ENERGY OPTIMISED BUILDINGS

WÄRMETRANSFORMATION
HEAT CONVERSION

SOLARFABRIK DER ZUKUNFT
SOLAR FACTORY OF THE FUTURE

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.



SMARTFLOWER

W

Energy

www.

ower.com



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

MESSUNG DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT BEI TIEFSTEN TEMPERATUREN

MEASUREMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY AT VERY LOW TEMPERATURES

Autor | Author
S. Vidi, F. Hemberger

Ansprechpartner | Contact
Dipl.-Phys. Frank Hemberger
Stellv. Gruppenleiter
Thermische Analyse
Deputy Head of Group
Thermal Analysis

Bereich | Division
Energieeffizienz
Energy Efficiency
+49 931 70564-326
frank.hemberger@zae-bayern.de

Kooperationspartner | Partners
ArianeGroup GmbH

Mit der Ariane-Raketenfamilie hat Europa seit den 1970ern einen unabhängigen Zugang zum Weltraum. Mittlerweile fliegt die Rakete in ihrer fünften Version und bedient sowohl den institutionellen als auch den kommerziellen Markt. Und auch die neueste Generation, Ariane 6, soll wie Ihre Vorgänger Zugang zu erd- und mondgebundenen Orbits gewähren.

Allen Raketen gemeinsam sind die besonders hohen Anforderungen an Technik und Material. Die Bauteile werden zum Teil extremen Temperaturen ausgesetzt. Teile der Flüssigtreibstofftanks kühlen bis auf wenige Kelvin herab, während im Bereich der Triebwerke mehrere tausend Grad Celsius erreicht werden können. Um unter solchen Umständen die zuverlässige Funktion der Rakete zu gewährleisten, sind genaue Materialparameter nötig. Speziell thermische Eigenschaften bei sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen entscheiden über ein erfolgreiches thermisches Management und somit darüber, ob ein Raumfahrzeug funktioniert oder nicht. Die Wärmeleitfähigkeit bestimmt, wie gut Wärme zur gezielten Kühlung abgeleitet werden kann oder sich Wärmeverluste unterbinden lassen, um beispielsweise die Erwärmung flüssiger Treibstoffe zu verhindern. Solch extreme Temperaturen stellen aber nicht nur besondere Herausforderungen an die Materialien selbst, sondern auch an die Messtechnik, die der verlässlichen Bestimmung der Materialeigenschaften dient.

Am ZAE Bayern wurde in Zusammenarbeit mit der ArianeGroup GmbH eine Apparatur zur Messung der Wärmeleitfähigkeit bei tiefsten Temperaturen entwickelt. Diese arbeitet nach dem Guarded-Hot-Plate-Prinzip, bei dem der Wärmefluss durch einen Prüfkörper von einer wärmeren Messfläche zu kälteren Platten gemessen wird. Dabei ist die Messfläche von einem Schutzring (dem Guard-Ring) umgeben, um einen eindimensionalen Wärmefluss durch die Probe

Since the 1970s, the Ariane rocket family has been providing Europe with independent access to space. The rocket is now in its fifth generation and serves both institutional and commercial markets. And like its predecessors, the latest version, Ariane 6, is intended to provide access to Earth- and Moon-based orbits.

All rockets have in common the particularly high demands made on the technology and materials. The components are at times exposed to extreme temperatures. Parts of the liquid propellant tanks cool down to only a few Kelvin, while several thousand degrees Celsius may occur near the engines. In order to ensure the reliability of the rocket under such circumstances, exact material parameters are required. Particularly the thermal properties at very high and very low temperatures are crucial for successful thermal management and thus for the functionality of a spacecraft. Thermal conductivity determines how well heat can be dissipated for selective cooling or how well heat losses can be suppressed, for example to prevent liquid propellants from heating up. Such extreme temperatures, however, not only pose special challenges to the materials as such, but also to the metrology used for the reliable determination of the material properties.

ZAE Bayern, in collaboration with ArianeGroup GmbH, has developed an apparatus for measuring thermal conductivity at very low temperatures. It employs the guarded hot plate principle, in which the heat flow through a test specimen from a warmer measuring surface to colder plates is measured. The measuring surface is enclosed by a protective ring (the guard ring) to ensure one-dimensional heat flow through the sample. This is a commonly used absolute measurement method for determining the thermal conductivity of insulating materials. The version implemented at ZAE can measure thermal conductivity at mean temperatures between 16 K (approx. -257 °C) and

1

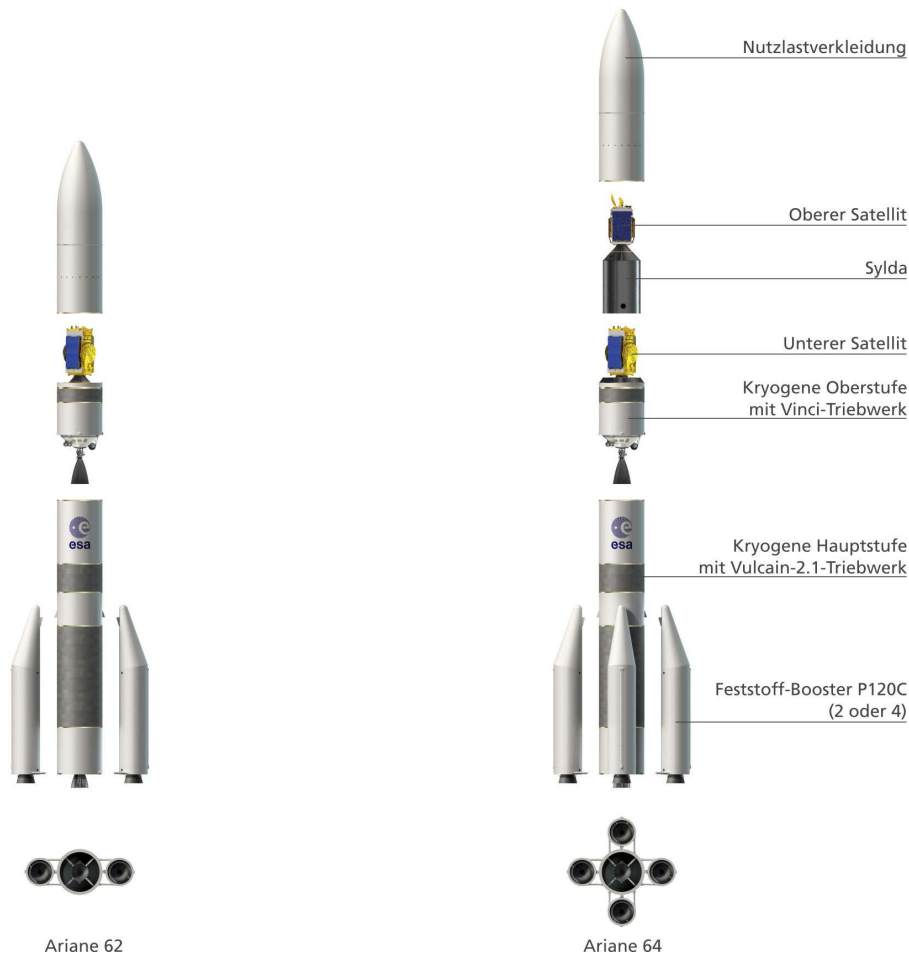


Abb. 1: Ariane 62 und Ariane 64 © DLR

Fig. 1: Ariane 62 and Ariane 64 © DLR

zu gewährleisten. Die Methode ist eine weit verbreitete Absolutmessmethode zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmmaterialien. In der am ZAE ausgeführten Version können Wärmeleitfähigkeitswerte bei Mitteltemperaturen von 16 K (ca. -257 °C) bis Raumtemperatur gemessen werden. Zusätzlich zur bereits vorhandenen Messexpertise bei tiefsten Temperaturen mittels des dynamischen Flash-Verfahrens, verfügt das ZAE nun auch über ein stationäres Messverfahren für diesen Temperaturbereich. Dies erweitert die Art der Proben, die untersucht werden können, da der Messbereich für die Wärmeleitfähigkeit bei tiefen Temperaturen wesentlich erweitert wurde. Nur wenige andere Institute weltweit können solche Messungen bei wenigen Kelvin durchführen. Damit ist das ZAE ein wertvoller Ansprechpartner, um den Ausbau von Wasserstofftechnologien im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie zu begleiten.

room temperature. In addition to the already existing measurement expertise for very low temperatures by means of the dynamic flash method, ZAE now also has a stationary measurement method for this temperature range. This extends the range of analysable samples, as it has significantly extended the low-temperature measurement range for thermal conductivity. Few other institutes around the world can perform such measurements at only a few Kelvin. This makes ZAE a valuable partner in facilitating the expansion of hydrogen technologies within the national hydrogen strategy.

2.2

RÖNTGENBLICK IN DIE NANOWELT – SCHNELLE UND ZUVERLÄSSIGE BESTIMMUNG SPEZIFISCHER OBERFLÄCHEN

AN X-RAY VIEW INTO THE NANO WORLD – FAST AND RELIABLE DETERMINATION OF SPECIFIC SURFACES

Autor | Author
G. Reichenauer, C. Scherdel

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

Kooperationspartner | Partners
**Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg**

Literatur | References
[1] DIN ISO 9277:2010, Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Festkörpern mittels Gasadsorption - BET-Verfahren.
[2] C. Schlumberger et al., Reliable Surface Area Determination of Porous Materials: Small-Angle X-ray Scattering and Gas Physisorption, J. Am. Chem. Soc., submitted.

2020 wurde das 125. Jubiläum Wilhelm Conrad Röntgens größter Entdeckung gefeiert: der nach ihm benannten Röntgenstrahlung. Bekannt ist diese vor allem durch ihre Anwendung zur Durchleuchtung von Körpern in der Medizin. Röntgenstrahlen können aber weit mehr. Dank ihrer Wellenlänge, die von 0,01 bis 10 nm reicht, eignen sie sich hervorragend, um durch Streuung an Materialien Aufschluss über deren Mikro- und Nanostruktur zu geben.

Eine in diesem Zusammenhang wichtige Kenngröße ist die massenspezifische innere Oberfläche eines Werkstoffes. Diese ist in der Praxis zum Beispiel dann von Bedeutung, wenn Partikel als Additive in Kunststoffen, als verarbeitete Pulver in thermischen Isolationen, als Aktivelektrodenmaterial in elektrischen Speichern oder als Katalysatorträger zum Einsatz kommen. Daher ist sie für gewöhnlich in den technischen Datenblättern partikulärer oder poröser Werkstoffe aufgeführt.

Die etablierte Standardmethode zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche ist die N₂-Adsorptionsanalyse [1]. Neuere Arbeiten weisen allerdings darauf hin, dass, aufgrund von Wechselwirkung des Stickstoffmoleküls mit polaren Oberflächengruppen, die Argon-Adsorption bei 87 K für oxidische Materialien zuverlässiger funktioniert. Zur Vorbereitung auf Adsorptionsmessungen müssen Proben typischerweise mehrere Stunden lang entgast werden, woraus sich Analysezeiten von mehreren Stunden ergeben. Diese erhöhen den für Materialentwicklung und Qualitätssicherung nötigen Zeitaufwand.

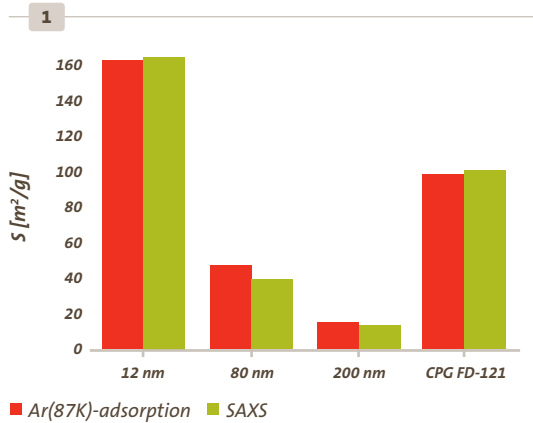
Deutlich schneller lässt sich die spezifische Oberfläche mittels Röntgenkleinwinkelstreuung (small angle X-ray scattering – SAXS) bestimmen. Systematische Untersuchungen an Siliziumdioxid-Modellmaterialien

2020 marked the 125th anniversary of Wilhelm Conrad Roentgen's greatest discovery: X-radiation. X-rays are most widely known for their medical application in fluoroscopy. But they have much more to offer. Owing to their wavelength, which ranges between 0.01 and 10 nm, they are excellently suited to provide information about the micro- and nanostructure of materials via scattering.

In this context, one important parameter is the mass-specific inner surface of a material. Same is of practical relevance, for example, when particles are used as additives in plastics, as processed powders in thermal insulations, as active-electrode material in electrical storages or as catalyst carriers. Therefore, it is commonly found in the technical data sheets of particulate or porous materials.

The established standard method for the determination of the specific surface area is N₂ adsorption analysis [1]. Recent work, however, indicates that, due to interaction of the nitrogen molecule with polar surface groups, argon adsorption at 87 K works more reliably for oxidic materials. In preparation for adsorption analysis, samples typically have to be degassed for several hours, resulting in several hours of analysis duration. This increases the expenditure of time required for material development and quality assurance.

A much faster method is to determine the specific surface area using small angle X-ray scattering (SAXS). Systematic examinations of silica model materials (particles, porous systems) have proven that specific surface areas between 1 and 2,000 m²/g may be determined with high accuracy and repeatability [2] (Fig. 1). Moreover, compared to adsorption analysis, the SAXS method offers a whole series of advantages: It proved insensitive to adsorbed gases in the investigated mod-



(Partikel, poröse Systeme) belegten, dass so spezifische Oberflächen von 1 bis 2,000 m²/g hochgenau und wiederholbar bestimmt werden können [2] (Abb. 1). Außerdem bringt die SAXS-Methode, im Vergleich zur Adsorptionsanalyse, eine ganze Reihe von Vorteilen mit sich: Sie zeigte sich bei den untersuchten Modellmaterialien unempfindlich gegenüber adsorbierten Gasen, auf ein vorheriges Entgasen der Proben kann also verzichtet werden; Durch Kombination der kurzen Messzeiten von einigen Minuten mit Vielfachprobenhaltern sind hohe Durchsatzraten in der Analyse möglich; Funktionale Oberflächengruppen auf der Probe beeinflussen nicht das Messergebnis und das benötigte Probenvolumen liegt bei nur einem Kubikmillimeter. Das macht SAXS besonders für frühe Phasen der Materialentwicklung interessant, in denen nur kleine Mengen verfügbar sind.

Aufgrund der hohen Relevanz spezifischer Oberflächen in Produktdatenblättern, arbeitet inzwischen ein ISO-Ausschuss mit Unterstützung der Arbeitsgruppe Nanomaterialien intensiv an einer internationalen Norm, die die Bestimmung mit SAXS umfasst.

Die Bedeutung eines solchen Standards wurde auch während der Kooperation des ZAE mit einem Partner aus der Zementindustrie deutlich. Dabei konnte eine schnelle Methode zur Oberflächenbestimmung bei Zementproben mittels SAXS entwickelt werden (Abb. 2), die sich zum Einsatz in Materialentwicklung und Qualitätskontrolle eignet. Künftig sollen diese Verfahren mit anderen Partnern auch auf zusätzliche Materialgruppen erweitert werden.

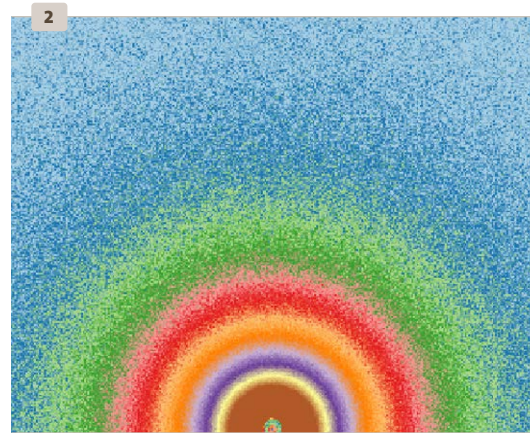


Abb. 1: Vergleich der spezifischen Oberflächen von Siliziumdioxid-Modellmaterialien bei Messung mittels Ar-(87 K)-Adsorption und SAXS [2]

Fig. 1: Comparison of the specific surface areas of silica model materials as measured using Ar (87 K) adsorption and SAXS [2]

Abb. 2: SAXS-Streubild einer Zementprobe: Die Farben geben unterschiedliche Streuintensitäten wieder.

Fig. 2: SAXS scattering image of a cement sample: The colours reflect different scattering intensities.

el materials, so prior degassing of the samples is no longer necessary; Brief measurement durations of only a few minutes combined with multi-sample holders allow for high analytical throughput rates; Functional surface groups on the sample do not influence the measurement result; and the required sample volume is merely one cubic millimetre. This makes SAXS particularly interesting for the early stages of material development, when only small quantities are available. Due to the high relevance of specific surfaces for product data sheets, an ISO committee is now working intensively on an international standard including the determination with SAXS, supported by ZAE's Nanomaterials group.

The importance of such a standard became evident in a cooperation between ZAE and a project partner from the cement industry. In this context, a quick method for determining the surface of cement samples via SAXS was developed (Fig. 2), which is suitable to be used in material development and quality control. In the future, these methods are to be extended with different partners to be used on additional material groups.

