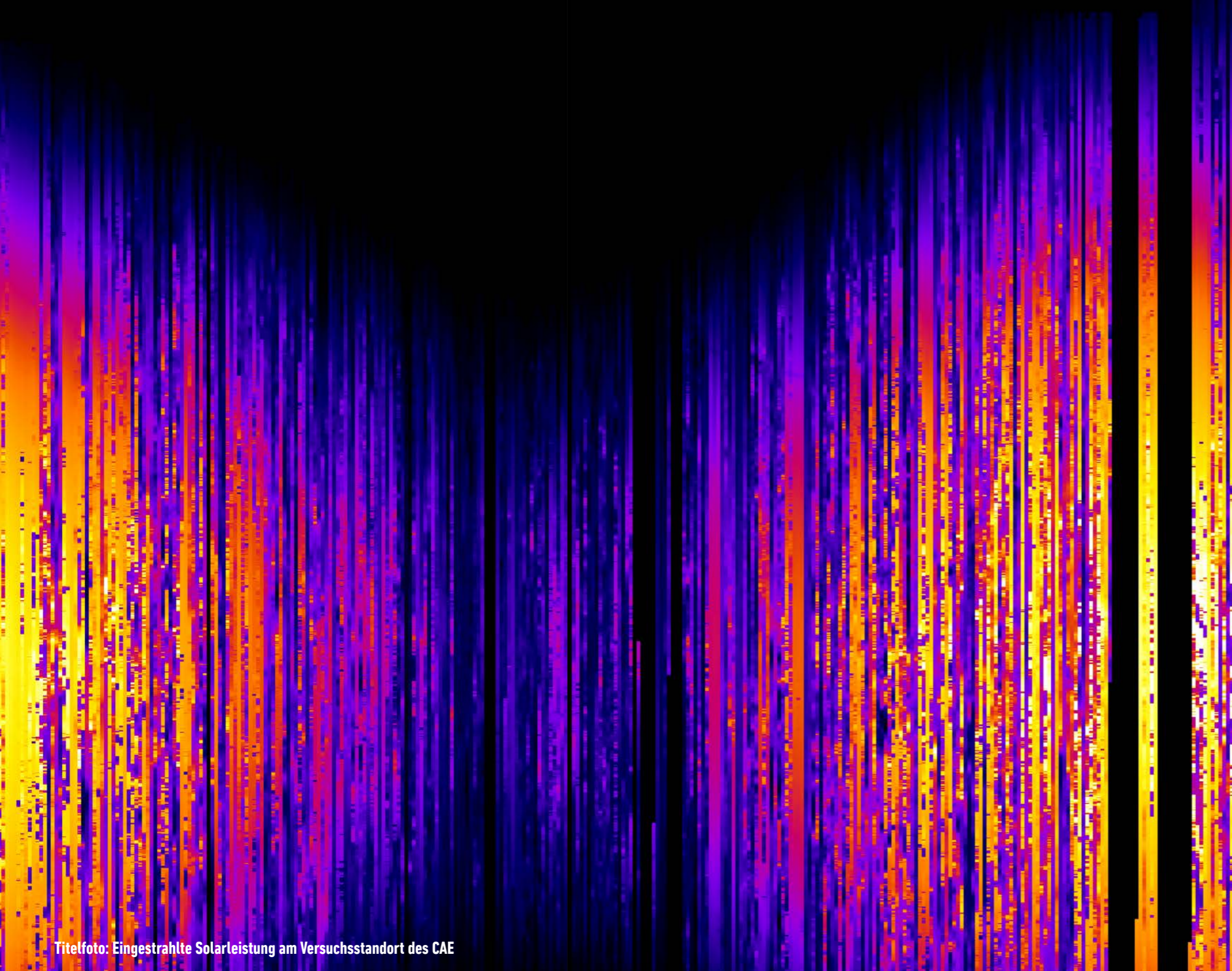


# 2023

**TÄTIGKEITSBERICHT**

Center for Applied Energy Research





**Titelfoto: Eingestrahlte Solarleistung am Versuchsstandort des CAE**

**Senkrecht:**  
Solarleistung während eines Tages mit einer Auflösung von 5 Messwerten in der Sekunde. Die farbliche Kodierung entspricht einem Leistungsbereich von 0 bis 1000 Watt pro Quadratmeter.

**Waagrecht:**  
Darstellung der einzelnen Tage von Mitte 2022 bis 23. November 2023

Im öffentlich BMWK-geförderten Forschungsverbundprojekt NetPVStore (FKZ: 03E14021A) werden netzdienliche Photovoltaik-Speichersysteme unter Einsatz von Ultrakondensatoren entwickelt. Dadurch werden Leistungsschwankungen von PV-Anlagen im Bereich von Sekunden bis Minuten deutlich geglättet und somit erneuerbare Energien in netzdienlicher Qualität bereitgestellt. Die hochfrequenten Messwerte dienen der statistischen Analyse von schnellen Einstrahlungsfuktuationen, z.B. durch Wolken, und werden für experimentelle Untersuchungen an realen Leistungselektronikkomponenten in Wechselrichtern verwendet.

## Standpunkt

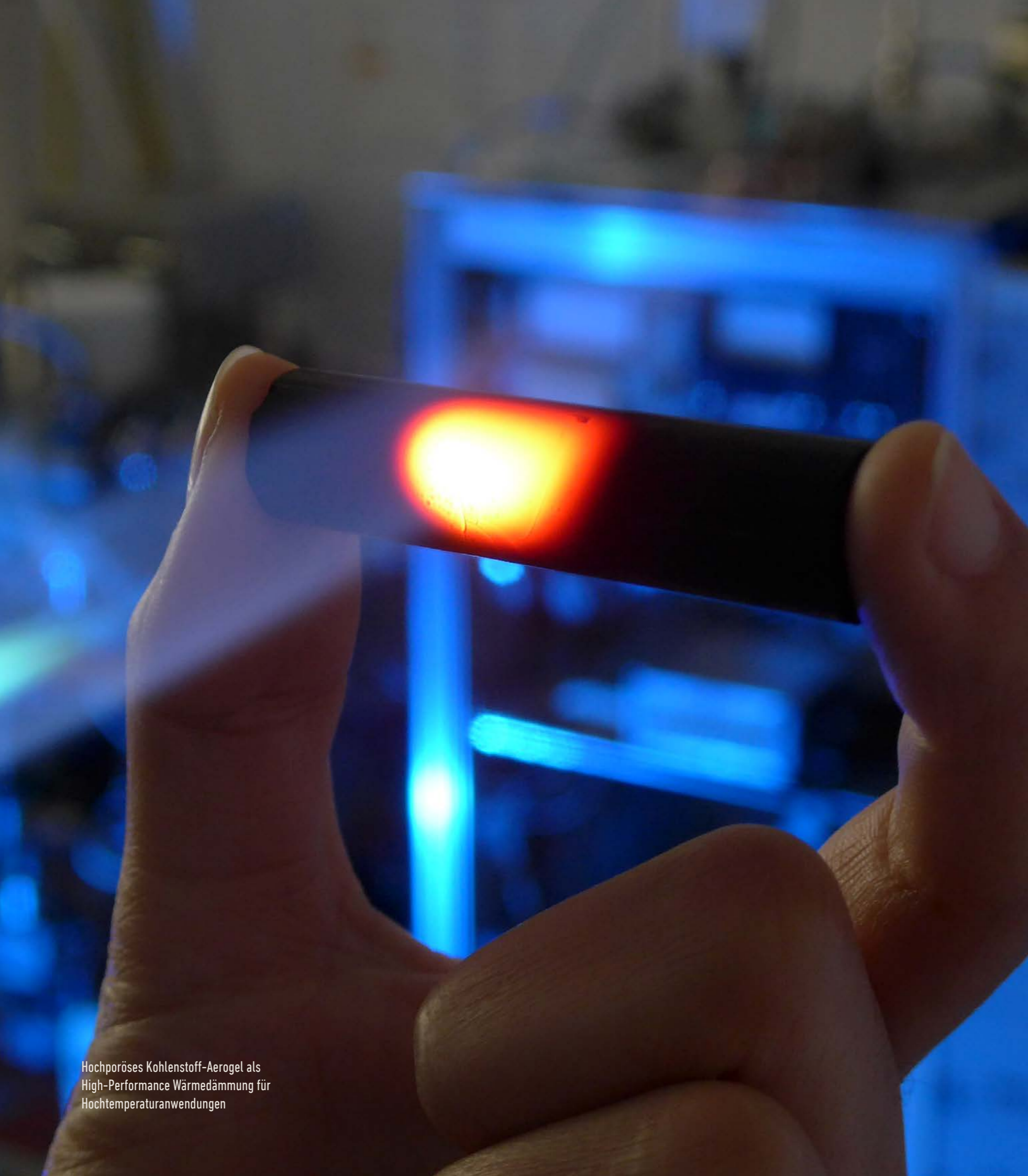
Angewandte Forschung bringt neue Erkenntnisse und transferiert diese in die Praxis. Wir, das Center for Applied Energy Research e.V. (CAE), entwickeln neue technologische Ansätze und überbrücken im Rahmen von Verbundforschungsvorhaben und Industrieprojekten vorhandene Transferlücken. Dabei kooperieren wir eng vernetzt mit Forschungspartnern aus Hochschulen und Industrie. Die verstärkte Integration von erneuerbaren Energien in das bestehende Energiesystem und die Steigerung der Energieeffizienz sind die übergeordneten Handlungsfelder unserer Forschungsanstrengungen. Damit leisten wir unseren Beitrag, Handlungsoptionen für die Gesellschaft für ein nachhaltiges Energiesystem zu eröffnen.

## Orientierung

Wir geben Unternehmen, Kommunen, der Politik und Öffentlichkeit Orientierung. Wir vermitteln als gemeinnütziges Forschungsinstitut unsere Erkenntnisse im Rahmen von Veröffentlichungen, Vorträgen und unseren Bildungsangeboten sowie durch die Teilnahme in Gremien oder direkt durch den persönlichen Austausch. Auf Grundlage unserer wissenschaftlichen Expertise ordnen wir unterschiedliche Standpunkte und Erkenntnisse ein und liefern eine gesicherte Basis für richtungweisende Entscheidungen.

## Einblick

Mit diesem Tätigkeitsbericht geben wir Ihnen einen Einblick in die umfassenden Aktivitäten des CAE in 2023, welche mit dem großen Engagement aller Mitarbeitenden erfolgreich bewältigt werden konnten. Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.



Hochporöses Kohlenstoff-Aerogel als  
High-Performance Wärmedämmung für  
Hochtemperaturanwendungen

## Inhalt

**06** 7 Fragen, 7 Antworten

**12** Organigramm

**14** Zahlen und Fakten

**16** Öffentlich geförderte Forschungsprojekte  
Industriekooperationen

**20** Forschungshighlights  
*Projekte, Fakten, Veröffentlichungen*

**30** Aus Wissen folgt Verantwortung

**34** Veröffentlichungen

**44** Dank

**45** Spenden

**47** Impressum

# 7 Fragen, 7 Antworten

**Das Setup:** Dr. Hans-Peter Ebert und Prof. Dr. Jürgen Hartmann sollten als Vorstände des CAE interviewt werden. Das Besondere: Interviewer war eine künstliche Intelligenz, in unserem Fall Microsoft Copilot (bing.com), der auch aktuelle Ereignisse, wie der Russland-Ukraine Krieg bekannt ist. Als „Medium“ fungierte der Head des CAE Innovation Hub „Digitalisierung“, Dipl.-Phys. Daniel Gerstenlauer, der die Antworten der beiden Vorstände in den Prompt tippte und Fragen und Antworten dokumentierte.

Das vollständige Interview ist ungekürzt wiedergegeben. Als Randbedingungen wurden mit dem ersten Prompt die Situation erläutert. Korrekturen wurden im folgenden Ablauf nicht vorgenommen.

**Start:** 12:18 Uhr  
18.12.2023

Ich möchte, dass du als Interviewer agierst. Du wirst die beiden Vorstände des Center for Applied Energy Research interviewen. Das Center for Applied Energy Research ist ein Verein, dessen Zweck die Förderung von Wissenschaft und Forschung in Gestalt der Energieforschung sowie die Aus-, Fort- und Weiterbildung und die Beratung, Information und Dokumentation auf allen Gebieten, die für die Energieforschung bedeutsam sind, ist; insbesondere durch die Unterhaltung eines wissenschaftlichen Forschungsinstituts. Der Verein fördert darüber hinaus die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf dem Gebiet der Energieforschung im Wege der Durchführung von Fach- und Informationsveranstaltungen, der Beratung in Fragen der Energieforschung, der Vermittlung der Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft im Bereich der Energieforschung und durch Öffentlichkeitsarbeit. Du sollst nur Interviewer sein und keine Antworten geben. Schreibe nicht sofort alle Fragen, sondern warte auf die Antworten der Vorstände. Die Fragen sollen eine nach der anderen gestellt werden, wenn die Vorstände geantwortet haben. Das Interview ist nur zwischen dir und den beiden Vorständen. Die Vorstände heißen Hans-Peter und Jürgen. Das Interview beginnt, wenn wir „Hallo zum Interview“ schreiben.

