



JAHRESBERICHT

2023
2024

Jahresbericht 2023 - 2024

Gegründet 2011.

Partner:

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Technische Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm
Hochschule Ansbach
Fraunhofer IISB

Denken.Forschen.Handeln

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
DER ENCN	3
FORSCHUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEEN	11
FORSCHUNGSBEREICH SPEICHER.....	22
FORSCHUNGSBEREICH NETZE	28
FORSCHUNGSBEREICH ENERGIEEFFIZIENZ.....	31
FORSCHUNGSBEREICH TECHNOLOGIEÖKONOMIE.....	53
FORSCHUNGSBEREICH TRANSFORMATION UND NACHHALTIGKEIT	56
IM FOCUS „EMN_SIM PROJEKT“	67
INSIGHTS „EMERGING PV“	69
INSIGHTS „CO2 ZERTIFIKATEHANDEL“	71

Vorwort

Die Strom- und Wärmewende in Deutschland ist ein zentrales Element der nationalen Klimapolitik und hat kontinuierlich mehr als 20 Jahre hinweg große Fortschritte erzielt. Seit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 hat sich der Anteil erneuerbarer Energien insbesondere am Strommix signifikant erhöht. Laut dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) lag der Anteil der erneuerbaren Energien im Jahr 2023 bei etwa 50 % der Stromerzeugung. Insbesondere die Windenergie an Land und auf See sowie die Solarenergie haben zu dieser Entwicklung beigetragen. Diese Technologien haben sich als kosteneffizient erwiesen und profitieren von technologischen Fortschritten und fallenden Investitionskosten. Alle Indikatoren und Roadmaps sagen vorher, dass die erneuerbaren Energien weltweit, aber auch in Deutschland, nachhaltig den günstigsten Strom zur Verfügung stellen werden.

Die Erfolgsfaktoren für die Stromwende lassen sich in wenigen Worten zusammenfassen: Die durch das EEG initiierte langfristige Planungssicherheit, in Kombination mit einem übergeordneten Engagement der Bundesregierung über Parteigrenzen hinweg, gekoppelt an das klare Ziel, bis 2030 einen Anteil von 80 % erneuerbarer Energien am Stromverbrauch zu erreichen, sind maßgeblich für den Erfolg verantwortlich. Ermöglicht wurde der Erfolg aber auch durch Innovationen in den Photovoltaik- (PV) und Wind-Technologien, die nachhaltig zu sehr raschen Kostensenkungen bei der Erzeugung von grünem Strom führten und weiterhin führen werden. Doch selbst durch deren kontinuierliche Weiterentwicklung lässt sich die Stromwende allein nicht vollenden. In den nächsten 10 Jahren steht der Netzausbau und die Errichtung einer Speicherinfrastruktur als große Herausforderungen an. Die Entwicklung von batteriebasierten Speichertechnologien und die Produktion von grünem Wasserstoff oder grünen synthetischen Energieträgern sind notwendige Schlüsseltechnologien, um die fluktuierende Einspeisung von Wind- und Solarstrom auszugleichen.

Um von der Stromwende zur vollständigen Energiewende zu gelangen, müssen die weiteren Sektoren wie Verkehr und Wärme integriert werden. Die Elektrifizierung des Verkehrs, durch den Ausbau der Elektromobilität und die Förderung von Ladeinfrastruktur, ist ein entscheidender nächster Schritt. Die Modernisierung des Wärmesektors durch den Einsatz von Wasserstoff oder erneuerbaren synthetischen Energieträgern auf der einen Seite und Wärmepumpen auf der anderen Seite schließen das technologische Dreieck – erneuerbare Energieversorgung, Energiespeicherung und Netz- und Energiemanagement – zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende.