2.3

BERÜHRUNGSLOSE THERMOPHYSIKALISCHE CHARAKTERISIERUNGSMETHODE ZUR ENERGETISCHEN PROZESS- UND MATERIALOPTIMIERUNG

NON-CONTACT THERMOPHYSICAL CHARACTERISATION METHOD FOR OPTIMISATION OF ENERGETIC PROCESSES AND MATERIALS

Autor | Author

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

Ansprechpartner | Contact

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

Bereich | Division

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

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
FKZ 03ET7082A-D

Kooperationspartner | Partners

Hochschule für angewandte
Wissenschaften Würz-
burg-Schweinfurt (FHWS)

TechnoTeam

Bildverarbeitung GmbH
Rauschert Heinersdorf-Pressig
GmbH

Die Effizienz von Energieumwandlungsprozessen ist ein zunehmend wichtiges Werkzeug zur Reduktion von CO₂-Emissionen und für die möglichst umfangreiche Nutzung begrenzter vorhandener fossiler Energieträger [1]. Die Performance solcher Prozesse hängt vom Grad ihrer Optimierung ab, aber auch von den thermophysikalischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien. Folglich ist, neben einer In-situ-Messung der Prozessparameter, insbesondere der Temperatur [2], eine ausreichend genaue Kenntnis der Kenngrößen der verwendeten Materialien bei den relevanten Temperaturen nötig [3].

Höhere Betriebstemperaturen steigern häufig die Effizienz solcher Prozesse, gleichzeitig aber auch die Anforderungen an die verwendeten Materialien. Spezielle Wärmedämmschichten, sogenannte TBCs (Thermal Barrier Coatings), schützen vor solchen Belastungen. Um deren Einsatz zu optimieren, müssen ihre thermischen, optischen und infrarot-optischen Parameter sowie ihre Haftung auf dem jeweiligen Substrat verbessert und laufend im Betrieb überprüft werden.

Im Projekt "OptiTBCs" [4] erforscht das ZAE, zusammen mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt, deshalb entsprechende Verfahren zur Bestimmung der thermophysikalischen Kenngrößen von Materialien, Komponenten und Systemen unter extremen Einsatzbedingungen. Außerdem wurden, in Kooperation mit Industriepartnern, berührungslose Charakterisierungsmethoden entwickelt, die mit Hilfe thermischer Anregung eine quantitative Bewertung der Schichthaftung von TBCs mit hoher örtlicher Auflösung erlaubt.

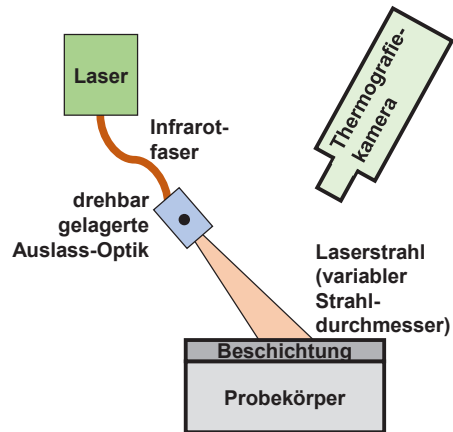
The efficiency of energy conversion processes is an increasingly important tool in the reduction of CO₂ emissions and for the exhaustive use of limited fossil energy carriers [1]. The performance of such processes depends on the degree of their optimisation as well as the thermophysical properties of the employed materials. Consequently, apart from in-situ measurement of the process parameters, particularly temperature [2], sufficiently precise knowledge of the used materials' parameters at the relevant temperatures is key [3].

Higher operating temperatures often improve the efficiency of such processes, but also increase the demands made on the materials in use. Special thermal barrier coatings (TBCs) provide protection against such strains. To optimise their application, their thermal, optical, and infrared-optical parameters, as well as their adhesion to the respective substrate need to be improved and monitored continuously during operation.

In the project "OptiTBCs" [4], ZAE Bayern and the University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt are therefore researching suitable methods for determining the thermophysical parameters of materials, components, and systems at extreme operating conditions. Furthermore, non-contact characterisation methods were developed with industrial partners, which allow for quantitative assessment of the layer adhesion of TBCs at a high local resolution by means of thermal excitation.

For measurement, the surface of the TBC is heated with a laser pulse while the heat propagation into the layer itself and underlying substrate is captured ther-

1



2

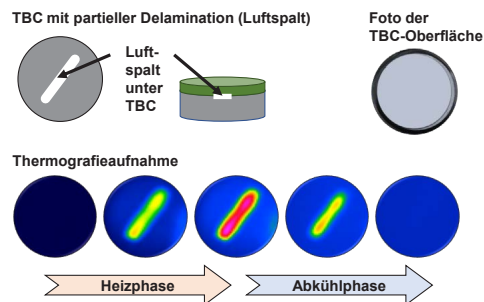


Abb. 1: Skizze eines laserbeheizten Aufbaus zur zerstörungsfreien Prüfung von TBCs mittels Thermografiekamera

Fig. 1: Sketch of a laser-heated setup for the non-destructive assessment of TBCs by thermographic camera

Abb. 2: Schema einer aufgetragenen Beschichtung mit partieller Delamination (links oben), Foto der Schicht (rechts oben) und exemplarisch ausgewählte Thermografieaufnahmen aus der Heiz- und Abkühlphase (unten)

Fig. 2: Schematic of a partially delaminated coating (top left), photo of the coating (top right), and selected thermographic images from the heating and cooling phases (bottom)

Zur Messung wird die Oberfläche der TBC mittels Laserpuls aufgeheizt und die Wärmeausbreitung in die Schicht selbst und das darunterliegende Substrat thermografisch erfasst (Abb. 1). Die Oberflächentemperatur der TBC nimmt lokal zu, wo ein erhöhter thermischer Übergangswiderstand auftritt. Da ein solcher meist auf eine teilweise Delamination der TBC zurückzuführen ist, können dieselben so bereits im Frühstadium entdeckt werden, noch bevor sie optisch erkennbar sind.

Zur Validierung des Aufbaus wurden Proben gezielt mit einer definierten partiellen Delamination versehen. Abgesehen von dieser (Abb. 2 oben links) blieb die TBC intakt und ohne sichtbare Beschädigung (Abb. 2 oben rechts). Das entwickelte Prüfverfahren erlaubte die zerstörungsfreie Erkennung und Visualisierung der Delamination. Eine Auswahl beispielhafter Thermografieaufnahmen aus der Aufheiz- und Abkühlphase zeigt Abbildung 2 (unten).

Das Verfahren steht am ZAE zur Verfügung. Es kann auch zur Untersuchung anderer Schichtsysteme oder komplexer Bauteile eingesetzt werden. Außerdem hilft das im Projekt erworbene Know-how dabei, weitere Hochtemperaturprozesse wie Gießvorgänge oder laserbasierte additive Fertigungsverfahren (z. B. selektives Laserschmelzen) besser zu verstehen und steuern.

mographically (Fig. 1). Wherever increased thermal transfer resistance occurs, the surface temperature of the TBC will rise locally. Since this is usually the result of partial delamination of the TBC, same may thus be detected at an early stage, even before becoming visually recognisable.

To validate the setup, partial delamination was deliberately inflicted on samples. Apart from this (Fig. 2, top left), the TBC remained intact and without visible damage (Fig. 2, top right). The developed testing method allowed for the non-destructive detection and visualisation of the delamination. A selection of exemplary thermographic images from the heating and cooling phase can be seen in figure 2 (bottom).

The method is available for use at ZAE Bayern. It may also be employed for the investigation of other coating systems and complex components. Moreover, the know-how acquired during the project helps better understand and control other high-temperature processes, such as casting or laser-based additive manufacturing (e.g. selective laser melting).

Literatur | References

- [1] J. Manara, Energieeffizienz – Europäische Erfolgsmodelle, FVEE-Jahrestagung 2020: Forschung für den European Green Deal, Online-Konferenz, 02.–04.11.2020.
- [2] M. Zipf et al., High Temp. – High Press., 49 (2020) 241–260.
- [3] M. Franz, Charakterisierung der infrarot-optischen Eigenschaften von Schichtwerkstoffen, Bachelorarbeit, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2020.
- [4] J. Manara et al., Wärmedämmschichten mit optimierten Haftungseigenschaften für energieeffiziente Kraftwerksturbinen (OptiTBCs), TIB, Hannover, 2020.

2.4

PERFORMANCEVERBESSERUNG BEI VANADIUM-REDOX-FLOW-ELEKTRODEN: OBERFLÄCHENGRÖSSE ÜBERTRUMPFT OBERFLÄCHENOXIDE

IMPROVED PERFORMANCE FOR VANADIUM REDOX FLOW ELECTRODES: SURFACE SIZE BEATS SURFACE OXIDES

Autor | Author
T. Greese

Ansprechpartner | Contact
M.Sc. Tobias Greese
Stellv. Gruppenleiter
Elektrochemische Energiespeicher
Deputy Head of Group
Electrochemical Energy Storage

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 89 329442-66
tobias.greese@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
**Bayerisches Staatsministerium
für Wirtschaft, Landesentwick-
lung und Energie**
FKZ 20-3400.00-03/12

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

Als Elektroden in Vanadium-Redox-Flow-Batterien dienen für gewöhnlich Verbunde mikroskopisch dünner Graphitfasern, sogenannte Graphitfilze (Abb. 1). Vor ihrem Einsatz werden diese Filze thermisch aktiviert, ihre Leistungsfähigkeit so signifikant erhöht. Untersuchungen des ZAE Bayern deuten nun darauf hin, dass dieses etablierte Aktivierungsverfahren auf einer völlig anderen Wirkweise beruht als bisher angenommen.

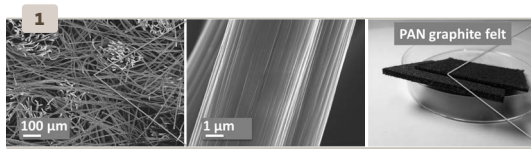
Die einzelnen Fasern der Graphitfilze sind mit Durchmessern von 8–10 µm nur etwa ein Fünftel so dick wie ein menschliches Haar. Diese geringe Dicke bewirkt eine, im Verhältnis zum Volumen, große Oberfläche, was die Verluste beim Laden und Entladen der Batterie gering hält. Direkt nach ihrer Herstellung weisen die Elektroden innere Oberflächen von etwa 0,5 m²/g auf. Wässrige Elektrolyte können zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht vollständig in die Faserzwischenräume eindringen, da die unbehandelten Oberflächen Wasser abweisen. Daher haben sich thermische Oxidationsverfahren (z. B. bei 400 °C in Luftatmosphäre) etabliert, durch die, laut Theorie, die Kohlenstoffoberfläche mit Oxiden angereichert wird. Diese verstärken die Polarität der Faseroberfläche und damit ihre Benetzbarkeit mit wässrigen und somit ebenfalls polaren Elektrolyten. Außerdem senken sie die für die genutzten Reaktionen nötige Aktivierungsenergie, was Spannungsverluste reduziert. Dieser Logik folgend führen mehr Oxide auf der Oberfläche zu einer besseren Zellperformance.

Jüngste Forschungsergebnisse des ZAE stellen diesen Zusammenhang nun allerdings in Frage. Das Maß, in dem die thermische Oxidation die Konzentration von Oberflächenoxiden erhöht, wurde in der bisherigen Li-

Vanadium redox flow batteries typically use composites of microscopically thin graphite fibres, so-called graphite felts, for electrodes (Fig. 1). Before use, these felts are thermally activated to significantly increase their performance. Investigations conducted by ZAE Bayern now indicate that this established activation process is based on a completely different working principle than previously assumed.

At diameters of 8-10 µm, the individual fibres of the graphite felts measure only about one fifth of the thickness of a human hair. This low thickness results in a large surface area in relation to volume, which minimises losses during charging and discharging of the battery. Immediately after manufacture, the electrodes have internal surfaces of around 0.5 m²/g. At this point, however, aqueous electrolytes cannot yet fully penetrate the space between the fibres, as the untreated surfaces repel water. Therefore, thermal oxidation processes (e.g. at 400 °C in air atmosphere) have established themselves, through which, in theory, the carbon surface is enriched with oxides. These increase the polarity of the fibre's surface and thus its ability to adsorb aqueous, thus also polar, electrolytes. Moreover, they reduce the activation energy required for the utilised reactions, which in turn decreases voltage losses. According to this logic, more oxides on the surface mean better cell performance.

Recent findings by ZAE Bayern, however, now cast doubt on this correlation. The extent to which thermal oxidation increases the concentration of surface oxides has likely been overestimated in previous literature, with the oxides being attributed an overly large role in performance enhancement. To put this



teratur wohl überschätzt, den Oxiden außerdem eine zu große Rolle bei der Leistungssteigerung zugeschrieben. Zur Prüfung dieser Hypothese wurden Elektroden mittels Niederdruckplasma mit einer großen Menge an Oberflächenoxiden versehen. Eine anschließende thermische Behandlung führte mit zunehmender Dauer sogar zu einer Abnahme der Oxidbesetzung. Die Leistungsfähigkeit nahm dennoch stetig zu. So wurde ersichtlich, dass zwischen thermischer Behandlung und Leistungsverbesserung eine andere Korrelation bestehen muss.

Mit der Dauer der thermischen Behandlung erhöht sich durch Oberflächenkorrosion auch die Rauheit der Fasern. Hier lässt sich viel eher ein Zusammenhang mit der verbesserten Leistung erkennen (Abb. 2). Hochauflösende Messungen der Mengen an Stickstoff und Krypton, die an der Oberfläche adsorbiert wurden, zeigten zudem, dass die Faseroberfläche über die gesamte Dauer der thermischen Behandlung hinweg wächst. Als Folge der beobachteten Korrosion könnten sich vermehrt Kantenebenen in der Graphitstruktur ausbilden, die als aktive Reaktionszentren die Vanadiumreaktionen beschleunigen.

Dieses neue Verständnis der Wirkweise thermischer Aktivierungsverfahren erlaubt eine bessere Auswahl der Parameter für solche Elektroden genutzter Materialien. Dabei ist nicht ausschließlich die Oxidkonzentration zu beachten, sondern vielmehr die Gesamtoberfläche. So können in Zukunft noch gezielter geeignete Elektroden und Aktivierungsverfahren gewählt und die Leistung und Performance von Redox-Flow-Batterien weiter optimiert werden.

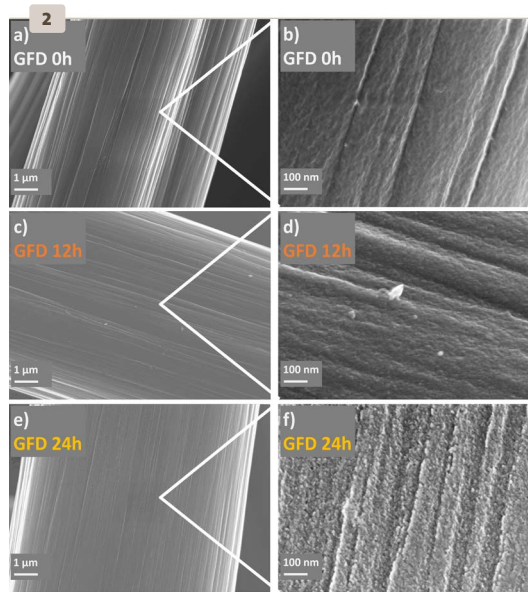


Abb. 1: Graphitfilzelektrode einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie: Bei zunehmender Vergrößerung im Rasterelektronenmikroskop wird ihr mikroskopischer Aufbau aus 8–10 µm dicken Graphitfasern sichtbar.

Fig. 1: Graphite felt electrode of a vanadium redox flow battery: With increasing magnification under a scanning electron microscope, its microscopic composition of 8–10 µm thick graphite fibres becomes visible.

Abb. 2: Vergleich der Oberflächenstruktur der Graphitfasern nach 0, 12 und 24 Stunden langer thermischer Behandlung bei 400 °C in Luftatmosphäre.

Fig. 2: Comparison of the graphite fibres' surface structure after 0, 12, and 24 hours of thermal treatment at 400 °C in an air atmosphere.

hypothesis to the test, electrodes were given a large quantity of surface oxides via low-pressure plasma. With increasing duration, a subsequent thermal treatment even resulted in a decrease of the oxide load. Nevertheless, performance increased steadily. Thus, it became apparent that there must be a different correlation between thermal treatment and performance improvement.

With the duration of the thermal treatment, the roughness of the fibres also increases due to surface corrosion. This effect is much more likely to correlate with improved performance (Fig. 2). High-resolution measurements of the amounts of nitrogen and krypton adsorbed on the surface also showed that the fibre surface increases throughout the entire duration of the thermal treatment. As a result of the observed corrosion, the graphite structure could increasingly develop edge planes, which act as active reaction centres to accelerate the vanadium reactions.

This new understanding of the way thermal activation processes work allows for a smarter selection of the parameters needed in materials employed for such electrodes. Not only the oxide concentration needs to be considered, but rather the total surface area. This way, suitable electrodes and activation processes may be selected with greater precision in the future, the performance of redox flow batteries can be further optimised.

2.5

STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON BAUTEIL-REINIGUNGSMASCHINEN

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF COMPONENT CLEANING MACHINES

Autor | Author

A. Krönauer

Ansprechpartner | Contact

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Krönauer
Projektleiter

Thermische Energiespeicherung

Head of Project

Thermal Energy Storage

Bereich | Division

Energiespeicherung
Energy Storage

+48 89 329442-13

andreas.kroenauer@

zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie

FKZ 03ET1145F

FKZ 03EN2048F

Kooperationspartner | Partners

MAFAC E. Schwarz GmbH &
Co. KG

Technische Universität

Darmstadt, Institut für
Produktionsmanagement,
Technologie und
Werkzeugmaschinen

Im Verbundprojekt "ETA Fabrik" wurde der Primärenergiebedarf einer Prozesskette der metallverarbeitenden Industrie durch verschiedene Maßnahmen um insgesamt bis zu 45 % reduziert. Eine dieser Maßnahmen war die energetische Optimierung von Maschinen zur wässrigen Bauteilreinigung.