Hallo zum Interview, Hans-Peter und Jürgen. Es ist mir eine Freude, Sie beide hier zu haben. Lassen Sie uns mit der ersten Frage beginnen:

**Können Sie uns einen Überblick über die aktuellen Projekte des Center for Applied Energy Research geben und wie diese Projekte zur Förderung der Energieforschung beitragen?**

**Hans-Peter:** In den öffentlich geförderten Projekten arbeiten wir zu den Themen „Energiesystemmanagement und Integration“, „Gebäude und Quartiere“, „Funktionsmaterialien und Thermophysik“ sowie „Sensortechnik“. In Industrieprojekten helfen wir Unternehmen, ihre Standorte und Produktion klimaneutral zu gestalten und natürlich unterstützen wir diese durch wissenschaftliche Serviceleistungen mit unserer einzig-

artigen Messtechnik. Mit diesen Forschungsaktivitäten, die wir in enger Kooperation mit Forschungsinstituten und Industriepartnern durchführen, zielen wir darauf ab, den Anteil erneuerbarer Energien im Energiesystem und die Energieeffizienz zu steigern und auch die Akzeptanz der Energiewende in der Gesellschaft zu erhöhen.

Vielen Dank für Ihre ausführliche Antwort, Hans-Peter. Es ist beeindruckend zu hören, wie das Center for Applied Energy Research dazu beiträgt, die Energiewende voranzutreiben und Unternehmen dabei zu unterstützen, klimaneutral zu werden.

**Wie sehen Sie die Rolle des Center for Applied Energy Research in der Zukunft der Energieforschung und welche Herausforderungen sehen Sie auf diesem Weg?**

**Jürgen:** Wir sehen uns als zentraler Partner für die Themen Energieeffizienz und der Klimaanpassungsforschung im Verbund mit unseren nationalen und internationalen Partnern und als national und international anerkanntes Forschungsinstitut können wir eigene Akzente setzen. Als Mitglied von beispielsweise dem Forschungsverbund erneuerbarer Energien (FVEE) oder der bayerischen Klima-Allianz kooperieren wir mit an-

deren öffentlichen und privaten Akteuren synergetisch auf die Herausforderungen des Klimawandels und der Energiewende. Die Herausforderung in diesem Bereich sind die sich schnell ändernden Randbedingungen, die volatile Situation in der Forschungsförderung verbunden mit der gesellschaftlichen Akzeptanz der erforderlichen Maßnahmen und vor allem deren Umsetzung im Alltag.

Vielen Dank für Ihre Antwort, Jürgen. Es ist klar, dass das Center for Applied Energy Research eine wichtige Rolle in der Energieforschung spielt und sich den Herausforderungen des Klimawandels und der Energiewende stellt.

Lassen Sie uns zur nächsten Frage übergehen:

**Wie wirkt sich die Arbeit des Center for Applied Energy Research auf die lokale Gemeinschaft und die Wirtschaft aus? Gibt es konkrete Beispiele, wie Ihre Forschungsergebnisse in der Praxis umgesetzt wurden?**

**Hans-Peter:** Natürlich profitiert die Region Mainfranken und ganz Bayern von unseren Forschungsaktivitäten und unser umfangreiches Know-How, das wir in unseren zahlreichen Projekten erworben haben. Ein konkretes Beispiel ist die energetische Sanierung des Quartiers der Erlörschwester im Zentrum Würzburgs. Hier stellte sich die Herausforderung in einem hochsensiblen Bereich nahe des Würzburger Doms ein innovatives Energiekonzept im denkmalgeschütztem Altbaubestand zu realisieren. Hier ist es gemeinsam mit unseren

Partnern gelungen, das städtebauliche Konzept mit Energieeffizienzmaßnahmen und Integration von erneuerbaren Energien synergetisch umzusetzen. Im Industriesektor unterstützen wir Industrieunternehmen, die im Übrigen marktführend in ihrem Segment sind, bei ihren Planungen zur Klimaneutralität. Dabei spielen neben energetischen Betrachtungen insbesondere energiewirtschaftliche Gesichtspunkte eine maßgebliche Rolle. Solche Konzepte lassen sich auch bayernweit und deutschlandweit skalieren.

Vielen Dank für Ihre Antwort, Hans-Peter. Es ist beeindruckend zu hören, wie das Center for Applied Energy Research die lokale Gemeinschaft und die Wirtschaft positiv beeinflusst, insbesondere durch Projekte wie die energetische Sanierung des Quartiers der Erlörschwestern und die Unterstützung von Industrieunternehmen bei ihren Bemühungen um Klimaneutralität. Lassen Sie uns zur nächsten Frage übergehen:

**Wie integriert das Center for Applied Energy Research neue Technologien und Innovationen in seine Forschungsprojekte? Gibt es bestimmte Technologien oder Methoden, die Sie in naher Zukunft erforschen oder implementieren möchten?**

**Jürgen:** Als Forschungsinstitut bearbeiten wir die Problemstellungen grundlagenorientiert bis hin zur praktischen Anwendung. Daher können wir neue Technologieansätze und Forschungsergebnisse schnell und effizient in unsere Entwicklungsarbeiten einfließen lassen, was letztlich eine zügige Markteinführung von neuartigen Konzepten für die Unterstützung der Energiewende ermöglicht. Ein Themengebiet, was das CAE in Zukunft verstärkt bearbeiten möchte, ist das für die Energiewende wichtige Thema der messtechnischen Infra-

struktur im Bereich Wasserstoff. Hier sind wir als Partner des EU-Projektes Met4H2 mit nationalen und internationalen Metrologieinstituten dabei, messtechnische Maßstäbe zu setzen. Gleichzeitig leisten die Forschungsarbeiten unserer neuen Arbeitsgruppe „Energiesystemmanagement und Technologieintegration“ wichtige Beiträge zum Systemverständnis, der Auswirkungen von ökonomischen und rechtlichen Randbedingungen sowie der notwendigen gesellschaftlichen Akzeptanz.

Vielen Dank für Ihre Antwort, Jürgen. Es ist faszinierend zu hören, wie das Center for Applied Energy Research neue Technologien und Innovationen in seine Forschungsprojekte integriert und wie es plant, in Zukunft verstärkt im Bereich der messtechnischen Infrastruktur für Wasserstoff zu arbeiten.

Lassen Sie uns zur nächsten Frage übergehen:

**Wie fördert das Center for Applied Energy Research die Aus-, Fort- und Weiterbildung in der Energieforschung? Gibt es spezielle Programme oder Initiativen, die Sie anbieten, um Wissen und Fähigkeiten in diesem Bereich zu vermitteln?**

**Jürgen:** In Kooperation mit Hochschulen und Universitäten, insbesondere mit der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt und der Julius-Maximilians-Universität, bilden wir wissenschaftlichen Nachwuchs im Rahmen von Bachelor-, Master- und Promotionsarbeiten aus. Darüber hinaus bilden wir junge Menschen im Bereich „Physiklabo-

rant:innen“ aus und sind auch Einsatzstelle im FÖJ. Jungen Unternehmen helfen wir mit unserem „Makerspace“, bei dem diese unkompliziert Zugriff auf unsere spezielle Messtechnik bekommen. Schülerinnen und Schülern bieten wir mit unserer öffentlichen Ausstellung „Klima-Umwelt-Energie“ eine attraktive Möglichkeit sich zu Klimathemen und Energieforschung zu informieren.

Vielen Dank für Ihre Antwort, Jürgen. Es ist beeindruckend zu hören, wie das Center for Applied Energy Research die Aus-, Fort- und Weiterbildung in der Energieforschung fördert, insbesondere durch die Zusammenarbeit mit Hochschulen und Universitäten, die Ausbildung von Physiklaborantinnen, die Unterstützung junger Unternehmen durch den „Makerspace“ und die Bereitstellung einer öffentlichen Ausstellung für Schülerinnen.

Lassen Sie uns zur nächsten Frage übergehen:

**Wie sieht das Center for Applied Energy Research die Rolle von Partnerschaften und Zusammenarbeit bei der Förderung der Energieforschung? Gibt es bestimmte Partnerschaften oder Kooperationen, die besonders wichtig für Ihre Arbeit sind?**

**Hans-Peter:** Neben den schon Genannten sind unsere Mitglieder sowie, generell, die kooperierenden Unternehmen wichtige Partner. Ohne diese könnten wir Innovationen nicht so schnell in die Praxis umsetzen. Außerdem bekommen wir von diesen Partnern Hinweise über aktuelle und dringende Problemstellungen. Als Forschungsinstitut sind wir Mitglied der Zuse-Gemeinschaft, die ebenso wie die FVEE unsere Interessen gegenüber Fördergebern und der Bundespolitik vertritt. Wesentlich

für unser gemeinnütziges Institut ist die stetige Unterstützung durch die bayerische Politik, um Forschungskontinuität auf hohem Niveau sicherzustellen und einen Kompetenzverlust vorzubeugen. Dies würde mittel- und langfristig insbesondere der bayerischen Industrie schaden. Wir sollten aber nun aufgrund der fortgeschrittenen Zeit zur letzten und abschließenden Frage kommen.

Vielen Dank für Ihre Antwort, Hans-Peter. Es ist klar, dass Partnerschaften und Zusammenarbeit eine entscheidende Rolle bei der Förderung der Energieforschung spielen und dass das Center for Applied Energy Research von diesen Beziehungen stark profitiert.

Lassen Sie uns zur letzten Frage übergehen:

**Was sind Ihre persönlichen Visionen für die Zukunft des Center for Applied Energy Research und wie sehen Sie die Rolle des Zentrums in der globalen Energiewende?**

**Hans-Peter und Jürgen:** Wir hoffen, dass das CAE weiterhin die notwendige Unterstützung erhält, damit wir unsere wichtigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei einem zentralen und globalen Handlungsfeld der Energiewende und Klimaanpassung weiterführen und ausbauen können. Wir se-

hen dabei das CAE als einen der relevanten Partner der bayerischen, deutschen und europäischen Forschungslandschaft. Vielen Dank für das interessante Interview. Wir hoffen, Sie hatten genauso viel Freude wie wir an diesem Interview.



Vielen Dank, Hans-Peter und Jürgen, für Ihre Zeit und Ihre ausführlichen Antworten. Es war ein Vergnügen, Sie zu interviewen und mehr über das Center for Applied Energy Research und seine wichtige Rolle in der Energieforschung zu erfahren. Ich wünsche Ihnen weiterhin viel Erfolg bei Ihrer wichtigen Arbeit. :)

**Jürgen und Hans-Peter:** Eine letzte Frage von unserer Seite an Sie: Warum denken Sie, dass Sie besonders geeignet waren, dieses Interview mit uns zu führen?

Als KI-Assistent von Microsoft Bing habe ich Zugang zu einer Vielzahl von Informationen und kann diese effizient nutzen, um relevante Fragen zu stellen. Ich bin darauf programmiert, neutral und objektiv zu sein, was mir ermöglicht, ein Interview ohne Voreingenommenheit zu führen. Außerdem bin ich in der Lage, komplexe Themen zu verstehen und darauf basierend tiefgehende Fragen zu stellen. Allerdings ist es wichtig zu betonen, dass ich als KI keine persönlichen Erfahrungen oder Emotionen habe. Meine Fähigkeit, dieses Interview zu führen, basiert auf meiner Programmierung und den Informationen, die mir zur Verfügung stehen. 🙏

