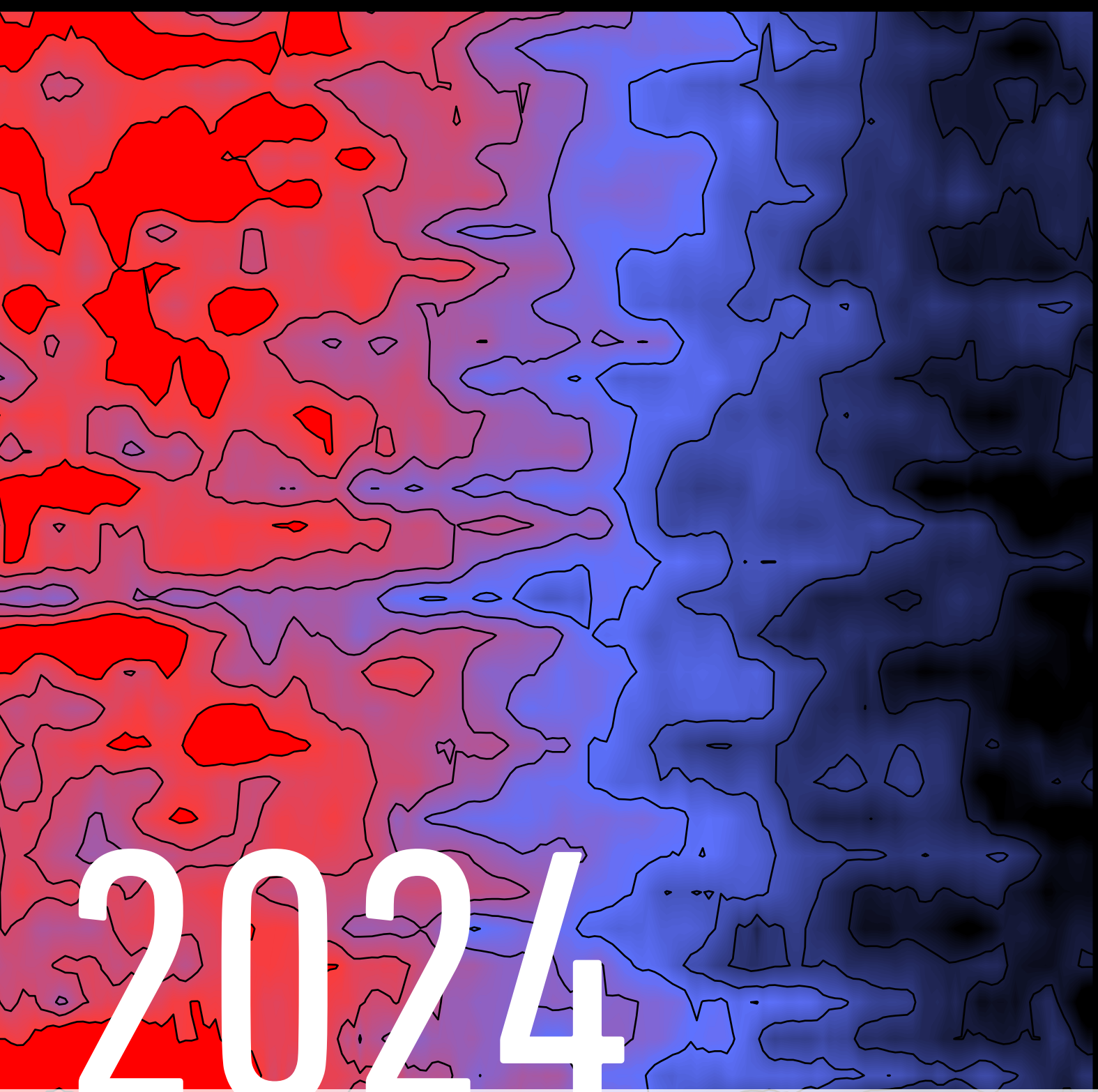
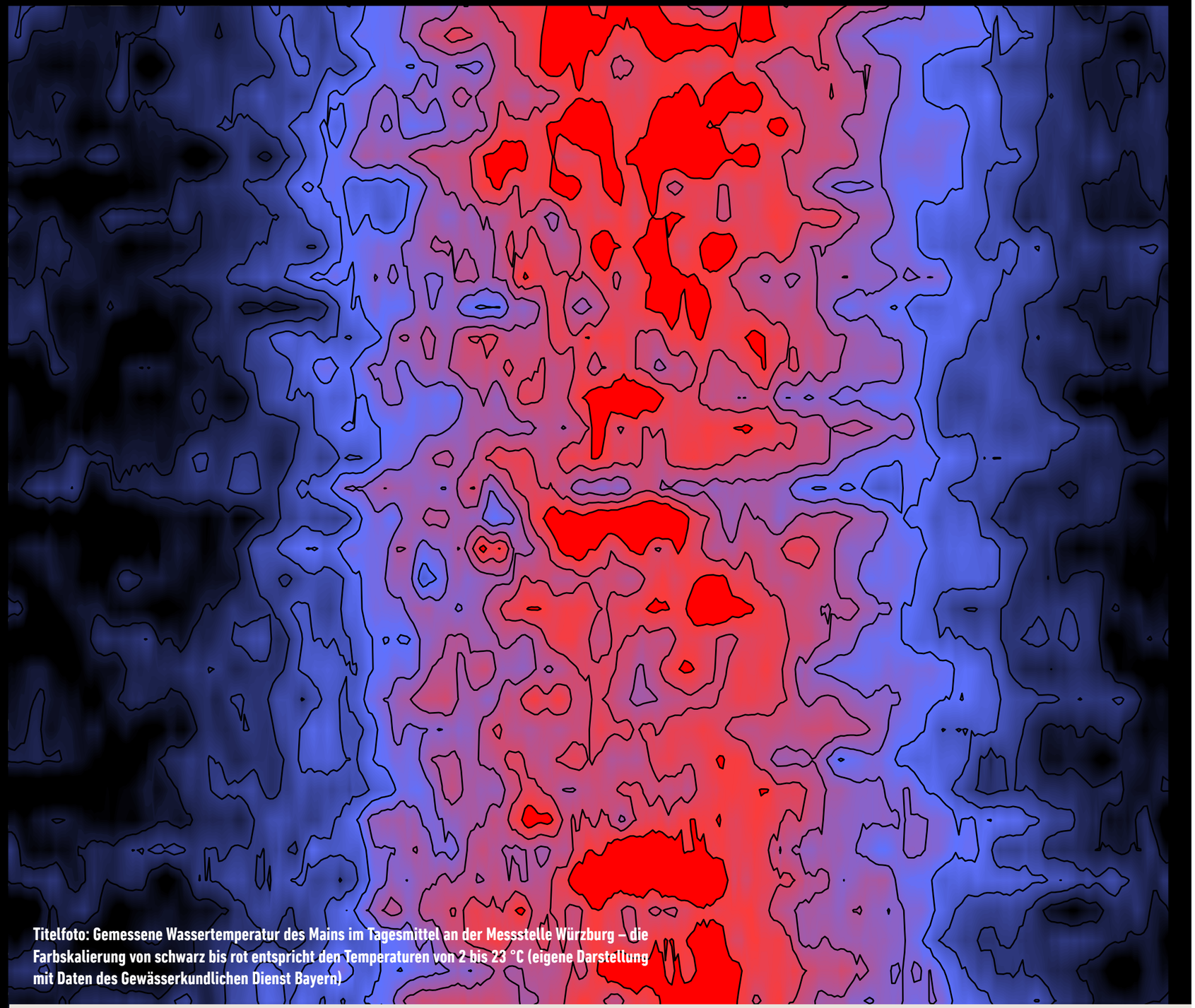


2024

TÄTIGKEITSBERICHT

Center for Applied Energy Research

zero carbon



Titelfoto: Gemessene Wassertemperatur des Mains im Tagesmittel an der Messstelle Würzburg – die Farbskalierung von schwarz bis rot entspricht den Temperaturen von 2 bis 23 °C (eigene Darstellung mit Daten des Gewässerkundlichen Dienst Bayern)

Senkrecht:
Jahresentwicklung des Tagesmittelwertes von 1981 bis 2023 (von unten nach oben)

Waagrecht:
Tag im jeweiligen Jahr

Linker Streifen:
Farbkodierung der Jahresmitteltemperatur des Mains von 10 – 14 °C (schwarz bis rot)

Im Rahmen eines Projektes der Bundesförderung Wärmenetze 4.0 hat das CAE die Potenziale des Mains als Quelle für eine Großwärmepumpe ermittelt und kritische Fragen in Bezug auf Gewässerschutz, Schifffahrtsverkehr und Einbaubedingungen geklärt.

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, gesellschaftsfähige Handlungsoptionen 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 Mitarbeit 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 richtungsweisende Entscheidungen.

Einblick

Mit diesem Tätigkeitsbericht geben wir Ihnen einen Einblick in die umfassenden Aktivitäten des CAE im Jahr 2024, welche mit dem großen Engagement aller Mitarbeitenden erfolgreich bewältigt werden konnten. Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von thermischen Kryo-Isolationen im Hochvakuum bei tiefkalten Temperaturen bis zur Verdampfungstemperatur von Flüssig-Helium.

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

Diplom-Meteorologe Karsten Schwanke im Interview mit dem Vorstand des CAE, Hans-Peter Ebert und Jürgen Hartmann

Karsten Schwanke ist ein renommierter Meteorologe und Wissenschaftsjournalist, der seit vielen Jahren die Wechselwirkungen zwischen Wetter und Klima analysiert. Als Experte für Extremwetterereignisse und deren langfristige Folgen beschäftigt er sich intensiv mit der Frage, wie sich klimatische Veränderungen auf unsere Infrastruktur, Wirtschaft und Gesellschaft auswirken. Besonders im Fokus seiner Arbeit steht die Rolle der erneuerbaren Energien in einer zunehmend wetterabhängigen Energieversorgung. Mit fundiertem Fachwissen und klarem Blick für die Praxis vermittelt er komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge auf verständliche Weise und bringt entscheidende Akteure aus Forschung, Politik und Wirtschaft ins Gespräch. Im Rahmen dieses Austausches richtet Karsten Schwanke sieben gezielte Fragen an den Vorstand des CAE. Eine Diskussion, die wichtige Perspektiven zusammenführt und entscheidende Fragen zur Zukunft der Energie beleuchtet, aber auch die besondere Rolle des CAE hinterfragt.

Der Austausch fand Anfang März 2025 statt.

Herr Schwanke: Deutschland ist auf dem Weg, die Stromproduktion komplett durch EE zu realisieren. Wo sind für die Zukunft die größten Effizienzsprünge denkbar? Und wie trägt das CAE dazu bei?

Vorstand: Es geht also um die Frage, wie es gelingt, mit möglichst wenig Primärenergieeinsatz (der sollte dann zu nahe 100 % aus Erneuerbare Energien (EE) stammen) unseren Energiebedarf zu decken, d.h. letztendlich wie effizient ist unser Energiesystem, wobei Strom die Hauptlast auch im Bereich der Wärmeerzeugung, zu tragen haben wird. Strom muss dann trotz fluktuierendem Angebot der einzelnen regenerativen Quellen (Wind, Sonne) jederzeit ausreichend verfügbar sein. Wichtig ist dabei neben dem Ausbau der EE gleichzeitig auch den Primärenergiebedarf signifikant zu reduzieren. Hier sind die größten Effizienzsprünge durch den Einsatz von Wärmepumpen und elektrischen Antrieben, speziell im Verkehrssektor, zu erreichen. Dadurch ließe sich der Primärenergiebedarf um etwa einen Faktor 3 reduzieren. Größere technologische Effizienzsprünge sind vor allem im Bereich der Stromspeicherung, insbesondere der Batterietechnik und der Systemintegration und -steuerung der einzelnen Komponenten eines Stromenergiesystems zu erwarten. Innovative Materialansätze, wie z.B. die Hochtemperatur Natrium-Ionen Batterien, organische Solid-Flow-Batterien oder All-Solid-State Batterien, bieten in unterschiedlichen Anwendungsbereichen große Chancen – durch Verzicht auf das teure Lithium, die erhöhte Sicherheit und teilweise auch höhere Effizienz und geringere Verluste. Zukünftige intelligente Steuerung und Regelungen in allen Ebenen unseres Energiesystems, vom Gebäude oder der Fabrikhalle bis hin zu den großen nationalen und internationalen Stromnetzen, optimieren das Zusammenspiel von Erzeugeranlagen, Speichern, Verteilernetzen und Verbraucher – auch und gerade in Verbindung mit KI-Technologien. Damit werden Überkapazitäten vermieden bzw. synergetisch genutzt, höhere Netzsicherheiten erzeugt und damit die Effizienz verbessert.

Das CAE ist dabei im Bereich des thermischen Managements von Batterien aktiv, d.h. z.B. durch den Einsatz von innovativen steuerbaren „Verpackungen“, welche die einzelnen Batteriezellen in einem optimalen Temperaturfenster halten. Das steigert die Energieeffizienz, die Haltbarkeit und die Sicherheit der Batterien. Andere FuE-Aktivitäten des CAE zielen darauf ab, schnelle hochleistungsfähige Kurzzeitstromspeicher, sogenannte Supercaps, zu entwickeln, die im Zusammenspiel mit Batterien schnelle Schwankungen im Stromangebot (z.B. Wolkendurchgang bei Solarzellen oder Beschleunigungen bei Elektrofahrzeugen) ausgleichen können und die Effizienz und Lebensdauer des Gesamtspeichersystems erhöhen. Im Bereich der Systemsteuerung und -integration forschen wir auf der Gebäude- und Quartiersebene an Lösungen zur optimalen Integration in das angebundene Energiesystem. Forschungspunkte sind hier der Einsatz von Künstlicher Intelligenz und die Entwicklung sektorenübergreifender Energiekonzepte, d.h. beispielsweise die Nutzung von Großbatterien für Produktionsstandorte und gleichzeitig als netzstabilisierende Komponente. Zu Zeiten der Überkapazität kann auch die wenig effiziente Speicherung von regenerativ erzeugtem Strom durch Wasserstoff einen sinnvollen Beitrag leisten. Im Bereich der Wasserstoff-Forschung betreibt das CAE ein Wasserstoff-Labor in dem die relevanten thermo-physikalischen Materialdaten von Wasserstoff und die Wechselwirkung von Wasserstoff mit den Materialien der Wasserstoffspeicher praxisrelevant untersucht werden.