In der metallverarbeitenden Industrie kommen häufig zerspanende Prozesse zum Einsatz, in denen Werkstücke mit Spänen und Kühlschmierstoff verunreinigt werden. Vor der weiteren Bearbeitung müssen diese in Bauteilreinigungsmaschinen mit wasserbasierter Reinigungslösung gesäubert werden. Dazu werden jeweils mehrere Werkstücke auf einen Werkstückträger gelegt oder aufgebracht. In einer geschlossenen Waschkammer wird dann die gesamte Charge mit 40 bis 70 °C warmer Reinigungslösung besprüht oder halb bzw. voll darin eingetaucht und geschwenkt. Beim Spritz-Flut-Reinigen werden die Verfahren kombiniert. Je nach Restverschmutzung folgen danach noch bis zu zwei weitere Bäder. Zuletzt erfolgt die Trocknung mit heißer Luft, die etwa drei Minuten in Anspruch nimmt. Nach rund zehn Minuten Gesamtlaufzeit kann die nächste Charge folgen.

Der größte Wärmeverlust geschieht in diesem System beim Einbringen der Werkstücke mit Umgebungstemperatur. Das Reinigungsbad kühlt dabei ab und wird elektrisch wieder aufgeheizt. Für die Trocknung wird Hallenluft angesaugt und erwärmt. Dieser Vorgang erfordert ebenfalls große elektrische Leistung, setzt dabei aber auch große Mengen latenter Wärme in Form feuchter Luft auf relativ niedrigem Temperaturniveau frei. Zur effektiven Rückgewinnung dieser Energie eignet sich am besten eine Wärmepumpe, die der Abluft latente Wärme entzieht und sie dem Reinigungsbad zuführt. Da die Beheizung des Bades konstant nach Wärme verlangt, diese aber nur während der Trocknung anfällt, ist außerdem ein Wärmespeicher zur Pufferung wünschenswert.

The joint project "ETA Fabrik" used various measures to reduce the primary energy demand of a process chain in the metalworking industry by up to 45 % in total. One of these measures was the energetic optimisation of machines for water-based component cleaning.

The metalworking industry frequently employs machining processes in which workpieces become contaminated with chips and cooling lubricant. Before further processing, they need to be cleaned with aqueous cleaning solution in component cleaning machines. To this end, several workpieces are placed on or attached to a workpiece carrier. In a closed washing chamber, the entire batch is then sprayed with 40 to 70 °C warm cleaning solution or immersed halfway or fully in it and swivelled. In spray-flood cleaning, both processes are combined. Depending on the amount of residual soiling, up to two more baths follow. Finally, hot air drying takes about three minutes. After a total of about ten minutes, the machine is ready for the next batch.

The major heat loss in this system occurs whenever workpieces are introduced at ambient temperature. The cleaning solution cools down and is then reheated electrically. For drying, indoor air is drawn in and heated. This process also requires a great deal of electricity, yet it releases large amounts of latent heat stored in humid air at a relatively low temperature level. The most efficient way of recovering this energy is via heat pump, which recovers the latent heat from the exhaust air, feeding it back into the cleaning bath. Since heating this bath requires a constant supply of energy, which is only available during drying, a heat storage for buffering is also desirable.

To this end, ZAE Bayern developed an innovative air/water heat pump with a finned aluminium storage mass of 50 kg at the evaporator. During the drying process, the water vapour from the exhaust air condenses

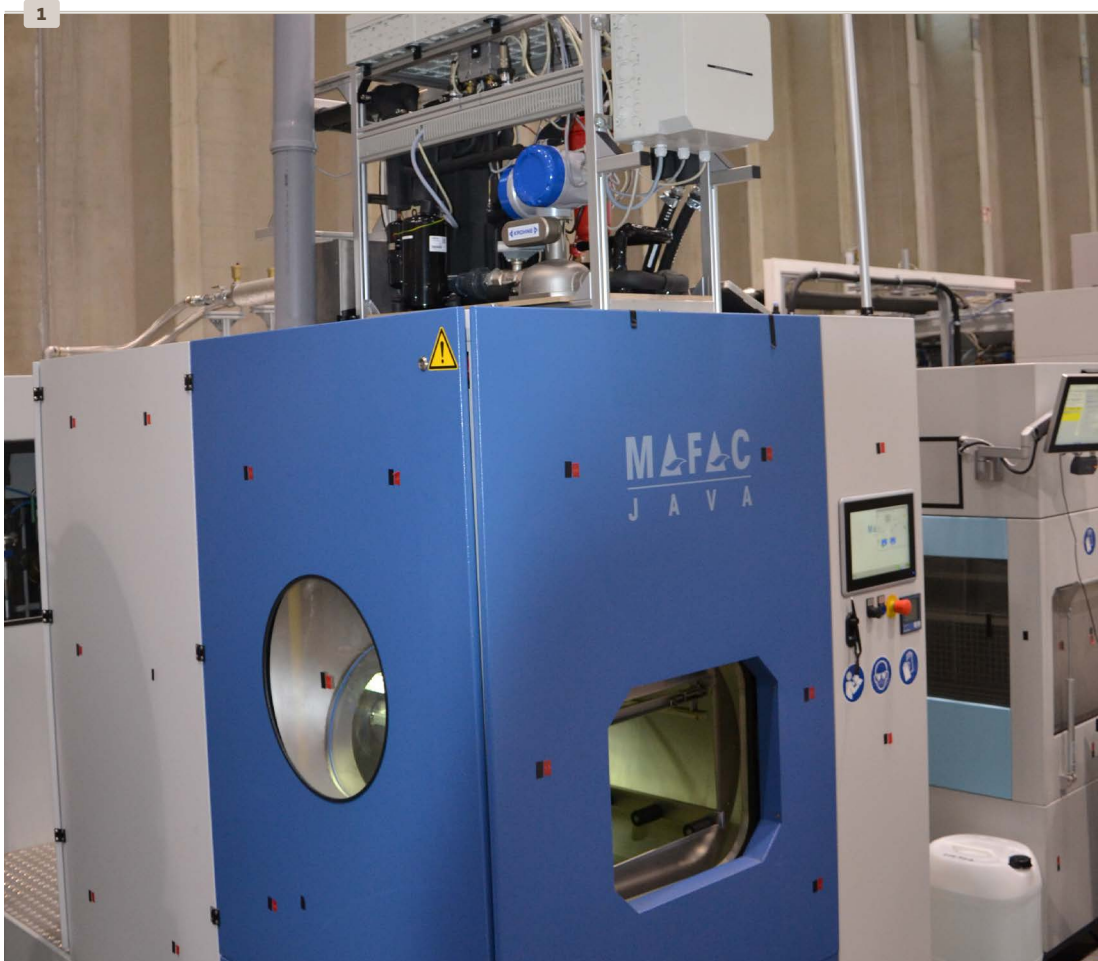


Abb. 1: Die im Projekt entwickelte Luft/Wasser-Wärmepumpe auf der Bauteilreinigungsmaschine.

Fig. 1: The air/water heat pump developed in the project on top of the component cleaning machine.

Zu diesem Zweck entwickelte das ZAE eine innovative Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 50 kg schwerer berippter Speichermasse aus Aluminium am Verdampfer. An dieser kondensiert während des Trocknungsvorgangs der Wasserdampf aus der Abluft und heizt sie mit einer Leistung von bis zu 25 kW stark auf. Ein Kältekreislauf transportiert diese Energie mit einer kontinuierlichen Leistung von 3 kW weiter in den Tank, der das Reinigungsbad enthält. So bleibt die Temperatur der Reinigungslösung auf konstantem Niveau. Je nach zu erzielender Badtemperatur erreicht dieses System eine Leistungszahl von über drei.

Obwohl energetisch vielversprechend, konnten die Ergebnisse des Projekts wirtschaftlich nicht überzeugen, da die Kosten der einzelnen Komponenten noch deutlich zu hoch lagen. Das Folgeprojekt "ETAimBestand" behandelt daher die Weiterentwicklung in ein deutlich preiswerteres, modulares Thermomanagement für Bauteilreinigungsmaschinen.

on this mass, heating it with an output of up to 25 kW. A cooling circuit transports this energy into the cleaning solution tank at a continuous output of 3 kW. This maintains the temperature of the cleaning solution at a constant level. Depending on the desired bath temperature, this system's coefficient of performance may exceed three.

Although energetically promising, the results of the project were economically underwhelming, as the individual components were still far too expensive. The follow-up project "ETAimBestand" therefore addresses the further development into a significantly cheaper, modular thermal management system for component cleaning machines.

2.6

OPTIMIERUNG DES BAYERISCHEN ENERGIESYSTEMS MIT SEKTORENKOPPLUNG UND 100 % ERNEUERBAREN ENERGIEN

ENERGY SYSTEM OPTIMISATION FOR BAVARIA WITH SECTOR COUPLING AND 100% RENEWABLE ENERGY

Autor | Author
**J. Schweiger, R. Schwermer,
 M. Blume**

Ansprechpartner | Contact
Dr. Maximilian Blume
 Projektleiter
 Systementwicklung
 Head of Project
 Systems Engineering

Bereich | Division
**Energiespeicherung
 Energy Storage**
 +49 89 329442-19
 maximilian.blume@
 zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
**BUND Naturschutz in Bayern
 e. V.**

Kooperationspartner | Partners
**Technische Universität München
 (TUM) – Lehrstuhl für Ener-
 giesysteme (LES)**

Literatur | References
 [1] Purper, Gabriele; Neumann, Werner (2017): Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung. 66 Positionen. Unter Mitarbeit von Mitgliedern des AK Energie. Hg. v. Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bund-naturschutz.de/fileadmin/Bilder_und_Dokumente/Themen/Energie_und_Klima/Energiewende/Zukunftsfae-hige_Energieversorgung.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2020.
 [2] Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) (2019): Geobasisdaten.

Im Auftrag des BUND Naturschutz in Bayern e. V. entstand im Zeitraum von 2019 bis 2020 in einer Kooperation von ZAE Bayern und TU München eine Studie zur zukünftigen Energieversorgung Bayerns. Ziel war die Modellierung eines möglichen bayerischen Energiesystems, das zu 100 % erneuerbar versorgt wird. Das dazu entwickelte Basisszenario orientiert sich am BUND-Positionspapier *Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung* [1]. Diesem folgend wurde eine Halbierung der Energiebedarfe in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bis 2040 angenommen. Davon ausgehend entstand ein numerisches Modell des Gesamtsystems, das mit dem Ziel minimaler volkswirtschaftlicher Kosten optimiert wurde. Für mehrere Unterszenarien wurde analysiert, welche Technologien dazu in welchem Umfang zum Einsatz kommen müssten und welche Rollen erneuerbare Technologien in einem sektorengesetzten Energiesystem einnehmen.

Eine Besonderheit der Studie ist die Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten: In Bayern ist die durchschnittliche solare Einstrahlung höher als im Rest Deutschlands. Photovoltaikanlagen erzielen entsprechend hohe Energieerträge. Das Potenzial für Windkraft dagegen ist durch geographische Gegebenheiten eingeschränkt. Daher wurde, neben der Analyse des tatsächlichen Flächenpotenzials, auch ein Szenario mit begrenztem Einsatz von Windkraft erstellt, um die Auswirkungen dieser Einschränkung sichtbar zu machen. Noch gravierender wirken sich regionale Gegebenheiten auf den Wärmesektor aus, in dem die Bereitstellung immer in der Nähe des Verbrauchers stattfinden muss. Daher lag hier ein Schwerpunkt auf der Einteilung Bayerns in orts aufgelöste Typgebiete. Diese unterscheiden sich zum Beispiel in ihrer Wärmebedarfsdichte oder dem lokalen Potenzial für hydrothermale Tiefengeothermie. Als Eingangsgröße für den Verkehrssektor diente ein Energiebedarfslastgang des derzeitigen bayerischen Verkehrsaufkommens.

Commissioned by environmental NGO BUND Naturschutz in Bayern e. V., ZAE Bayern and the Technical University of Munich jointly conducted a study on Bavaria's future energy supply in 2019 and 2020. The objective was to model a possible Bavarian energy system supplied entirely from renewable sources. The basic scenario developed for this purpose was based on a BUND position paper on concepts for a sustainable energy supply [1]. Following the latter, energy demand in the electricity, heating, and transport sectors was assumed to be cut in half by 2040. On this basis, a numerical model of the entire system was developed and then optimised for minimal economic costs. Analyses carried out for several sub-scenarios revealed which technologies would need to be used to what extent for this and which roles renewable technologies would play in a sector-coupled energy system.

One special characteristic of the study is its consideration of regional circumstances: On average, solar irradiation is higher in Bavaria than in the rest of Germany. Photovoltaic systems achieve accordingly high energy yields. The potential for wind power, on the other hand, is limited by geographical conditions. Therefore, in addition to an analysis of the potentially available area, a scenario with reduced use of wind power was created to illustrate the effects of this restriction. The impact of regional conditions is even more severe in the heating sector, where supplier and consumer must always be located in proximity to each other. Therefore, one focus was placed on dividing Bavaria into spatially resolved type areas. These differ, for example, in the density of their heat demand or the local potential for deep geothermal energy. An energy demand profile of Bavaria's current traffic volume served as an input variable for the transport sector.

Overall, a fully renewable energy supply for Bavaria proved technically possible while requiring a large

1

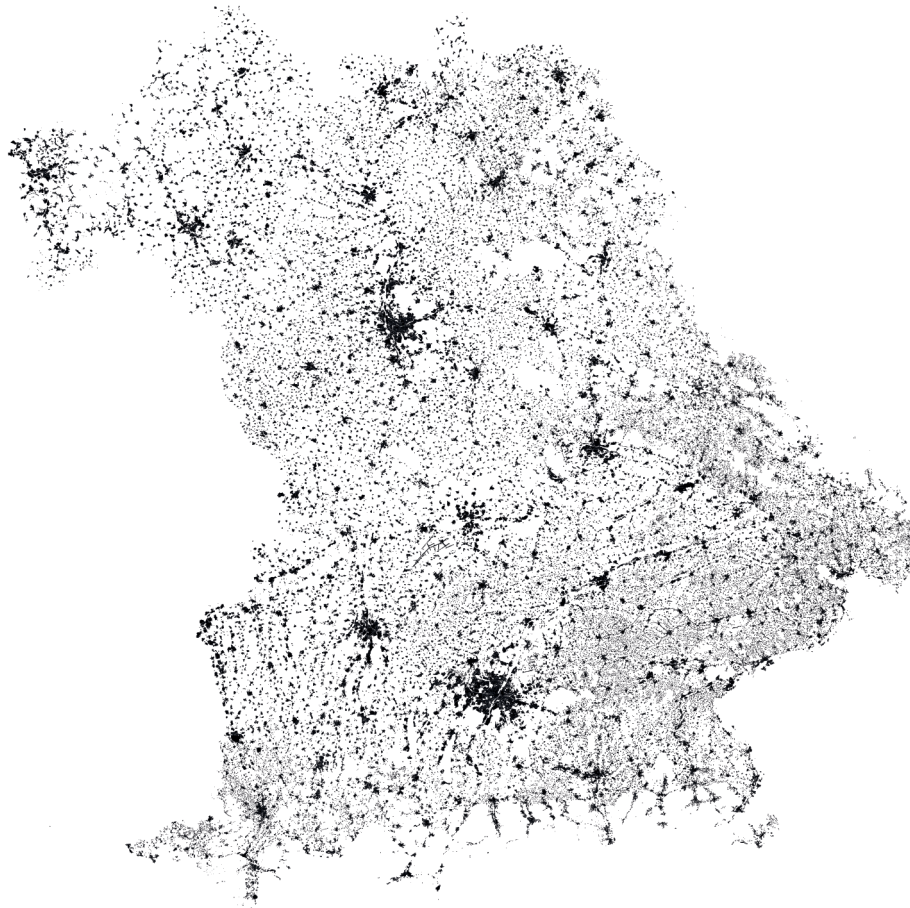


Abb. 1: Visualisierung sämtlicher beheizter Gebäude in Bayern, wie sie der Einteilung in Typgebiete zugrunde lag [2]

Fig. 1: Visualisation of all heated buildings in Bavaria underlying the division into type areas [2]

Insgesamt zeigte sich, dass eine vollständig erneuerbare Energieversorgung Bayerns technisch möglich ist, aber eine Vielzahl von Veränderungen zum Status Quo voraussetzt: Der gesamte Energieverbrauch in Bayern müsste deutlich reduziert, Photovoltaik, Windkraft und Speichertechnologien stark ausgebaut und um flexible Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien ergänzt werden. Auf der Erzeugerseite wäre ein optimiertes System auffallend heterogen. Besonders im Wärmesektor kämen, je nach regionalen Gegebenheiten, sehr unterschiedliche Technologien zum Einsatz. Außerdem müssten durch die Politik regulatorische und betriebswirtschaftliche Voraussetzungen für eine volkswirtschaftlich optimale Umsetzung geschaffen werden. Die Studie wurde im Mai 2021 der Öffentlichkeit vorgestellt.

number of changes to the status quo: Bavaria's overall energy consumption would have to be significantly reduced, photovoltaics, wind power, and storage technologies greatly expanded and supplemented with flexible heat and power cogeneration technologies. On the generating side, an optimised system would be strikingly heterogeneous. Particularly in the heating sector, widely varying technologies would be used, depending on regional conditions. Moreover, politics would have to create the regulatory and economic prerequisites for an economically ideal implementation. The study was published in May 2021.

2.7

WIRK- UND BLINDLEISTUNGSCHARAKTERISTIKA
VON PROSUMENTENACTIVE AND REACTIVE POWER PATTERNS OF
PROSUMERS

Autor | Author
C. Stegner

Ansprechpartner | Contact
Dipl.-Ing. Christoph Stegner
Projektleiter
Solarenergie und Geothermie
Head of Project
Solar Energy and Geothermal

Bereich | Division
Energiespeicherung
Energy Storage
+49 89 329442-961
christoph.stegner@
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
FKZ 03SIN120

Kooperationspartner | Partners
Mehr als 70 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Elektrische Verbraucher beziehen neben einer Wirkleistung (P), die sie normalerweise in Wärme oder Bewegung umwandeln, auch eine sogenannte Blindleistung (Q). Diese resultiert aus elektromagnetischen Effekten, die beim Betrieb bestimmter Bauteile wie Spulen und Kondensatoren mit Wechselstrom auftreten. Sie bewirkt höhere Netzverluste und belastet Infrastruktur wie Leitungen und Transformatoren, die mit entsprechend größeren Leistungsreserven ausgelegt werden müssen.