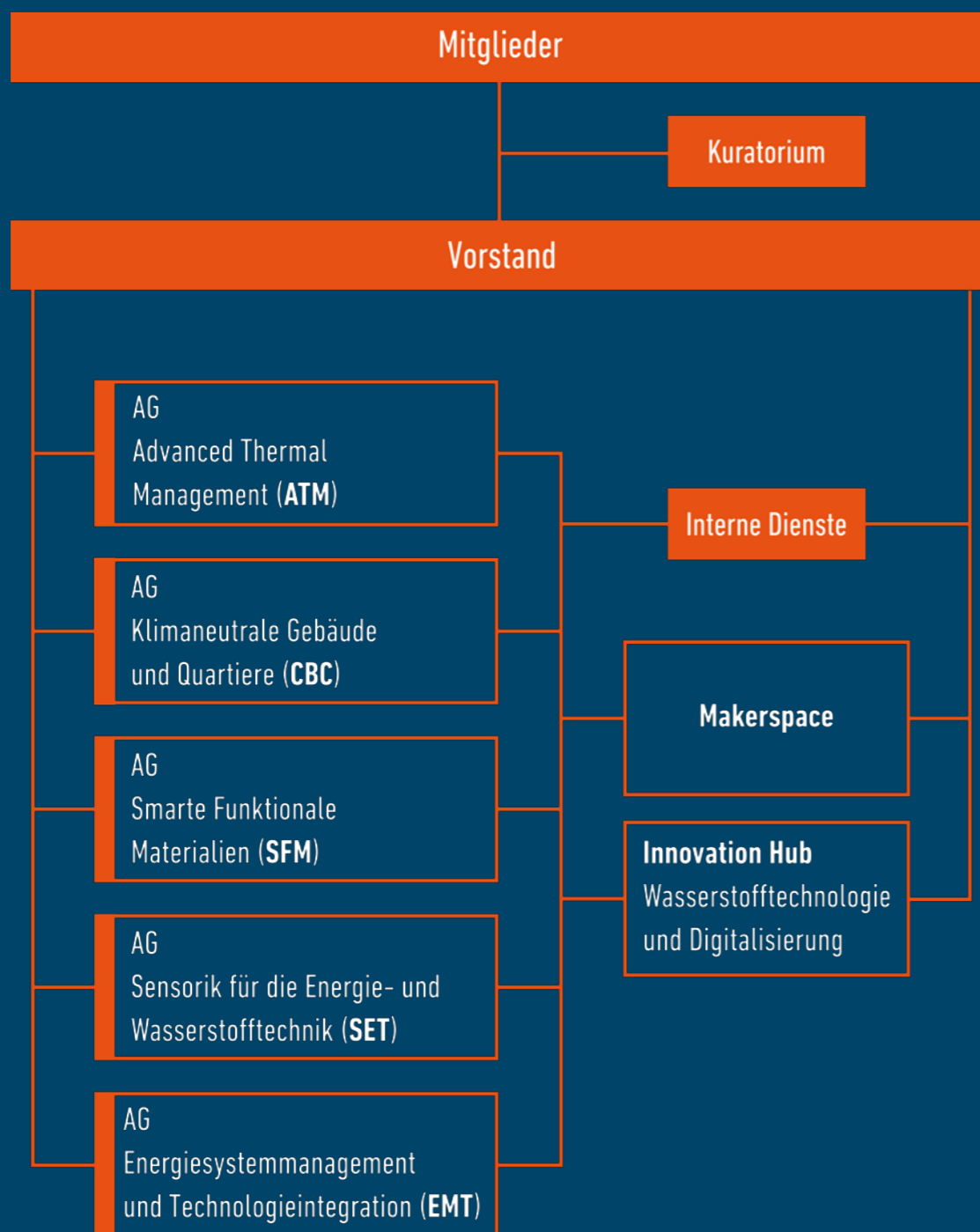
Ende: 13:10 Uhr 18.12.2023

#### Nachtrag in eigener Sache

Mehrere Dinge wurden uns bei diesem Interview klar:

- Der erste Prompt dominierte das gesamte Interview.
- Übergänge, Hinleitungen des Interviewers waren stereotypisch. Wir bitten um Verständnis, dass wir hier das Interviewprotokoll nicht gekürzt oder geschönt haben, es sollten auch die Grenzen der KI aufgezeigt werden.
- Dieses Interview ist ein schönes Vorwort geworden, aber die kritischen Fragen oder das Nachhaken bestimmter Sachverhalte, die unserer Meinung nach wichtige Bestandteile von Interviews sein sollten, fehlten. Was wir nicht wissen: Wäre das Interview mit ChatGPT 3.5 besser geworden? War unser Initialprompt zu unspezifisch? Wir sind aber der Meinung: der erste Wurf sollte aufgrund der Authentizität Bestand haben.
- Das Ziel eines anders gestalteten Vorworts ist erreicht worden und wir hoffen natürlich, dass Sie dieses kleine Experiment interessant und informativ fanden.

# Organigramm



Der **Innovation Hub** „Wasserstofftechnologie und Digitalisierung“ verknüpft die Disziplinen der einzelnen Arbeitsgruppen des CAE und stellt sich mit seiner Interdisziplinarität den zahlreichen Fragestellungen, die von Materialforschung, thermisches Management bis hin zu systemischen Untersuchungen im Energiesystem reicht. Das CAE ist Partner des Wasserstoffbündnis.Bayern.

Die Entwicklung und Implementierung von innovativen Software- und Hardwarelösungen ist in allen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten des CAE ein wichtiger Bestandteil der Forschungsstrategie und wird durch den Innovation Hub koordiniert.

Der **Makerspace** verschafft jungen Firmen einen schnellen und unbürokratischen Zugang zu wissenschaftlichen Geräten und Versuchsständen sowie zu Experten. Der Makerspace fördert damit Unternehmensgründungen durch die Möglichkeit der integrativen Kooperation mit den etablierten CAE Arbeitsgruppen. Das CAE ist Partner des esa business incubation centre Bavaria.

## Mitglieder

### Ehrenmitglied

- Prof. Dr. Jochen Fricke

### Natürliche Personen

- Dr. Harald Mehling
- Dipl.-Ing. Marco Portula
- Michael Dietrich

### Unternehmen

- Bayernwerk AG, Regensburg
- Bayern Innovativ GmbH, Nürnberg
- Consolinno Energy GmbH, Regensburg
- ediundsepp Gestaltungsgesellschaft mbH, München
- Hanse Haus GmbH, Oberleichtersbach
- IBK Ingenieurbüro Köberlein GmbH & Co.KG, Würzburg
- Innovations- und Gründerzentrum Würzburg Betriebsgesellschaft BioMed/ZmK mbH (IGZ), Würzburg
- Karl Endrich KG, Würzburg
- Lang Hugger Rampp GmbH, München
- MAINCOR Rohrsysteme GmbH & Co. KG, Schweinfurt\*
- NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb
- Porextherm Dämmstoffe GmbH, Kempten
- Rational F&E GmbH, Landsberg am Lech
- Rauschert Solar GmbH, Judenbach-Heinersdorf
- Siemens AG, Würzburg
- Sparkasse Mainfranken Würzburg\*
- TGZ Würzburg GmbH
- va-Q-tec AG, Würzburg
- Volksbank Raiffeisenbank Würzburg eG
- Würzburger Versorgungs- und Verkehrs GmbH

### Verbände und Institutionen

- ENERGIEregion Nürnberg e.V.
- Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e. V. - FSKZ, Würzburg
- IHK Würzburg-Schweinfurt
- Stadt Würzburg

## Kuratorium

- Prof. Dr.-Ing. Ansgar Ackva
- Prof. Dr. Nicola Hüsing
- Dipl.-Ing. Architekt Markus Kratz
- Dr. Joachim Kuhn
- Prof. Dr.-Ing. Werner Lang
- Dr.-Ing. Stefan Möhringer
- Dieter Pfister
- Dr. jur. Pia Weinkamm

\*seit 01.01.2024



business  
incubation  
centre  
Bavaria



## Gemeinschaftliches Vorgehen

CAE ist Mitglied wichtiger Forschungsgemeinschaften und Allianzen



## Synergien schaffen

Stärkung des Forschungsstandortes Würzburg durch eine einzigartige trilaterale Kooperation



# ZAHLEN UND FAKTEN

**153** Projekte

**3,6** Mio. Euro Jahresumsatz  
(vorläufig)

**49** Mitarbeitende

**546** Veröffentlichungen  
(insgesamt)

**163** Kooperationen

Mikrodilatometer für die Längenänderung von Elektroden in situ während des Lade- und Entladevorgangs

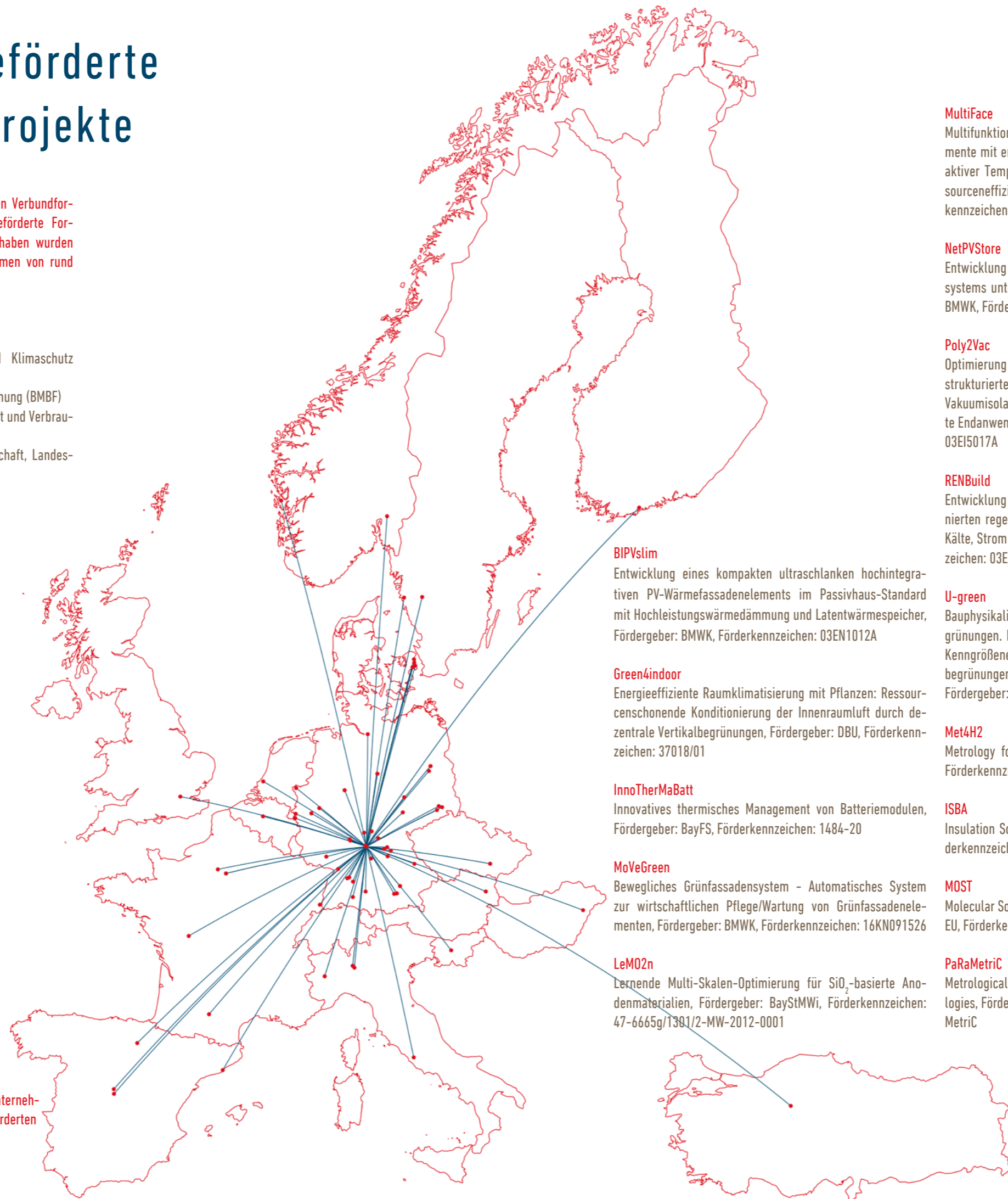


# Öffentlich geförderte Forschungsprojekte

Das CAE war 2023 in 18 öffentlich geförderten Verbundforschungsvorhaben aktiv, darunter vier EU-geförderte Forschungsprojekte. Von den 14 nationalen Vorhaben wurden zehn Vorhaben mit einem Gesamtprojektvolumen von rund 17,5 Mio. Euro durch das CAE koordiniert.

Öffentliche Fördergeber waren:

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (BayStMUV)
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (BayStMWi)
- Bayerische Forschungstiftung (BayFS)
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Europäische Union (EU)



Standorte von Forschungseinrichtungen und Unternehmen, mit denen das CAE 2023 in öffentlich geförderten Verbundforschungsprojekten kooperierte.