Herr Schwanke: Bleiben wir bei der Energietransformation und schauen wir auf ein vollumfassendes Smart Grid, das wir in Deutschland anstreben, aber bei dessen Umsetzung wir aus meiner Sicht nicht schnell genug vorankommen. Was sind die größten Hürden und die größten Chancen auf dem Weg dorthin?

Vorstand: Die größten Hürden liegen hier unseres Erachtens in der Vielzahl der vorhandenen einschränkenden staatlichen Regularien des zugegebenermaßen sehr komplexen Sachverhalts. Technisch geht es darum, Strom aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht zeitlich optimal zu nutzen und vorhandene Erzeugeranlagen und Speicherkapazitäten – zentral und insbesondere auch dezentral, z.B. die Batterien von Elektrofahrzeugen – umfänglich interaktiv in das Netz einzubinden. Technisch ist das ein lösbares Problem bzw. kein Problem, da die notwendigen Technologien bereits existieren. Notwendig ist aber das vollumfängliche Ausrollen von intelligenten Strom- bzw. Energiezählern, Energiemanagementsystemen in Gebäuden und auch neue Geschäftsmodelle. D.h., Verbraucher sollten angeben können, ich brauche meine gewaschene oder trockene Wäsche oder mein geladenes E-Auto bis spätestens x Uhr. Das intelligente Managementsystem sorgt dann in einem Smart Grid dafür, dass zu den günstigsten Zeiten die notwendigen Aufgaben verrichtet werden. Gleichzeitig stellt die steigende Anzahl von E-Autos einen großen dezentralen Stromspeicher dar, der das Netz stabilisieren könnte. Natürlich muss dann geklärt werden, wie Investitionen und eingespeiste bzw. bezogene Strommengen und bereitgestellte Speicherkapazitäten aufgerechnet bzw. vergütet werden. Dazu sind sicherlich noch umfangreiche Aufklärungsarbeit und wahrscheinlich auch finanzielle bzw. steuerliche Anreize notwendig, um dies bei Verbrauchern umzusetzen. Hier ist ja immer die Frage, was habe ich persönlich davon. Die Chance, die man sich aber eröffnet, ist ein insgesamt stabileres, resilienteres Netz und in der Summe signifikant niedrigere Kosten für die gesamte Volkswirtschaft Deutschland. Wünschenswert ist aber ein transparentes und einheitliches Vorgehen, das insbesondere auch den Nutzen für den Einzelnen vermittelt. Der Gesetzgeber hat bereits beschlossen, dass SmartMeter bis 2032 herkömmliche Stromzähler ersetzen sollen – es wäre aber essenziell, hier deutlich schneller voranzukommen.

Herr Schwanke: Eine Wetterfrage muss natürlich sein. Sie arbeiten in Ihren Forschungsprojekten bestimmt auch mit Wetterdaten und Wetterprognosen. Wie wichtig sind diese Daten und an welchen Stellen würden Sie sich verbesserte Wetterprognosen wünschen?

Vorstand: In unseren innovativen Energiekonzepten für Gebäude – gerade auch in unserem Energy Efficiency Center (EEC), aber auch für Quartiere – spielen Wetterdaten und Prognosen eine große Rolle. Durch zuverlässige und aktuelle Wetterdaten ist es möglich, zukünftigen Heiz- und Kühlbedarf genau vorherzusagen und so Wärme und Kälte bedarfsgerecht und hocheffizient bereitzustellen. Wärme- und Kältespeicher spielen hier dann eine sehr wichtige Rolle. In unserem eigenen Institutsgebäude, dem EEC, nutzen wir z.B. eine Dreitage-Wetterprognose des Deutschen Wetterdienstes (DWD), um unsere Kältespeicher optimal zu betreiben oder um überschüssige Wärme gezielt im Gebäude einzusetzen oder vorzeitig wegzulüften. Das ist bei stabilen Wetterlagen im Sommer oder Winter nicht wirklich spannend, aber es wird sehr interessant in Jahresübergangszeiten und bei Wechsellagen. Im Quartiersbereich kommt noch ein anderer Aspekt dazu. Wir als CAE nutzen in Forschungsansätzen große Wasserspeicher gleichzeitig auch als Energiespeicher und zur Bewässerung von Gebäudebegrünungen. Gleichzeitig dienen diese dem Regenwassermanagement und hier kommt zuverlässigen Kurzvorhersagen (im Stundenbereich) eine besondere Bedeutung zu. Solche Regenwasserspeicher können dann zum Abpuffern von größeren Regenmengen dienen, wenn man sie vorher gezielt ablaufen lassen kann – Stichwort Schwammstadt - um so katastrophale Überschwemmungen zu vermeiden. Aber es ist uns als Physiker auch klar, dass bei Extremwetterlagen eine hohe Wetterdynamik vorliegt und eine Vorhersagbarkeit z.B. mit einem Vorlauf von einer Stunde und mehr noch extrem schwierig ist. Es wäre natürlich teuer, wenn man den Wasser-/Energiespeicher gezielt leer pumpt und dieser dann nicht zeitnah wieder aufgefüllt wird.

Herr Schwanke: Deutschland war vor rund 20 Jahren Weltmarktführer in der PV-Forschung und -Produktion. Auch bei der Windenergie spielte Deutschland Anfang der 2000er-Jahre eine wichtige Rolle. In beiden Bereichen sind die Arbeitsplätze abgewandert – vor allem nach China. In welchen Segmenten könnte Deutschland in Zukunft zur Weltspitze zurückkehren?

Vorstand: Sicherlich ist dies beispielhaft bei der Batteriebranche der Fall. Aber wir sind hier keine ausgesprochenen Batteriespezialisten. Deutschland zählte hier in der Vergangenheit zur Weltspitze und hat, nachdem die Forschungsaktivitäten lange Zeit heruntergefahren waren, erst in den letzten Jahren wieder massiv in Forschung und Entwicklung investiert, um wieder dazuzugehören. Das macht ja auch Sinn, Deutschland benötigt leistungsfähige und nachhaltige Stromspeicher im Automobilsektor und in vielen anderen Bereichen unseres Energiesystems. Dazu benötigt man eine entsprechende Forschungsinfrastruktur, die zum einen an den wichtigen Themen forscht, aber auch den wissenschaftlichen Nachwuchs für die Industrie praxisnah ausbildet, und das auf hohem internationalem Niveau. Aus unserer Sicht kann Deutschland insbesondere bei der Systementwicklung eine führende Rolle einnehmen. Zum Beispiel wie ‚verpackt' und integriert man die Batterien in Systeme, sodass sie besonders sicher und wirtschaftlich arbeiten. Hier wird an neuen Funktionsmaterialien, thermisch aktiven Systemkomponenten und innovativen Steuer- und Regelungssystemen geforscht – auch ein Gebiet, in dem das CAE sehr aktiv mitmischt. In dem von Ihnen erwähnten PV-Bereich werden z.B. neue Materialkonzepte erforscht und entwickelt, die es ermöglichen, kostengünstig PV-Systeme auf Standarddruckmaschinen zu drucken. So gibt es viele Beispiele, die durch neue FuE-Ansätze das Potenzial haben, der deutschen Industrie international eine führende Rolle zu ermöglichen. Ein Beispiel aus unserem Haus ist die Entwicklung multifunktionaler Fassadenelemente, die zukünftig eine hohe Effizienz im Gebäudebereich ermöglichen. Multifunktional bedeutet hier zum Beispiel die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme mit einem ultraschlankem Wandelement, das überdies noch hochwärmedämmend ist. Ein anderes Beispiel sind schaltbare Fassadenelemente, deren Transparenz oder Wärmedämmeigenschaften elektrisch geschalten werden können - was besonders spannend ist. Damit kann sich ein Gebäude aktiv optimal an die aktuellen Wetterbedingungen anpassen.

Herr Schwanke: Viele Fördervorhaben werden über Jahre finanziert und durchgeführt. Gerade bei der Entwicklung von smarten Komponenten zur Steuerung von Stromnetzen und zur ultraschnellen Speicherung von Energie kommt es aber darauf an, die Lösungen schnell in den Markt zu bringen. – Inwieweit müsste sich die Förderung von Forschungsvorhaben ändern, um Entwicklungsprozesse zu beschleunigen?

Vorstand: Man muss das gar nicht auf die von Ihnen genannten Beispiele beschränken. Mehr Geschwindigkeit ist in vielen Forschungsbereichen wichtig. Wir sind aber nicht der Ansicht, dass sich die Förderpraxis im Energiebereich, z.B. bezogen auf das derzeitige Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, ändern muss, um Ideen schneller in den Markt zu bekommen. Forschung und Entwicklung benötigen ihre Zeit und nicht alles ist hier planbar. Wichtig finden wir aber die engere Verzahnung von Innovationsketten. Wir stellen das immer wieder aus der eigenen Praxis fest. Dort, wo wir sehr schnell sind, stehen wir sozusagen mit einem Bein in den Grundlagen und dem anderen in der konkreten Anwendung und decken alle dazwischenliegenden Entwicklungsstufen mit unseren FuE-Arbeiten ab – immer in enger Abstimmung mit unseren Forschungspartnern, die maßgeblich aus der Industrie kommen. Damit können wir teilweise die ganze Entwicklungskette - bildlich gesprochen - stauchen. Aber es ist ganz klar auch ein Ressourcenthema.

Kürzungen von Forschungsmitteln oder andere schnell wechselnde, politisch induzierte Priorisierungen können zum Abbruch von Entwicklungsketten führen. Unsichere Haushaltssituationen, wie es gerade in diesem Jahr der Bundestagswahl der Fall ist, sind für Forschungsinstitute - wie unser CAE - nur sehr schwer zu verkraften, da wir überwiegend oder ganz auf frei eingeworbene Forschungsgelder angewiesen sind. Dies führt im schlimmsten Fall zu einem Abbau von Knowhow in den Instituten, sprich wissenschaftliches Personal muss entlassen werden, das dann mühsam wieder aufgebaut werden muss. Geschwindigkeit erreicht man durch die Fokussierung auf die Sache, den Einsatz von erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die wissen, wie die Industrie tickt, und der umfänglichen Einbindung der Industrie und der Anwender. Letzteres ist besonders wichtig, um dann die Produkte auch mit hoher Akzeptanz und schnell auf dem Markt platzieren zu können.

Herr Schwanke: Was war für Sie persönlich die bedeutendste Entwicklung der letzten Jahre im CAE – und weltweit?

Vorstand: Das waren für uns ganz klar die Entwicklungen auf dem Gebiet der thermischen Hochleistungswärmedämmungen. Diese Effizienztechnologie befindet sich immer noch für unterschiedliche Anwendungsfelder in der Forschung und Entwicklung. Vakuumisolationspaneele, sogenannte VIPs, werden heutzutage weltweit produziert, zu allererst von unserer damaligen Ausgründung va-Q-tec, und sind jetzt auch weltweit im Einsatz, z.B. in Kühlgeräten der höchsten Effizienzklassen, im Bereich der Altbausanierung oder im Logistikbereich. Wussten Sie, dass ein Großteil aller weltweit eingesetzten Corona-Impfstoff-Transportbehälter mit diesen VIPs ausgerüstet waren? Im Bereich der Hochtemperaturdämmungen setzten wir mit unseren entwickelten Kohlenstoff-Aerogelen ebenfalls neue Maßstäbe. Potenzielle Einsatzgebiete hierfür sind die Raumfahrt und Hochtemperaturprozessöfen.

Weltweit eine Entwicklung für uns herauszuheben fällt uns schwer, da wir als technologiebegeisterte Menschen viele herausragende Entwicklungen in den letzten Jahren sehen. Sicherlich zählt aber darunter die Entwicklung der Photovoltaik. Hier wurde eine dezentrale Technologie entwickelt, die weltweit wirtschaftlich eingesetzt wird und wesentlicher Bestandteil vieler nationaler Energiesysteme ist. Dazu hat es viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit benötigt, die, sie hatten es auch schon angedeutet, viel in Deutschland geleistet wurde. Eine besondere Chance für die Zukunft bietet hier auch die KI. Zwar wird die KI in keinster Weise unsere Forschungsarbeiten in der Materialuntersuchung und -entwicklung ersetzen, allerdings birgt die KI ungeahnte Möglichkeiten, durch effiziente Kombination unserer Materialdaten und Komponentenentwicklung die bestmögliche Kombination zu bestimmen und sie kann gegebenenfalls auch innovative Vorschläge für zukünftige Materialforschung geben.

Herr Schwanke: Wo sehen Sie das CAE im Jahre 2030?