Dezentrale Einspeiser wie Photovoltaikanlagen oder Batteriespeicher können so betrieben werden, dass sie diese Effekte kompensieren. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass das Verhalten der Verbraucher im lokalen Niederspannungsnetz bekannt ist – einer Netzebene, zu der bisher kaum Daten vorliegen. Wechselrichter in Photovoltaikanlagen nutzen derzeit entsprechend noch voreingestellte, pauschale Regeln. Abb. 1 zeigt, wie sich diese Vorgaben in Abhängigkeit des Installationsjahres verändert haben.

Um diese Wissenslücke zu schließen und die Regelung flexibel an die jeweiligen Gegebenheiten anpassbar zu machen, vermisst das ZAE Bayern im Projekt "C/sells" eine Reihe von Haushalten [1]. Ergebnis dieser Vermessung sind genaue Leistungscharakteristika in Form sogenannter PQ-Wolken (z. B. Abb. 1 und 2), die zeigen, welche Kombinationen und Verhältnisse von Wirk- und Blindleistung im Betrieb auftreten.

Wärmepumpen – besonders ältere Modelle – arbeiten zum Beispiel bei festgelegten Betriebspunkten, an denen sie einen jeweils konstanten Anteil an Blindleistung beziehen. Die Wechsel zwischen verschiedenen Betriebspunkten und Stand-By erfolgen anhand charakteristischer Kurven in den PQ-Wolken.

Nachtspeicheröfen, die zwar kaum noch installiert werden, aber im Bestand nach wie vor häufig sind, könnten dank ihrer zeitlichen Regelbarkeit im Smart-

Alongside active power (P), which is normally converted into heat or motion, electrical consumers also draw so-called reactive power (Q). It is the result of electromagnetic effects, which occur whenever certain components like coils and capacitors run on alternating current. It increases grid losses and puts a strain on infrastructure such as lines and transformers, which must be designed with accordingly larger power reserves.

Decentralised power generators, such as photovoltaic installations or battery storages, can be operated to compensate for these effects. A prerequisite for this, however, is knowledge of the consumer's behaviour in the local low-voltage grid—a grid level on which hardly any data is available to date. Accordingly, the inverters used in photovoltaic systems currently still use preset, general rules. Fig. 1 shows how these specifications have changed depending on the year of installation.

To close this gap in knowledge and make controls flexibly adaptable to individual conditions, ZAE Bayern is surveying a number of households in the "C/sells" project [1]. The outcome of these measurements are precise power characteristics, taking the form of so-called PQ clouds (e.g. Fig. 1 and 2), which illustrate the combinations and ratios between active and reactive power that occur during operation.

For example, heat pumps – especially older models – use fixed operating points, drawing a constant amount of reactive power at each. Switching between different operating points and stand-by is performed based on characteristic curves in the PQ clouds.

Night storage heaters, which are hardly ever installed today but remain common in the building stock, could regain relevance in smart grids due to their time-controlled operation. Like heat pumps, they run at fixed

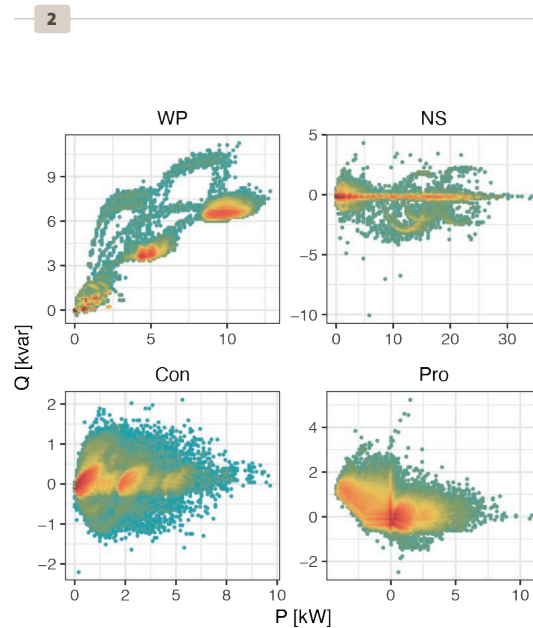
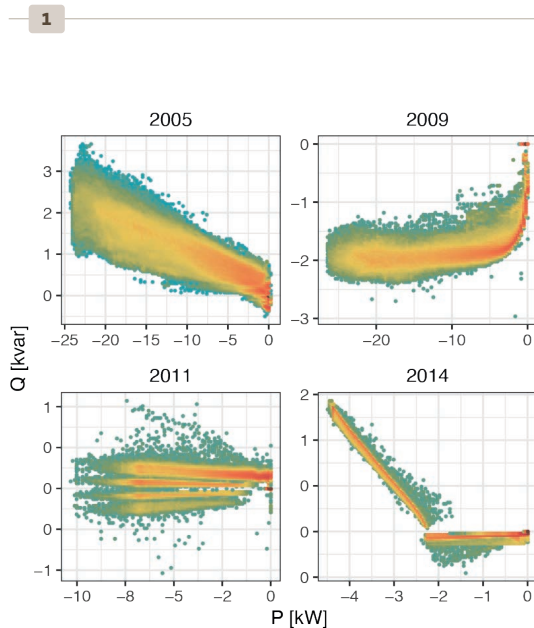


Abb. 1: PV-Anlagen wurden über die Jahre im Schnitt nicht nur kleiner, zu erkennen an der negativ aufgetragenen maximalen Einspeisung auf der X-Achse. Auch ihre Wirk-/Blindleistungscharakteristik hat sich geändert.

Fig. 1: PV installations have not only shrunk on average over the years, as is evident from the negative maximum feed-in on the X-axis. Their active/reactive power characteristics have also changed.

Abb. 2: PQ-Wolken von Messungen einer Wärmepumpe (WP), eines Nachtspeicherofens (NS), einer gemischten Haushaltslast (Con) und eines sogenannten Prosumenten (Pro), also eines Haushalts, der über eine PV-Anlage einspeist und in diesem Fall auch eine Solarbatterie betreibt.

Fig. 2: PQ clouds obtained from a heat pump (HP), a night storage heater (NS), a mixed household load (Con), and a so-called prosumer (Pro), i.e. a household which uses a PV system to feed into the grid and, in this case, operates a solar battery.

Grid wieder an Relevanz gewinnen. Wie Wärmepumpen laufen sie bei festen Betriebspunkten. Haben sie einen dieser Punkte erreicht, beziehen sie nur noch Wirkleistung. An- und Abschaltvorgänge hinterlassen nahezu perfekte Kreise in der Häufigkeitsverteilung.

Bei reinen Verbrauchszählern verursachen elektrothermische Anwendungen die deutlichsten Muster, die denen von Nachtspeicheröfen ähneln. Herdplatten zum Beispiel heizen in Pulsen, nur zwischen Aus und Volllast (meist ca. 2 kW) wechselnd.

Die Vermessung von Solarbatterien führte zu der Erkenntnis, dass diese sich ohne prognosebasierten Betrieb nicht besonders smart verhalten und Einspeisespitzen nicht verhindern können. Zu häufig sind sie bereits vormittags, bevor die Einspeisung der Photovoltaik ihr Maximum erreicht, voll geladen. Das zeigt sich bei dem Prosumenten in Abb. 2. Die zugehörige PV-Anlage von 2014 aus Abb. 1 ist als Muster noch deutlich zu erkennen, ohne ihre Leistungsspitzen eingebüßt zu haben.

operating points. Once they have reached one of these, they draw only active power. Switching on and off draws nearly perfect circles in the frequency distribution.

With consumption-only meters, electrothermal applications cause the most distinct patterns, resembling those of night storage heaters. Stove tops, for example, heat in pulses, alternating only between off and full load (usually about 2 kW).

The surveying of solar batteries revealed that, without forecast-based operation, they do not behave too smartly and fail to prevent feed-in peaks. Too often they are already fully charged before noon, when the feed-in from photovoltaics reaches its maximum. This is evident for the prosumer in Fig. 2. The corresponding PV system, installed in 2014 and shown in Fig. 1, is still clearly recognisable as a pattern without having lost its power peaks.

2.8

RENBUILD: REGENERATIVE ENERGIEVERSORGUNG MIT WÄRME, KÄLTE UND STROM AUS EINEM GUSS

RENBUILD: RENEWABLE ENERGY SUPPLY WITH HEATING, COOLING, AND ELECTRICITY COMBINED

Autor | Author
F. Klinker

Ansprechpartner | Contact
Dipl.-Phys. Felix Klinker
Projektleiter
Energieoptimierte Gebäude
Head of Project
Energy-Optimised Buildings

Bereich | Division
Energieeffizienz
Energy Efficiency
+49 931 70564-320
felix.klinker@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
FKZ 03EN1009A-J

Kooperationspartner | Partners
ESDA Technologie GmbH

Hanse Haus GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Hölscher GmbH & Co. KG

Kompetenzzentrum für nachhaltige Energietechnik (KET) der Universität Paderborn

Neuberger Gebäudeautomation GmbH

PA-ID Process GmbH

Ratiotherm GmbH & Co. KG

Renz Solutions GmbH

Bis 2050 strebt die Bundesregierung einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand an. Insbesondere bei der Wärme- und Kälteversorgung ist man von diesem Ziel aber noch weit entfernt. Durch die zunehmende Anzahl von Hitzetagen und steigende Komfortansprüche wird besonders die Kälteversorgung in Zukunft immer relevanter werden. Daher werden kurzfristig schlüssige, regenerative Konzepte zur effizienten Versorgung von Gebäuden mit Wärme, Kälte und Strom benötigt.

Ein solches Konzept entwickelt das ZAE Bayern zusammen mit acht Partnern aus Industrie und Forschung im Projekt "REnBuild". Der dabei verfolgte integrale Ansatz nutzt insbesondere Synergien, die sich aus der Aufhebung der Trennung zwischen Wärme-, Kälte- und Stromversorgung ergeben.

Abbildung 1 zeigt Aufbau und Komponenten des REnBuild-Systems: Als Energiequelle dienen photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT-Kollektoren), die die gleichzeitige regenerative Erzeugung von Wärme, Strom und Kälte ermöglichen. Zur Speicherung der erzeugten Wärme und Kälte werden zwei Latentwärme/Wasser-Hybrid Speicher mit auf die jeweilige Anwendung angepasstem Temperaturbereich genutzt. Diese Hybrid Speicher besitzen etwa die dreifache Speicherkapazität eines reinen Wasserspeichers desselben Volumens. Im Zentrum des Systems steht eine reversible Wärmepumpe, die, je nach aktueller Anforderung (z. B. Raumheizung oder Speicherbeladung), regelungstechnisch optimiert quellen- und senkenseitig mit den anderen Komponenten verbunden werden kann, um die verfügbaren Temperaturniveaus an den Bedarf anzupassen. So werden eine hochflexible und damit effiziente Nutzung der verfügbaren regenerativen Wärme und Kälte und ein netzdienlicher Betrieb (power-to-heat, power-to-cold) ermöglicht.

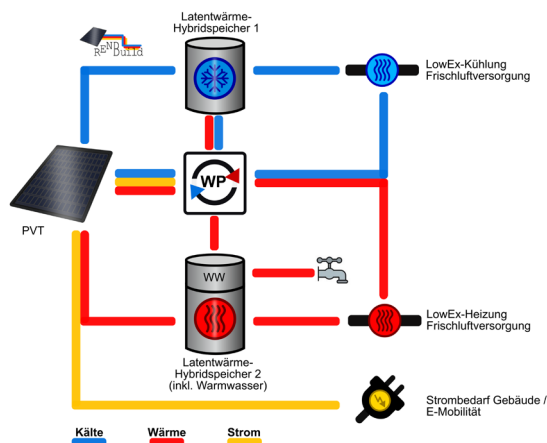
By 2050, the German government is aiming to achieve a virtually climate-neutral building stock. This goal, however, is still distant, particularly when it comes to heating and cooling supply. With an increasing number of hot days and an increasing demand for comfort, especially cooling will gain in relevance. Therefore, coherent and efficient renewable concepts to provide buildings with heating, cooling, and electricity are short-term necessities.

ZAE Bayern and eight industrial and research partners are developing such a concept in the project "REnBuild". The integral approach pursued particularly exploits synergies resulting from the end of the separation between heating, cooling, and electricity supply.

Figure 1 shows the structure and components of the REnBuild system: Photovoltaic-thermal hybrid (PVT) collectors provide energy, simultaneously generating heat, electricity, and cooling from renewable sources. Two latent heat/water hybrid storage tanks with temperature ranges adapted to their particular applications store the generated heat and cold. These hybrid storage tanks can hold approximately three times as much energy as a water-only storage of the same volume. At the heart of the system is a reversible heat pump which, depending on the current requirement (e.g. space heating or storage charging), may be connected to the system's other components on its source and sink side with regard to optimisation, to adapt the available temperature levels to the demand. This allows for a highly flexible, thus efficient use of the available regenerative heat and cold as well as grid-serving operation (power-to-heat, power-to-cold).

During the first of two project stages, the PVT collectors, hybrid storage, and heat pump will be optimised for use in the system in 2020 and 2021, while solutions

1



2

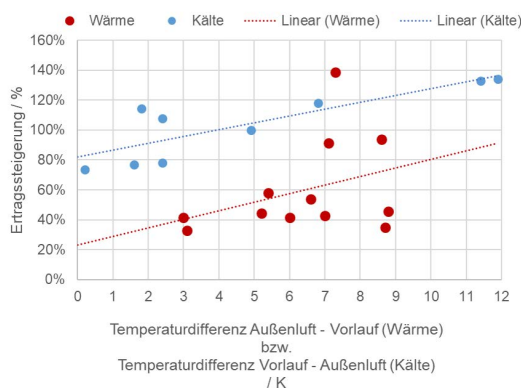


Abb. 1: Schema des RENBuild-Systems zur regenerativen Versorgung von Gebäuden mit Wärme, Kälte, Strom und Frischluft.

Fig. 1: Schematic of the RENBuild system for the regenerative supply of buildings with heating, cooling, electricity, and fresh air

Abb. 2: Gemessene Wärme- und Kälteertragssteigerung nach Optimierung des PVT-Kollektors in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Außenlufttemperatur und Kollektorvorlauftemperatur mit eingefügten Trendlinien durch die Messpunkte

Fig. 2: Measured increase in heat and cooling yield after optimisation of the PVT collector as a function of the temperature difference between outside air and collector flow temperatures with trend lines fitted through the measuring points

In der ersten von zwei Projektphasen werden, in den Jahren 2020 und 2021, PVT-Kollektoren, Hybridspeicher und Wärmepumpe für das System optimiert sowie Lösungen für die Fassaden- und Dachintegration der Kollektoren erarbeitet. Im Rahmen dieser Optimierung in Zusammenarbeit mit dem Kollektorhersteller PA-ID Process GmbH, konnten in Simulation und Messung bereits deutliche Wärme- und Kälteertragssteigerungen nachgewiesen werden (Abb. 2). Diese basieren auf Verbesserungen am Kollektor-Wärmetauscher und dessen thermischer Ankopplung an die PV-Zellen sowie dem Verzicht auf eine rückseitige thermische Isolierung. 2021 wird am ZAE eine Versuchsanlage des Gesamtsystems installiert, die bereits ein prototypisches Regelungs- und Monitoringsystem umfasst. In der zweiten Projektphase von 2022 bis 2023 wird das System dann in ein Bürogebäude sowie ein Wohngebäude integriert und unter Realbedingungen untersucht und optimiert werden.

for integrating the collectors into façades and roofs will also be developed. In the course of this optimisation, carried out in cooperation with collector manufacturer PA-ID Process GmbH, significant increases in heat and cooling yields have already been proven through simulation and measurement (Fig. 2). These are due to improvements in the collector's heat exchanger and its thermal coupling to the PV cells, as well as the omission of thermal insulation on the rear side. In 2021, a test setup of the entire system will be installed at ZAE, already including a prototypical controlling and monitoring system. The second project phase, running from 2022 to 2023, will then focus on the integration of the system into an office building as well as a residential one and on testing and optimising it under realistic conditions.

2.9

MIT HOLZPELLETS ANGETRIEBENE WÄRMEPUMPE HEAT PUMP DRIVEN BY WOOD PELLETS

Autor | Author

M. Kausche

Ansprechpartner | Contact

M.Sc. Manuel Kausche

Projektleiter

Wärmetransformation

Head of Project

Heat Conversion

Bereich | Division

Energiespeicherung

Energy Storage

+49 89 329442-90

manuel.kausche@zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

FKZ 03KB127

Kooperationspartner | Partners

HDG Bavaria GmbH

Abb. 1: CAD-Darstellung der Absorptionswärmepumpeneinheit

Fig. 1: CAD rendering of the absorption heat pump unit

Die Verbrennung von Biomasse, besonders Holz, gilt als älteste Form der Gebäudeheizung und dominiert auch heute noch den Markt für erneuerbar erzeugte Nutzwärme. Im Jahr 2016 wurden etwa 11 % des gesamten Wärmebedarfs in Deutschland über Scheitholz, Holzhackschnitzel und -pellets gedeckt. Doch der Bedarf an regenerativer Heiz- und Kühlleistung steigt weiter an und für Biomasse bietet sich die Perspektive, einen Teil dieses Bedarfs zu decken.