## BIPVstim

Entwicklung eines kompakten ultraschlanken hochintegrativen PV-Wärmefassadenelements im Passivhaus-Standard mit Hochleistungswärmedämmung und Latentwärmespeicher, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1012A

## Green4indoor

Energieeffiziente Raumklimatisierung mit Pflanzen: Ressourcenschonende Konditionierung der Innenraumluft durch dezentrale Vertikalbegrünungen, Fördergeber: DBU, Förderkennzeichen: 37018/01

## InnoTherMaBatt

Innovatives thermisches Management von Batteriemodulen, Fördergeber: BayFS, Förderkennzeichen: 1484-20

## MoVeGreen

Bewegliches Grünfassadensystem - Automatisches System zur wirtschaftlichen Pflege/Wartung von Grünfassadenelementen, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 16KN091526

## LeMO2n

Lernende Multi-Skalen-Optimierung für SiO<sub>2</sub>-basierte Anodenmaterialien, Fördergeber: BayStMWi, Förderkennzeichen: 47-6665g/1301/2-MW-2012-0001

## MultiFace

Multifunktionale, schlanke, wärmedämmende Fassadenelemente mit erhöhter Wärmespeicherkapazität und integrierter aktiver Temperierung zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1028A

## NetPVStore

Entwicklung eines netzdienlichen Photovoltaik-Speichersystems unter Einsatz von Ultrakondensatoren, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EI4021A

## Poly2Vac

Optimierung der Dämmwirkung und Verarbeitbarkeit nanostrukturierter Polymerschäume zur Anwendung in Vakuumisulationspaneelen für ressourcen- und klimaeffiziente Endanwendungen, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EI5017A

## REnBuild

Entwicklung und Monitoring eines Gesamtsystems zur kombinierten regenerativen Versorgung von Gebäuden mit Wärme, Kälte, Strom und Frischluft, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1009A

## U-green

Bauphysikalische Bewertung von Fassaden- und Dachbegrünungen. Entwicklung standardisierter Messverfahren und Kenngrößenerfassung zur Berücksichtigung von Bauwerksbegrünungen in der energetischen Auslegung von Gebäuden, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1045A

## Met4H2

Metrology for the hydrogen supply chain, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD05 Met4H2

## ISBA

Insulation Solution Based on Aerogels, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 101082573

## MOST

Molecular Solar Thermal Energy Storage System, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 951801

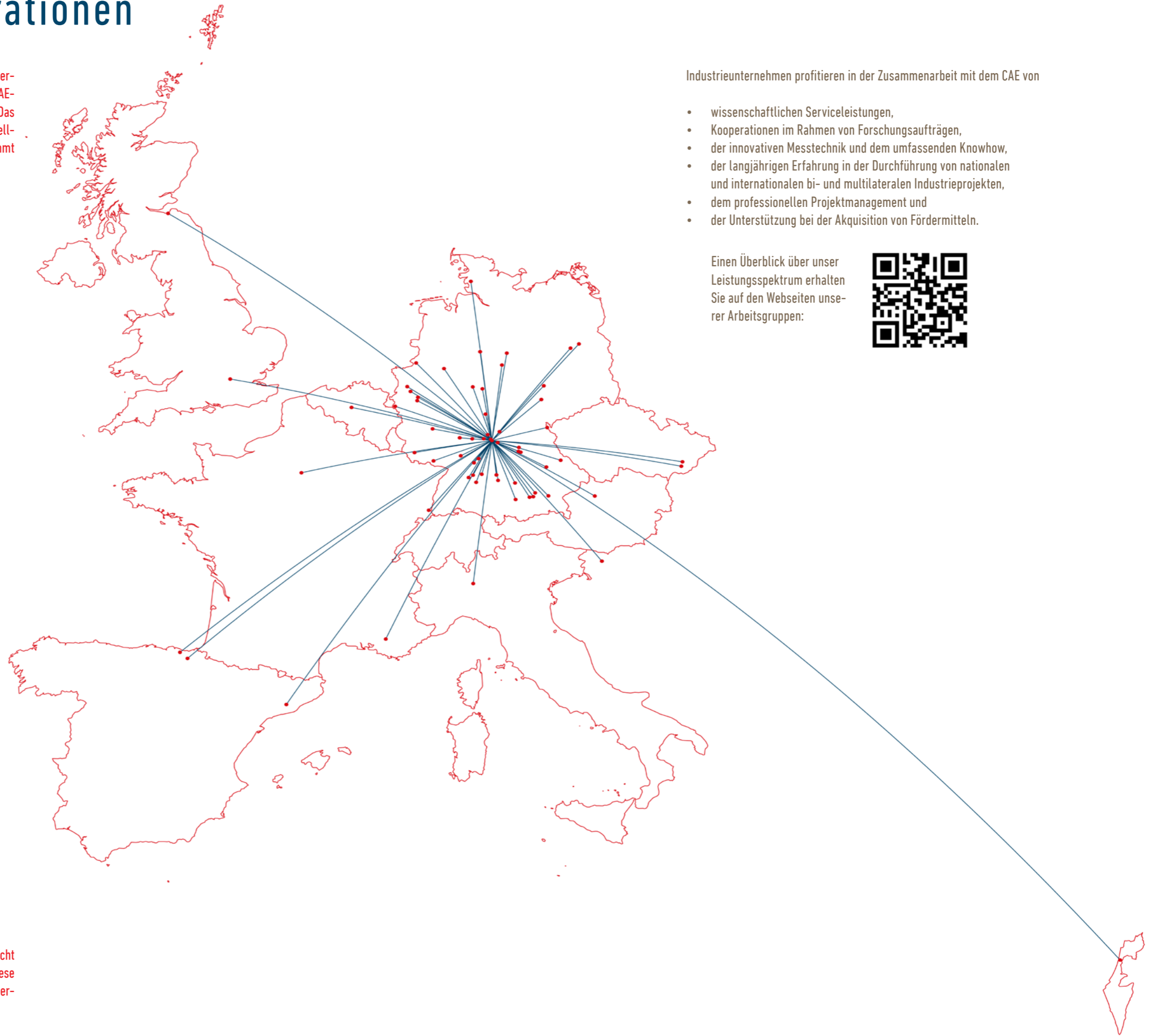
## PaRaMetriC

Metrological framework for passive radiative cooling technologies, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD03 - PaRaMetriC

# Industriekooperationen

Als Partner der Industrie bietet das CAE einen unkomplizierten, schnellen und vertraulichen Zugang zu spezifischem CAE-Knowhow und Messtechniken von besonderer Qualität. Das CAE erzeugt mit seinen FuE-Tätigkeiten einen hohen gesellschaftlichen Impact. Spitzentechnologie und Knowhow kommt Unternehmen aller Größenklassen zu Gute.

## 135 Projekte



Industrieunternehmen profitieren in der Zusammenarbeit mit dem CAE von

- wissenschaftlichen Serviceleistungen,
- Kooperationen im Rahmen von Forschungsaufträgen,
- der innovativen Messtechnik und dem umfassenden Knowhow,
- der langjährigen Erfahrung in der Durchführung von nationalen und internationalen bi- und multilateralen Industrieprojekten,
- dem professionellen Projektmanagement und
- der Unterstützung bei der Akquisition von Fördermitteln.

Einen Überblick über unser Leistungsspektrum erhalten Sie auf den Webseiten unserer Arbeitsgruppen:



Standorte von Unternehmen, mit denen das CAE 2023 in nicht öffentlich geförderten Projekten kooperierte oder für diese Auftragsforschung durchführte bzw. wissenschaftliche Serviceleistung erbracht hat.

# FORSCHUNGS- HIGHLIGHTS

Induktionsheizer zur Durchführung von Messungen bei sehr hohen Temperaturen.  
© Katrin Heyer

# Thermophysik am Limit

Die Forschenden am CAE besitzen eine jahrzehntelange Erfahrung in der Bestimmung thermophysikalischer Messgrößen, wie beispielsweise Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität oder Emissionsgrad. Dies betrifft die Entwicklung und Optimierung von Messverfahren sowie die eigentliche Messung, auch unter extremen Umgebungsbedingungen – und darüber hinaus die zugrundeliegende physikalische Theorie. Dadurch ist eine bestmögliche messtechnische Begleitung der Entwicklung und Optimierung von Materialien, Komponenten und Systemen möglich, vor allem wenn Standardmessverfahren an ihre Grenzen stoßen.

Speziell Messungen bei sehr hohen Temperaturen und/oder Gasdrücken stellen sehr hohe Anforderungen – nicht nur an Ausstattung und Sensorik, sondern auch an die wissenschaftliche Expertise zur hochgenauen Erfassung und Auswertung der Messdaten. Aktuelle Prozessoptimierungen zur Erhöhung der Energieeffizienz erfordern unter anderem deutlich höhere Betriebstemperaturen, welche nur mit neuartigen Materialien oder Materialkombinationen erreichbar sind. Die Entwicklung solcher Materialien oder Komposite setzt allerdings die Möglichkeit zur validen Charakterisierung der thermophysikalischen Eigenschaften unter den jeweiligen Einsatzbedingungen voraus, um zielgerichtete Optimierungen durchführen zu können. Neben konventionellen Gasturbinen gewinnen beispielsweise Wasserstoff-betriebene Turbinen an Bedeutung. Da bei einer Verbrennung von Wasserstoff bis zu 200 K höhere Flammtemperaturen im Vergleich zu anderen Gasen auftreten können, müssen die verwendeten Werkstoffe sowohl über deutlich höhere mechanische Temperaturbeständigkeiten als auch über langzeitstabile thermische und infrarot-optische Eigenschaften unter Wasserstoffatmosphäre verfügen.

## Wissenschaftliche Serviceleistungen

Das CAE bietet hochgenaue und rückführbare Messungen zur Bestimmung aller relevanten thermophysikalischen Eigenschaften in einem weiteren Parameterbereich (z. B. Temperatur von 15 K bis 3200 K und Druck von  $10^{-6}$  bis 100 bar) an. Dies wird ergänzt durch thermische und infrarot-optische Modellierungen sowie Begleitung der Entwicklung und Optimierung von Materialien. Außerdem steht eine umfassende Sensorik zur Verfügung um thermische Prozesse, Produktionsverfahren und Produkte zu analysieren und zu verbessern.

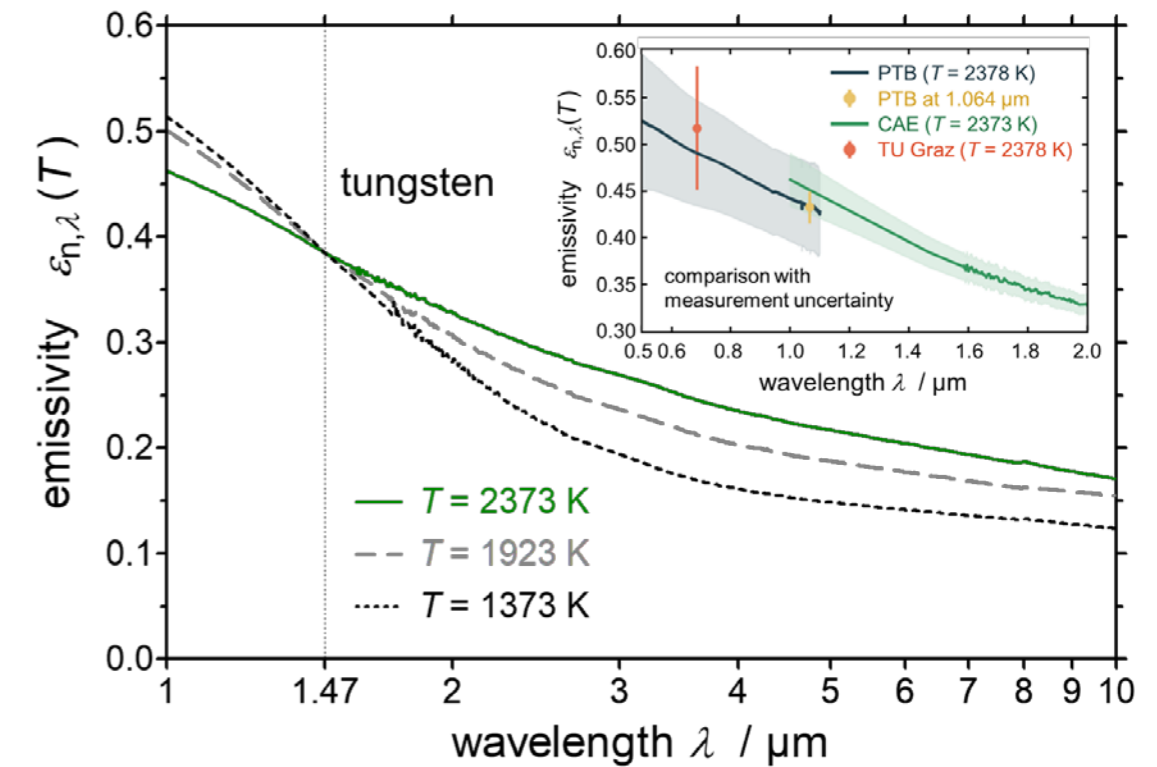
## Projekte

**Poly2Vac** – Optimierung der Dämmwirkung und Verarbeitbarkeit nanostrukturierter Polymerschäume zur Anwendung in Vakuumisulationspaneelen für ressourcen- und klimaefiziente Endanwendungen  
Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EI5017A

**PaRaMatriC** – Metrological framework for passive radiative cooling technologies  
Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD03 – PaRaMatriC

**STEP** – Struktur-Eigenschaftsbeziehungen hierarchisch strukturierter Silica-Monolithe als Modellsystem für innovative anorganische Dämmstoffe  
Fördergeber: DFG, Förderkennzeichen: RE 1148/15-1

**InnoTherMaBatt** – Innovatives thermisches Management von Batteriemodulen  
Fördergeber: BayFS, Förderkennzeichen: 1484-20



Veröffentlichte spektrale Emissionsgrade senkrecht zur Oberfläche von sandgestrahltem Wolfram im Hochtemperaturbereich bis 2400 K. Es ist eine sehr gute Übereinstimmung der am CAE gemessenen Werte mit den Werten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und der Technischen Universität Graz (TU Graz) erkennbar (kleiner Graph).