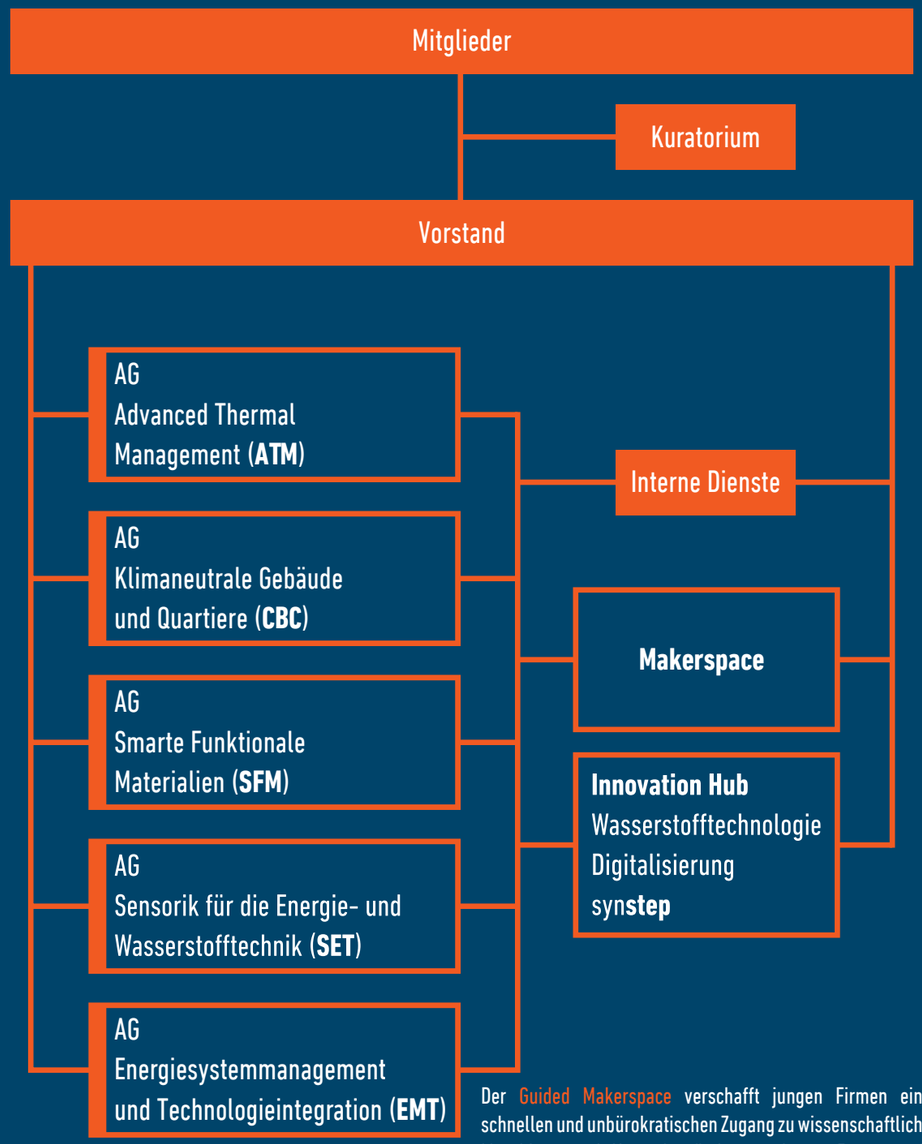
Vorstand: Das ist ja schon in 5 Jahren! Nun, natürlich sehen wir ein thematisch gewachsenes, nachhaltig etabliertes CAE, das sich den immer neuen Herausforderungen der fortschreitenden Energiewende stellt - mit einer stabilen Finanzierung, das an Sichtbarkeit und Bedeutung gewonnen hat. Das wird erreicht, indem man relevante Forschung betreibt und diese mit Erfolg auch in die Praxis mit Partnern transferieren kann. Dabei gilt es, wissenschaftlich am Ball zu bleiben und auch kontinuierlich neue Forschungsbereiche zu erkennen und zu etablieren.

Ein anderer Punkt ist die Sichtbarkeit. In den Vorgesprächen zu diesem Interview hatten Sie erwähnt, dass Sie als Wissenschaftsjournalist bisher noch nichts von unserem Institut gewusst haben. Nicht dass wir damit gerechnet hatten, gefreut hätte es uns natürlich schon. Nein, Öffentlichkeitsarbeit bei knappen Haushaltsmitteln ist herausfordernd und die Darstellung unserer Forschungsergebnisse in der Öffentlichkeit durch unterschiedliche Medien – insbesondere auch Social Media - ist eine wichtige und kontinuierliche Aufgabe, die wir seit zwei Jahren intensiv betreiben, aber sicher noch verstärken müssen. Generell ist es eine wichtige und lohnende Aufgabe, Wissenschaft und deren Ergebnisse sowie Nutzen in die Gesellschaft zu tragen und deren Relevanz für die Gesellschaft aufzuzeigen. Da leisten Sie, Herr Schwanke, auch einen wichtigen Beitrag. In dem Zusammenhang hätten wir abschließend auch eine Frage an Sie: Sie nehmen sich als Wissenschaftsjournalist vielen spannenden Themen der aktuellen Forschung an. Bei Ihrer Themenwahl spielt sicherlich auch das öffentliche Interesse eine große Rolle. Stellen Sie in diesem Zusammenhang mit der Zeit eine Veränderung in der Wahrnehmung der Energieforschung oder Energiethemen in Politik und Gesellschaft fest?

Herr Schwanke: Zunächst einmal: Ich verstehe sehr gut, dass eine gute Öffentlichkeitsarbeit nicht vom Himmel fällt und in der Tat auch aufwendig sein kann. Ich möchte Sie aber ermuntern, diesen Punkt ernst zu nehmen und größer zu denken. Denn gerade in der öffentlichen Wahrnehmung und der politischen Diskussion zur Energietransformation geht vieles drunter und drüber. Das Detailwissen fehlt auch in vielen journalistischen Redaktionen. Umso wichtiger ist es, dass sich kompetente Stimmen wie aus dem CAE zu Wort melden, aufklären und Missverständnisse aus dem Weg räumen. Und damit bin ich schon bei Ihrer Frage: Der Diskurs rund um Energiethemen, auch zur Forschung, hat sich in den letzten Jahren in der Tat verändert, denn die Energiewende ist für jeden spürbar, kostet auch Geld und sie wirft Fragen auf. Daher interessieren sich immer mehr Menschen für diesen Themenkomplex. Nur mal um einige Punkte zu nennen: Batterieforschung, regionale Strompreiszonen, kleine, effiziente Energiespeicher im Eigenheim oder das Smart Home. Das alles sind Themen, die immer mehr Menschen geläufig sind und zu denen sie Antworten erwarten. Dahinter stecken auch Chancen für die Zukunft des CAE, denn Sie arbeiten ja an ganz vielen dieser Themen. Ich wünsche Ihnen dafür viel Erfolg!

Vorstand: Herr Schwanke, wir bedanken uns für die wirklich sehr guten Fragen, deren Beantwortung uns an einigen Stellen ganz schön ins Grübeln gebracht hat. Viele Aspekte können in diesem Format nur stark verkürzt, vereinfacht oder beispielhaft dargestellt werden. Wir hoffen aber dennoch, dass Sie mit unseren Antworten auch neue Ansichten und Ideen für Ihre journalistische Arbeit gewonnen haben. Vielen herzlichen Dank für Ihr Interesse und Ihre Zeit.

Organigramm



Der Innovation Hub „Wasserstofftechnologie“ verknüpft die Disziplinen der einzelnen Forschergruppen des CAE und stellt sich mit seiner Interdisziplinarität den zahlreichen Fragestellungen, die von Materialforschung, thermisches Management bis hin zu systemischen Untersuchungen im Energiesystem reichen. 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 Guided Makerspace verschafft jungen Firmen einen schnellen und unbürokratischen Zugang zu wissenschaftlichen Maschinen und Versuchsständen sowie zu Experten des Bereichs. Die Integration eines Guided Makerspace fördert damit Unternehmensgründungen durch die Möglichkeit der integrativen Kooperation mit den etablierten Arbeitsgruppen. Das CAE ist Partner des esa buisness incubation centre Bavaria.

synstep steht für eine interdisziplinäre Nachhaltigkeitsberatung. Unter diesem Akronym bietet das CAE in Kooperation mit dem renommierten Architekturbüro LangHuggerRampp und den Kommunikationsexperten von ediundsepp ein Komplettpaket für eine hoch-innovative Nachhaltigkeitsberatung aus einer Hand an. Wir entwickeln hier individuelle, nicht standardisierte und umfassende Konzepte und Strategien für eine nachhaltigere Zukunft im Gebäude- und Quartiersbereich.
Weitere Infos unter: www.synstep.net

Mitglieder

Ehrenmitglied
- Prof. Dr. Jochen Fricke

Natürliche Personen
- Dr. Harald Mehling
- Dipl.-Ing. Marco Portula

Unternehmen
- Bauunternehmung Glöckle Holding GmbH, Schweinfurt
- 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)
- 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

Gemeinschaftliches Vorangehen
CAE ist Mitglied wichtiger Forschungsgemeinschaften und Allianzen

Synergien schaffen
Stärkung des Forschungsstandortes Würzburg durch eine einzigartige trilaterale Kooperation

ZAHLEN UND FAKTEN

150 Projekte

3,3 Mio. Euro Jahresumsatz
(vorläufig)

50 Mitarbeitende

566 Veröffentlichungen
(insgesamt)

144 Kooperationen

Eine Heizvorrichtung, mit der Materialveränderungen unter Temperatureinfluss (bis 1500 °C) direkt im Rasterelektronenmikroskop sichtbar gemacht werden können.

Öffentlich geförderte Forschungsprojekte

Das CAE war 2024 in 19 öffentlich geförderten Verbundforschungsvorhaben aktiv, darunter vier EU-geförderte Forschungsprojekte. Von den 15 nationalen Vorhaben wurden acht Vorhaben mit einem Gesamtprojektvolumen von rund 15 Mio. Euro durch das CAE koordiniert.

Öffentliche Fördergeber waren:

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (BayStMWi)
- Bayerische Forschungsstiftung (BayFS)
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Europäische Union (EU)
- Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)

Das CAE kooperierte für die hier genannten Projekte mit insgesamt über 100 Partnern aus Forschung und Industrie – national wie international.

BIMPV
Retrospektiver BIM-Ansatz zur lebenszyklusorientierten Integration von BIPV-Systemen in der Gebäudehülle - Teilvorhaben: Gebäudesimulation und Charakterisierung von Prototypen, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1010C

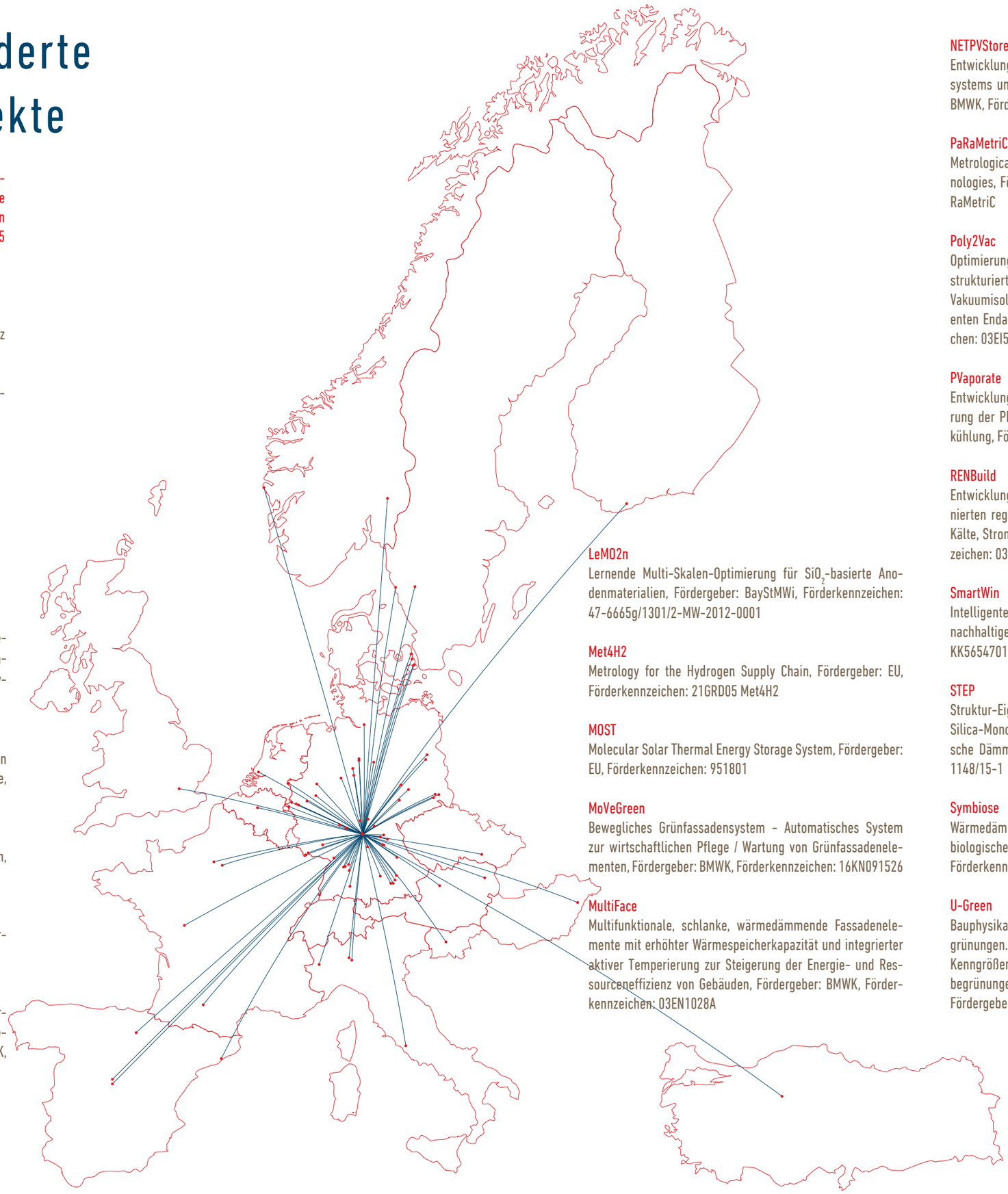
Ela
DATIPilot - Sprint - Ela: Energiespar-Lasur mit stabilisierten Silbernanodrähten für transparente low-e Wandanstriche, Fördergeber: BMBF, Förderkennzeichen: 03DPS1208A

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

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

KICk-StARtER-G
KI-basierter Controller zur komfort-basierten Steuerung thermischer Anlagen und Regelkreise zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 01IS23003B

• Standorte von Forschungseinrichtungen und Unternehmen, mit denen das CAE 2024 in öffentlich geförderten Verbundforschungsprojekten kooperierte.