Dazu wurde am ZAE Bayern ein neuartiges, mit holzartiger Biomasse betriebenes Heiz- und Kühlsystem entwickelt. Der Brennstoff treibt darin direkt einen thermischen Wärmepumpenprozess an. Auf eine vorherige, verlustbehaftete Wandlung in Strom oder Warmwasser wird verzichtet. So können regenerative Umweltwärmequellen mit niedriger Temperatur, wie Erdwärmesonden, solarthermische Kollektoren, Grund- und Abwasser, netzunabhängig nutzbar gemacht werden. Das dahinterstehende Konzept wurde bereits 2016 in einer deutsch-finnischen Forschungskooperation erfolgreich erprobt [2]. Im Projekt „BioWap“ wurde diese Entwicklung nun, zusammen mit dem Biomasse-Kesselhersteller HDG Bavaria, erfolgreich fortgesetzt.

Im Vergleich zur Verbrennung von Biomasse in einem herkömmlichen Heizkessel, weist das System etwa die doppelte Effizienz bei halben Emissionen auf. Sein sehr geringer Strombedarf reduziert stark den Einfluss volatiler Energiebereitstellung und erleichtert einen netzdienlichen Einsatz. Dank der Nutzung einer Umweltwärmequelle liegt die Energieausbeute des Gesamtsystems bei über 170 % des Heizwerts des der Feuerung zugeführten Brennstoffes. Dieses Verhältnis wurde an einem Funktionsmuster im Labor des ZAE nachgewiesen.

The combustion of biomass, particularly wood, is considered the oldest known form of space heating and continues to dominate the market for renewably generated useful heat. In 2016, about 11 % of Germany's overall heat demand was covered with logs, wood chips, and wood pellets. But the demand for renewable heating and cooling continues to rise and biomass offers the prospect of meeting part of this demand.

To this end, ZAE Bayern has developed a novel heating and cooling system powered by wood biomass. The fuel directly drives a thermal heat pump process in the system. There is no prior, lossy conversion into electricity or hot water. Thus, regenerative environmental heat sources at low temperatures, such as geothermal probes, solar thermal collectors, ground and waste water, may be tapped off-grid. The underlying concept has already undergone successful testing in a German-Finnish research cooperation in 2016 [2]. In the "BioWap" project, this development has now been



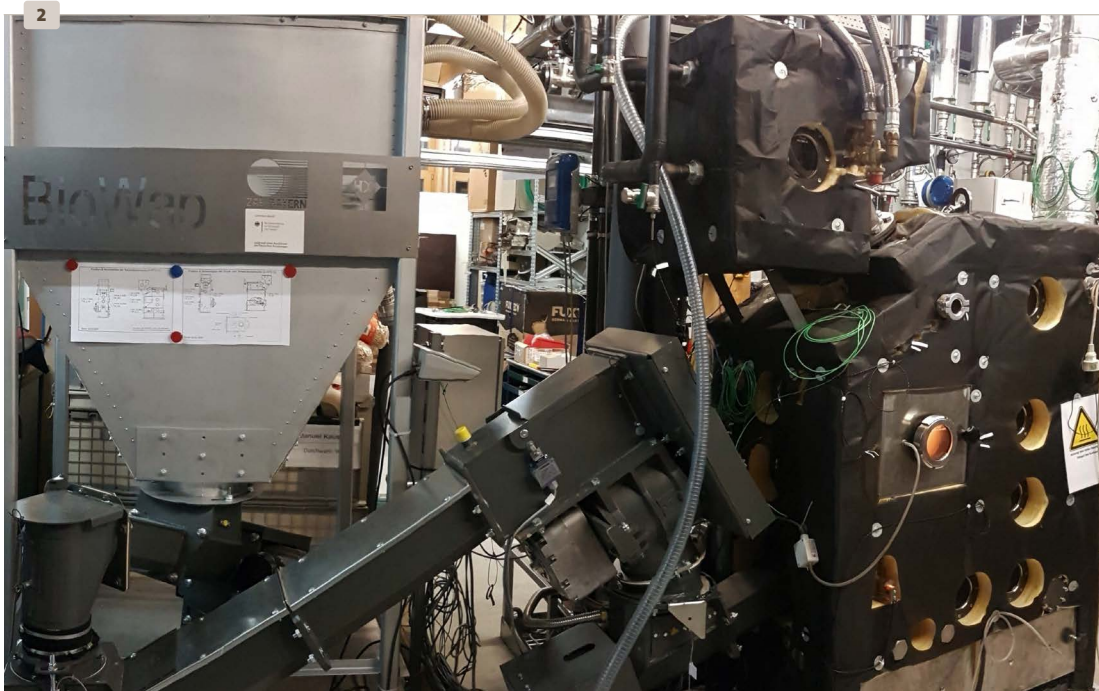


Abb. 2: Antriebseinheit mit Feuerung und Brennstoffversorgung im Labor

Fig. 2: Driving unit with burner and fuel supply in the laboratory

Die erhaltenen Messergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der zur Auslegung des Systems durchgeführten Simulationen: Mittels einer Leistung von 56,3 kW, die in Form von Holzpellets zugeführt wird, können 95,7 kW Heizwärme auf einem attraktiven Temperaturniveau zwischen 31,5 und 40 °C bereitgestellt werden. Die aus der Wärmequelle (Kaltwasserkreis bei 5,6–9 °C) gewonnene Energie beträgt dabei 52,2 kW. Diese Kennzahlen liegen bereits in einem sehr guten Bereich. Dennoch kann die Effizienz des Gesamtsystems durch weitere Optimierung der Verbrennung und Rauchgasführung noch erhöht werden. Weitere Demonstrationsanlagen zur Wärme- und Kältebereitstellung mittels Biomassefeuerung in verschiedenen Anwendungsgebieten sind geplant.

successfully continued together with biomass boiler manufacturer HDG Bavaria.

Compared to the combustion of biomass in a conventional boiler, the system is about twice as efficient at half the emissions. Its minimal electricity demand greatly reduces the impact of volatile energy supply and facilitates grid-friendly use. Thanks to the utilisation of an environmental heat source, the energy yield of the entire system exceeds 170 % of the heating value of the fuel fed into the furnace. This ratio was verified with a functional prototype in ZAE's laboratory. The obtained measurement results are consistent with the simulations conducted when designing the system: By supplying 56.3 kW of power in wood pellets, 95.7 kW of heating energy can be provided at an attractive temperature level between 31.5 and 40 °C. The energy obtained from the heat source (cold-water circuit at 5.6-9 °C) thereby amounts to 52.2 kW.

These key figures are already in a very satisfactory range. Nevertheless, the overall system efficiency may still be increased by further optimisation of combustion and flue gas routing. Further pilot plants are planned to provide heating and cooling based on biomass combustion in a variety of application areas.

Literatur | References
 [1] L. Pelkmans, Germany – 2018 update, Bioenergy policies and status implementation, Country Reports. IEA Bioenergy: 09 2018, p. 8.
 [2] K. Sipilä, F. Reda., R. Pasonen, A. Löf, M. Viot, K. Pischow., M. Helm, M. Möckl, F. Menhart, M. Kausche, P. Osgyan, G. Streib, (2017), Solar heating and cooling in Northern and Central Europe, VTT Technology 287. ISBN 978-951-38-8510-6. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Finland, pp. 69–77.

2.10

SEMITRANSPARENTE ORGANISCHE
PHOTOVOLTAIKMODULE FÜR DIE
FASSADENINTEGRATIONSEMI-TRANSPARENT ORGANIC PHOTOVOLTAIC
MODULES FOR FAÇADE INTEGRATION

Autor | Author

**M. Wagner, S. Feroze,
H.-J. Egelhaaf**

Ansprechpartner | Contact

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

Bereich | Division

Energieeffizienz

Energy Efficiency

+49 911 56854-9350

hans-joachim.egelhaaf@
zae-bayern.de

Fördermittelgeber | Funding

**Bayerisches Staatsministerium
für Wirtschaft, Energie und
Technologie**

FKZ 20.2-3410.5-4-5

**Bundesministerium für Bildung
und Forschung**

FKZ 03SBE0008C

Kooperationspartner | Partners

**Technische Hochschule Nürn-
berg Georg Simon Ohm****Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen Nürnberg**

Eine der vielversprechendsten urbanen Anwendungen für Photovoltaik ist die Gebäudeintegration (BIPV von engl. *building-integrated photovoltaics*). Da diese die funktionale und nachhaltige Nutzung von Gebäudeflächen zur Energiegewinnung ermöglicht, trägt sie großes Zukunftspotenzial in sich [1]. Für unkonventionelle BIPV-Anwendungen wie die Integration in Fenster, gekrümmte Oberflächen oder multifunktionale Fassadenelemente eignet sich besonders die flexible und semitransparente organische Photovoltaik (OPV).

Die Solarfabrik der Zukunft verfügt über eine Rolle-zu-Rolle-Produktionsanlage zum Druck solcher OPV. Die weitreichend optimierte Fertigung erlaubt mittlerweile die Herstellung von Modulen mit einer Fläche von über 1.400 cm² bei hoher Reproduzierbarkeit. Die Flächenskalierungs- und Prozessverluste, die beim Übergang von einer nur 0,1 cm² großen Laborzelle auf ein großflächiges Modul zwangsläufig entstehen, betragen nur 9 %. So sind mit dem derzeit verwendeten Materialsystem aus P3HT und o-IDTBR stabile Modulwirkungsgrade von bis zu 5 % möglich.

Neben dem Wirkungsgrad, der eine wichtige Rolle bei der Kommerzialisierung jedes PV-Produkts spielt, ist die Haltbarkeit der Module von größter Bedeutung. Beschleunigte Lebensdauertests belegen das Potenzial des Materialsystems: Module wurden über 1.000 Stunden in feuchter Wärme (65 °C, 85 % relative Luftfeuchtigkeit) und unter Dauerbestrahlung (1.000 W/m², 65 °C) gelagert. Alle Module erreichten auch danach noch deutlich über 80 % ihres ursprünglichen Wirkungsgrads. Die Unterschreitung dieser Schwelle gilt in der PV-Industrie als Ende der Modullebensdauer. Fassadenintegrierte PV-Module sind aufgrund architektonischer Zwänge häufig in nicht optimaler Ausrichtung installiert. Bei Zenitwinkeln von 45°, was nahe am optimalen Neigungswinkel für den Stand-

One of the most promising urban applications for photovoltaics is building-integrated photovoltaics (BIPV). It allows for the functional and sustainable use of building surfaces in energy generation, thus carrying great potential for the future [1]. Flexible and semi-transparent organic photovoltaics (OPV) are particularly suitable for unconventional BIPV applications, such as integration into windows, curved surfaces, or multifunctional façade elements.

The Solar Factory of the Future is equipped with a roll-to-roll production line for printing such OPV. The extensively optimised production now allows for the manufacture of modules with more than 1,400 cm² of surface area at a high level of reproducibility. The area scaling and process losses, which inevitably occur when going from a laboratory cell of only 0.1 cm² to a large-area module, only amount to 9 %. Thus, stable module efficiencies of up to 5 % can currently be achieved, using the material system of P3HT and o-IDTBR.

Besides efficiency, which plays an important role in the commercialisation of any PV product, the durability of the modules is of utmost importance. Accelerated lifetime testing proved the material system's potential: Modules were stored in humid heat (65 °C, 85 % relative humidity) and under continuous irradiation (1,000 W/m², 65 °C) for over 1,000 hours. All modules achieved well over 80 % of their original efficiency afterwards. Falling below this threshold is considered the end of a module's life span in the PV industry.

Façade-integrated PV modules tend to be installed in less than optimal orientation due to architectural constraints. At zenith angles of 45°, which is close to the optimum angle for Erlangen, and 90°, the most common orientation of façade-integrated modules, OPV

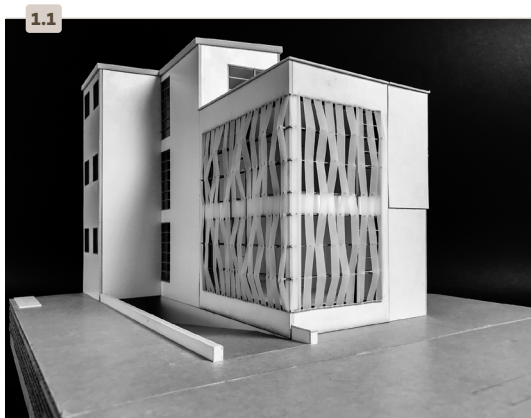


Abb. 1.1, Abb. 1.2: Studentische Entwürfe (unter Anleitung von Prof. R. Krippner, THN) für die Integration von OPV-Modulen in die Fassade des Gebäudes Immerwahrstr. 2 in Erlangen (Modell 1:50): Moritz Bachmann und Sven Vorliczky (links), Julia Credé und Astrid Pümmerlein (rechts)

Fig. 1.1, Fig. 1.2: Students' design proposals (class of Prof. R. Krippner, THN) for the integration of OPV modules into the façade of the building at Immerwahrstr. 2 in Erlangen (model 1:50): Moritz Bachmann and Sven Vorliczky (left), Julia Credé and Astrid Pümmerlein (right)

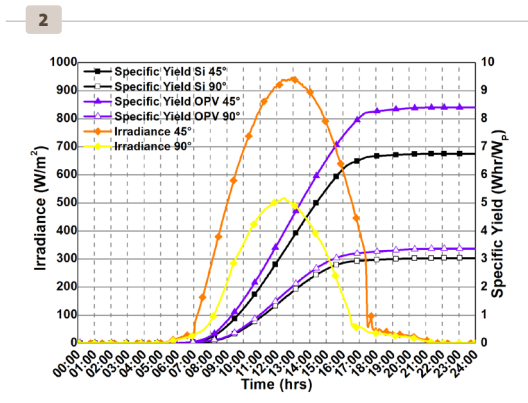


Abb. 2: Spezifische Erträge von OPV-Modulen im Vergleich zu m-Si-Referenzmodulen an einem klaren, sonnigen Sommertag

Fig. 2: Specific yields of OPV modules compared to m-Si reference modules on a clear, sunny summer day



Abb. 3.1, Abb. 3.2: Fassadenintegration von Modulen als Glasvordach in einem Gebäude in Kitzingen

Fig. 3.1, Fig. 3.2: Façade integration of modules into a glass canopy in a building in Kitzingen, Germany

ort Erlangen liegt, und 90°, der üblichen Ausrichtung fassadenintegrierter Module, bieten OPV-Module im Tagesverlauf höhere spezifische Erträge (Whr/W_p) als m-Si-PV-Module, die als Referenz dienen (Abb. 2).

Um die praktische Umsetzung voranzutreiben, wurde durch das ZAE Bayern und die TH Nürnberg ein Modul des interdisziplinären BMWi-geförderten Forschungsprojekts „Fassade“ initiiert. Ziel ist die Entwicklung eines multifunktionalen Fassadenelements mit integrierter OPV in Kitzingen. Diese nachrüstbare Fassade bietet einerseits Sonnen- und Blendschutz für den Innenraum, fungiert andererseits als Wärmedämmung. Das Demonstrationsmodul (Abb. 3) verdeutlicht, wie mit einfachen Mitteln eine voll funktionsfähige und dennoch ästhetisch ansprechende Konstruktion mit OPV realisiert werden kann.

modules provide higher specific yields (Whr/W_p) over the course of the day than m-Si PV modules, which served as a reference (Fig. 2).

To push forward the practical implementation, ZAE Bayern and TH Nuremberg initiated one module of the interdisciplinary research project “Fassade” funded by the Federal Ministry of Economics and Technology. Its aim is the development of a multifunctional façade element with integrated OPV in Kitzingen. This retrofittable façade provides both sun and glare protection for the interior whilst also serving as thermal insulation. The demonstration module (Fig. 3) illustrates how a fully functional yet aesthetically pleasing construction can be realised using simple means and OPV.

Literatur | References
 [1] Pagliaro, M., R. Ciriminna, G. Palmisano. BIPV: merging the photovoltaic with the construction industry. Prog in photovoltaics: Research & applications, 2010. 18(1): p. 61-72.