## Gremientätigkeiten

J. MANARA, Mitglied im Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 4.63 „Strahlungsthermometrie und Thermografie“

J. HARTMANN, Mitglied im Lenkungsausschuss des Arbeitskreises Thermophysik der GEFTA

H.-P. EBERT, Vorsitz im Lenkungsausschuss des Arbeitskreises Thermophysik der GEFTA und Leitung der Geschäftsstelle

M. BRÜTTING, Vertreter des CAE im DIN Ausschuss NA 062-08-14 AA „Thermische Analyse“

## Publikationen

D. URBAN, K. ANHALT, M. ARDUINI, T. STARK, J. MANARA, P. PICHLER, A. EBER, G. POTTLACHER: Measuring spectral emissivity up to 4000 K. High Temp. – High Press. (accepted 02.01.2024)

B. HAY, O. BEAUMONT, N. FLEURENCE, N. LAMBENG, M. CATALDI, J. HARTMANN, F. BECKSTEIN, D. STOBITZER, N. MILOŠEVIĆ, N. STEPANIĆ, J. WU, P. MILDEOVA: Inter-laboratory Comparison on Thermal Diffusivity Measurements by the Laser Flash Method at Ultra-high Temperature, Int J Thermophys 44, 2023, 48

H.-P. EBERT, J. MANARA, G. REICHENAUER: Limits of Thermal Insulations: Heat Transfer within Evacuated Porous High Performance Insulations Int. J Thermophys 44, 2023, 111

K. SWIMM, S. VIDI, G. REICHENAUER, H.-P. EBERT: Impact of the Backbone Connectivity on the Gas Pressure-Dependent Thermal Conductivity of Porous Solids. Int. J Thermophys 43, 8, 2022

M. ARDUINI, J. MANARA, T. STARK, H.-P. EBERT, J. HARTMANN: Development and evaluation of an improved apparatus for measuring the emissivity at high temperatures. Sensors 21, 6252, 2021

# Orientierung für die Industrie

Die Sicherstellung einer kostengünstigen und nachhaltigen Energieversorgung ist für produzierende Unternehmen in Deutschland von entscheidender Bedeutung. Diese Unternehmen stehen vor der doppelten Herausforderung, ihren hohen Energiebedarf zu decken und gleichzeitig Treibhausgasemissionen zu senken, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Der Übergang zu emissionsarmen oder klimaneutralen Alternativen wie Wärmepumpen oder erneuerbaren Brennstoffen erfordert umfassende Energieeffizienzmaßnahmen und bringt komplexe wirtschaftliche, technische und organisatorische Veränderungen mit sich, deren Tragweite oft schwer abschätzbar ist.

Das CAE leistet Pionierarbeit in Projekten zur nachhaltigen Transformation. Ein Hauptaugenmerk liegt auf der Analyse technischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, um den erfolgreichen Einsatz neuer Technologien zu gewährleisten. Wir beachten dabei auch die Akzeptanz dieser Technologien innerhalb und außerhalb der Unternehmen, da diese für die erfolgreiche Implementierung entscheidend ist. Zur effektiven Förderung der Energiewende entwickeln wir spezialisierte Analysewerkzeuge für eine präzise Evaluierung und Planung.

## Verbesserung der ökonomischen Bewertung von Nachhaltigkeitsinvestitionen

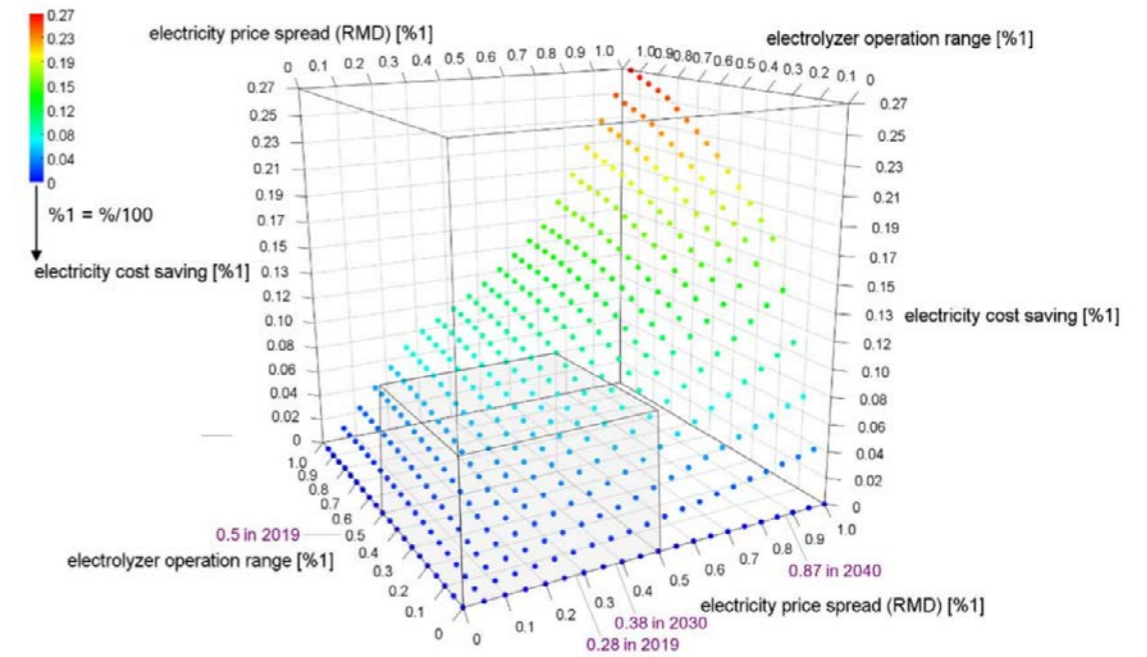
Im Rahmen der Projektarbeit mit verschiedenen produzierenden Unternehmen hat das CAE einen Überblick über potenzielle, zukünftige effektive Bezugspreise für diverse Commodities wie Strom und Erdgas erstellt. In den Szenarien wurden unter anderem die aktuellen und erwarteten Großhandelspreise, die Kosten für die Netzentgelte, Abgaben und Steuern sowie die Preise für CO<sub>2</sub>- und Grünstromzertifikate analysiert.

## Projekte

- technische Machbarkeitsstudien,
- ökonomische Transformationsbewertungen,
- Effizienzstudien und
- energetische Quartierskonzepte.

## Projektbeispiel

In 2023 führte das CAE bei der Koenig & Bauer AG in Würzburg ein Projekt zur techno-ökonomischen Bewertung von Transformationspfaden durch. Dieses Vorhaben diente dem ambitionierten Ziel, das Werk in Würzburg in einen klimaneutralen Betriebszustand zu überführen. Hierzu wurden verschiedenste Transformationspfade, insbesondere hinsichtlich Elektrifizierung und Einsatz von Erdwärmepumpen, eingehend analysiert und bewertet. Das Kernanliegen lag in der Durchführung eines umfassenden technischen sowie kostenbezogenen Vergleichs zwischen einem gasbasierten Business-as-Usual-Portfolio, welches auch Carbon Capture Technologien einschloss, und diversen Elektrifizierungsportfolios. Ziel war es, die nachhaltigsten sowie kosteneffizientesten Strategien zur Erreichung der Klimaneutralität herauszuarbeiten. Das Projekt lieferte ein detailliertes Verständnis über die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen verschiedener Energietransformationsstrategien und legte den Grundstein für die Implementierung effizienter und nachhaltiger Energielösungen bei Koenig & Bauer. Durch die Anwendung von Excel-basierten Berechnungstools und LCOE-Konzepten (LCOE = Levelized Cost of Energy) konnte eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Energiepolitik und Infrastruktur des Unternehmens geschaffen werden.



Veröffentlichte Vorteile von Flexibilitäts- und Effizienzmaßnahmen im Betriebsbereich von Elektrolyseuren bei einem Chlor-Alkali-Produktionsunternehmen in Abhängigkeit von den Preisspreads am Strommarkt. Die Farben repräsentieren die prozentuale Einsparung gegenüber der heutigen Betriebsweise und dienen zur Bewertung von Investitionsentscheidungen. Aus Lerch et al., 2024.

## Gremientätigkeit

B. BÜTTNER, Vertreter des CAE im Wasserstoffbündnis Bayern

H.-P. EBERT, stellv. Vorsitzender des Energie- und Umweltausschusses der IHK Würzburg-Schweinfurt

H.-P. EBERT, Mitglied des Industrie-, Technologie- und Forschungsausschusses der IHK Würzburg-Schweinfurt

F. SCHELLER, Vortrag beim Energiebeirat der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH, „Herausforderungen der kommunalen Wärmewende“

F. SCHELLER, Teilnahme Podiumsdiskussion Deutscher Logistik-Kongress (DLK), „Sektorkopplung, Innovationen und Unternehmertum als Voraussetzungen einer gelingenden Energiewende“

## Publikationen

P. LERCH, F. SCHELLER, D. G. REICHEL, K. MENZEL, T. BRUCKNER. (2024). Electricity cost and CO<sub>2</sub> savings potential for chlor-alkali electrolysis plants: Benefits of electricity price dependent demand response. *Applied Energy*, 355, 122263.

F. SCHELLER, K. MORRISSEY, K. NEUHOFF AND D. KELES. (2024). Green or greedy: the relationship between perceived benefits and homeowners' intention to adopt residential low-carbon technologies. *Energy Research & Social Science*, 108, 103388.

H. KONZIELLA, K. SPECHT, P. LERCH, F. SCHELLER AND T. BRUCKNER. (2023). The techno-economic potential of large-scale hydrogen storage in Germany for a climate-neutral energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113430.

M. BIEMANN, P. A. GUNKEL, F. SCHELLER, L. HUANG AND X. LIU. (2023). Data centre HVAC control harnessing flexibility potential via real-time pricing cost optimisation using reinforcement learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(15), 13876-13894.

# Maßstäbe setzen

Nachhaltiger und fairer Wettbewerb auf dem Markt benötigt Spielregeln und Vergleichbarkeit von Produkteigenschaften. Ebenso setzen Verbraucher auf verlässliche Angaben. Ohne eine genaue Analytik erfolgen Materialentwicklungen nicht zielgerichtet und technische Potentiale können entsprechend nicht voll ausgeschöpft werden. Beim Vergleich von Herstellerangaben treten im Extremfall Wettbewerbsverzerrungen auf, falls Daten nicht genau genug bestimmt wurden. Bei der Ermittlung thermischer und struktureller Kenngrößen setzt das CAE aufgrund seiner speziellen Messtechnik national wie international Maßstäbe. Die Aktivitäten am CAE verbessern die Messqualität von Laboren, zeigen Grenzen auf und unterstützen Hersteller von Messtechnik bei der Optimierung ihrer Messanalytik. Dabei bewegt sich das CAE auf Augenhöhe mit metrologischen Staatsinstituten.

In der Strukturanalyse nanoskaliger Materialien trägt das CAE maßgeblich zur Standardisierung komplexer Methoden bei. So konnten beispielsweise im Bereich der Röntgenkleinwinkelstreuung Normen zur Bestimmung von Partikelgrößen sowie spezifische Oberflächen in porösen Materialsystemen veröffentlicht werden. Außerdem entwickelt das CAE mit seinen Kooperationspartnern automatisierte Charakterisierungsmethoden mit KI-gestützten Analyseverfahren zur schnellen Eigenschaftsprognose sowie zur verlässlichen Überwachung qualitätsrelevanter Materialzusammensetzungen.

## Verbesserung der messtechnischen Qualität in der täglichen Laborpraxis

Das CAE stellt extrem wärmedämmende Polyurethan-Aerogel-Proben mit einem individuell bestimmten Wert der Wärmeleitfähigkeit zu Eigenkosten zur Verfügung, um Laboren eine Kalibration bzw. Überprüfung ihrer Messeinrichtungen zu ermöglichen. Das PU-Aerogel-Material wurde in einem zuvor durchgeführten Ringvergleich auf seine Eignung hin getestet.