LeMO2n
Lernende Multi-Skalen-Optimierung für SiO_2-basierte Anodenmaterialien, Fördergeber: BayStMWi, Förderkennzeichen: 47-6665g/1301/2-MW-2012-0001

Met4H2
Metrology for the Hydrogen Supply Chain, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD05 Met4H2

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

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

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

PaRaMetriC
Metrological Framework for Passive Radiative Cooling Technologies, Fördergeber: EU, Förderkennzeichen: 21GRD03 PaRaMetriC

Poly2Vac
Optimierung der Dämmwirkung und Verarbeitbarkeit nanostrukturierter Polymerschäume zur Anwendung in Vakuumisolationspaneelen für ressourcen- und klimaeffizienten Endanwendungen, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EI5017A

PVaporate
Entwicklung einer innovativen Materialmatrix zur Verbesserung der Photovoltaik-Effizienz durch gezielte Evaporationskühlung, Fördergeber: DBU

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

SmartWin
Intelligente Fenster zur Sonnen- und Tageslichtsteuerung in nachhaltigen Gebäuden, Fördergeber: ZIM, Förderkennzeichen: KK5654701LT4

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

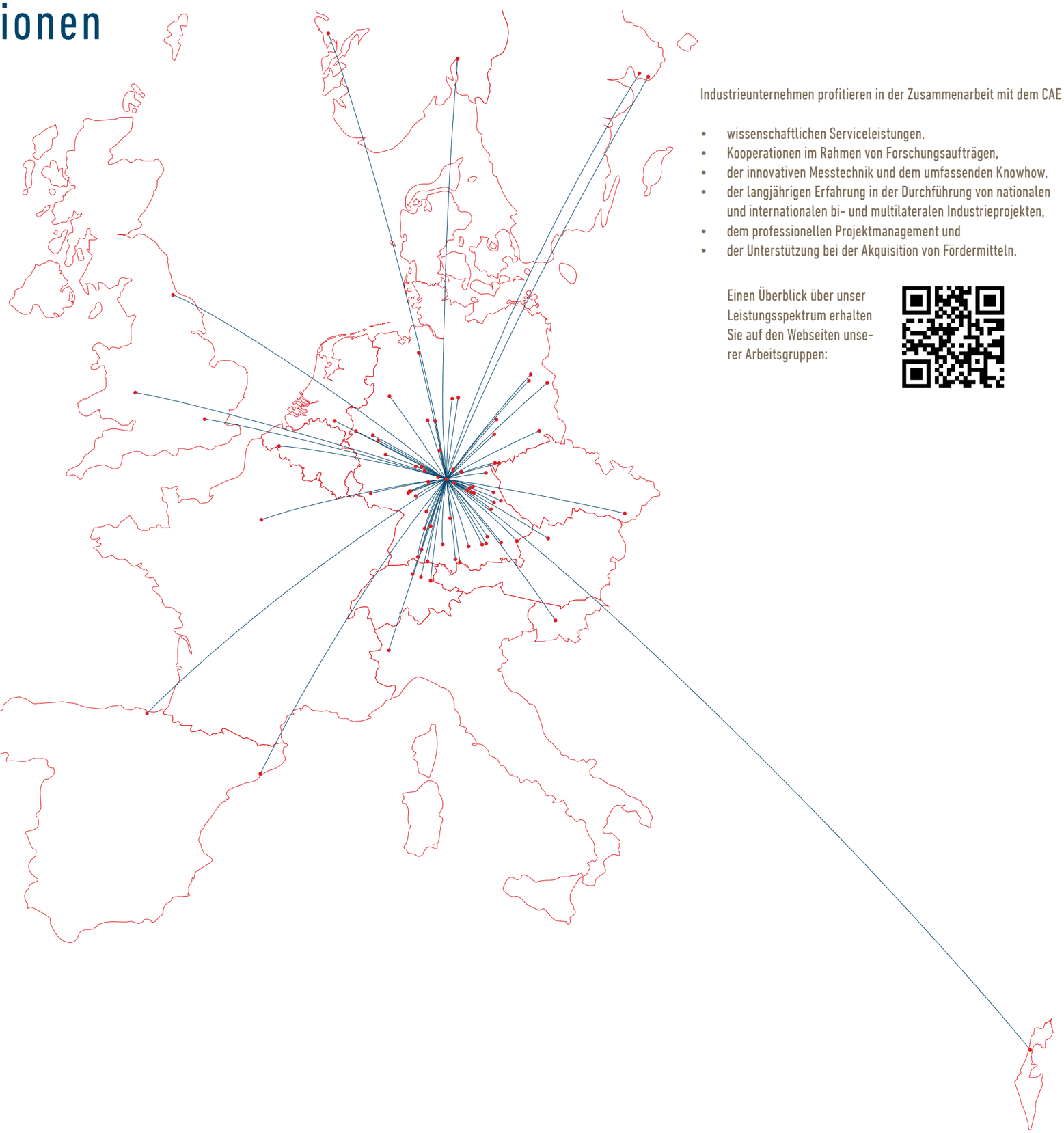
Symbiose
Wärmedämmendes System aus mineralischem Material mit biologischem Bewuchs selbstversorgend, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03ENM1001

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

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 kommen Unternehmen aller Größenklassen zu Gute.

130 Projekte



• Standorte von Unternehmen, mit denen das CAE 2024 in nicht öffentlich geförderten Projekten kooperierte oder für diese Auftragsforschung durchführte bzw. wissenschaftliche Serviceleistung erbracht hat.

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:

FORSCHUNGS-HIGHLIGHTS

Hochsteife superisolierende Aerogelstützen für teilgestützte Verglasungen mit Konvektionsunterdrückung durch Unterdruck.

Exakte Daten für Forschung und Markt

Das CAE besitzt eine über viele Jahre aufgebaute einzigartige thermophysikalische Expertise, die von besonderer Bedeutung für den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland ist. Die vorhandenen Messeinrichtungen und das etablierte Know-how sind auch im internationalen Maßstab von besonderer Qualität. So ist das CAE derzeit in zwei europäischen Forschungsprojekten PaRaMetriC und MET4H2 unter der Federführung der europäischen metrologischen Staatsinstitute eingebunden, um deren Expertise komplementär zu ergänzen. Dort werden u. a. messtechnische Verfahren zur Bewertung von Materialien zur passiven Strahlungskühlung entwickelt und evaluiert. In der Abbildung auf Seite 23 sind Ergebnisse aus einem Außenteststand gezeigt, bei denen die resultierenden Temperaturen gut mit den spektrometrisch ermittelten Kenngrößen der Oberflächen, wie solarer Absorptionsgrad α_{solar} und hemisphärischer Emissionsgrad ε_h, korrelieren. Außerdem unterstützte das CAE in umfangreichen Messkampagnen aktuell und in der Vergangenheit die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin und das renommierte belgische von Karman Institute for Fluid Dynamics. Gleichzeitig initiierte das CAE auf Anregung der Industrie und der Physikalisch Technischen Bundesanstalt einen Ringvergleich zur Bestimmung der Wärmekapazität von Wärmeträgerflüssigkeiten, um vorhandene Fragestellungen in Bezug auf die Zuverlässigkeit von Wärmemengenmessungen zu klären. Aktuell beteiligt sich das CAE auf Anfrage an einem internationalen Ringvergleich im Rahmen der Neufassung einer international etablierten ASTM-Norm zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit mittels des Laserflash-Verfahrens.

Gerade zu den letztgenannten Punkten ist anzumerken, dass nationale und internationale Ringvergleiche sowie Standards essenzielle Bausteine für Forschung und Wirtschaft sind, da sie einheitliche Grundlagen für Qualitätssicherung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit schaffen. Diese Maßnahmen erzeugen Vertrauen, fördern den Technologietransfer und tragen zur Nachhaltigkeit bei, indem sie die effiziente Entwicklung innovativer und ressourcenschonender Lösungen vorantreiben. Dieses Zusammenspiel ist entscheidend, um globale Herausforderungen zu meistern und langfristig erfolgreich zu bleiben.

Wissenschaftliche Serviceleistungen

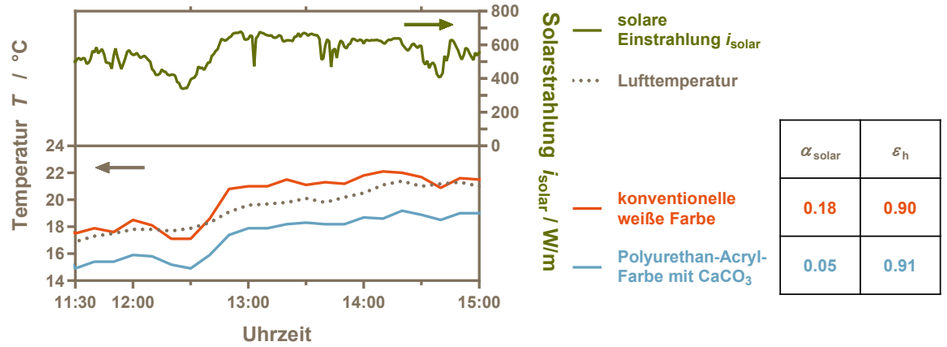
Das CAE bietet hochgenaue und rückführbare Messungen zur Bestimmung aller relevanten thermophysikalischen Eigenschaften in einem weiten Parameterbereich (z. B. Temperatur von 15 K bis 3200 K und Druck von 10^{-6} bis 100 bar) an. Dies wird ergänzt durch thermische und infrarot-optische Modellierungen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

Projekte

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

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

Pulskalorimetrie: thermophysikalische Messungen bei extrem hohen Temperaturen.



α_{solar}	ε_h
0.18	0.90
0.05	0.91

Im EU-Forschungsprojekt PaRaMetriC werden Messmethoden zur Charakterisierung und Bewertung von Materialien und Oberflächen zur passiven Strahlungskühlung entwickelt und validiert. In Folge des Anstiegs der globalen Temperaturen aufgrund des anthropologischen Klimawandels wird u. a. eine drastische Steigerung des weltweiten Energieverbrauchs zur Raumkühlung in Wohn- und Geschäftsgebäuden prognostiziert. Die passive Strahlungskühlung bietet hierbei die Möglichkeit, Kühlenergie ohne oder mit äußerst geringem Einsatz von Primärenergie zur Verfügung zu stellen, indem einerseits die einfallende Sonnenstrahlung reflektiert und andererseits die langwellige Wärmestrahlung durch das vorhandene atmosphärische Infrarotfenster ins Weltall abgestrahlt wird. Damit wird sowohl ein Aufheizen des Materials verhindert als auch eine Wärmeabgabe ermöglicht, wodurch eine effiziente Kühlung realisiert wird.
Die Abbildung zeigt die Oberflächentemperaturen einer im Rahmen des Projektes am CAE optimierten Beschichtung (Polyurethan-Acryl-Farbe mit Calziumcarbonat) im Vergleich zu einer konventionellen weißen Farbe zusammen mit der solaren Einstrahlung während der Messung. Die durchgehende Unterkühlung der optimierten Beschichtung unter die Umgebungstemperatur im Gegensatz zur Beschichtung mit der konventionellen weißen Farbe ist deutlich erkennbar und korreliert mit den ermittelten infrarot-optischen Kenngrößen solarer Absorptionsgrad α_{solar} und hemisphärischer Emissionsgrad ε_h beider Beschichtungen.

Gremientätigkeiten

M. Brütting, Vertreter des CAE in der RAL Gütegemeinschaft PCM e.V.

H. P. Ebert, Mitglied Board of Governors der International Thermal Conductivity Conference (ITCC)

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

H. P. Ebert, Mitglied International Organizing Committee European Conference on Thermophysical Properties (ECTP)

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

J. Manara, Mitglied im International Advisory Board IR-EMPOWER Workshop on Infrared Emissivity Measurements

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

Publikationen

T. Becker, T. Stark, M. Arduini, J. Manara. S. J. Altenburg, Knowing the spectral directional emissivity of 316L and AlSi10Mg PBF-LB/M surfaces: gamechanger for quantitative in situ monitoring, Progress in Additive Manufacturing 9, 2024, 695–704, DOI: 10.1007/s40964-024-00665-2

B. Helber, F. Torres-Herrador, A. Turchi, T. E. Magin, O. Chazot, A. Denis, C. Zuber, T. Reimer, G. Pintsuk, G. Pinaud, P. M. Congedo, F. Hemberger, S. Vidi, D. Girolamo, RECHAR: Assessment of Reliable Material Characterisation Methods for Charring Ablators, 2nd International Conference on Flight Vehicles, Aerothermodynamics and Re-entry Missions & Engineering (FAR), Heilbronn, Germany, 19 - 23 June 2022

G. L. Lio, J. Werlé, M. Arduini, D. S. Wiersma, J. Manara, L. Pattelli
Radiative Cooling Potential of a Water-Based Paint Formulation under Realistic Application Conditions, ACS Applied Optical Materials 2 (12), 2024, 2459-2468, DOI: 10.1021/acsaom.4c00099

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 109, 2024, 569-579, DOI: 10.1007/s10971-023-06282-9

Strom der Zustimmung:
Akzeptanz als Basis für die Energiewende

Die Energiewende zählt zu den größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit und erfordert den Ausbau von Technologien wie Windkraft, Photovoltaik und Ladeinfrastruktur. Gleichzeitig müssen unterschiedliche Akteursinteressen, beispielsweise zwischen Mietern und Vermietern bei Sanierungsprojekten, in Einklang gebracht werden. Doch während die Mehrheit die Transformationsziele unterstützt, stoßen viele Projekte auf lokalen oder persönlichen Widerstand. Proteste, bürokratische Hürden und Konflikte über Gerechtigkeit und Beteiligung zeigen: Ohne Akzeptanz bleibt der Erfolg aus.