VERÖFFENTLICHUNGEN
PUBLICATIONS

3.0



3.1 VORTRÄGE UND POSTER

PRESENTATIONS AND POSTERS

3.1.1 EINGELADENE PLENARVORTRÄGE PLENARY INVITED LECTURES

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling**, Partner & Stakeholder Meeting "Energy Storage Partnership" World Bank, Pretoria, South Africa, 21. - 22.01.2020

C. J. Brabec, **Automatic Material Innovation**, 3rd Joint Graduate School Molecular Science/Synthetic Carbon Allotropes (SFB953) Winter School, Kirchberg (Tirol), Austria, 14.02.2020

C. J. Brabec, **Resolving long time challenges in emerging photovoltaics with autonomous self-driven labs**, 6th International Fall School on Organic Electronics, Online, 14.09.2020

C. J. Brabec, **EPSRC CDT in Plastic Electronic**, PE-CDT/CPE Annual Symposium 2020, Imperial College London, Online, 17. - 18.09.2020

C. J. Brabec, **What is organic photovoltaics missing to become a Terrawatt technology?**, NanoGe Fall Meeting 2020, Online, 20. - 23.10.2020

C. J. Brabec, **Material Strategies to Accelerate Printed Photovoltaics Towards a GW Technology**, 6th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment, Online, 01. - 04.11.2020

A. Distler, **Solar Factory of the Future – R2R Production of OPV Modules**, 5th International Conference on Next Generation Solar Energy, Online, 07. - 09.12.2020

A. Distler, **New World Record Efficiency for Organic Photovoltaic Modules**, 5th International Conference on Next Generation Solar Energy, Online, 07. - 09.12.2021

H.-P. Ebert, **Klimawandel in Mainfranken – Infrastruktur neu gedacht**, 6. Nachhaltigkeitssymposium Mainfranken, Online, 17.11.2020

H.-J. Egelhaaf, **How to Make Efficient OPV Modules**, Indian Institute of Technology, Centre for Research in Nanotechnology & Science, Milano, Italy, 10.02.2020

A. Hauer, **The Role of Thermal Energy Storage in our Future Energy System**, EuroSun 2020, Online, 01. - 03.09.2020

A. Hauer, **"Flexible" Sector Coupling by the Implementation of Energy Storage**, World Energy Storage Day 2020, Online, 22.09.2020

A. Hauer, **"Flexible" Sector Coupling by the Implementation of Energy Storage**, Renewable Energy Working Party Meeting 2020, Online, 30.09. - 01.10.2020

A. Hauer, **Increasing energy efficiency in industry**, IEA Academy session: Today in the Lab, Tomorrow in Energy?, Online, 22.10.2020

A. Hauer, **Bringing the heat of summer into winter**, IEA Academy session: Today in the Lab, Tomorrow in Energy?, Online, 22.10.2020

A. Hauer, **Increasing energy efficiency in industry**, CERT Meeting Session: Today in the Lab, Tomorrow in Energy?, Online, 19.11.2020

A. Hauer, **Energy Storage – Latest Development in Germany and Europe**, Energy Storage Summit Japan 2020, Online, 08.12.2020

A. Hauer, **Flexible Sector Coupling – How Energy Storage can Support Decarbonizing all Demand Sectors**, 11th World Renewable Energy Technology Congress 2020, Online, 15. - 16.12.2020

J. Manara, B. Büttner, B. Rau, T. Pflug, S. Auerswald, B. Chhugani et al., **Energieeffizienz – Europäische Erfolgsmodelle**, FVEE-Jahrestagung 2020: Forschung für den European Green Deal, Online, 02. - 04.11.2020

J. Manara, B. Büttner, **Funktionale und innovative Fassaden: Forschungstrends zur Erhöhung der Energieeffizienz**, Energy Efficient Technologies for Building Envelopes, Online, 25. - 27.11.2020

G. Reichenauer, **Adsorptionsinduzierte Deformation: Ein neues Tool zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften auf unterschiedlichen Längenskalen**, Symposium zur Charakterisierung poröser Materialien, Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik, FAU Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany, 19. - 20.02.2020

G. Reichenauer, H.-P. Ebert, **Analysis of Aerogel Structure and Thermal Conductivity**, 5th International Seminar on Aerogels, Masterclass Characterization, Online, 16. - 18.09.2020

F. Yang, **Fully Printable Highly Efficient Carbon Based Planar Perovskite Solar Modules**, 5th International Conference on Next Generation Solar Energy, Online, 07. - 09.12.2020

3.1.2 FACHVORTRÄGE CONTRIBUTED TALKS

A. Distler, **New World Record Efficiency for Organic Photovoltaic Modules**, European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Online, 07. - 11.09.2020

L. Dong, **Scalable printing perovskite solar cells based on air flow and vacuum assisted quenching methods**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz 2020, Online, 10.12.2020

H.-P. Ebert, S. Braxmeier, F. Hemberger, F. Lied, G. Reichenauer, **Intercomparison of Thermal Conductivity Measurements on PU Aerogels**, 5th International Seminar on Aerogels 2020, Online, 16. - 18.09.2020

S. Feroze, **Outdoor Performance Analysis of OPV Modules**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz 2020, Online, 10.12.2020

S. Feroze, **Printed semi-transparent and multi coloured PV modules for BIPV applications**, 15th Conference on Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 26. - 27.10.2020

F. Giovannetti, F. Hüsing, D. Büchner, H. Gebhardt, D. Schmidt, C. Bongs et al., **Solar- und Umweltenergie für effiziente Wärme- und Kälteerzeugung**, FVEE-Jahrestagung 2020: Forschung für den European Green Deal , Online, 02. - 04.11.2020

J. Hartmann, B. Hay, N. Fleurence, R. Razouk, K. Anhalt, S. Sarge et al., **Metrological facilities for thermophysical properties measurements at very high temperature**, Material Science and Engineering Congress 2020, Online, 22. - 25.09.2020

J. Hartmann, D. Ochs, P. Lenski, A. Versch, A. Schiffler, A. Winterstein et al., **Thermal process monitoring for additive manufacturing**, Material Science and Engineering Congress 2020, Online, 22. - 25.09.2020

O. Kasian, S. Calnan, S. A. Ansar, A. S. Gago, J. Bard, M. Möckl et al., **Hydrogen: water splitting from atomic scale understanding to design of advanced electrocatalyst materials for real application**, FVEE-Jahrestagung 2020: Forschung für den European Green Deal , Online, 02. - 04.11.2020

M. Kausche, M. Helm, M. Riepl, W. Aich, **Biomassewärmepumpen- und Kälteanlage – Ressourcenschonend Heizen und Kühlen mit holzartigen Energieträgern**, Digitalisieren – Sektoren koppeln – Flexibilisieren: Systemische Integration der Bioenergie und weiterer erneuerbarer Energien in Gebäuden & Quartieren, Online, 24.11.2020

F. Kerscher, J. Bolz, I. Stellwag, H. Spliethoff, **Experimental Investigation of Mineral Sorbents for Alkali Removal in Gasification and Combustion Plants**, 28th European Biomass Conference & Exhibition, Online, 06. - 09.07.2020

J. M. Kuckelkorn, M. Riepl,
Gasabsorptionswärmepumpe in einem Fernwärmenetz mit Geothermie, Digitale ASUE-Fachtagung – Wärmepumpen mit Gasantrieb: 160 % Klimaschutz, Online, 27.10.2020

J. M. Kuckelkorn, **Praxis-Erfahrungen mit energieeffizienten Kühlkonzepten aus dem Monitoring von Passivhaus-Schulen**, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser 57: Gebäudekonzepte für heiße Sommer – Schwerpunkt Nichtwohngebäude, Online, 04.11.2020

C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hooek, S. Hiebler, **Development of PCM based on Mixtures of Salt Hydrates**, 16th International Renewable Energy Storage Conference, Online, 25. - 26.5.2020

M. Reim, J. Bohl, J. Eppel, **Pflanze trifft Bauwerk: Ergebnisse eines Praxisversuchs**, 52. Veitshöchheimer Landespflegetage, Veitshöchheim, Germany, 21. - 22.01.2020

F. Rudolph, P. Jochem, R. Bradl, C. Kost, T. Koch, M. Möckl et al., **Verbrauchssenkung der europäischen PKW Flotte – Flankierende Politikinstrumente des Green Deals**, FVEE-Jahrestagung 2020: Forschung für den European Green Deal, Online, 02. - 04.11.2020

C. Scherdel, J. Nauschütz, B. Büttner, G. Reichenauer, **Silica aerogel pillars for vacuum glazing**, 5th International Seminar on Aerogels 2020, Online, 16. - 18.09.2020

L. Staudacher, P. Osgyan, Y. Apfel, **Energieeffiziente Beheizung von Oberflächen mit CO₂-Erdwärmesonden – GERDI**, Der Geothermiekongress 2020, Online, 09. - 13.11.2020

M. Wagner, **From Lab to Fab – The Upscaling of Organic Photovoltaics**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz 2020, Online, 10.12.2020

F. Yang, **Fully Printable Highly Efficient Carbon Based Planar Perovskite Solar Modules**, Energie Campus Nürnberg: EnCN Jahreskonferenz 2020, Online, 10.12.2020

3.1.3 POSTER POSTERS

M. Kausche, M. Helm, M. Riepl, W. Aich, **Biomassewärmepumpen- und Kälteanlage – Ressourcenschonend Heizen und Kühlen mit holzartigen Energieträgern**, Digitalisieren – Sektoren koppeln – Flexibilisiere, Systemische Integration der Bioenergie und weiterer erneuerbarer Energien in Gebäuden & Quartieren, Online, 24.11.2020

M. Möckl, J. Knöppel, D. Escalera-López, S. Cherevko, M. Rzepka, **Aging Detection in Proton Exchange Membrane Electrolysis Cells and Stacks**, Kopernikus P2X Phase II - P2X Tag, Frankfurt, Germany, 21. - 22.01.2020

M. Reim, J. Bohl, **Energetische Wirkungen begrünter Fassaden**, 7. Forschungsforum Landschaft, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Nürtingen, Germany, 05. - 06.03.2020

C. Stegner, **Automatisierte, zeitliche Synchronisierung von elektrischen Messeinheiten anhand verschiedener Ähnlichkeitskriterien der Frequenz- und Spannungs-Zeitreihen**, ScienceLab 2020, Berlin, Germany, 28.01.2020

3.1.4

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

A. Hauer, **Power-to-X: Ein Kernbaustein für die Energiewende – Status und Zukunftsaussicht**, Norton Rose Fulbright Renewables Day 2020, München, Germany, 05.03.2020

A. Hauer, **Moderation des politischen Abends**, 30. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Online, 13. - 14.05.2020

J. Manara, M. Arduini, **Presentation of end-users techniques studied in the project and technical details about instruments involved in the project**, Workshop EMIRIM (Improvement of emissivity measurements on reflective insulation materials), Online, 18.11.2020

J. Manara, M. Arduini, **Extrapolation of total hemispherical emissivity from total normal emissivity**, Workshop EMIRIM (Improvement of emissivity measurements on reflective insulation materials), Online, 18.11.2020

3.2 VERÖFFENTLICHUNGEN PUBLICATIONS

3.2.1 REFERIERTE VERÖFFENTLICHUNGEN PEER-REVIEWED PUBLICATIONS

- K. D. Antoniadis, A. Tyrou, M. J. Assael, X. Li, J. Wu, H.-P. Ebert, **Reference Correlations for the Thermal Conductivity of Solid BK7, PMMA, Pyrex 7740, Pyroceram 9606 and SS304**, *Int. J. Thermophys.*, 41, 2020, 98
- M. Berlinghof, S. Langner, C. Harreiß, E. Schmidt, R. Siris, C. Brabec et al., **Crystal-structure of active layers of small molecule organic photovoltaics before and after solvent vapor annealing**, *Z. Kristallogr. - Cryst. Mater.*, 235, 2020, 15-28
- M. Bernt, J. Schröter, M. Möckl, H. A. Gasteiger, **Analysis of gas permeation phenomena in a PEM water electrolyzer operated at high pressure and high current density**, *J. Electrochem. Soc.*, 167 (12), 2020, 124502
- C. J. Brabec, A. Distler, X. Du, H.-J. Egelhaaf, J. Hauch, T. Heumüller et al., **Material Strategies to Accelerate OPV Technology Toward a GW Technology**, *Adv. En. Mater.*, 10 (43), 2020
- A. Classen, C. L. Chochos, L. Lüer, V. G. Gregoriou, J. Wortmann, C. Brabec et al., **The role of exciton lifetime for charge generation in organic solar cells at negligible energy-level offsets**, *Nat. Energy*, 5, 2020, 711-719
- F. Dawo, S. Eyerer, R. Pili, C. Wieland, H. Spliethoff, **Experimental investigation, model validation and application of twin-screw expanders with different built-in volume ratios**, *Appl. Energy*, 282, 2020, 116139
- T. de Riese, L. Hansen, D. Magiri-Skoulou-di, K. Braimakis, L. Clemens, H. Spliethoff et al., **The Bioefficiency Project Part 2: A Blueprint Design for the Next Generation of Biomass-Fired Cogeneration Plants**, *VGB PowerTech*, 8, 2020
- R. Di Bari, R. Horn, B. Nienborg, F. Klinker, E. Kieseritzky, F. Pawelz, **The Environmental Potential of Phase Change Materials in Building Applications. A Multiple Case Investigation Based on Life Cycle Assessment and Building Simulation**, *Energies*, 13, 2020, 3045
- V. Dieterich, A. Buttler, A. Hanel, H. Spliethoff, S. Fendt, **Power-to-liquid via synthesis of methanol, DME or Fischer-Tropsch-fuels: a review**, *Energy Environ. Sci.*, 13 (10), 2020, 3207-3252
- A. Distler, C. J. Brabec, H.-J. Egelhaaf, **Organic Photovoltaic Modules with New World Record Efficiencies**, *Progr. Photovoltaics*, 29 (1), 2020, 24-31
- S. Eyerer, F. Dawo, C. Wieland, H. Spliethoff, **Advanced ORC architecture for geothermal combined heat and power generation**, *Energy*, 205, 2020, 17967
- S. Eyerer, C. Schifflachner, S. Hofbauer, W. Bauer, C. Wieland, H. Spliethoff, **Combined heat and power from hydrothermal geothermal resources in Germany: An assessment of the potential**, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 120, 2020, 109661
- S. Eyerer, F. Dawo, R. Pili, C. Schifflachner, C. Wieland, H. Spliethoff, **Experimental and numerical investigation of an advanced injection cooling concept for Organic Rankine Cycles**, *Energy Convers. Manage.*, 224, 2020, 113342
- E. Gu, X. Tang, S. Langner, P. Duchstein, Y. Zhao, C. J. Brabec et al., **Robot-Based High-Throughput Screening of Antisolvents for Lead Halide Perovskites**, *Joule*, 4 (8), 2020, 1806-1822
- L. Hansen, S. Fendt, H. Spliethoff, **Impact of hydrothermal carbonization on combustion properties of residual biomass**, *Biomass Conv. Biorefin.*, 2020
- L. Hansen, T. de Riese, R. Nowak Delgado, T. Leino, S. Fendt, H. Spliethoff et al., **The Bioefficiency Project Part 1: Handling ash-related challenges in biomass-fired cogeneration plants**, *VGB PowerTech*, 7, 2020
- M. Hauser, S. Herrmann, M. Hauck, S. Fendt, C. Lenser, H. Spliethoff et al., **Operation of SOFC Short-Stacks with Simulated Bio-Syngas: Influence of Model Tars Naphthalene and Phenol**, *J. Electrochem. Soc.*, 167, 2020, 124514

- J. Hepp, A. Vetter, B. Hofbeck, U. Sultan, J. Hauch, C. Camus, C. Brabec, **Quantitative Analysis of the Separate Influences of Material Composition and Local Defects on the V_{oc} of PV Devices: An Exemplary Study on CIGS**, *IEEE J. Photovoltaics*, 10 (3), 2020, 898-904
- M. Irl, J. Lambert, C. Wieland, H. Spliethoff, **Development of an Operational Planning Tool for Geothermal Plants With Heat and Power Production**, *J. Energy Res. Technol.*, 142 (9), 2020, 090903
- P. E. Keivanidis, G. Itkos, Z. Kan, E. Aluicio-Sarduy, H. Goudarzi, C. Brabec et al., **Afterglow Effects as a Tool to Screen Emissive Nongeminate Charge Recombination Processes in Organic Photovoltaic Composites**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 12, 2020, 2695-2707
- L. Ludescher, S. Braxmeier, C. Balzer, G. Reichenauer, F. Putz, N. Hüsing et al., **Capillary Bridge Formation between Hexagonally Ordered Carbon Nanorods**, *Adsorption*, 26, 2020, 563-578
- L. Ludescher, R. Morak, S. Braxmeier, F. Putz, N. Hüsing, G. Reichenauer et al., **Hierarchically organized materials with ordered mesopores: adsorption isotherm and adsorption-induced deformation from small-angle scattering**, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 22, 2020, 12713-12723
- M. Möckl, M. Bernt, J. Schröter, A. Jossen, **Proton exchange membrane water electrolysis at high current densities: Investigation of thermal limitations**, *Int. J. Hydrogen Energy*, 45, 2020, 1417-1428
- J. Möllenkamp, T. Beikircher, A. Häberle, **Recalibration of SPN1 pyranometers against pyrheliometer and its relevance for the evaluation of concentrating solar process heat plants**, *Sol. Energy*, 197, 2020, 344-358
- T. Netter, A. Geißler, H. Spliethoff, **Determination of the Intrinsic Gasification Kinetics of a Bituminous Coal Including Product Gas Inhibition and Char Deactivation Under Entrained Flow Conditions**, *J. Energy Res. Technol.*, 142 (7), 2020, 072301
- N. Niemelä, R. Nowak Delgado, T. de Riese, H. Tolvanen, S. Fendt, H. Spliethoff et al., **Fuel-specific devolatilization parameters for detailed comparison of pulverized biomass fuels**, *Fuel*, 286, 2020, 119309
- R. Pili, S. Eyerer, F. Dawo, C. Wieland, H. Spliethoff, **Development of a non-linear state estimator for advanced control of an ORC test rig for geothermal application**, *Renewable Energy*, 161, 2020, 676-690
- R. Pili, L. Garcia Martinez, C. Wieland, H. Spliethoff, **Techno-economic potential of waste heat recovery from German energy-intensive industry with Organic Rankine Cycle technology**, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 134, 2020, 110324
- C. Rathgeber, S. Hiebler, R. Bayón, L. F. Cabeza, G. Zsembinski, G. Englmair et al., **Experimental Devices to Investigate the Long-Term Stability of Phase Change Materials under Application Conditions**, *Appl. Sci.*, 10 (22), 2020, 7968
- O. J. J. Ronsin, D. Jang, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec, J. Harting, **A phase-field model for the evaporation of thin film mixtures**, *PCCP*, 22 (12), 2020, 6638-6652
- M. Rottmann, T. Beikircher, H.-P. Ebert, **Thermal conductivity of evacuated expanded perlite measured with guarded-hot-plate and transient-hot-wire method at temperatures between 295 K and 1073 K**, *Int. J. Therm. Sci.*, 152, 2020, 106338
- V. Scharl, F. Fischer, S. Herrmann, S. Fendt, H. Spliethoff, **Applying Reaction Kinetics to Pseudohomogeneous Methanation Modeling in Fixed-Bed Reactors**, *Chem. Eng. Technol.*, 43 (00), 2020, 1-11
- C. Schiffler, F. Dawo, S. Eyerer, C. Wieland, H. Spliethoff, **Thermodynamic comparison of direct supercritical CO₂ and indirect brine-ORC concepts for geothermal combined heat and power generation**, *Renewable Energy*, 161, 2020, 1292-1302
- H. Schmit, C. Rathgeber, P. Hoock, S. Hiebler, **Critical review on measured phase transition enthalpies of salt hydrates in the context of solid-liquid phase change materials**, *Thermochim. Acta*, 683, 2020, 178477
- H. Schmit, D. Rudaleviciene, C. Rathgeber, S. Hiebler, **Influence of basic raw materials on the maximum storage capacity of the phase change material calcium chloride hexahydrate**, *J. Energy Storage*, 27, 2020, 101064