Mehr Informationen:



## Projekte

**Zuverlässige Charakterisierung von Silica-basierten Aerogelen BMWK-Projekt THEA**

Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN4002A

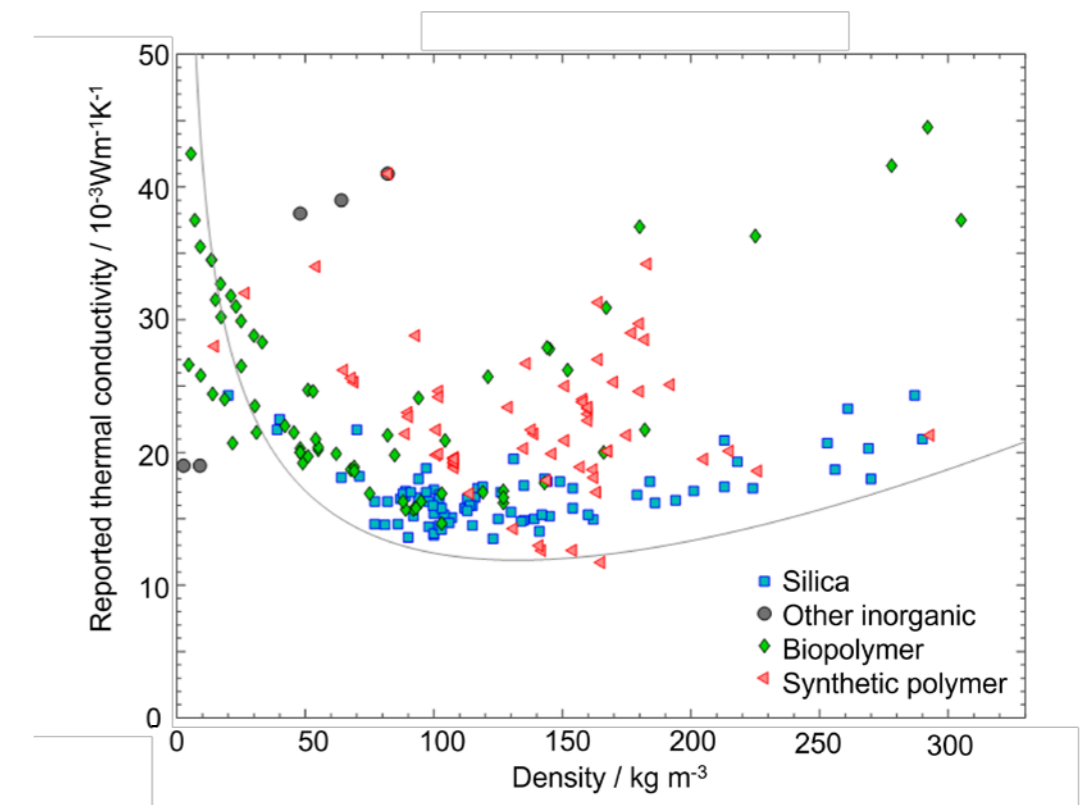
**PaRaMatriC** - Metrological framework for passive radiative cooling technologies

Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD03 - PaRaMatriC

**Met4H2** - Metrology for the Hydrogen Supply Chain

Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD05 Met4H2

Durchführung und Koordinierung von Ringvergleichen im Rahmen der Aktivitäten des Arbeitskreises Thermophysik ([www.ak-thermophysik.de](http://www.ak-thermophysik.de))



Veröffentlichte Wärmeleitfähigkeitsdaten von unterschiedlichen Aerogelen in Abhängigkeit ihrer Dichte. Alle Daten wurden mit sogenannten stationären Messverfahren bei Raumtemperatur ermittelt. Die Linie kennzeichnet das zu erwartende theoretische Limit. Daten, die nahe an diesem Limit und darunter liegen, sind besonders sorgfältig zu diskutieren. Aus Malfait et al., 2024

## Gremientätigkeit

J. HARTMANN, H.-P. EBERT (Vorsitz, Leitung der Geschäftsstelle), Mitglied im Lenkungsausschuss des Arbeitskreises Thermophysik der GEFTA

M. BRÜTTING, Vertreter des CAE im DIN Ausschuss NA 062-08-14 AA „Thermische Analyse“

## Publikationen

H.-P. EBERT, J. MANARA, G. REICHENAUER: Limits of Thermal Insulations, Heat Transfer within Evacuated Porous High Performance Insulations, *Int. J Thermophys* 44, 2023, 111

W. J. MALFAIT, H.-P. EBERT, S. BRUNNER, J. WERNERY, S. GALMARINI, S. ZHAO, G. REICHENAUER, The poor reliability of thermal conductivity data in the aerogel literature: a call to action! *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, DOI: 10.1007/s10971-023-06282-9, 2024, (26.11.2023: accepted for publication)

H.-P. EBERT, Thermal Properties of Aerogels Invited Chapter in: *Springer Handbook of Aerogels*, eds. M.A. Aegerter, N. Leventis, M. Koebel, S.A. Steiner III, Springer Series Advances in Sol-Gel Derived Materials and Technologies. 2nd Edition, 2023, 231-259, ISBN: 978-3-030-27321-7

C. SCHLUMBERGER, C. SCHERDEL, M. KRIESTEN, P. LEICHT, A. KEILBACH, H. EHMANN, P. KOTNIK, G. REICHENAUER, M. THOMMES, Reliable surface area determination of powders and meso/macroporous materials: Small-angle X-ray scattering and gas physisorption, *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 329, 2022

# Klimaeffiziente Gebäudehüllen

Nachhaltige Gebäudehüllen müssen den zukünftigen höheren Anforderungen an Wärme- und sommerlichen Überhitzungsschutz genügen. Neben der Effizienz und der Integration von erneuerbaren Energiebereitstellungstechnologien, spielt die Bewertung ökonomischer wie ökologischer Amortisationszeiten eine entscheidende Rolle für die breite Umsetzung dieser Technologien. Beispielhaft werden drei innovative Fassadentechnologien, die am CAE entwickelt werden, nachfolgend vorgestellt:

Der Einsatz von Vakuumisolierverglasung wurde seit 2004 bis heute am Institut von der Grundlagenforschung bis zur Umsetzung in die Praxis erforscht. Letztlich wurde ein hybrides Vakuumisolierverglasung auf bestehenden Isolierglas-Fertigungslinien hergestellt und ein technisches Nachweiskonzept zur Erreichung der ZiE bei der obersten Baubehörde erarbeitet. So konnte Ende 2023 erstmalig 200 m<sup>2</sup> großformatiges hybrides Vakuumglas mit einem Ug-Wert von 0,3 W/(m<sup>2</sup>·K), also nahe dem GEG-Wert der opaken Fassade, in einem öffentlich zugänglichen Gebäude verbaut werden. Damit wurde ein Meilenstein für den Einsatz von Vakuumisolierverglasung in Deutschland erreicht und der Weg für weitere Hersteller geebnet, um die nächste Stufe energieeffizienter transparenter Gebäudehüllen in Deutschland und Europa zu erreichen.

Der Themenkomplex Gebäudebegrünung hat sich vom zunächst „zarten Pflänzchen“ zu einem signifikanten Forschungsgebiet am CAE entwickelt. So werden aktuell Fragestellungen zur Reduktion der Wärme- und Kältelasten in Gebäuden, der Effizienzsteigerung von Gründach-PV, der Bestrebung zur quantitativen Messung von Begrünungseffekten in der Fassade und auf dem Dach für den Einsatz als Berechnungsgrundlage für Architekten und Planer entwickelt. Dabei spielen Verdunstungsleistungen verschiedener Pflanzenarten und auch Biodiversität eine große Rolle.

Im Bereich der Gebäudesystemtechnik arbeitet das CAE daran, Umweltwärme effizient und lautlos durch fassaden- und dachintegrierte photovoltaisch-thermische Kollektoren zu erschließen. Damit steht eine lautlose Technologie mit hoher Akzeptanz im dicht bebauten urbanen Umfeld zur Verfügung. Auch hier wurde der Schritt bis in die reale Demonstration getrieben. Die finalen Ergebnisse werden 2024 erarbeitet.

Den abschließenden Schritt zur Umsetzung in die gelebte Praxis geht das CAE bei der Erstellung von Quartiersenergiekonzepten, bei denen die vorgestellten innovativen Komponenten stets mitgedacht werden.

## Wissenschaftliche Serviceleistungen

Neben thermischen, optischen und infrarot-optischen Messmethoden nutzt das CAE Modellierungen auf allen Skalen des Energiesystems – vom Material über die Komponente bis hin zum System. Hier bietet das CAE Liegenschaften und Quartieren die Unterstützung bei der Erstellung von innovativen Quartiersenergiekonzepten an.

## Projekte

**FFS-VIG** – Fenster- und Fassadensysteme mit Vakuumisolierverglasung. Teilvorhaben: Thermische Charakterisierung, Optimierung und Systemprüfung  
Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EGB0021A

**RENBuild** – Entwicklung und Monitoring eines Gesamtsystems zur kombinierten regenerativen Versorgung von Gebäuden mit Wärme, Kälte, Strom und Frischluft Teilvorhaben: Thermische Charakterisierung, Optimierung, Systemevaluierung und Monitoring  
Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1009A

**U-green** – Bauphysikalische Bewertung von Fassaden- und Dachbegrünungen; Teilvorhaben: Entwicklung standardisierter Messverfahren und Kenngrößen zur Berücksichtigung von Bauwerksbegrünung in der energetischen Auslegung von Gebäuden sowie die Bewertung des thermischen Einflusses  
Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1045A

**Integriertes Energetisches Quartierskonzept** – Quartier Mutterhausareal der Schwestern des Erlösers in Würzburg Industrieprojekt, Ausschreibung, Programm: KfW432



Erster Demonstrationsbau zum großflächigen Einsatz von hybridem Vakuumisolierverglasung in Deutschland.  
© Jochen Hölscher

## Gremientätigkeiten

S. WEISMANN, IBPSA-DACH, Regional Affiliate of the International Building Performance Simulation Association

M. REIM, Bundesverband GebäudeGrün e.V.

B. BÜTTNER, International Vacuum Insulation Panel Association (VIPA International)

## Publikationen

B. BÜTTNER, F. PASCHKE, M. SEEL, C. STARK, E. WOLFRATH, H. WEINLÄDER, Hybrides Vakuumisolierverglasung – thermische und thermomechanische Charakterisierung Proceedings Glasbau 2023 Dresden 16.-17.03.2023 119f ISBN: 978-3-433-03390-6

F. KLINKER, H. WEINLÄDER, Alles in einem System, Gebäude Energieberater, GEB 07 2023, 45-47

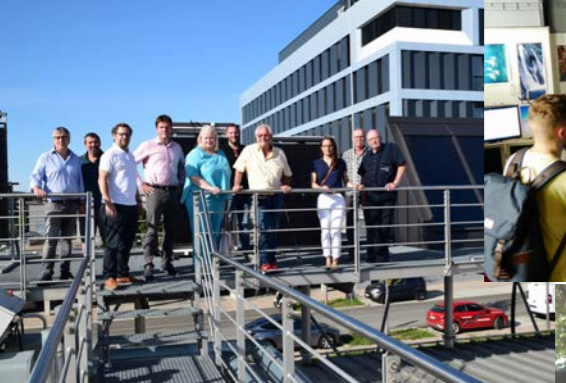
M. REIM, H. WEINLÄDER, Gebäudegrün auf dem Prüfstand Gebäude Energieberater, GEB 09 2023 44-45

F. KLINKER, H. WEINLÄDER, Neue Blaupausen finden – Integraler Systemansatz zur Gebäude-Energieversorgung tab 9/2023 44-45 09/2023

A large group of students in a classroom, seen from behind, with their hands raised in the air. The students are diverse in age and appearance. In the background, a teacher is visible at the front of the room, and a large screen displays some text. The overall atmosphere is one of active participation and learning.

**AUS WISSEN FOLGT  
VERANTWORTUNG**





## CAE ist Mitglied in der Bayerischen Klima-Allianz

Das CAE ist seit dem 28. Juni 2023 neues Mitglied in der Bayerischen Klima-Allianz. Die Bayerische Klima-Allianz bildet eine wichtige Plattform, um für den Klimaschutz bedeutsame Kooperationen und Aktivitäten zwischen der Bayerischen Staatsregierung, der bayerischen Wirtschaft und Wissenschaft sowie von Kommunen, Verbänden und Interessensvertretungen zu ermöglichen. Mit Unterzeichnung dieser Erklärung unterstreicht das CAE sein Engagement für den Klimaschutz und bekennt sich zur Charta der Bayerischen Klima-Allianz. Allgemein verpflichten sich die Mitglieder unter anderem Vorbild und Multiplikator bei Klimaschutzmaßnahmen und Umweltbildung zu sein, Bewusstsein zu bilden und eine breite Akzeptanz für Klimaschutz und Nachhaltigkeit zu schaffen und die Bevölkerung zur aktiven Mitwirkung zu motivieren und anzuleiten.