Forschungsergebnisse belegen, dass Akzeptanz durch eine gerechte Verteilung von Kosten und Nutzen, transparente Prozesse und frühzeitige Partizipation gefördert werden kann. Auch Glaubwürdigkeit und ein respektvoller Dialog sind zentrale Elemente. Der aktuelle rechtliche Rahmen bietet zwar Ansätze wie Bürgerbeteiligung und Kompensation, bleibt jedoch oft zu unverbindlich.

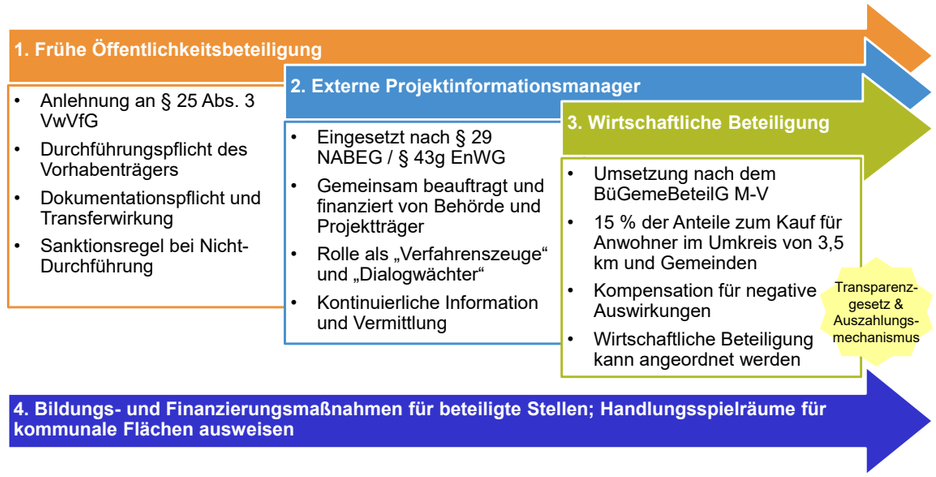
Um die Akzeptanz nachhaltig zu stärken, sind verbindliche und transparente Beteiligungsverfahren notwendig. Klare Kommunikationsstrategien, finanzielle Beteiligungsmodelle und gezielte regulatorische Anreize tragen dazu bei, Konflikte zu entschärfen und Vertrauen aufzubauen. Das CAE unterstützt diesen Prozess, indem es Hemmnisse bei verschiedenen Interessensgruppen mithilfe von Systemanalysen, Umfragestudien und Fokusgruppen identifiziert. Auf dieser Basis entwickelt das CAE umsetzbare Empfehlungen und ausgewogene Kompromisse, die den Interessen aller Beteiligten gerecht werden.

Das CAE analysiert und berechnet optimale Entscheidungswege für die Sanierung von Mehrfamiliengebäuden, wobei die Interessen von Mietern und Vermietern systematisch berücksichtigt werden, um gemeinsam tragfähige Fahrpläne zu entwickeln. Zudem identifiziert das CAE finanzielle und einstellungsbezogene Faktoren, die die Akzeptanz von Transformationsprojekten – beispielsweise Photovoltaikanlagen auf Einfamilienhäusern oder in Nachbarschaften – gezielt fördern können.

Die Energiewende braucht mehr als Technik – sie braucht Menschen, die sich gehört und eingebunden fühlen. Ein integrativer Ansatz, der wissenschaftliche Erkenntnisse in die Planung der Transformationsprozesse integriert, ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung.

Wissenschaftliche Serviceleistungen

Das CAE unterstützt die Förderung von Akzeptanz sowie die Bewertung von Zustimmungs- und Investitionsfaktoren im Kontext technologischer und gesellschaftlicher Transformationen. Zu den Serviceleistungen zählen die Entwicklung und Durchführung von Umfragen, die Moderation von Workshops und Fokusgruppeninterviews, um Einstellungen, Erwartungen und potenzielle Konfliktfelder zu analysieren. Ergänzend werden Datensätze ausgewertet, um relevante Einflussfaktoren zu identifizieren und fundierte Handlungsempfehlungen abzuleiten. Ziel ist es, Barrieren abzubauen, praxistaugliche Lösungen zu entwickeln und neue Technologien nachhaltig in bestehende Systeme zu integrieren.



Erweitertes „Drei-Phasen-Konzept“ in Anlehnung an C. Lorenz (Akzeptanzmodelle: eine rechtliche Analyse im Bereich erneuerbarer Energien, Mohr Siebeck, 1. Edition, 2022) zur Steigerung der Akzeptanz in Infrastrukturprojekten: Frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung, externes Projektinformationsmanagement, wirtschaftliche Beteiligung und Bildungsinitiativen zur Förderung von Transparenz und Akzeptanz.

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

Publikationen

K. Morrissey, F. Scheller, It takes a village: the role of community attributes in shaping solar photovoltaic adoption intention in Germany. Renewable Energy, 121542, 2024, DOI: 10.1016/j.renene.2024.121542

C. Domenig, F. Scheller, P. A. Gunkel, J. Hermann, C. M. Bergaentzlé, M. A. Lopes, J. Barnes, R. McKenna, Overcoming the landlord–tenant dilemma: A techno-economic assessment of collective self-consumption for European multi-family buildings. Energy Policy, 189, 114120, 2024, DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114120

B. Breitschopf, J. Keil, U. Burghard, F. Scheller, Forms of financial participation and acceptance of the energy transition-are there any relations?. Zeitschrift für Energiewirtschaft, 48(1), 38-57, 2024 DOI: 10.1007/s12398-024-1256-6

F. Scheller, A. Püttner, D. Thrän, J. Hildebrand, C. Rösch, Akzeptanz beschleunigt, Gesetze auch: Lenkt die Akzeptanzforschung überhaupt die Gesetze der Energiewende?, FVEE-Jahrestagung 2024, Berlin, Germany, 8.-9.10.2024

M. B. Siddique, D. Keles, F. Scheller, P. S. Nielsen, Dispatch strategies for large-scale heat pump based district heating under high renewable share and risk-aversion: A multistage stochastic optimization approach. Energy Economics, 107764, 2024, DOI: 10.1016/j.eneco.2024.107764

Intelligente Lösungen für Material- und Energieforschung

Künstliche Intelligenz (KI), neuronale Netze und Machine Learning sind Schlüsseltechnologien, die zunehmend in industriellen Anwendungen an Bedeutung gewinnen. Am CAE werden diese Methoden gezielt genutzt, um innovative Lösungen für aktuelle Herausforderungen in der Material- und Energieforschung zu entwickeln.

Ein zentraler Fokus liegt auf der Nutzung von Machine Learning zur Vorhersage von Materialeigenschaften. Durch gezieltes Training von Modellen mit umfangreichen Datensätzen aus der Materialanalytik können präzise Prognosen erstellt werden. Diese ermöglichen eine effizientere Steuerung von Produktionsprozessen sowie eine optimierte Qualitätskontrolle. Darüber hinaus tragen KI-gestützte Vorhersagen dazu bei, Entwicklungszeiten zu verkürzen und den experimentellen Aufwand erheblich zu reduzieren.
Auch im Bereich Recycling und Ressourceneffizienz eröffnet der Einsatz von KI neue Möglichkeiten. Durch die Kombination intelligenter Materialanalysen mit automatisierten Erkennungsverfahren lassen sich Verunreinigungen und Schadstoffe frühzeitig identifizieren. Dies trägt dazu bei, Stoffkreisläufe zu schließen und die Ressourcennutzung nachhaltiger und dabei weiterhin ökonomisch sinnvoll zu gestalten.

Ein weiteres bedeutendes Anwendungsfeld ist die Gebäude- und Regelungstechnik. Durch die Integration von KI-gestützten Prognosen zu Nutzerverhalten und Umweltfaktoren wie Wetterdaten können thermische Anlagen effizienter gesteuert und der Energieverbrauch in Gebäuden und Quartieren nachhaltig optimiert werden.
Mit diesen innovativen Ansätzen leistet das CAE zusammen mit seinen Forschungspartnern einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Entwicklung zukunftsweisender Materiallösungen, die den Herausforderungen einer nachhaltigen Industrie gerecht werden.

Wissenschaftliche Serviceleistungen

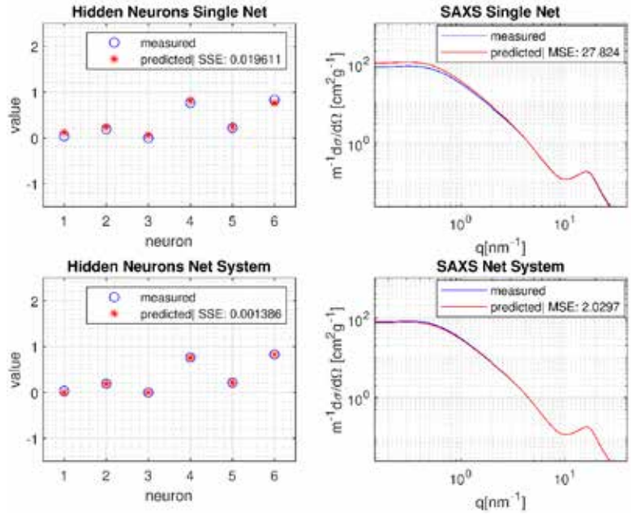
Das CAE entwickelt nanoporöse Funktionsmaterialien (organisch, anorganisch, hybrid) und unterstützt bei der Optimierung skalierbarer Herstellungsprozesse. Weiterer Fokus liegt auf der systematischen und umfassenden Charakterisierung von Materialeigenschaften (strukturell, thermisch, optisch, mechanisch, elektrochemisch). Dafür setzt das CAE auf etablierte sowie eigens entwickelte Analytik. Zudem können am CAE Materialeigenschaften auf verschiedenen Längenskalen modelliert werden, mit dem Ziel, Materialien für Anwendungen wie beispielsweise Wärmedämmung und elektrische Speicher zu optimieren.

Projekte

GIPSCycle – Ressourceneffiziente Recycling-Trockenbauplatten, Fördergeber Bay. StMUV, Förderkennzeichen: BAF01SoFo-80566

KICk-StARtER-G – KI-basierter Controller zur komfort-basierten Steuerung thermischer Anlagen und Regelkreise zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden, BMBF, Förderkennzeichen: 01IS23003B

LeMO2n – Lernende Multi-Skalen-Optimierung für SiO2 basierte Anodenmaterialien, Bay. StMWi, Förderkennzeichen: 47-6665g/1301/2-MW-2012-00019



Der im Projekt LeMO2n vorgestellte maschinelle Lernansatz mit neuronalen Netzen zielt darauf ab, Messkurven aus der Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS) von Silica-Aerogelen aus spezifischen Syntheseparametern vorherzusagen (siehe Abb. oben rechts und unten rechts). Dies dient der effizienten Optimierung der SiO_2-Matrix für die spätere Anwendung als Elektrodenmaterial in Batterieanwendungen.
Die Methode umfasst zwei Schritte: Zunächst wird ein Autoencoder mit minimaler Neuronenzahl (in diesem Fall 6 Neuronen) entwickelt. Anschließend wird ein Feed-Forward-Netz (FFD) trainiert, um aus Syntheseparametern die Werte der versteckten Neuronen vorherzusagen (siehe Abbildung oben links und unten links).
Die Abbildung zeigt den Vergleich der prognostizierten Messkurve mit der real gemessenen Kurve für ein einzelnes FFD (oben rechts) und ein System aus FFDs (unten rechts). Die Aufsplittung in das Netz-System zeigt eine nochmals verbesserte Prognose. Grafik entnommen aus P. Seitz et al., 2023.