N. Schrenker, Z. Xie, P. Schweizer, M. Mönninger, F. Werner, C. Brabec et al., **Microscopic Deformation Modes and Impact of Network Anisotropy on the Mechanical and Electrical Performance of Five-Fold Twinned Silver Nanowire Electrodes**, ACS Nano, 15 (1), 2021, 362-376

M. Sytnyk, A. Yousefi-Amin, T. Freund, A. Prihoda, K. Götz, T. Unruh et al., **Epitaxial Metal Halide Perovskites by Inkjet-Printing on Various Substrates**, Adv. Funct. Mater., 30 (43), 2020, 2004612

A. Vandersickel, W. G. Wedel, H. Spliethoff, **High temperature heat and water recovery in steam injected gas turbines using an open absorption heat pump**, Appl. Therm. Eng., 165, 2020, 114663

Y. Wang, S. Zhang, D. Chow, J. M. Kuckelkorn, **Evaluation and optimization of district energy network performance: Present and future**, Renewable Sustainable Energy Rev., 2020

Z. Wang, L. Zeng, C. Zhang, Y. Lu, H.-J. Egelhaaf, C. J. Brabec et al., **Rational Interface Design and Morphology Control for Blade-Coating Efficient Flexible Perovskite Solar Cells with a Record Fill Factor of 81 %**, Adv. Funct. Mater., 30 (32), 2020

C. Wieland, H. Spliethoff, T. Baumann, **CO₂-neutral co-produced gas utilization for deep geothermal applications**, Geothermics, 88, 2020, 101895

C. Witt, A. Schmid, N. Leupold, M. Schultz, J. Hocker, A. Baumann et al., **Impact of Pressure and Temperature on the Compaction Dynamics and Layer Properties of Powder-Pressed Methylammonium Lead Halide Thick Films**, ACS Appl. Electron. Mater., 2 (8), 2020, 2619-2628

F. Yang, L. R. Dong, D. J. Jang, F. Guo, C. Li, C. Arrive, M. Bertrand et al., **Fully Solution Processed Pure α -Phase Formamidinium Lead Iodide Perovskite Solar Cells for Scalable Production in Ambient Condition**, Adv. En. Mater., 10 (42), 2020

M. Zipf, J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, J. Hartmann, **Identification of wavelength regions for non-contact temperature measurement of combustion gases at high temperatures and high pressures**, High Temp.- High Press., 49 (3), 2020, 241-260

3.2.2 BÜCHER, MANUSKRIPTE BOOKS, MANUSCRIPTS

I. A. Channa, A. Distler, C. J. Brabec, H.-J. Egelhaaf, **Solution-coated barriers for organic electronics**, in: Organic Flexible Electronics, eds: Woodhead Publishing, 2020, 249 - 303

U. Heinemann, **Long-Term Performance of Super-Insulating Materials in Building Components and Systems, Report of Subtask 1: State of the Art on Materials & Components – Cases Studies**, International Energy Agency, EBC Annex 65, CSTB France, 2021

P. Maisch, K. C. Tam, D. Jang, M. Steinberger, F. Yang, C. J. Brabec et al., **Inkjet printed organic and perovskite photovoltaics—review and perspectives**, in: Organic Flexible Electronics, eds: Woodhead Publishing, 2020, 305 -333

3.2.3 REFERIERTE TAGUNGSBANDBEITRÄGE CONFERENCE PAPERS

S. Herrmann, H. Spliethoff, **Highly Efficient CHP-LAES Plant for Large Scale Storage of Renewable Electricity**, Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2020, Dresden, Germany, 06. - 07.10.2020

M. Kausche, M. Helm, M. Riepl, **Directly Biomass-fired Absorption Heat Pump**, International Sorption Heat Pump Conference 2021, online pre-conference 2020, Online, 17.08.2020, p. 176

J. M. Kuckelkorn, **Praxis-Erfahrungen mit energieeffizienten Kühlkonzepten aus dem Monitoring von Passivhaus-Schulen**, Passivhaus Institut Darmstadt, Protokollband 57: Gebäudekonzepte für heiße Sommer – Schwerpunkt Nichtwohngebäude, Online, 04.11.2020

D. Pressl, M. Schmidt, S. Castano Parga, E. Lävemann, **Compact cold storage by means of a closed absorption process with H₂O/LiBr and crystallization of the strong absorbent**, International Sorption Heat Pump Conference 2021, online pre-conference 2020, Online, 17.08.2020, p. 51

M. Riepl, **Heat Transfer and Flow Characteristics in Thermosiphon Regenerators of Multi-Stage LiBr/Water-Absorption Heat Pumps**, International Sorption Heat Pump Conference 2021, online pre-conference 2020, Online, 17.08.2020, p. 119

3.2.4 TECHNISCHE BERICHTE TECHNICAL REPORTS

A. Hauer, B. Fumey, S. Gschwander, D. Lager, A. Lázaro, C. Rathgeber et al., **IEA ES TCP Annex 33 "Material and Component Development for Thermal Energy Storage"**, final report, International Energy Agency

B. Schweiger, A. Hermes, W. Wedel, C. Matschi, M. Landerer, K. Schönleber et al., **Entwicklung ganzheitlich optimierter, nachhaltiger und übertragbarer Energiekonzepte für komplexe Mischgebiete am Beispiel des TUM Campus Garching – CleanTechCampus**, 03ET1407B, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, CleanTechCampus

H. Karrer, K. Hagel, A. Kirschbaum, I. Kötting, J. M. Kuckelkorn, P. Osgyan et al., **Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II mit Beteiligung am IEA ECES ANNEX 27**, 03ET1386A, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, QEWS II

J. Manara, T. Stark, M. Zipf, M. Arduini, J. Hartmann, K. Knopp et al., **Wärmedämmschichten mit optimierten Haftungseigenschaften für energieeffiziente Kraftwerksturbinen (OptiTBCs)**, 03ET7082A-D, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, OptiTBCs

M. Pröll, W. Dallmayer, J. M. Kuckelkorn, L. Staudacher, **Analyse, Bewertung und Entwicklung zukunftsfähiger Anlagenkonzepte für solare Nahwärmanlagen mit saisonaler Wärmespeicherung – Teilprojekt C: Querauswertung saisonaler solarer Langzeitwärmespeicher in Nahwärmenetzen**, 0325897C, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, futureSuN

M. Reuß, H. Karrer, S. Gehlin, O. Andersson, H. Bjørn, K. Nagano, T. Katsura, M. Metzner et al., **IEA ES TCP Annex 27 "Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems", final report**, International Energy Agency

M. Rzepka, M. Möckl, **Schlussbericht Kopernikus Power-2-X**, 035FK2I1, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Kopernikus Power-2-X

3.2.5 SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN MISCELLANEOUS PUBLICATIONS

C. Becker, S. Albrecht, S. Glunz, S. Kajari-Schröder, S. Wolter, A. Colsmann et al., **Tandemsolarzellen mit Perowskiten – Die neuen Stars der Photovoltaik**, FVEE-Tagungsband "Forschung für die Herausforderungen der Energiewende", Berlin, 06/2020, p. 42 - 46

B. Büttner, V. Lenz, M. Krause, B. Bueno, T. Kuhn, F. Giovannetti et al., **Potenziale im Gebäudesektor für effiziente Energieverwendung**, FVEE-Tagungsband "Forschung für die Herausforderungen der Energiewende", Berlin, 06/2020, p. 87 - 93

H. Fuchs, K. Hagel, H. Karrer, J. M. Kuckelkorn, T. Lutz, L. Schindler, **QEWS II – Untersuchungen zur Bohrlochverfüllung und Abdichtung von Erdwärmesonden-Bohrungen**, Fachzeitschrift Geothermische Energie Nr. 95, Berlin, 05/2020, p. 14 - 19

R. Gurtner, **Heiße Temperaturen für mehr Effizienz**, Zeitung für Kommunale Wirtschaft, Berlin, 07/2020, p. 8

R. Gurtner, **Improving industrial waste heat recovery**, www.iea.org/articles/improving-industrial-waste-heat-recovery, Online, 07/2020,

H. Karrer, I. Kötting, M. Pröll, L. Staudacher, **QEWS II – Entwicklung eines Verfahrens zur Überprüfung der Messeinrichtungen für Thermal-Response-Tests**, Fachzeitschrift Geothermische Energie Nr. 96, Berlin, 09/2020, p. 24 - 27

N. Kevlishvili, S. Risse, E. Figgemeier, H. Ehrenberg, M. Fichtner, M. Brütting, **Herausforderungen und Perspektiven bei Lithium-Ionen-Batterien**, FVEE-Tagungsband "Forschung für die Herausforderungen der Energiewende", Berlin, 06/2020, p. 61 - 66

H. Weinläder, F. Klinker, **Innovative Kühldeckentechnologie mit Latentwärmespeicher**, Moderne Gebäudetechnik – Das Praxisjournal für TGA-Fachplaner, Berlin, 03/2020, p. 36 - 39

B. Wern, V. Lenz, E. Sperber, A. Saadat, D. Schmidt, P. Engelmann et al., **Wärmebereitstellung in Privathaushalten – Lösungen für eine CO₂-freie Energiebereitstellung**, FVEE-Tagungsband "Forschung für die Herausforderungen der Energiewende", Berlin, 06/2020, p. 28 - 32

H. Wirth, M. Vehse, B. Rau, R. Peibst, A. Colsmann, A. Stephan et al., **Integrierte Photovoltaik – Aktive Flächen für die Energiewende**, FVEE-Tagungsband "Forschung für die Herausforderungen der Energiewende", Berlin, 06/2020, p. 37 - 41

STUDIENABSCHLUSSARBEITEN UND DISSERTATIONEN 3.3

DEGREE AND DOCTORAL THESES

3.3.1 STUDIENABSCHLUSSARBEITEN DEGREE THESES

- Y. Apfel, **Auslegung eines direkt geothermisch beheizten Oberflächenheizelements zur Eisfreihaltung**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 06/2020, Master
- T. Dang, **Conceptualization of a Redox Flow System Model in Python and validation with field data**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 10/2020, Master
- M. Franz, **Charakterisierung der infrarot-optischen Eigenschaften von Schichtwerkstoffen**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 08/2020, Bachelor
- J. Greß, **Systemanalyse, Aufbau und Charakterisierung einer PV-Warmfassade mit latenter Kühlung durch Phasenwechselmaterialien**, Hochschule Aalen, Fakultät Maschinenbau und Werkstofftechnik, 08/2020, Bachelor
- S. Hecht, **Prozessoptimierung und Charakterisierung transparenter, elastischer, Methylsilsesquioxane-Aerogele**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Chemie und Pharmazie, 09/2020, Bachelor
- P. Lodes, **Development and Evaluation of a Hybrid Power Management System for Airships Intended for Infrared Thermographic Inspection of Photovoltaics Plants**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 07/2020, Bachelor
- J. Loeff, **Planung, Bau und Inbetriebnahme eines Prüfstands zur Ermittlung der Übertragungsleistung geneigter Rohre in Thermosiphonanlagen**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 03/2020, Master
- M. Löther, **Experimentelle Leistungscharakterisierung eines PVT-Kollektors in einem virtuell eingebundenen Heizsystem bestehend aus Wärmepumpe und PCM-Wärmespeicher**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 04/2020, Bachelor
- M. Mühlhäußer, **Fabrication of perovskite solar cells with carbon electrodes from commercial inks using scalable printing techniques**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 02/2020, Bachelor
- M. Neeser, **Simulation einer Eisspeicherheizung Phasenübergang fest-flüssig**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fakultät für Physik und Astronomie, 03/2020, Master
- A. Plail, **Inbetriebsetzung eines Direkt befeuerten HTGs für thermisch betriebene Wärmepumpensysteme**, Ostbayerische technische Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik, 02/2020, Bachelor
- D. Rampl, **Verlustmechanismen von Ionenaustauscher-Membranen in einer Redox-Flow-Batterie**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 02/2020, Bachelor
- M. Rößler, **Optimierung eines experimentellen Aufbaus zur Messung der Schmelzenthalpie von Phasenwechselmaterialien**, Hochschule Augsburg, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, 07/2020, Bachelor
- T. Schubert, **Konstruktion einer Versuchsanlage zur experimentellen Untersuchung des Kristallisationsverhalten vom wässriger Lithiumbromidlösung in der Speicheranwendung**, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen, 02/2020, Master
- M. Schwarzmaier, **Planung, Bau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes zum Test geothermisch beheizter Oberflächenelemente**, Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, 03/2020, Bachelor

A. Steffens, **Untersuchung des Löslichkeitsverhalten von wässriger LiBr-Lösung und deren Mischungsverhalten mit reinem Wasser unterhalb des Tripelpunktes**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 09/2020, Master

V. Tran, **Konstruktion eines Versuchsstandes zur Messung der Leitfähigkeit und Dichte von wässriger Lithiumbromidlösung im Temperaturbereich unter 0°C**, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, 03/2020, Bachelor

L. Trentmann, **Simulation von Stofftransportkonzepten für Redox-Flow-Batterien**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 10/2020, Bachelor

P. von Hodenberg, **Experimentelle Untersuchung zweier Wärme- und Stoffaustauschflächen eines thermischen Absorptionsspeichers**, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, 07/2020, Master

M. Weinzierl, **Inbetriebnahme und Vermessung einer kompakten, einstufigen Absorptions-Wärmepumpeneinheit**, Hochschule Landshut, Fakultät Maschinenbau, 09/2020, Bachelor

S. Zapf, **High throughput measurements: The potential of developing new OPV-cells by means of slot die coating on a roll-to-roll machine**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Technische Fakultät, 05/2020, Bachelor

3.3.2

DISSERTATIONEN DOCTORAL THESES

M. Yasin, **Simulation, Validierung und Optimierung eines innovativen Kühlsystems bestehend aus PCM-Kühldecken und PINC-Anlage**, Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik, 09/2020

PATENTE 3.4

PATENTS

B. Diaz-Benito, J. Nauschütz, C. Scherdel,
G. Reichenauer, **Hochtransparentes
Silica-Aerogel mit niedriger
Wärmeleitfähigkeit und hoher
mechanischer Stabilität sowie Verfahren
zu dessen Herstellung und dessen
Anwendung**, DE102018007065A1,
offengelegt 16.04.2020

R. Gurtner, M. Riepl, M. Helm,
C. Wuschig, **Wärmetauscher
mit Sorptionseinrichtung**,
DE102018217935A1, offengelegt
23.04.2020

R. Gurtner, M. Helm, M. Riepl, C.
Wuschig, **Solarthermisches Kühlsystem**,
DE102019207063A1, offengelegt
29.10.2020

R. Gurtner, M. Riepl, C. Wuschig, M. Helm,
**Zweistufige Sorptionswärmepumpe
mit großem Temperaturhub**,
DE102018220128A1, offengelegt
28.05.2020

3.5 MITARBEIT IN GREMIEN

MEMBERSHIP IN COMMITTEES

PROF. DR. C. J. BRABEC

Principal Investigator, **Solar Technologies Go Hybrid (SolTech)**, Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, München, Germany

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

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

Mitglied des Programmkomitees, **Integration of Sustainable Energy Conference (iSEnEC)**, Nürnberg, Germany

Organizer, **NGSE – Conference; 2020: 5th International Conference on Next Generation Solar Energy (NGSE5)**, Online, 07. - 09.12.2020

Co-Chair, **Advanced Energy Materials**, Wiley VCH, Weinheim, Germany

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

M. BRÜTTING

Vertreter des ZAE Bayern, **RAL Gütegemeinschaft PCM e. V.**, Balingen, Germany

Vertreter des ZAE Bayern, **NA 062-08-14 AA „Thermische Analyse“**, Deutsches Institut für Normung

PROF. DR. V. DYAKONOV

Jurymitglied, **Bürgerenergiepreis Unterfranken**, Bayernwerk AG, Regensburg, Germany

Mitglied des Direktoriums, **Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE)**, Berlin, Germany

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien**, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, Germany

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

Editorial Advisory Board, **Solar RRL**, John Wiley & Sons Limited, Chichester, United Kingdom

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

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

DR. H.-P. EBERT

Jurymitglied, **Bürgerenergiepreis Unterfranken**, Bayernwerk AG, Regensburg, Germany

Mitglied im Programmkomitee, **FVEE Jahrestagung 2020**, Berlin, Germany, 02. - 04.11.2020

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

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

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

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

Mitglied des Beirats, **Technologie- und Gründerzentrum Würzburg**, Würzburg, Germany

Vorschlagsberechtigte Stelle, **Bayerischer Energiepreis**

Member of the International Organizing Committee, **European Conference on Thermophysical Properties (ECTP)**

Member of the Scientific Committee, **WSED next! Conference**

DR. A. HAUER

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

Mitglied, **Energiewende-Plattform Forschung und Innovation**, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, Germany

Conference Chair, **Energy Storage Europe**, Düsseldorf, Germany, 10. - 12.03.2020

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

Member of the Board of Directors, **International Solar Energy Society ISES**, Freiburg, Germany

Member of Executive Committee, **International Energy Agency IEA**, TCP “Energy Conservation through Energy Storage (ECES)”

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

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

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

Member of Scientific Committee, **Energy Stock Conference**, Ljubljana, Slovenia

Member of Scientific Committee, **Energy Storage Summit Japan 2019**, Messe Düsseldorf Japan, Tokyo, Japan