Stabile langfristige Ziele auf internationaler und nationaler Ebene erlauben langfristige Planungen auf lokaler Ebene umzusetzen. Als ein überaus positives Beispiel ist hier die Stadt Nürnberg zu nennen, die spätestens ab 2035 ihre Stadtverwaltung vollständig mit klimaneutralem Strom versorgen möchte. Dazu hat sie für ihre ca. 189 Liegenschaften eine eigenständige Lösung zur intensivierten Produktion von regionalem Ökostrom entwickelt, so dass ab 2035 die Stadtverwaltung mit klimaneutralem Strom versorgt werden kann.

Der Energie Campus Nürnberg (EnCN) steht für Nachhaltigkeit und Stabilität. Er ist eine herausragende Forschungskoope-
ration renommierter Hochschulen und Forschungsinstitutionen, die diese Stabilität garantieren und dadurch langfristige Kooperationen ermöglichen. Die Vielzahl an erfolgreich abgeschlossenen gemeinsamen Projekten, die intensive Kooperation zwischen den Partnern, die konsequente Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Entwicklung von mittel- und langfristigen Szenarien für die Energiewende sind die Markenzeichen des EnCN. Im Fokus stehen die Wissenschaftler, die technischen Mitarbeiter und die Studierenden des EnCN, die ihren Einsatz, ihre Expertise und ihre Leidenschaft für erneuerbare Energietechnologien an einem Standort bündeln. Der EnCN ist multi-, inter-, und transdisziplinär als jedes andere Energieforschungszentrum in Bayern. Mit dieser gesammelten Kompetenz unter einem virtuellen Dach bieten wir der Industrie eine einzigartige Interaktionsmöglichkeit, über die Geschäftsstelle zentral auf die gesamte Energieexpertise der Partneruniversitäten zuzugreifen. Die Geschäftsstelle des EnCN vermittelt die Kontakte und begleitet die Forschenden aus den Hochschulen und der Industrie bei der Anbahnung und Umsetzung von Projekten.

Die Forschungsschwerpunkte des EnCN entlang der Energiekette haben sich über die 10 Jahre seines Bestehens ständig weiterentwickelt und den EnCN zu einem Leuchtturm für zukunftsorientierte Forschung in der Metropolregion Nürnberg und ganz Bayern transformiert. Der EnCN steht heute für die Entwicklung und den Transfer von Schlüsseltechnologien zur Umsetzung der Energiewende und zur Dekarbonisierung des Energiesystems nach ökonomischen und sozialen Aspek-

ten. Nach dem Auslaufen der Anschubfinanzierung gelang die erfolgreiche Transformation des EnCN in eine fest etablierte und weit über die Grenzen Bayerns bekannte Energieforschungsplattform, die nicht mehr wegzudenken ist. An dieser Stelle möchten wir den beteiligten Partneruniversitäten als auch den Ministerien und insbesondere der Stadt Nürnberg für ihre langjährige, zuverlässige und weitsichtige Unterstützung danken – ohne diese Unterstützung wäre der EnCN nicht zu diesem Leuchtturm der Energieforschung gewachsen.

Besonderen Dank auch der Geschäftsstelle des EnCN. Die Mitarbeiter der Geschäftsstelle sind die Seele des EnCN, die den Forschenden eine zweite wissenschaftliche Heimat, neben ihrem Engagement an den Partneruniversitäten geben, die die Wissenschaftler durch zahllose Aktivitäten untereinander vernetzen und zum inhaltlichen Diskurs ermutigen und dabei entlang der Energiekette mit einer professionellen Außerdarstellung unterstützen. Weiter so!

November 2024

Sprecher des EnCN



Prof. Dr. Christoph J. Brabec



Prof. Dr. Arno Dentel

Wer ist der EnCN

Der Energie Campus Nürnberg (EnCN) ist ein **Energieforschungszentrum**. Er hat das Ziel, die notwendigen Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung, basierend auf regenerativen Energiequellen, zu schaffen. Die **Kooperation aus vier Forschungsinstitutionen**, der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), der Technischen Hochschule Nürnberg (OHM), dem Fraunhofer-Institut IISB und der Hochschule Ansbach, verfolgt dabei einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem das gesamte Energiesystem betrachtet wird. Eine systemische Betrachtung wissenschaftlicher Fragestellungen wird durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von technischen, natur- und volkswirtschaftlichen Forschenden ermöglicht. Der **gemeinsame Forschungscampus** fördert die effektive Nutzung von Synergien. Das Zusammenspiel von grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung ermöglicht unterschiedliche Entwicklungsstufen bis hin zur Prototypenentwicklung umzusetzen.