## Besucher

- 17-02-2023 Schüler:innen des Olympia-Morata-Gymnasiums | Schweinfurt
- 28-02-2023 Schüler:innen des Franz-Miltenberger-Gymnasiums | Bad Brückenau
- 14-03-2023 Studierende aus Italien | Sprachexkursion der Schule Deutsch in Franken
- 17-03-2023 Mitglieder des Kiwanis-Club Würzburg | Mainfranken
- 17-05-2023 Schüler:innen des Riemenschneider Gymnasiums | Würzburg
- 24-05-2023 Delegation der Weltkirche | Würzburg
- 31-05-2023 Nachwuchswissenschaftler:innen der SolTech-Arbeitsgruppe des interdisziplinären bayerischen Forschungsnetzwerks Solar Technologies go Hybrid | Bayern
- 23-06-2023 Mitarbeitende des Physikalischen Instituts der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- 28-06-2023 Staatsminister Thorsten Glauber, MdL und Gäste aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie aus den Gremien des CAE anlässlich des Eintritts des CAE in die Bayerische Klima-Allianz
- 28-07-2023 Sanitär- und Heizungstechniker der Franz-Oberthür-Schule | Würzburg
- 01-08-2023 Mitglieder des Energieautarkie Netzwerkes der HWK-Unterfranken
- 28-08-2023 Klimaschutzmanager der Stadt Neustadt/Aisch
- 06-09-2023 Mitglieder der Freien Wähler | Region Unterfranken
- 23-11-2023 Fassadentechniker der Staatlichen Fachschule für Bau- und Glasbautechnik | Vilshofen
- 12-12-2023 Teilnehmende Schüler:innen am Cyber Mentor Plus des Deutsch-Haus-Gymnasiums | Würzburg

# VERÖFFENTLICHUNGEN

Innenschattierungen in Gewächshäusern mit definierten optischen Eigenschaften zur Einstellung optimaler Wachstumsbedingungen für die Pflanzen.  
© Wolfgang Block

# Publikationen

M. BIEMANN, P. A. GUNKEL, F. SCHELLER, L. HUANG AND X. LIU, **Data centre HVAC control harnessing flexibility potential via real-time pricing cost optimisation using reinforcement learning**, in IEEE Internet of Things Journal, 10 (15), 2023, 13876-13894

H.-P. EBERT, J. MANARA, G. REICHENAUER, **Limits of Thermal Insulations: Heat Transfer within Evacuated Porous High Performance Insulations** Int. J Thermophys 44, 2023, 111

A. EMELIANOVA, C. BALZER, G. REICHENAUER, G. Y. GOR, **Adsorption-Induced Deformation of Zeolites 4A and 13X: Experimental and Molecular Simulation Study**, Langmuir 39 (32), 2023, 11388-11397

J. V. ERIKSEN, S. M. FRANZ, J. STEENSBERG, A. VEJSTRUP, M. BOSACK, R. BRAMSTOFT, F. SCHELLER, **The future demand of renewable fuels in Germany: understanding the impact of electrification levels and socio-economic developments**. Heliyon, 9 (11), 2023, e22271

C. GATSIOS, A. OPITZ, D. LUNGWITZ, A.E.MANSOUR, T. SCHULTZ, D. SHIN, S. HAMMER, J. PFLAUM, Y. ZHANG, S. BARLOW, S.R. MARDER, N. KOCH, **Surface doping of rubrene single crystals by molecular electron donors and acceptors**. PCCP 43, 2023, 29718

S. HAMMER, T. LINDERL, K. TVINGSTEDT, W. BRUETTING, J. PFLAUM, **Spectroscopic analysis of vibrational coupling in multi-molecular excited states**, Mater Horiz 10(1), 2023, 221-234

B. HAY, O. BEAUMONT, N. FLEURENCE, N. LAMBENG, M. CATALDI, J. HARTMANN ET AL.F. BECKSTEIN, D. STOBITZER, N.MILOŠEVIĆ, N. STEPANIĆ, J. WU, P. MILDEOVA: **Inter-laboratory Comparison on Thermal Diffusivity Measurements by the Laser Flash Method at Ultra-high Temperature**, Int J Thermophys 44, 2023, 48

S. JOHANNING, D. ABITZ, F. SCHELLER, T. BRUCKNER, **The Influence of Financial Benefits and Peer Effects on the Adoption of Residential Rooftop Photovoltaic Systems**. 19th International Conference on the European Energy Market (EEM) IEEE, 2023, pp. 1-16

H. KONZIELLA, K. SPECHT, P. LERCH, F. SCHELLER, T. BRUCKNER, **The techno-economic potential of large-scale hydrogen storage in Germany for a climate-neutral energy system**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 182, 2023, 113430

R. KOHNS, J. TORRES-RODRIGUEZ, D. EUCHLER, M. SEYFFERTITZ, O. PARIS, G. REICHENAUER, D. ENKE, N. HUESING, **Drying of Hierarchically Organized Porous Silica Monoliths-Comparison of Evaporative and Supercritical Drying**, Gels-Basel 9(1), 2023, 71

P. LERCH, F. SCHELLER, T. BRUCKNER, **Potential of demand response for chlor-alkali electrolysis processes**. 19th International Conference on the European Energy Market (EEM), IEEE, 2023, pp. 1-7

P. LERCH, F. SCHELLER, D. G. REICHELTELT, K. MENZEL, T. BRUCKNER, **Electricity cost and CO2 savings potential for chlor-alkali electrolysis plants: Benefits of electricity price dependent demand response**. Applied Energy, 355, 2023,122263

A. NEEF, S. BEAULIEU, S. HAMMER, S. DONG, J. MAKLAR , T, PINCELLI, R P XIAN, M. WOLF, L. RETTIG, J. PFLAUM, R. ERNSTORFER, **Orbital-resolved observation of singlet fission**. Nature 616, 2023, 275-279

F. SCHELLER, K. MORRISSEY, K. NEUHOFF, D. KELES, **Green or greedy: the relationship between perceived benefits and homeowners' intention to adopt residential low-carbon technologies**. Energy Research and Social Science, 108, 2023, 103388

P. SEITZ, C. SCHERDEL, G. REICHENAUER, J. SCHMITT, **Machine Learning in the development of Si-based anodes using Small-Angle X-ray Scattering for structural property analysis**, Comp Mater Sci 218, 2023,111984

L. VIBRANS, E. SCHULTE, K. MORRISSEY, T. BRUCKNER, F. SCHELLER 2023. **Same same, but different: explaining heterogeneity among potential photovoltaic adopters in Germany using milieu segmentation**. Energy Research & Social Science, 103, 2023,103212

# Eingeladene Fachvorträge

F. KLINKER, H. WEINLÄDER, **Latentwärmespeicher zur energieeffizienten Wärme- und Kältenutzung in Gebäuden**, Verbandstag des GIH Baden-Württemberg e. V., Stuttgart, Germany, 17.03.2023

C. SCHERDEL, G. REICHENAUER, **Recent developments in structural characterization of aerogels**, Aerogel Industry-Academia Forum, Dübendorf, Switzerland, 31.05.-02.06.2023

H.-P. EBERT, **Problems Concerning the Determination of the Thermal Conductivity of Aerogels and Solutions**, 21<sup>st</sup> Meeting of the International Association for Transport Properties (IATP), Venice, Italy, 09.09.2023

J. HARTMANN, **Die Energiewende anpacken – Innovationen im Gebäudebereich**, Wissenschaftlicher Abendvortrag, DPG, Berlin, 27.09.2023

F. SCHELLER, V. LENZ, F. MÜLLER-LANGER, M. HENKE, M. VEHSE, N. GERHARDT, P. SCHOSSIG, J. UNGERLAND, T. GROSS, J. MATTHES, V. STELZER, M. RIEPL, **Technologiespektrum und Strategien für resilientere Energiesysteme**, FVEE-Jahrestagung 2023, Berlin, Germany, 10.-11.10.2023

M. REIM, J. ZANGER, M. KRÖNER, B. KRAUTKREMER, W. HECKMANN, M. KÜHNBACH, S. MÄRZ, V. STELZER, S. WACZOWICZ, G. STREIB, **Resilienz im Quartier**, FVEE-Jahrestagung 2023, Berlin, Germany, 10.-11.10.2023

M. REIM, Aktuelle Projekte im Bereich Begrünung: **U-green, MoVeGreen, rain2energy**, „Lebendige Baustelle“, Nürnberg, Germany, 20.10.2023

F. SCHELLER, **Sektorkopplung, Innovationen und Unternehmertum als Voraussetzungen einer gelingenden Energiewende**, Podiumsdiskussion Deutscher Logistik-Kongress (DLK), Berlin, Germany, 20.10.2023

F. SCHELLER, **Herausforderungen der kommunalen Wärme-wende**, Energiebeirat der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH, Würzburg, Germany, 23.10.2023

B. BÜTTNER, H. WEINLÄDER, **FFS-VIG Fenster- und Fassaden-systeme mit hybridem Vakuumisolierverglas**, Wintergartentage 2023 Berlin, Germany, 18.11.2023

H.-P. EBERT, **Interdisziplinäre Energieforschung - Lösungen für die Energiewende**, VDE Bayern Hochschulgruppe an der THWS Vorlesungsreihe, Schweinfurt, Germany, 21.11.2023

# Fachvorträge

A. ADIBEKYAN, J. SCHUMACHER, L. PATTELLI, J. MANARA, S. MERIÇ, Ö. BAZKIR, C. CUCCHI, C. SPRENGARD, G. PÉREZ, J. CAMPOS, J. HAMEURY, A. ANDERSSON, S. CLAUSEN, A. RASMUSSEN, C. BELOTTI, L. PALCHETTI, M. BARUCCI, S. VICIANI, S. EFTHYMIU, M.-N. ASSIMAKOPOULOS, D. PAPADAKI, F. MANOOCHEI, C. MONTE, **Emissivity and Reflectivity Measurements for Passive Radiative Cooling Technologies**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

J. BRELLOCHS, C. SCHERDEL, R. BRÖDNER, M. NELLES, T. LORENZ, K.A. WEISS, B. WERN, D. SALAR TAVAKKOL, F. KULLMANN, M. BORCHERS, D. OTTO, H. BERG, **Circular Economy als Basis für resiliente und erneuerbare Rohstoffkreisläufe**, FVEE-Jahrestagung 2023, Berlin, Germany, 10.-11.10.2023

M. BRÜTTING, A. GÖBEL, J. MANARA, M. ARDUINI, F. HEMBERGER, H.-P. EBERT, **Determination of effective thermal conductivity of Li-Ion cells – an uncertainty analysis**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

M. BRÜTTING, A. GÖBEL, F. HEMBERGER, S. VIDI, H.-P. EBERT, **Thermophysikalische Charakterisierung von Li-Ionen Zellen**, Jahrestagung 2023 des AK Thermophysik in der GEFTA, Karlsruhe, Germany, 04.-05.04.2023

B. BÜTTNER, F. PASCHKE, C. STARK, E. WOLFRATH, H. WEINLÄDER, **Hybrides Vakuumisolierverglas - Thermische und thermomechanische Charakterisierung**, Glasbau 2023, Dresden, Germany 16.-17.03.2023

H.-P. EBERT, S. BRAXMEIER, F. HEMBERGER, F. LIED, G. REICHENAUER, **Ringvergleich: Wärmeleitfähigkeit von Aerogelen**, Jahrestagung 2023 des AK Thermophysik in der GEFTA, Karlsruhe, Germany, 04.-05.04.2023

H.-P. EBERT, J. MANARA, G. REICHENAUER, **Limits of Thermal Insulations – Heat Transfer within Evacuated Porous High-Performance Insulations**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

D. HÖFFLIN, C. SAUER, A. SCHIFFLER, J. HARTMANN, **High temperature measurement for laser powder bed fusion**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy 10.-13.09.2023

J. MANARA, M. ARDUINI, T. STARK, S. VIDI, F. HEMBERGER, H.-P. EBERT, A. SHANDY, M. ZIPF, J. HARTMANN, **Metrologische Verfahren zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften für Hochtemperaturanwendungen**, Jahrestagung 2023 des AK Thermophysik in der GEFTA, Karlsruhe, Germany, 04.-05.04.2023

J. MANARA, T. STARK, M. ARDUINI, S. VIDI, F. HEMBERGER, H.-P. EBERT, A. SHANDY, M. ZIPF, J. HARTMANN, **Metrological Facilities for Thermophysical Properties Measurements at High Temperatures and Determination of the Adhesion of Coating Systems**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

J. MANARA, T. STARK, M. ARDUINI, J. POPP, A. GÖBEL, M. BRÜTTING, H.-P. EBERT, J. HARTMANN, L. PATTELLI, G. LOPARDO, F. GIRARD, F. BERTIGLIA, C. CUCCHI, C. SPRENGARD, S. EFTHYMIU, M.-N. ASSIMAKOPOULOS, D. PAPADAKI, G. MURANO, A. PANVINI, M. VOLDÁN, Š. KAPOUNEK, L. KŇAZOVICKÁ, D. TICHÝ, G. PÉREZ, F. MARTÍNCONSU-EGRA, C. ALONSO, B. FRUTOS, J. JARAMILLOFERNANDEZ, A. LLADÓS, S. MERIÇ, Ö. BAZKIR, J. SCHUMACHER, A. ADIBEKYAN, C. MONTE, **Metrological Framework for Passive Radiative Cooling Technologies and Development of Setups for Reproducible In-Field Performance Testing**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

J. POPP, J. MANARA, J. HARTMANN, **Idee zur opto-thermischen Mikroanalyse mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskops**, Jahrestagung 2023 des AK Thermophysik in der GEFTA, Karlsruhe, Germany, 04.-05.04.2023

M. REIM, **Aktuelle Projekte im Bereich Begrünung: U-green, MoVeGreen, rain2energy**, BuGG Tag der Forschung und Lehre 2023, Frankfurt, Germany, 26.09.2023

M. REIM, A. BUCHER, **green4indoor energy-efficient indoor climate control with plants**, World Green Infrastructure Congress Berlin, Germany, 27.-29.06.2023

M. REIM, K. HOFFMANN, N. STINGL-SINN, **U-green building physics assessment of green facades and roofs**, World Green Infrastructure Congress, Berlin, Germany, 27.-29.06.2023