Gremientätigkeit

F. Lotter, Mitglied International Aerogel Association

C. Scherdel, stellvertretender Vorstand International Aerogel Association

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

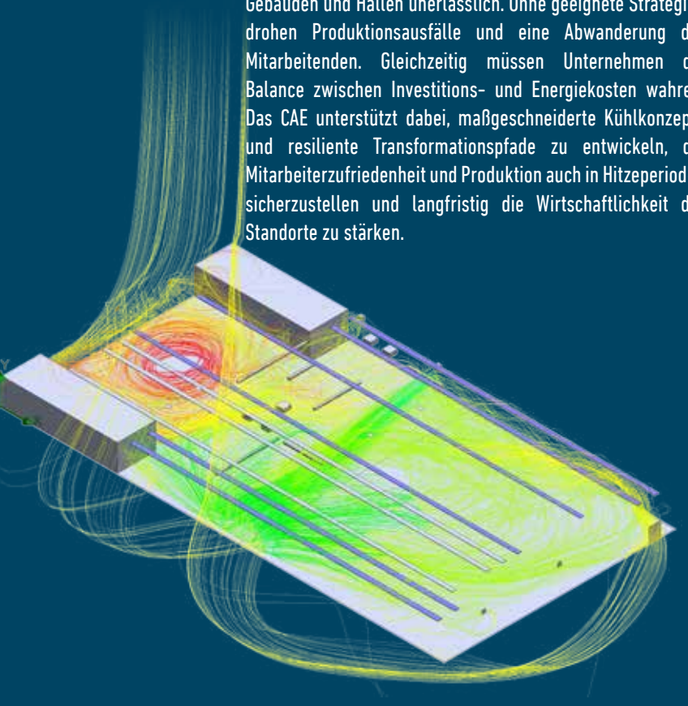
Publikationen

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, Comput. Mater. Sci 218, 2023

M. Wilhelm, F. Lotter, C. Scherdel, J. Schmitt: Advancing Efficiency in Mineral Construction Materials Recycling: A Comprehensive Approach Integrating Machine Learning and X-ray Diffraction Analysis, Buildings 2024, 14(2), 340

Klimawandel in der Produktion:
So bleiben Mitarbeitende und Maschinen leistungsfähig

Der Klimawandel führt zu immer häufigeren Extremwetterereignissen, und sehr heiße Sommertage werden auch in Deutschland zunehmend zur Normalität. Produktionshallen mit hoher interner Wärmebelastung stehen dabei vor besonderen Herausforderungen: Sowohl die Gesundheit und Produktivität der Mitarbeitenden als auch die Stabilität der Produktionsprozesse sind gefährdet. Arbeitgeber sind gesetzlich verpflichtet, sichere und angenehme Arbeitsbedingungen zu gewährleisten. Neben Maßnahmen wie zusätzlichen Pausen und der Bereitstellung von Trinkwasser ist vor allem eine effiziente Kühlung von Gebäuden und Hallen unerlässlich. Ohne geeignete Strategien drohen Produktionsausfälle und eine Abwanderung der Mitarbeitenden. Gleichzeitig müssen Unternehmen die Balance zwischen Investitions- und Energiekosten wahren. Das CAE unterstützt dabei, maßgeschneiderte Kühlkonzepte und resiliente Transformationspfade zu entwickeln, die Mitarbeiterzufriedenheit und Produktion auch in Hitzeperioden sicherzustellen und langfristig die Wirtschaftlichkeit der Standorte zu stärken.



Strömungssimulation zur Bewertung einer Technologieoption zur Hallenkühlung, die aufgrund eines auftretenden Hitzestaus im hinteren Hallenbereich verworfen wurde.

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 Energiekonzepten an.

Projekte

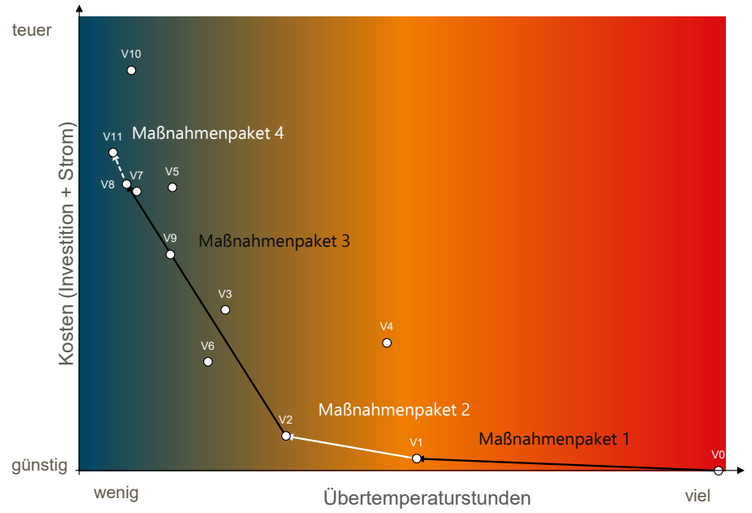
BIPVslim - Entwicklung eines kompakten ultraschlanken hochintegrativen PV-Wärmefassdenelements im Passivhaus-Standard mit Hochleistungswärmedämmung und Latentwärmespeicher, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: 03EN1012A

Green4indoor - Energieeffiziente Raumklimatisierung mit Pflanzen: Ressourcenschonende Konditionierung der Innenraumluft durch dezentrale Vertikalbegrünungen, Fördergeber: DBU, Förderkennzeichen: 37018/01

KiCk-StARtER-G - KI-basierter Controller zur komfortbasierten Steuerung thermischer Anlagen und Regelkreise zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden, Fördergeber: BMBF, Förderkennzeichen: 01IS23003B

SmartWin - Intelligente Fenster zur Sonnen- und Tageslichtsteuerung in nachhaltigen Gebäuden, Fördergeber: BMWK, Förderkennzeichen: KK5654701

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



Techno-ökonomische Bewertung verschiedener Maßnahmen zur Hallenkühlung. Der Schlüsselindikator ist in diesem Fall die Anzahl der Jahresübertemperaturstunden. Diese ist ein Maß, wie lange und in welchem Umfang die Hallentemperatur eine Temperatur von 26 °C überschreitet. V0 stellt den aktuellen IST-Zustand dar, der sich durch eine hohe Anzahl von Übertemperaturstunden auszeichnet (starke Überhitzung). Die weiteren Versionen stellen verschiedene Technologieoptionen dar, für die die entsprechende Reduktion von Übertemperaturstunden simulativ untersucht wurde. Durch die Verbindung einer Vollkostenbetrachtung mit Übertemperaturstundenreduktion ergibt sich eine Entscheidungshilfe in Form eines Transformationspfades. Im vorliegenden Fall führen die günstigen Optionen V1 und V2 zu einer erheblichen Reduktion der Hitzebelastung und sollten daher im ersten Schritt umgesetzt werden. Sollte weiterhin Kühlbedarf bestehen, können im Anschluss zur weiteren Übertemperaturstundenreduktion schrittweise die teureren aufeinander aufbauenden Maßnahmen V8/V9/V11 umgesetzt werden.

Gremientätigkeiten

B. Büttner, Mitglied im International Vacuum Insulation Panel Association (VIPA International)

B. Büttner, Vertreter des CAE im Wasserstoffbündnis Bayern

M. Reim, Vertreterin des CAE im Bundesverband GebäudeGrün e.V.

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

Publikationen

M. Reim, J. Zanger, M. Kröner, B. Krautkremer, W. Heckmann, M. Kühnbach, S. März, V. Stelzer, S. Waczowicz, G. Streib, Resilienz im Quartier, Forschung für ein resilientes Energiesystem in Zeiten globaler Krisen, FVEE, 2024, 96-100

F. Scheller, V. Lenz, F. Müller-Langer, M. Henke, M. Vehse, N. Gerhardt, P. Schossig, J. Ungerland, T. Gross, J. Matthes, V. Stelzer, M. Vogelbacher, M. Kollmer, M. Riepl, Technologiespektrum und Strategien für resiliente Energiesysteme, Forschung für ein resilientes Energiesystem in Zeiten globaler Krisen, FVEE, 2024, 40-45

M. Studtrucker, F. Scheller, B. Büttner, Effektive Kühlstrategien für Industriebetriebe, Wirtschaft in Mainfranken: Das Magazin der IHK Würzburg Schweinfurt, 09.2024, 70-72

C. Weiglein, J. Schötz, C. De Boni, M. Reim, S. Weismann, M. Huber, A. Turcati, A. Fritz, R. Fassbender, Alternatives to established concepts for thermal comfort and automated lighting, Proceedings of the World Sustainable Energy Days, Wels, Austria, 2024

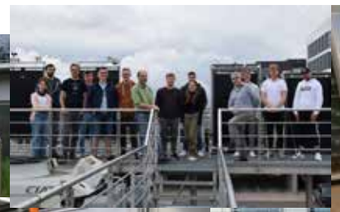
H. Weinläder, M. Reim, L. Ullerich, W. Körner, S. Weismann, Thermal Characterization of Living Wall Systems, EuroSun 2024 Conference Proceedings, International Solar Energy Society

AUS WISSEN FOLGT VERANTWORTUNG

Bischof Dr. Jung im Gespräch mit Prof. Dr. Scheller, CAE-Gruppenleiter für Energiemanagement und Technologieintegration und Vorstand Dr. Ebert.

Bayerische Energietage in Würzburg. Highlights waren Führungen durch die Forschungslabore am Center for Applied Energy Research sowie ein Vortrag von Dr. Hans-Peter Ebert, Geschäftsführender Vorstandsvorsitzender des CAE, zur Notwendigkeit der Energiewende.

CSU-Arbeitskreis Wirtschaft der CSU-Fraktion im Bayerischen Landtag informiert sich am CAE.



Bayerns Bauminister Christian Bernreiter, MdL

zu Besuch am CAE, 4. Juli 2024

Bayerns Bauminister Christian Bernreiter besuchte das Center for Applied Energy Research, um sich über aktuelle Forschungsthemen im Bereich klimaeffiziente Gebäude und Quartiere zu informieren. Während seines Rundgangs durch das Forschungs- und Demonstrationsgebäude erhielt er Einblicke in laufende Forschungs- und Entwicklungsprojekte. In der Diskussion mit den CAE Wissenschaftlern betonte Staatsminister Bernreiter die Notwendigkeit, das Lebensumfeld an den Klimawandel anzupassen, insbesondere in der energieintensiven Baubranche. Er hob die Bedeutung nachhaltiger Maßnahmen zur Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs hervor und bezeichnete die Forschungsprojekte des CAE zum klimafreundlichen Bauen als wichtige Beiträge in diesem Bereich.

Besucher

02-02-2024	Mitglieder des Verbandes für landwirtschaftliche Fachbildung in Bayern e.V. (VlF) | Kitzingen
05-02-2024	Schülerinnen und Schüler der Fachschule für Bautechnik der Josef-Greißing-Schule | Würzburg
12/13-03-2024	Vertreter der europäischen metrologischen Staatsinstitute, Forschungseinrichtungen und ausgewählte Industriepartner am internationalen Projekttreffen zu dem von der EU-geförderten Projekt „Metrology for the Hydrogen Supply Chain (Met4H2)
14-03-2024	Bischof Dr. Franz Jung und eine Begleitdelegation des Bistums Würzburg
18/19-03-2024	Mitglieder und Partner des Forschungsclusters „Beitrag der Aerogele zur Energieeffizienz-Erhöhung in der Industrie“
04-04-2024	Stadtbegrünungsbotschafterin Angela Roy und Präsident des Bundesverbandes GebäudeGrün e.V. | Gunter Mann
12-04-2024	Schülerinnen und Schüler des Olympia-Morata-Gymnasiums | Schweinfurt
29-04-2024	Bautechnikschülerinnen und Schüler der Josef-Greißing-Schule | Würzburg
07-05-2024	Preisprüfer der Länder Bayern und Baden-Württemberg
24-05-2024	Mitglieder des Rotary-Clubs Recklinghausen | Vest
24-05-2024	Exkursion mit Studierenden des Physikalischen Instituts der Universität Würzburg
31-05-2024	Orpheus Verein mit physikinteressierten Schülerinnen und Schüler | Horb a.N.
18-06-2024	Partner aus der Industrie und CAE Mitglieder am CAE-CONNECT-Tag
24-06-2024	Energiereferentinnen und Energiereferenten der IHK-Bayern-Innovation
24-07-2024	Bayerns Staatsminister für Wohnen, Bau und Verkehr, Christian Bernreiter, MdL
08/09-07-2024	Schülerinnen und Schüler des Matthias-Grünewald-Gymnasium Würzburg
18-07-2024	Schülerinnen und Schüler des Dag-Hammarskjöld-Gymnasium Würzburg
24-07-2024	Technikschülerinnen und Technikschüler der Franz-Oberthür-Schule Würzburg
19-08-2024	Studienreise von Forschungsstipendiatinnen und Forschungsstipendiaten der Alexander von Humboldt Stiftung – AvH | Berlin
23-08-2024	CDU-Ratsfraktion der Stadt Duisburg
12-09-2024	CSU-Arbeitskreis Wirtschaft der CSU-Fraktion im Bayerischen Landtag
24-09-2024	Teilnehmende des BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) Symposium
25/26-09-2024	Teilnahme von Bürgerinnen und Bürgern der Stadt Würzburg an den Bayerischen Energietagen | Würzburg
23-10-2024	Delegationsbesuch aus der Mongolei im Rahmen des Bildungswerkes der Bayerischen Wirtschaft (bbw gGmbH) im Auftrag des Bayerischen Wirtschaftsministeriums
20-11-2024	Auszubildende des Staatlichen Beruflichen Schulzentrums Ansbach-Triesdorf

VERÖFFENTLICHUNGEN

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften

M.P. Agustianingrum, S.K. Verma, D. Petschke, F. Lotter, T.E.M. Staab, S. Tang, L. Cao, N. Zulfikar, H. Cho, T.A. Listyawan, H. Kim, C. Jung, S.-H. Kim, A. Zargaran, K. Kim, **Revisiting precipitates in Al-Cu-Li alloys: Experiments and first-principles calculations of thermodynamic stability of Al2Cu-Li(T1) precipitate,** J. Alloys Comp. 991, 2024, 174495

T. Becker, T. Stark, M. Arduini, J. Manara, S. J. Altenburg, **Knowing the spectral directional emissivity of 316L and AlSi10Mg PBF-LB/M surfaces: gamechanger for quantitative in situ monitoring,** Prog Addit Manuf 9, 2024, 695-704

B. Breitschopf, J. Keil, U. Burghard, F. Scheller, **Forms of financial participation and acceptance of the energy transition-are there any relations?,** Zeitschrift für Energiewirtschaft 48 (1), 2024, 38-57

C. Domenig, F. Scheller, P.A. Gunkel, J. Hermann, C.M. Bergaentzlé, M.A.R. Lopes, J. Barnes, R. McKenna, **Overcoming the landlord-tenant dilemma: A techno-economic assessment of collective self-consumption for European multi-family buildings,** Energy Policy 189, 2024, 114120

H.-P. Ebert, S. Vidi, **Correct Use of the Guarded Hot Plate Method for Thermal Conductivity Measurements on Solids,** Int J Thermophys 45 (20), 2024, 1-22

A. Friedrich, L. Schraut-May, F. Rauch, P. Durand, J. Krebs, P.N. Ruth, S. Hammer, R. Bertermann, M. Finze, S.J. Clark, J. Pflaum, N. Leclerc, T.B. Marder, **Synthesis, crystal growth, structure and photophysical properties of decafluoroanthracene and its co-crystals with polycyclic arenes,** Organic Chemistry Frontiers, 2024

S. Hammer, T.L. Britt, L. Kremeyer, M. Rödel, D.V. Cai, J. Pflaum, B.J. Siwick, **Excimer formation in zinc-phthalocyanine revealed using ultrafast electron diffraction,** Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2024

D. Höfflin, C. Sauer, A. Schiffler, A. Versch, J. Hartmann, **Active thermography for in-situ defect detection in laser powder bed fusion of metal,** Journal of Manufacturing Processes 131, 2024, 1758–1769

D. Höfflin, C. Sauer, A. Schiffler, J. Manara, J. Hartmann, **Pixelwise high-temperature calibration for in-situ temperature measuring in powder bed fusion of metal with laser beam,** Heliyon 10 (7), 2024, e28989

G. E. Lio, W. Jérémy, M. Arduini, D. S. Wiersma, J. Manara, L. Pattelli, **Radiative Cooling Potential of a Water-Based Paint Formulation under Realistic Application Conditions,** ACS Appl. Opt. Mater.