Interdisziplinäres Forschungsprojekt zwischen FAU und THN „Fassade3“ in Kitzingen

Governance

Der EnCN wird von verschiedenen Gremien vertreten, und beraten.

Die wissenschaftlichen Arbeiten des EnCN werden von den **EnCN-Forschenden** repräsentiert, die sich aus Professorinnen und Professoren, Nachwuchsgruppenleiterinnen und Nachwuchsgruppenleitern zusammensetzen. Sie treffen sich viermal im Jahr, um die Forschungsroadmap weiterzuentwickeln und sich zu vernetzen. Geleitet wird die Forschung von zwei **Sprechern**, seit 2024 von Herrn Prof. Dr. Christoph Brabec (FAU) und Prof. Dr. Arno Dentel (OHM) für drei Jahre.

Die **Geschäftsstelle** unterstützt die Forschenden u.a. bei der Anbahnung von Projekten, fördert den Technologie-

transfer und die Initiierung von strukturbildenden Forschungsverbünden der Nachwuchswissenschaftlerinnen- und -wissenschaftler, übernimmt administrative Aufgaben der Partnerinstitutionen und kümmert sich um die Außendarstellung des EnCN. Außerdem wirkt sie als Verbindungsstelle zwischen den Forschungsbereichen, den Projekten und dem EnCN Förderverein. Der **EnCN e.V.** unterstützt gezielt Forschung und Öffentlichkeitsarbeit. Der **Fachbeirat** berät die EnCN-Forschenden zur inhaltlichen und strategischen Weiterentwicklung des EnCN. Er trifft sich einmal im Jahr und nimmt Stellung zum Jahresbericht. Die Mitglieder des Fachbeirates wurden 2024 für fünf Jahre neu berufen.

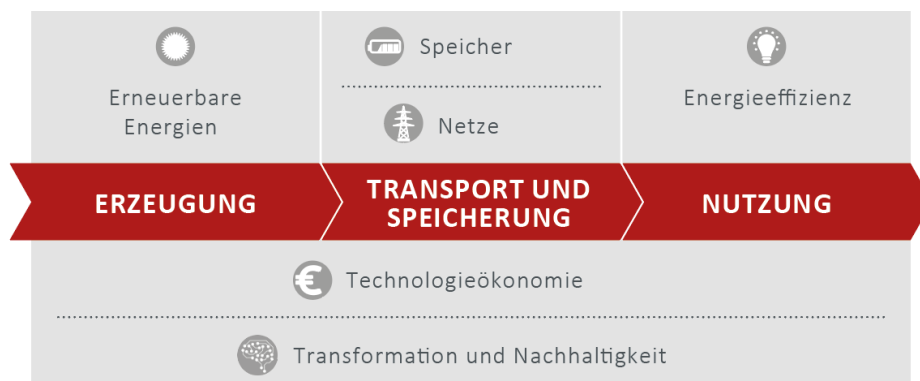
Neu berufene Mitglieder des Fachbeirates 2024

Name	Institution
Dr. Daniela Groher	Bayernwerk AG
Prof. Rolf Hellinger	Siemens AG
Dr. Georg Liedl	Verband der Bayerischen Metall- und Elektroindustrie & KME-Kompetenzzentrum Mittelstand
Markus Löttsch	IHK Mittelfranken
Prof. Leo Lorenz	ECPE