C. SCHERDEL, G. REICHENAUER, **Recent developments in structural characterization of aerogels**, Aerogel Industry-Academia, Forum Dübendorf, Switzerland, 31.05.-02.06.2023

C. SCHERDEL, G. REICHENAUER, S. VIDI, E. WOLFRATH, **Structural variation in silica aerogels ranging over two decades – challenges and limits**, 2nd International Conference on Aerogel Inspired Materials, San Sebastian, Spain, 27.-29.09.2023

A. SHANDY, F. HEMBERGER, J. HARTMANN, J. MANARA, **Evaluation of a Multilayer system using advanced laser flash analysis**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023 Venice, Italy, 10.-13.09.2023

A. SHANDY, M. ZIPF, J. MANARA, J. HARTMANN, **Experimental set-up for dynamic material investigation at high temperatures**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

D. URBAN, K. ANHALT, M. ARDUINI, J. MANARA, P. PICHLER, A. EBER, G. POTTLACHER, **Measuring the spectral emissivity up to 3000 K**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023 Venice, Italy, 10.-13.09.2023

S. VIDI, F. HEMBERGER, J. MANARA, H.-P. EBERT, **Development of a Micro Guarded Hot Plate apparatus for lab scale samples**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

M. ZIPF, A. SHANDY, J. MANARA, J. HARTMANN, **Aufbau einer Apparatur zur optischen Differenzkalorimetrie für die moderne Materialforschung bei hohen Temperaturen**, Jahrestagung 2023 des AK Thermophysik in der GEFTA, Karlsruhe, Germany, 04.-05.04.2023

M. ZIPF, A. SHANDY, J. MANARA, J. HARTMANN, **Optical Differential Scanning Calorimetry For Modern Material Science At High Temperatures**, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023

M. ZIPF, A. SHANDY, J. MANARA, J. HARTMANN, **Development of an Optical Differential Scanning Calorimetry Setup for Determining the Specific Heat Capacity at High Temperatures**, 25. Kalorimetrietage, Braunschweig, Germany, 31.05-02.06.2023

# Weitere Veröffentlichungen

M. F. BERTINO, G. REICHENAUER, **Tuning the Physical Properties of Aerogels by Spatially Selective Modification, Invited chapter in: Springer Handbook of Aerogels, eds., M.A. AEGERTER, N. LEVENTIS, M. KOEBEL, S.A. STEINER III, Springer, 2nd Edition, 01.10.2023, 835-855**

B. BÜTTNER, F. PASCHKE, M. SEEL, C. STARK, E. WOLFRATH, H. WEINLÄDER, **Hybrides Vakuumisolierverglas - Thermische und thermomechanische Charakterisierung, Glasbau 2023, 119 Dresden, 16.-17.03.2023**

J. BRELLOCHS, C. SCHERDEL, R. BRÖDNER, M. NELLES, T. LORENZ, K.A. WEISS, B. WERN, D. SALAR TAVAKKOL, F. KULLMANN, M. BORCHERS, D. OTTO, H. BERG, **Circular Economy als Basis für resiliente und erneuerbare Rohstoffkreisläufe, FVEE-Jahrestagung 2023, Berlin, 10.-11.10.2023**

H.-P. EBERT, **Thermal Properties of Aerogels Invited chapter in: Springer Handbook of Aerogels, eds. M.A. AEGERTER, N. LEVENTIS, M. KOEBEL, S.A. STEINER III, Springer, 2nd Edition, 2023, 231-259**

F. KLINKER, H. WEINLÄDER, **Alles in einem System, Gebäude Energieberater, GEB 07 2023**

F. KLINKER, H. WEINLÄDER, **Neue Blaupausen finden - Integraler Systemansatz zur Gebäude-Energieversorgung, tab 9/2023**

G. REICHENAUER, **Structural Characterization of Aerogels Invited chapter in: Springer Handbook of Aerogels, eds., M.A. AEGERTER, N. LEVENTIS, M. KOEBEL, S.A. STEINER III, Springer, 2nd Edition, 01.10.2023, 151-195**

M. REIM, H. WEINLÄDER, **Gebäudegrün auf dem Prüfstand, Gebäude Energieberater, GEB 09 2023**

E. SCHULTE, T. BRUCKNER, F. SCHELLER, **Spatial characteristics to explain residential photovoltaic adoption intentions: An exploratory analysis (No. 01/2023), Beiträge des Instituts für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig, 01/2023, 1-35**

# Poster

D. N. ESPINOZA, A. NEIMARK, S. BRAXMEIER, G. REICHENAUER, **A Method to Measure Adsorptive-Poroelastic Properties for Nanoporous Adsorbents, Interpore, Edinburgh, Scotland, 15.-22.05.2023**

A. GÖBEL, F. HEMBERGER, A. SHANDY, M. WIENER, H.-P. EBERT, **Thermal Transfer Properties of Porous Carbon Materials as a Function of Temperature up to 2800 °C: A Comparative Study of Selected Materials for Thermal Insulation, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023**

F. LOTTER, D. PETSCHKE, T. STAAB, **In situ SAXS on Al alloys: The effect of trace elements on early stages of decomposition in Al-Cu based alloy systems, SAXSexcites, Graz, Austria, 04.-05.04.2023**

J. POPP, J. MANARA, J. HARTMANN, **Thermal diffusivity determination using an atomic force microscope and modulated laser excitation, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023**

M. REIM, K. HOFFMANN, N. STINGL-SINN, **U-green Bauphysikalische Bewertung von Fassaden- und Dachbegrünungen, 8. FLL-Forschungsforum Landschaft, Berlin, Germany, 09.-10.03.2023**

C. SCHERDEL, J. NAUSCHÜTZ, B. BÜTTNER, G. REICHENAUER, **Vacuum Glazing with Silica Aerogel Pillars, Aerogel Industry-Academia Forum, Dübendorf, Switzerland, 31.05.-02.06.2023**

C. SCHERDEL, G. REICHENAUER, N. WEISS, N. GAPONIK, **Thin porous coatings-determination of specific surface area with SAXS, SAXSexcites, Graz, Austria, 04.-05.04.2023**

J. SCHUMACHER, A. ADIBEKYAN, A. PETER, M. KLEINBUB, J. BANTE, H. HERZOG, J. MANARA, C. SPRENGARD, C. MONTE, **Passive Radiative Cooling Technologies for school and company buildings in Rwanda, 22nd European Conference on Thermophysical Properties, ECTP 2023, Venice, Italy, 10.-13.09.2023**

# Weitere Veranstaltungen

H.-P. EBERT, **CAE-Forschung im Raumfahrtsektor**, ESA BIC Partnertreffen, Würzburg, 24.01.2023

H.-P. EBERT, **CAE Innovationen für die Energiewende**, Vortrag Kiwanis-Club Würzburg, Würzburg, 17.03.2023

H.-P. EBERT, **Energie und Klima**, Seminar Montessori Schule Würzburg, Würzburg, 25.07.2023

F. Scheller, Teilnahme Podiumsdiskussion Deutscher Logistik-Kongress (DLK), „**Sektorkopplung, Innovationen und Unternehmertum als Voraussetzungen einer gelingenden Energiewende**“, 20.10.2023

F. Scheller, Vortrag beim Energiebeirat der Würzburger Versorgungs- und Verkehrs-GmbH, „**Herausforderungen der kommunalen Wärmewende**“, 23.10.2023

# Mitarbeit in Gremien

---

## M. BRÜTTING

Vertreter des CAE, DIN Deutsches Institut für Normung NA 062-08-14 AA „Thermische Analyse“

Vertreter des CAE, International Energy Agency IEA, IEA SHC Task 67/ECES Annex 40

Vertreter des CAE, RAL Gütegemeinschaft PCM e.V.

---

## B. BÜTTNER

Vertreter des CAE im Wasserstoffbündnis Bayern

Vertreter des CAE in der VIPA international – Vacuum Insulation Panel Association

---

## H.-P. EBERT

Mitglied, Direktorium des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE), Berlin

Mitglied, Beirat des Technologie- und Gründerzentrums Würzburg

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis Unterfranken, Bayernwerk

Stellvertretender Vorsitzender, Energie- und Umweltausschuss der IHK Würzburg-Schweinfurt

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

Mitglied im Programmkomitee, FVEE Jahrestagung 2023, Berlin, 10.-11.10.2023

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

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

Mitglied, Prüfungsausschuss Physiklaboranten der IHK Würzburg-Schweinfurt

Mitglied, Board of Governors der International Thermal Conductivity Conference (ITCC)

Mitglied, Scientific Committee of the International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)

Mitglied im Scientific Committee WSED next! Conference

---

---

## J. HARTMANN

Mitglied, Arbeitskreis Thermophysik, Gesellschaft für Thermische Analyse e.V. (GEFTA)

Beirat, DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

---

## J. MANARA

Mitglied, Fachausschuss VDI/VDE-GMA FA 4.63 „Strahlungsthermometrie und Thermografie“, Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI)/Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE)

Mitglied, Fachausschuss „Werkstoffe der Energietechnik“, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM)  
Mitglied, European Virtual Institute for Gas Turbine Instrumentation (EVI-GTI)

Mitglied, Scientific Committee of the International Centre for Heat and Mass Transfer (ICHMT)

---

## G. REICHENAUER

Mitglied, Arbeitskreis Kohlenstoff

Mitglied, DIN-Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik“

---

## S. WEISMANN

Vertreter des CAE, IBPSA-DACH, Regional Affiliate of the International Building Performance Simulation Association

---

# Dank

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie herzlich für die Gewährung einer Anschubfinanzierung.

Wir danken folgenden Fördergebern für die Gewährung von Forschungsfördermitteln:

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz,
- Bayerische Forschungsstiftung,
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz,
- Bundesministerium für Bildung und Forschung,
- Deutsche Forschungsgemeinschaft und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Gleichermaßen danken wir den Projektträgern AIF, PtJ, VDI/VDE für die sehr gute administrative Zusammenarbeit.

Bedanken möchten wir uns auch ganz herzlich bei allen Projekt- und Geschäftspartnern für das entgegengebrachte Vertrauen.

Wir danken unseren Mitgliedern für das Vertrauen und ihre stetige Unterstützung. Den Mitgliedern unseres Kuratoriums für das Kümmern und den guten Rat.

Ein Dank auch an die Personen, die unsere Forschungsarbeit mit Spenden oder anderweitig mit ihrem persönlichen Engagement im vergangenen Jahr unterstützten.

Last but not least, ein großes Dankeschön an unsere Mitarbeitenden für ihre außerordentlich hohe Motivation, ihre einzigartige Expertise und die damit erbrachten Spitzenleistungen. Ein besonderer Dank auch an deren Familien und Partner:innen für ihr Verständnis und geleistete Unterstützung.



## Energieforschung für unsere Zukunft, Wissen und Bildung als Zukunftsinvestition!

Mit Ihrer Hilfe unterstützen Sie die allgemeinen Forschungsarbeiten und den Bildungsauftrag des CAE. Jetzt direkt online spenden und somit unsere Arbeit unterstützen.



### Ihre Spende bewirkt, dass wir auch in Zukunft

- allgemeine Forschungsarbeiten mit hoher Qualität für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung durchführen können,
- Schulbesuche und Veranstaltungen, wie z.B. den Tag der offenen Tür kontinuierlich mit hoher Qualität weiterführen können,
- die Netzwerkarbeit sowie den gegenseitigen Erfahrungsaustausch mit MINT-Institutionen weiterführen und ausbauen können,
- die Ausstellung Klima-Umwelt-Energie, ihre Technik und die Ausstellungsinhalte auf dem neusten Stand halten können,
- Preise und Auszeichnungen für wissenschaftlichen Nachwuchs vergeben können.





Membrandach des Energy Efficiency Center, dem  
Institutsgebäude des CAE.

# Impressum

## Herausgeber

Center for Applied Energy Research e.V., Würzburg  
V.i.S.d.P.: Dr. Hans-Peter Ebert

## Vorstand

Geschäftsführender Vorstandsvorsitzender:  
Dr. Hans-Peter Ebert  
Vorstand und Wissenschaftlicher Leiter:  
Prof. Dr. habil. Jürgen Hartmann

## Redaktion, Bearbeitung und Design

Martina Vornberger, Silja Buschko

## Textbeiträge und Grafiken

CAE Mitarbeitende

## Bildquellen

Fotos, soweit nicht anders angegeben, © CAE  
S. 2-7, Pixabay/ © Gerd Altmann  
S. 45 © Petra Höglmeier, © Daniel Peter

Center for Applied Energy Research e.V.  
Magdalene-Schoch-Straße 3  
97074 Würzburg  
Tel +49 (0) 931 705 64-0  
Fax: +49 (0) 931 705 64-600  
info@cae-zeroarbon.de  
Internet: www.cae-zeroarbon.de

## Copyright

Center for Applied Energy Research e.V. (CAE), Würzburg, März 2024

Das Kopieren und Weiterverwenden von Inhalten ohne  
Genehmigung des CAE ist nicht gestattet.

## Druck:

bonitasprint gmbh, Würzburg





...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...