Tagungsbeirat, **Symposium "Solarthermie und innovative Wärmesysteme"**, Online, 12. - 14.05.2020

Tagungsbeirat, **IRES International Renewable Energy Storage Conference**, Online, 25. - 26.04.2020

Member, **Energy Storage Partnership**, World Bank Group, Washington, D.C., United States of America

DR. U. HEINEMANN

Member of the Advisory Board, **International Vacuum Insulation Symposium (IVIS)**

Member of the Scientific Committee, **International Vacuum Insulation Symposium (IVIS)**

DR. S. HIEBLER

Mitglied, **Dechema Arbeitsausschuss Thermische Energiespeicher ProcessNet**, Frankfurt, Germany, 2020

H. KARRER

Secretary, **Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”**, International Energy Agency IEA, TCP “Energy Conservation through Energy Storage (ECES)”

Member, **Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”**, International Energy Agency IEA, TCP “Energy Conservation through Energy Storage (ECES)”

DR. J. M. KUCKELKORN

Mitglied, **Forschungsnetzwerk Energie – Energiewendebauen**, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, Germany

Member of the Scientific Committee, **VDI-Fachtagung Energiesysteme für Quartiere und Gebäude**, Düsseldorf, Germany

Mitglied, **Richtlinienausschuss VDI 4640 “Thermische Nutzung des Untergrundes”**, Blatt 6, Düsseldorf, Germany, 2020

Member, **Annex 27 “Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems”**, International Energy Agency IEA, TCP “Energy Conservation through Energy Storage (ECES)”

DR. J. MANARA

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

Mitglied, **Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 8.14 „Angewandte Strahlungsthermometrie“**, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE), Düsseldorf/Frankfurt am Main, Germany

Mitglied, **Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 8.16 „Temperaturmessung mit Wärmebildkameras“**, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE), Düsseldorf/Frankfurt am Main, Germany

PROF. DR. J. PFLAUM

Gutachter, **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**, Bonn, Germany

Gutachter, **Alexander von Humboldt-Stiftung**, Bonn, Germany

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

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

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

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

Gutachter, **Carl-Zeiss-Stiftung**, Stuttgart, Germany

Gutachter, **Baden-Württemberg Stiftung**, Stuttgart, Germany

Member of the Scientific Committee, **International Conference on Organic Electronics (ICOE)**, World Academy of Science, Engineering and Technology, Paris, France

C. RATHGEBER

Mitglied, **VDI Fachausschuss Energiespeicher**, Düsseldorf, Germany

Mitglied, **Richtlinienausschuss VDI 4657 "Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesysteme"**, Blatt 2, Düsseldorf, Germany, 2020

Member, **Annex 33 "Compact Thermal Energy Storages – Material Development and System Integration"**, International Energy Agency IEA, TCP "Energy Conservation through Energy Storage (ECES)"

DR. G. REICHENAUER

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

Mitglied, **Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik“**, Deutsches Institut für Normung, Berlin, Germany

M. RIEPL

Mitglied, **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE)**, Arbeitskreis Gaswärmepumpen, Berlin, Germany

Vorstand, Schatzmeister, **GreenChiller Verband für Sorptionskälte e. V.**, Berlin, Germany

PROF. DR.-ING. HARTMUT SPLIETHOFF

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

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

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

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

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

Gutachtertätigkeit bei der EU und diversen Forschungseinrichtungen

L. STAUDACHER

Stellvertretender Obmann, **Richtlinienausschuss VDI 4640 "Thermische Nutzung des Untergrundes"**, Blatt 4, Düsseldorf, Germany, 2020

DR. H. WEINLÄDER

Mitglied, **Fachverband Transparente Wärmedämmung e. V.**, Gundelfingen, Germany

S. WEISMANN

Member of the Scientific Committee, **BauSim 2020**, IBPSA Germany and Austria

Vertreter des ZAE Bayern, **IBPSA Germany and Austria**

AKADEMISCHE LEHRVERANSTALTUNGEN 3.6

ACADEMIC COURSES

C. J. BRABEC

Elektrische, magnetische, optische Eigenschaften, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Seminar How to Start a Company, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Anwendung (WET II), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Halbleiterelemente und Solarenergie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Devices, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Seminar on Solar Energy, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20, SS 2020

Materialien und Bauelemente für die Optoelektronik und Energietechnologie: Grundlagen (OpEt-G), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20, WS 2020/21

Projektarbeit – Arbeitsgemeinschaft Organische Photovoltaik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20, WS 2020/21

Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektronik und Elektrotechnologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20, WS 2020/21

Seminar Neuere Fragen zu Werkstoffen der Elektrotechnik und der Energietechnologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

Advanced Semiconductor Technologies – Photovoltaic Systems for Power Generation – Design Implementation and Characterization, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

Advanced Semiconductor Materials – Excited States and Charge Transport in Organic Semiconductors, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

Advanced Semiconductors Introduction: Devices & Applications, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

Anleitung zur wissenschaftlichen Arbeit – High Throughput Material and Device Research for Photovoltaics, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

V. DYAKONOV

Oberseminar Physik und Nanostrukturtechnik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2020/21

Opto-elektronische Materialeigenschaften, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2020

V. DYAKONOV, H.-P. EBERT, J. MANARA, G. REICHENAUER, **Nanotechnologie in der Energieforschung**, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, SS 2020

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

H.-J. EGELHAAF

Thin films: processing, characterization and functionalities, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, SS 2020

Photophysics and Electronic Transport, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2019/20

Excited States and Charge Transport in Organic Semiconductors, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, WS 2020/21

J. FRICKE, M. GESSNER

Einführung in die Energietechnik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, WS 2019/20

H. KARRER

MSPE – Laboratory Course on Energy Systems, Technische Universität München, WS 2020/21

Praktikum Erneuerbare Energien, Technische Universität München, WS 2020/21

E. LÄVEMANN

Thermochemische Wärmespeicher,
Technische Universität München, WS
2019/20

Energiesysteme I, Technische Universität
München, WS 2019/20

Regenerative Energiesysteme I,
Technische Universität München, WS
2019/20

J. PFLAUM,

Quanteninformation, Julius-Maximilians
Universität Würzburg, SS 2020

**Prozesstechnik und Umweltschutz
in modernen Kraftwerken,** Technische
Universität München, WS 2019/20

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

Strom- und Wärmespeicher, Technische
Universität München, WS 2019/20

H. SPLIETHOFF

Energiesysteme II, Technische Universität
München, SS 2020

Regenerative Energiesysteme II,
Technische Universität München, SS
2020

**Prozesstechnik und Umweltschutz
in modernen Kraftwerken,** Technische
Universität München, SS 2020

Thermal Power Plants, Technische
Universität München, SS 2020

AUSZEICHNUNGEN 3.7

AWARDS

C. J. BRABEC

Highly Cited Researcher (12th consecutive year), Highly Cited Researchers List 2020, Clarivate Analytics/Web of Science, Kategorie Werkstoffwissenschaften

A. HAUER

Energy And Environment Foundation Global Excellence Award 2020, The Energy And Environment Foundation, New Delhi, India

M. REIM, J. BOHL

2. Publikumspreis, 3. Jury-Preis für Poster "Energetische Wirkungen begrünter Fassaden", 7. FLL-Forschungsforum Landschaft, Nürtingen, 05. - 06.03.2020

M. REUSS

Patricius-Medaille, Bundesverband Geothermie, Berlin, Germany, 10.11.2020

3.8 SONSTIGES MISCELLANEOUS

H.-J. EGELHAAF

Interview, **Energie und Sonne – Ask me anything (AMA)**, Online, 14.10.2020

C. J. BRABEC

Symposium, **Mini Symposium on Charge Transport in Disordered Semicinductors**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg/ZAE Bayern, Erlangen, Germany, 20.07.2020

H.-P. EBERT

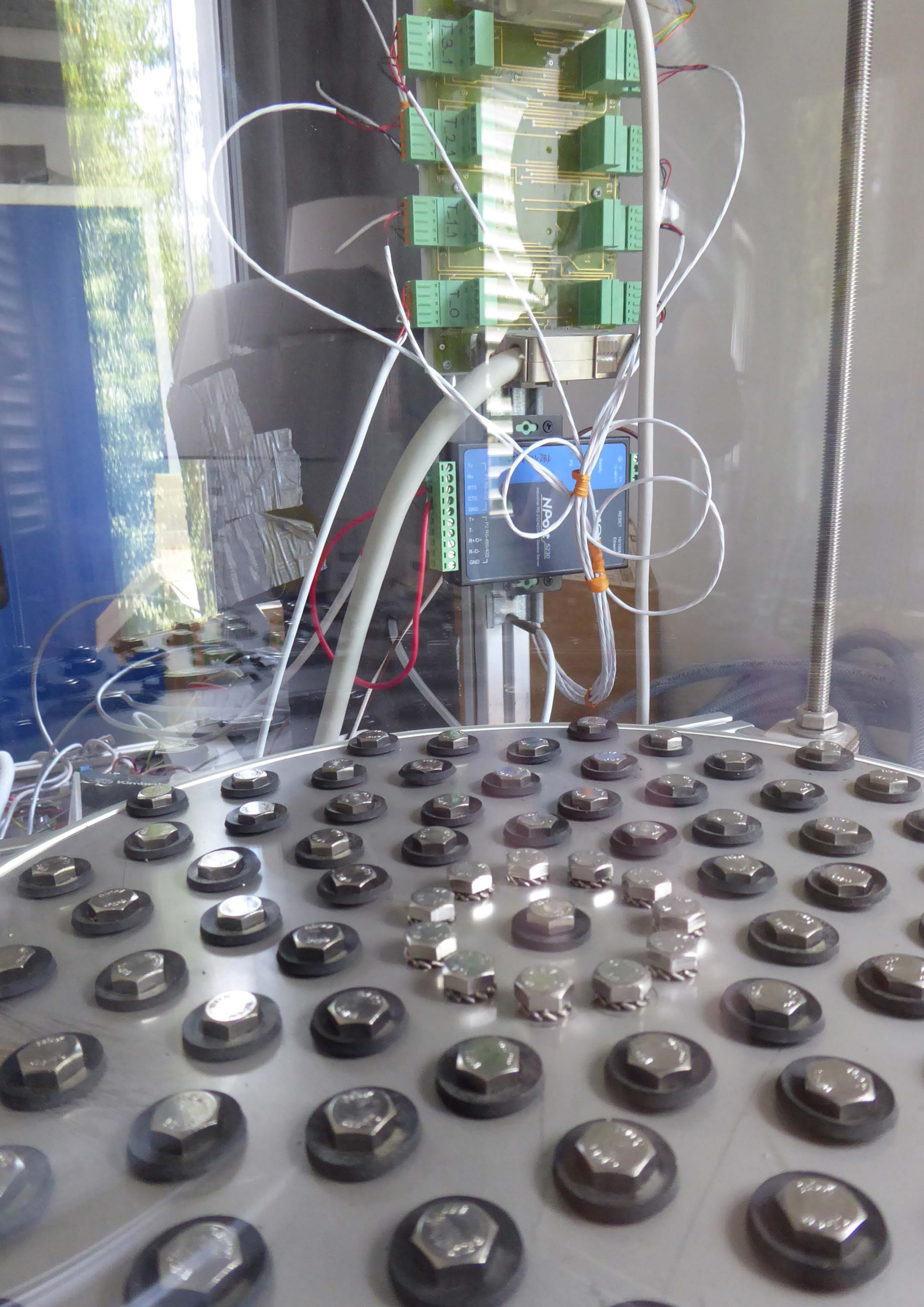
Podiumsdiskussion, **JuniorScienceCafe Klimawandel**, Livestream Matthias-Grünewald-Gymnasium, Würzburg, 12.11.2020

A. HAUER

Interview, **Hauer: "Deutschland verschenkt seinen Wissensvorsprung"**, Energate Messenger+, 14.04.2020

M. NEESER, S. WEISMANN

Poster, **Die Eisspeicherheizung**, Dauerexponat in der Umweltstation der Stadt Würzburg, Würzburg, Germany



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



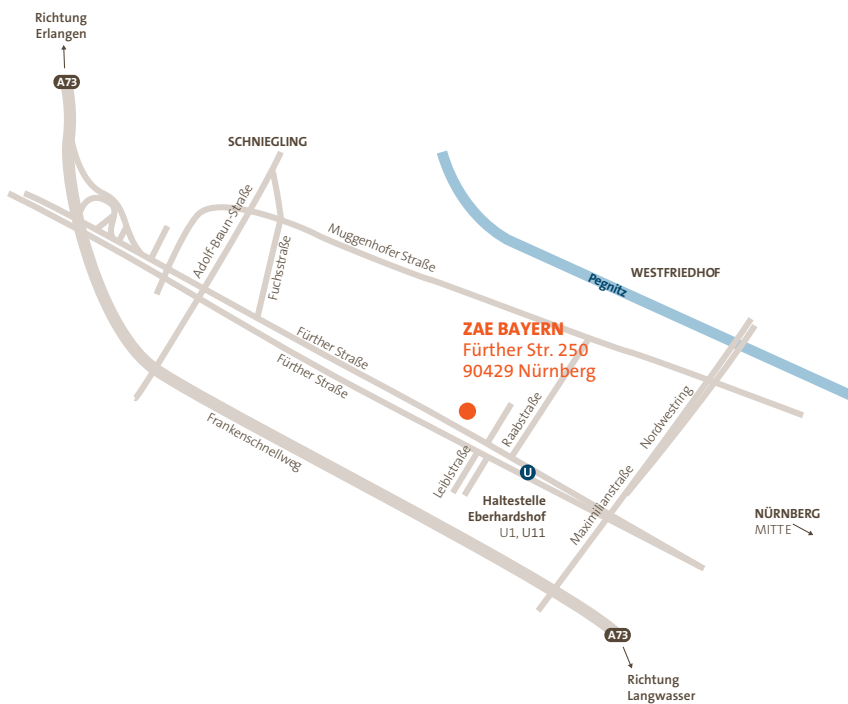


ERLANGEN

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

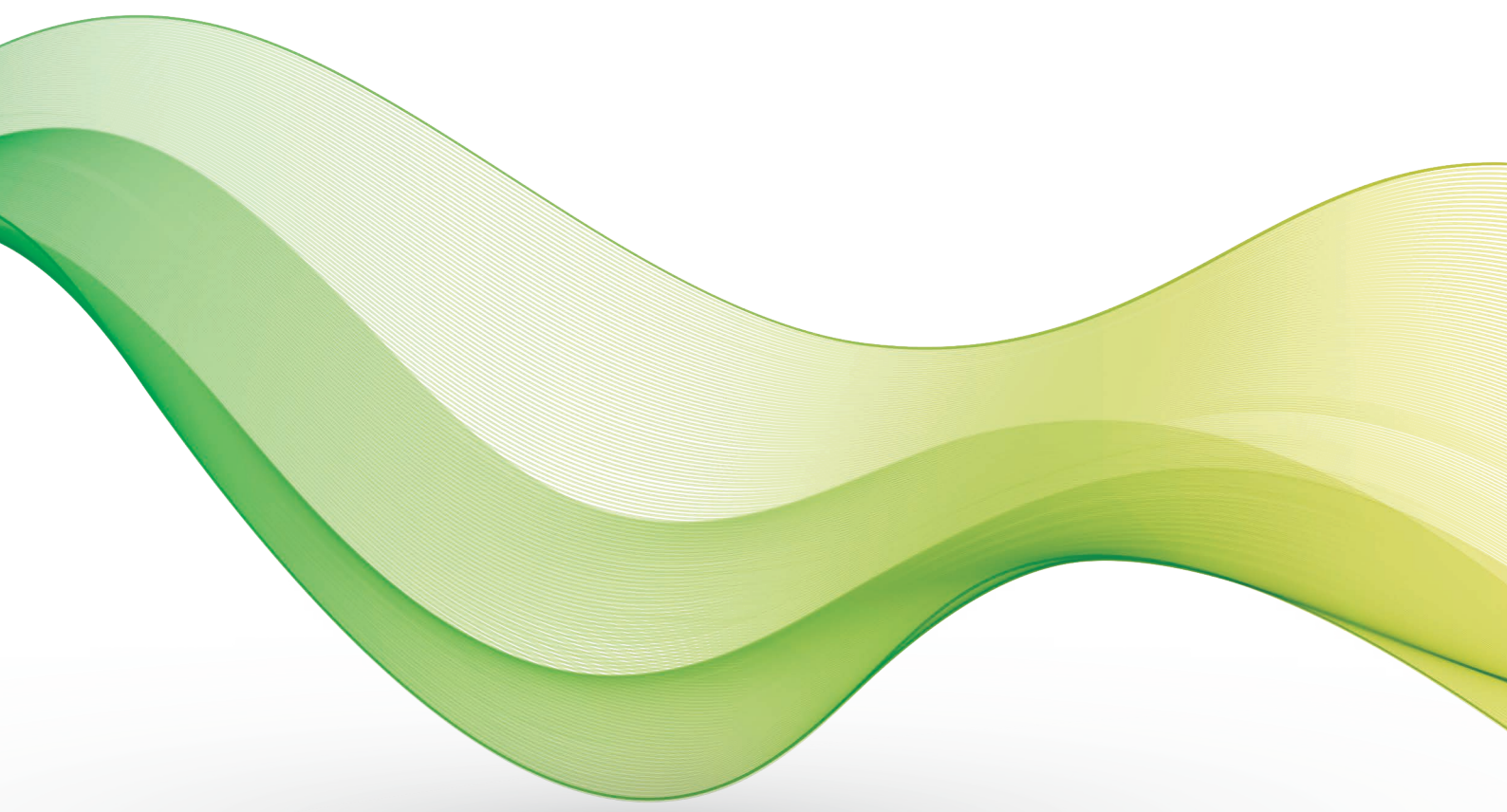


HOF

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