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!,** J. Sol-Gel Sci. Tech. 109, 2024, 569-579

R. Meisels, F. Kuchar, J. Manara, M. Arduini, U. Schulz, J. O. Peters, T. M. Gartner, C. Mitterer, O. Paris, **Single-stack multilayer infrared mirrors with selectable higher-order interference peaks,** Applied Optics 63 (27), 2024, 7268-7277

K. Morrissey, F. Scheller, **It takes a village: The role of community attributes in shaping solar photovoltaic adoption intention in Germany,** Renewable Energy 237, 2024, 121542

M. Rödel, L.N. Philipp, J.H. Kim, M. Lehmann, M. Stolte, R. Mitric, F. Würthner, J. Pflaum, **Anisotropic Photophysical Properties of Plexcitons in Strongly Coupled Metal-Organic Thin Films,** ACS Photonics, 2024

C. Sauer, D. Höfflin, A. Schiffler, J. Hartmann, **Active Thermography in PBF-LB/M with the synchronized path infrared thermography,** Procedia CIRP 124, 2024, 283-286

C. Scherdel, G. Reichenauer, S. Vidi, E. Wolfrath, **Variation of structural properties of silica aerogels over more than one order of magnitude – opportunities, challenges and limits,** J. Porous Mater., 2024

M.B. Siddique, D. Keles, F. Scheller, P.S. Nielsen, **Dispatch strategies for large-scale heat pump based district heating under high renewable share and risk-aversion: A multistage stochastic optimization approach,** Energy Economics 136, 2024, 107764

C. Strasser, E. Moukhina, J. Hartmann, **Time–Temperature-Transformation (TTT) Cure Diagram of an Epoxy–Amine System,** Macromol. Theory Simul. 33 (6), 2024, 2400039

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. 53, 2024, 255-270

S. Vidi, E. Wolfrath, C. Scherdel, G. Reichenauer, H.-P. Ebert, K. Müller, D. Enke, **Gas pressure dependent thermal conductivity measurements of bimodal xerogels,** Int. J. Thermophys. 45, 2024, 111

M. Wilhelm, F. Lotter, C. Scherdel, J. Schmitt, **Advancing Efficiency in Mineral Construction Materials Recycling: A Comprehensive Approach Integrating Machine Learning and X-ray Diffraction Analysis,** Buildings 14, 2024, 340

Eingeladene Fachvorträge

H.-P. Ebert, **Urbane Resilienz - Aspekte einer schnellen Transformation,** Umweltausschuss des Bayerischen Städtetags, München, Germany, 15.05.2024

J. Hartmann, **Center for Applied Energy Research e.V. – Wir haben die Effizienz im Fokus,** THWS-Kolloquium Angewandte Mathematik, Schweinfurt, Germany, 15.10.2024

J. Manara, M. Arduini, T. Stark, S. Vidi, H.-P. Ebert, **Applied metrological facilities for determining the emissivity in a wide temperature range,** The 2024 IR-EMPOWER Workshop on Infrared Emissivity Measurements, Bilbao, Spain, 05.-06.09.2024

J. Manara, **Poly2Vac - Optimierung der Dämmwirkung und Verarbeitbarkeit nanostrukturierter Polymerschäume zur Anwendung in Vakuumisolationspaneelen für ressourcen- und klimaeffiziente Endanwendungen,** Treffen des Clusters „Beitrag der Aerogele zur Energieeffizienz-Erhöhung in der Industrie“, Würzburg, Germany, 18.-19.03.2024

F. Scheller, A. Püttner, D. Thrän, J. Hildebrand, C. Rösch, **Akzeptanz beschleunigt, Gesetze auch: Lenkt die Akzeptanzforschung überhaupt die Gesetze der Energiewende?,** FVEE-Jahrestagung 2024, Berlin, Germany, 08.-09.10.2024

C. Weiglein, J. Schötz, C. De Boni, M. Reim, S. Weismann, M. Huber, A. Turcati, A. Fritz, R. Fassbender, **Innovative Approaches to Thermal Comfort and Automated Lighting,** World Sustainable Energy Days 2024, Wels, Austria, 5.-8.03.2024

E. Wolfrath, A. Bucher, C. Weiglein, M. Reim, S. Weismann, **Energy-Efficient Indoor Climate Control with Plants,** World Sustainable Energy Days 2024, Wels, Austria, 5.-8.03.2024

Fachvorträge

A. Adibekyan, J. Schumacher, L. Pattelli, J. Manara, M. Arduini, S. Meriç, Ö. Bazkir, C. Cucchi, C. Sprengard, G. Pérez, J. Campos, J. Hameury, A. Andersson, S. Clausen, A. Rasmussen, C. Belotti, C. Efthymiou, M.-N. Assimakopoulos, D. Papadaki, F. Manoocheri, A. L. Flores, T. Gionfini, M. Ortisi, A. Peter, M. Kleinbub, J. Bante, L. Donath, H. Herzog, C. Monte, **Emissions- und Reflexionsgradmessungen für passive Strahlungskühlungstechnologien,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

F. Hemberger, A. Narymany Shandy, A. Göbel, M. Wiener, H.-P. Ebert, **Thermische Eigenschaften poröser Kohlenstoffmaterialien im Temperaturbereich bis 2800 °C,** Jahrestagung 2024 des AK Thermophysik in der GEFTA, Würzburg, Germany, 20.-21.03.2024

D. Höfflin, A. Schiffler, J. Hartmann, **Hochtemperaturmessungen für die laserbasierte additive Fertigung mittels Sychronized Path Infrared Thermography,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

F. Lotter, S. Braxmeier, P. Wohlfahrt, **Gas permeation measurements of polymer materials in H2 applications,** Workshop Thermal Management in the Hydrogen Supply Chain - Applications and Measurement Techniques, Würzburg, Germany, 14.03.2024

F. Lotter, **Innovation in specific surface area, pore and particle size analysis with Small Angle X-ray Scattering: a fast, reliable and powerful tool,** ACHEMA 2024, Frankfurt, Germany, 10.-14.06.2024

J. Manara, **Setups for reproducible in-field performance testing of PRC materials,** 1st PaRaMetriC Workshop on passive radiative cooling materials and applications, Berlin, Germany, 07.06.2024

J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, A. Narymany Shandy, M. Zipf, J. Hartmann, F. Kuchar, O. Paris, R. Meisels, C. Mitterer, J. O. Peters, T. Gartner, U. Schulz, **Spectrally selective reflecting coatings to improve aircraft engine efficiency,** MSE 2024 Materials Science and Engineering, Darmstadt, Germany, 24.-26.09.2024

J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, A. Narymany Shandy, M. Zipf, J. Hartmann, F. Kuchar, O. Paris, R. Meisels, C. Mitterer, J. O. Peters, T. Gartner, U. Schulz, **Spektral-selektive Beschichtungen zur Verbesserung der Effizienz von Flugzeugtriebwerken,** Jahrestagung 2024 des AK Thermophysik in der GEFTA, Würzburg, Germany, 20.-21.03.2024

J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, A. Narymany Shandy, M. Zipf, J. Hartmann, F. Kuchar, O. Paris, R. Meisels, C. Mitterer, J. O. Peters, T. Gartner, U. Schulz, **Temperaturabsenkende Beschichtungen mit spektralselektiven Reflexions- bzw. Emissionsgraden zum Einsatz in Flugzeug-Triebwerken,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

J. Manara, **Thermophysical properties of materials in a wide range of temperatures and pressures,** Workshop Thermal Management in the Hydrogen Supply Chain - Applications and Measurement Techniques, Würzburg, Germany, 14.03.2024

D. Papadaki, C. Efthymiou, M.-N. Assimakopoulos, L. Pattelli, J. Manara, A. Panvini, J. Jaramillo-Fernandez, A. Lladós, T. Gionfini, M. Ortisi, M. Voldán, Š. Kapounek, L. Kňazovická, D. Tichý, **Innovative Materials and Methods for the Development of Decarbonized Sustainable Cities,** 1st Open-air Cities International Conference „Local and Regional Sustainable Development and Urban Reconstruction, Athens, Greece, 16.-18.02.2024

J. Popp, J. Manara, J. Hartmann, **Presentation of a method for measuring sub micrometer thermal diffusivity based on modulated laser excitation and an atomic force microscope,** MSE 2024 Materials Science and Engineering, Darmstadt, Germany, 24.-26.09.2024

M. Reim, H. Weinläder, J. Gress, **Gebäudebegrünung – energetische Wirkung und Synergieeffekte mit PV,** BuGG-Tag der Forschung und Lehre 2024, Leipzig, Germany, 26.09.2024

M. Reim, H. Weinläder, C. Weiglein, W. Körner, E. Wolfrath, M. Studtrucker, M. Brütting, S. Weismann, **Thermal Characterization of Single Greening Components and Green Roofs, ISES and IEA SHC International Conference on Sustainable and Solar Energy for Buildings and Industry,** EuroSun 2024, Limassol, Cyprus, 26.-30.08.2024

F. Scheller, M. Studtrucker, **Hydrogen in the energy sector,** Workshop Thermal Management in the Hydrogen Supply Chain - Applications and Measurement Techniques, Würzburg, Germany, 14.03.2024

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Analysis of front side dynamics in laser flash analysis: modeling and adjustment for enhanced thermophysical insights,** 22. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2024, Nürnberg, Germany, 11.-12.06.2024

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Investigation of Dynamics at the Front Side in Laser Flash Analysis: Modeling and Adjustment for Enhanced Thermophysical Insights,** MSE 2024 Materials Science and Engineering, Darmstadt, Germany, 24.-26.09.2024

A. Narymany Shandy, F. Hemberger, M. Zipf, T. Stark, J. Manara, J. Hartmann, **Modellierungen und Anpassungen von LFA-Modellen für die Untersuchung der Vorderseitendynamik,** Jahrestagung 2024 des AK Thermophysik in der GEFTA, Würzburg, Germany, 20.-21.03.2024

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Untersuchung der Dynamik an der Vorderseite in der Laser Flash Analyse: Modellierung und Anpassung für verbesserte thermophysikalische Einblicke,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Unveiling Front Surface Dynamics in Laser Flash Analysis: Modeling and Fitting for Enhanced Thermophysical Insights,** 23rd Symposium on Thermophysical Properties, Boulder, USA, 20.-25.06.2024

D. Urban, K. Anhalt, J. Manara, M. Arduini, P. Pichler, G. Pottlacher, **Emissionsgradmessung oberhalb von 800 °C,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

S. Vidi, C. Scherdel, E. Wolfrath, K. Müller, D. Enke, G. Reichenauer, **Determination of structural parameters of bimodal xerogels from thermal characterization,** 7th International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 18.-20.09.2024

S. Vidi, **Struktur-Eigenschaftsbeziehungen hierarchisch strukturierter Silica-Monolithe als Modellsystem für innovative anorganische Dämmstoffe,** Jahrestagung 2024 des AK Thermophysik in der GEFTA, Würzburg, Germany, 20.-21.03.2024

S. Weismann, R. Kastner, S. Hippeli, W. Körner, C. Stark, E. Wolfrath, **Hybrid Collector for an Innovative Energy Supply System Using Molecular Solar Thermal Energy Storage (MOST),** ISES and IEA SHC International Conference on Sustainable and Solar Energy for Buildings and Industry, EuroSun 2024, Limassol, Cyprus, 26.-30.08.2024

Weitere Veröffentlichungen

A. Adibekyan, J. Schumacher, L. Pattelli, J. Manara, M. Arduini, S. Meriç, Ö. Bazkir, C. Cucchi, C. Sprengard, G. Pérez, J. Campos, J. Hameury, A. Andersson, S. Clausen, A. Rasmussen, C. Belotti, C. Efthymiou, M.-N. Assimakopoulos, D. Papadaki, F. Manoocheri, A. L. Flores, T. Gionfini, M. Ortisi, A. Peter, M. Kleinbub, J. Bante, L. Donath, H. Herzog, C. Monte, **Emissions- und Reflexionsgradmessungen für passive Strahlungskühlungstechnologien,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 183-189

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 Tagungsband 2023, Berlin, 25.06.2024 83-87

D. Höfflin, A. Schiffler, J. Hartmann, **Hochtemperaturmessungen für die laserbasierte additive Fertigung mittels Sychronized Path Infrared Thermography,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 191-194

J. Manara, T. Stark, M. Arduini, H.-P. Ebert, A. Narymany Shandy, M. Zipf, J. Hartmann, F. Kuchar, O. Paris, R. Meisels, C. Mitterer, J. O. Peters, T. Gartner, U. Schulz, **Temperaturabsenkende Beschichtungen mit spektralselektiven Reflexions- bzw. Emissionsgraden zum Einsatz in Flugzeug-Triebwerken,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 229-234

M. Reim, J. Zanger, M. Kröner, B. Krautkremer, W. Heckmann, M. Kühnbach, S. März, V. Stelzer, S. Waczowicz, G. Streib, **Resilienz im Quartier,** FVEE Tagungsband 2023, Berlin, 25.06.2024, 96-100

F. Scheller, V. Lenz, F. Müller-Langer, M. Henke, M. Vehse, N. Gerhardt, P. Schossig, J. Ungerland, T. Gross, J. Matthes, V. Stelzer, M. Vogelbacher, M. Kollmer, M. Riepl, **Technologiespektrum und Strategien für resilientere Energiesysteme,** FVEE Tagungsband 2023, Berlin, 25.06.2024, 40-45

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Analysis of front side dynamics in laser flash analysis: modeling and adjustment for enhanced thermophysical insights,** 22. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2024, Nürnberg, 11.-12.06.2024, 200-203

A. Narymany Shandy, M. Zipf, F. Hemberger, J. Manara, T. Stark, J. Hartmann, **Untersuchung der Dynamik an der Vorderseite in der Laser Flash Analyse: Modellierung und Anpassung für verbesserte thermophysikalische Einblicke,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 195-200

M. Studtrucker, F. Scheller, B. Büttner, **Effektive Kühlstrategien für Industriebetriebe,** Wirtschaft in Mainfranken: Das Magazin der IHK Würzburg Schweinfurt, 09.2024, 70-72

D. Urban, K. Anhalt, J. Manara, M. Arduini, P. Pichler, G. Pottlacher, **Emissionsgradmessung oberhalb von 800 °C,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 241-246

C. Weiglein, J. Schötz, C. De Boni, M. Reim, S. Weismann, M. Huber, A. Turcati, A. Fritz, R. Fassbender, **Alternatives to established concepts for thermal comfort and automated lighting,** World Sustainable Energy Days 2024, Wels, 05.-08.03.2024

E. Wolfrath, M. Reim, S. Weismann, C. Weiglein, A. Bucher, **Energy-Efficient Indoor Climate Control with Plants,** World Sustainable Energy Days 2024, Wels, 05.-08.03.2024

M. Zipf, A. Narymany Shandy, J. Manara, F. Hemberger, J. Hartmann, **Development and Setup of an Optical Dynamic Scanning Calorimetry Setup for Modern Material Science at High Temperatures,** 22. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2024, Nürnberg, 11.-12.06.2024, 541-544

M. Zipf, A. Narymany Shandy, J. Manara, F. Hemberger, J. Hartmann, **Entwicklung einer Anlage zur optischen dynamischen Differenzkalorimetrie für die moderne Materialforschung bei hohen Temperaturen,** Temperatur 2024, Berlin, 05.-06.06.2024, 221-226

Poster

T. Becker, T. Stark, M. Arduini, J. Manara, S. Altenburg, **Emissivity - Gamechanger for quantitative in-situ monitoring,** Rapid.Tech 3D 2024, Erfurt, Germany, 14.-16.05.2024

G. Reichenauer, S. Braxmeier, L. Ullerich, C. Scherdel, F. Lotter, **Making N_2 adsorption analysis finally a reliable tool for determining the pore size distribution of mesoporous aerogels,** 7th International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 18.-20.09.2024

P. Seitz, C. Scherdel, G. Reichenauer, J. Schmitt, **Development of Si-based Anodes using SAXS and Machine Learning,** 7th International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 18.-20.09.2024

H. Weinläder, M. Reim, L. Ullerich, W. Körner, S. Weismann, **Thermal Characterization of Living Wall Systems (LWS),** ISES and IEA SHC International Conference on Sustainable and Solar Energy for Buildings and Industry, EuroSun 2024, Limassol, Cyprus, 26.-30.08.2024

M. Wiener, F. Lotter, G. Reichenauer, **Carbon Xerogels for High Temperature Insulation Applications,** 7th International Seminar on Aerogels, Hamburg, Germany, 18.-20.09.2024

M. Zipf, A. Narymany Shandy, J. Manara, F. Hemberger, J. Hartmann, **Development and Setup of an Optical Dynamic Scanning Calorimetry Setup for Modern Material Science at High Temperatures,** 22. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2024, Nürnberg, Germany, 11.-12.06.2024

M. Zipf, A. Narymany Shandy, J. Manara, F. Hemberger, J. Hartmann, **Entwicklung einer Anlage zur optischen dynamischen Differenzkalorimetrie für die moderne Materialforschung bei hohen Temperaturen,** Temperatur 2024, Berlin, Germany, 05.-06.06.2024

Weitere Veranstaltungen

V. Dyakonov, H.-P. Ebert, J. Manara, C. Scherdel, F. Lotter, **Nanotechnologie in der Energietechnik,** Vorlesung, Julius-Maximilians-Universität, Würzburg, Germany, Sommersemester 2024

H.-P. Ebert, **Interdisciplinary Energy Research - Solutions for the energy transition,** Studienreise Alexander von Humboldt-Stiftung, Würzburg, Germany, 19.08.2024

H.-P. Ebert, **Urbane Resilienz - Aspekte einer schnellen Transformation,** Bayerische Energietage, Würzburg, Germany, 15.05.2024

J. Hartmann, J. Manara, **Special Symposium C10: Opto-thermal measurement techniques in C: Characterization,** MSE 2024 Materials Science and Engineering, Darmstadt, Germany, 24.-26.09.2024

F. Lotter, **Winzige Details mit enormen Auswirkungen - strukturelle Analytik in der Energie- und Materialforschung,** CAE Connect, Würzburg, Germany, 18.06.2024

W. Malfait, F. Lotter, **Characterization of Aerogels,** Aerogel Summerschool, Köln, Germany, 23.-27.09.2024

J. Manara, **Spektral-selektive Oberflächen zur Steigerung der Energieeffizienz: Beispiele und Anwendungsszenarien,** CAE Connect, Würzburg, Germany, 18.06.2024

M. Reim, **Innovative Dach- und Fassadenbegrünungsprojekte für energieeffiziente Gebäude und besseres Stadtklima,** CAE Connect, Würzburg, Germany, 18.06.2024

S. Vidi, **Gasdruckabhängige Wärmeleitfähigkeitsmessung an Aerogelen,** Treffen des Clusters „Beitrag der Aerogele zur Energieeffizienz-Erhöhung in der Industrie", Würzburg, Germany, 18.-19.03.2024

C. Weiglein, **Optimierung von Energieeffizienz und Komfort durch KI-gestützte Gebäudeautomation,** CAE Connect, Würzburg, Germany, 18.06.2024

Mitarbeit in Gremien

M. Brütting

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, Wasserstoffbündnis Bayern

Mitglied, International Vacuum Insulation Panel Association (VIPA International)

H.-P. Ebert

Mitglied, Advisory Committee of the PhD Course "Enzo Ferrari" in Mechanical and Vehicle Engineering, Università di Modena e Reggio Emilia

Mitglied, Beirat des Technologie- und Gründerzentrums Würzburg

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

Jurymitglied, Bürgerenergiepreis Unterfranken, Bayernwerk

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

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

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

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

Mitglied, Klimabeirat Stadt Würzburg

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

Mitglied, Prüfungsausschuss Physiklaboranten der IHK Würzburg-Schweinfurt

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

Mitglied, Scientific Committee WSED next! Conference

J. Hartmann

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

Beirat, DIN-Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO)

F. Lotter

Mitglied, International Aerogel Association, Hamburg

J. Manara

Mitglied, European Virtual Institute for Gas Turbine Instrumentation (EVI-GTI)

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, International Advisory Board, IR-EMPOWER Workshop on Infrared Emissivity Measurements

G. Reichenauer

Mitglied, Arbeitskreis Kohlenstoff

Mitglied, DIN-Ausschuss „Partikel- und Oberflächenmesstechnik"

M. Reim

Vertreterin des CAE, Bundesverband GebäudeGrün e.V.

C. Scherdel

Stellvertretender Vorstand, International Aerogel Association, Hamburg

S. Weismann

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

Dank

Wir danken unseren Mitgliedern für das Vertrauen und ihre stetige Unterstützung und unseren Kuratorinnen und Kuratoren für das Kümmern und den guten Rat.

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

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie und dem Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst für die wohlwollende Unterstützung.

Wir danken der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt und der Julius-Maximilians-Universität Würzburg für die exzellente Zusammenarbeit.

Wir danken den unterfränkischen Landtagsabgeordneten aller demokratischen Parteien herzlich für Ihr wohlwollendes Engagement für unser Forschungsinstitut. Sie haben damit maßgeblich dazu, beigetragen unsere Arbeit voranzubringen. Im besonderen Maße danken wir Dr. Andrea Behr, Barbara Becker, Staatsminister a.D. Prof. Dr. Winfried Bausback, Björn Jungbauer sowie dem Haushaltsausschuss des Bayerischen Landtages für die wertvolle Unterstützung.

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, DLR, 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.

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 ganz herzliches 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 Partnerinnen und Partner 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_2-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.

Nordfassade des Energy Efficiency Centers.

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, Lisa Schmid

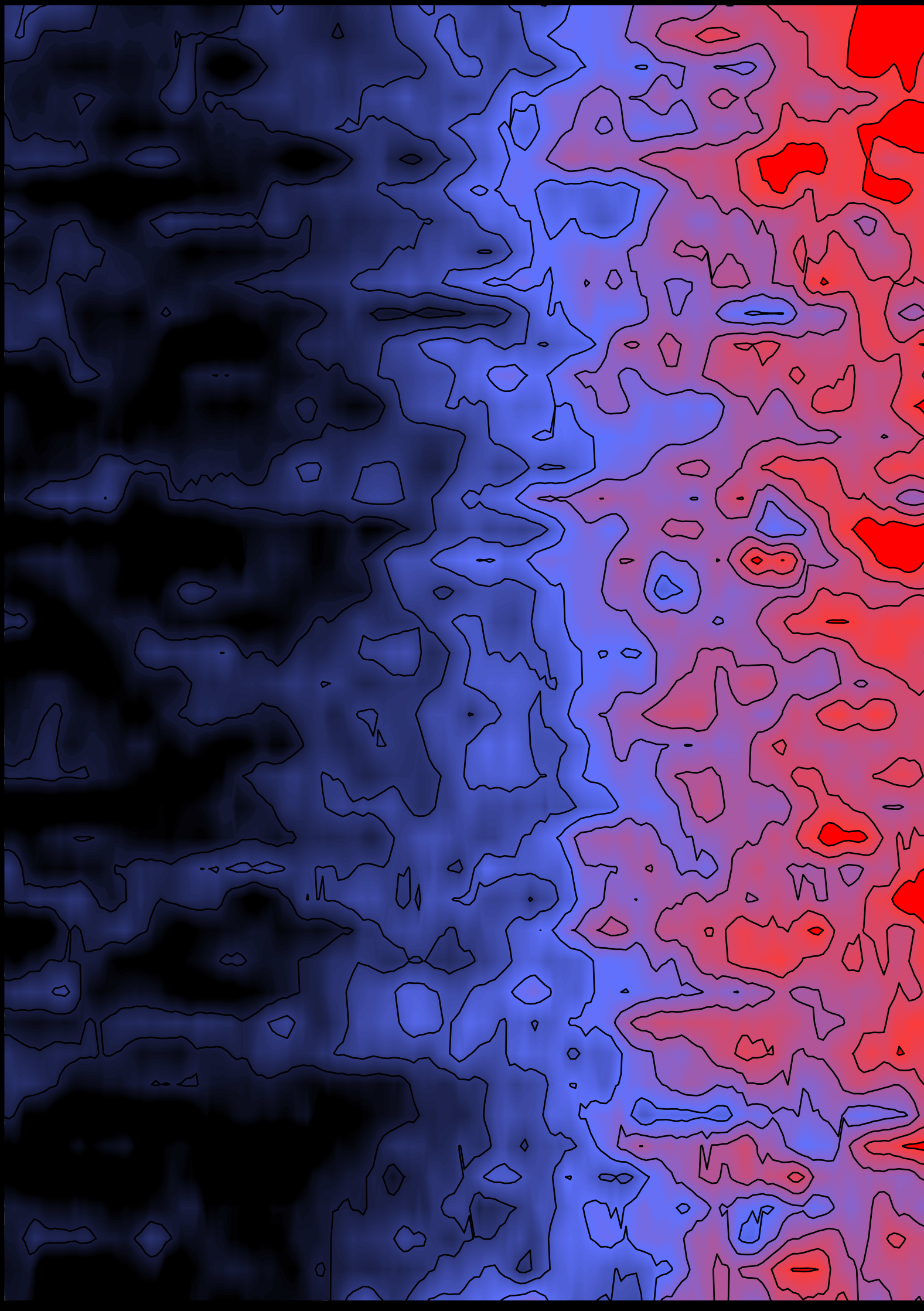
Textbeiträge und Grafiken
CAE Mitarbeitende

Bildquellen
Fotos, soweit nicht anders angegeben, © CAE
S. 31, S. 45 © Daniel Peter
S. 45, S. 46 © Petra Höglmeier

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-zerocarbon.de
Internet: www.cae-zerocarbon.de

Copyright
Center for Applied Energy Research e.V. (CAE), Würzburg, März 2025

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

Druck:
bonitasprint gmbh, Würzburg

natureOffice
natureOffice.com/557-1174-340
Rohstoffe
Anlieferung
Produktion
Auslieferung
g CO2e pro
282,76
Druckprodukt
CO2e-Emissionen ausgeglichen