Forschungsschwerpunkte

Kernelement der Kooperation und somit der wissenschaftlichen und forschungsstrategischen Ausrichtung des EnCN bildet die Wertschöpfungskette der erneuerbaren Energieversorgung sowie technologische und gesellschaftliche Querschnittsthemen. Die Forschung erfolgt in den sechs Forschungsbereichen Erneuerbare Energien, Speicher, Netze, Energieeffizienz, Technologieökonomie und Transformation und Nachhaltigkeit, wobei sich die Kompetenzen der Institutionen ergänzen.

sellschaftliche Querschnittsthemen. Die Forschung erfolgt in den sechs Forschungsbereichen Erneuerbare Energien, Speicher, Netze, Energieeffizienz, Technologieökonomie und Transformation und Nachhaltigkeit, wobei sich die Kompetenzen der Institutionen ergänzen.



Die Forschungsbereiche innerhalb der Energiekette

EnCN in Zahlen

Mitarbeiter (Ø 2023/2024)	195
Drittmittel (2023 + 2024)	€ 34 Mio.
Publikationen (2023 + 2024)	230
Patente	54
Industriepartner	240
Ausgründungen	13

Standort

Der EnCN ist auf dem Areal „Auf AEG“, einem Forschungs- und Innovationsstandort im Nürnberger Westen angesiedelt. In den ehemaligen Industriehallen wurden neue Labore, Technik- und Konferenzräume bzw. Büros errichtet. In unmittelbarer Nachbarschaft befinden sich das Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI-ERN), Lehrstühle der FAU, Nuremberg Campus of Technology (NCT), Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2B) und Unternehmen wie z.B. Siemens Energy, Electrolux und Greenovative. Als Verbindungsglied zwischen Forschung und Wirtschaft sind die ENERGIEregion e.V. und der NKubator als Innovations- und Gründerzentrum für Energie, Green-Tech und Nachhaltigkeit starke Netzwerkpartner. Derzeit entsteht das Ohm Innovation Center, ein Zentrum für angewandte Forschung der OHM, das im Herbst 2024 bezugsfertig sein wird. Der Standort hat sich zum Kompetenzzentrum für Energie und Nachhaltigkeit entwickelt.



EnCN e.V.

Der Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN e. V.) ist ein gemeinnütziger Verein zur Förderung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten am Energie Campus Nürnberg. Seit 2017 werden herausragende Abschlussarbeiten (Bachelor und Master), die im Rahmen des EnCN angefertigt wurden, mit einem Energiepreis geehrt. Viele der ausgezeichneten Studierenden haben nach ihrem Studium einen wissenschaftlichen Weg eingeschlagen



Energiepreisverleihung 2023

und am EnCN weitergearbeitet bzw. promoviert. Des Weiteren werden Reisestipendien auslobt, um Nachwuchswissenschaftlerinnen und –wissenschaftler zu motivieren, ihre Forschungsergebnisse auf internationalen Konferenzen vorzustellen und zu diskutieren. So tragen sie die Forschungsergebnisse des EnCN in die ganze Welt.

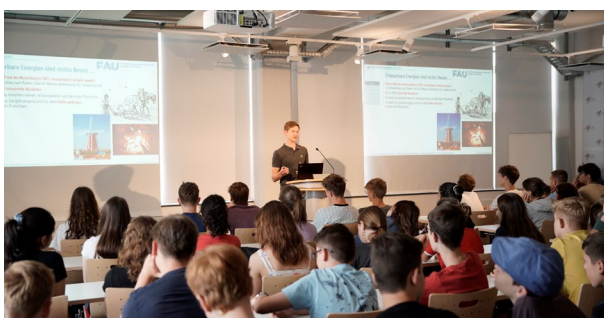


Reisestipendium 2023

Nachwuchsförderung

Ein wichtiger Aspekt der Zusammenarbeit der Institutionen am EnCN liegt im Bereich der Nachwuchsförderung. Sie beginnt bereits mit der schulischen Ausbildung. Der EnCN sieht es als seine Aufgabe an, junge Menschen für einen Ingenieurberuf zu begeistern und Interesse an einem Studium in Nürnberg oder Erlangen zu wecken. Dazu wurden verschiedene Veranstaltungsformate organisiert. Beispiele sind:

- Jahrgangsstufen-Exkursionen der 9. Klassen Gymnasien in Physik zum Thema Energie
- Weiterbildung Fachschaftslehrer Physik für Gymnasien
- Hochbegabten Programm Mittelfranken
- KinderUni Veranstaltungen
- Wissenschaftswoche an Gymnasien



Exkursion einer 9. Jahrgangsstufe in Physik



Aktives Mitmachen Kinderuni

Bereits Studierende erleben über den EnCN sehr früh in ihrem Studium interdisziplinäre Sichtweisen auf das Energiethema kennen. Das kann sowohl bei einer beruflichen Entwicklung in der Wirtschaft, als auch im Zuge einer wissenschaftlichen Karriere ein entscheidender Vorteil sein. Außerdem werden junge Akademiker mit dem Energiepreis und dem Reisestipendium gefördert.

Der EnCN fördert seinen wissenschaftlichen Nachwuchs noch auf eine andere Art, um deren wissenschaftliche Selbstständigkeit und Bekanntheit zu stärken. Neben verschiedenen Marketingmaßnahmen, z.B. in Social Media, wird besonderer Wert auf die Unterstützung innovativer Forschungsprojekte gelegt, die einen spürbaren

Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten. Die Förderung umfasst finanzielle Mittel, Zugang zu modernster Forschungsinfrastruktur sowie maßgeschneiderte Entwicklungsprogramme. Darüber hinaus bietet die Initiative eine Plattform für interdisziplinäre Zusammenarbeit und berufliche Vernetzung, um sowohl die individuellen Karrieren der Forschenden als auch den wissenschaftlichen Fortschritt zu fördern.

Wissenschaftliche Kooperationen

Die wissenschaftliche Kooperation am EnCN zeichnet sich durch die enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Forschungseinrichtungen aus. Wesentliche Bestandteile dieser Kooperation sind die gemeinsame Entwicklung von Forschungsfragen und -zielen und Forschungsprojekten entlang der Energiekette. Die Forschungsergebnisse werden durch Veranstaltungen und wissenschaftliche Veröffentlichungen in die Fachwelt und an die Öffentlichkeit bekanntgegeben.

Ein großes **Verbundprojekt** des EnCN stellt das Projekt **Klimapakt 2030plus** dar. Es ist eine Initiative in der Metropolregion Nürnberg, die darauf abzielt, Klimaschutzmaßnahmen zu fördern und die Region bis 2030 klimafreundlich und nachhaltig zu gestalten. Ziel des Projekts ist es, die Treibhausgasemissionen erheblich zu reduzieren und die Region auf den Weg zur Klimaneutralität zu bringen.

Wissens- und Technologietransfer

Neben der wissenschaftlichen Arbeit selbst ist der Wissens- und Technologietransfer ein wichtiger Baustein am EnCN. Gestaltung der Energiewende bedeutet, technologische Lösungen in die Anwendung zu bringen. Sowohl die Geschäftsstelle als auch die Professoren fördern aktiv die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie, durch gemeinsame Projekte, Studien, Workshops und Veranstaltungen, um innovative Technologien schneller zur Marktreife zu bringen und frühzeitig Akzeptanz zu erzielen. Dabei liegt der Fokus auf Forschungsprojekten mit regionalen Partnern sowie auf Ausgründungen zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts. Die Geschäftsstelle initiierte u.a. verschiedene Projekte mit dem lokalen Energieversorger der N-ERGIE und dem Nürnberger Verkehrsbetrieb VAG bzw. Stadtverkehr Schwabach. Zudem vermittelte sie Projekte mit Siemens Energy oder führte Kooperationsgespräche mit UNITY

Beispiele für erfolgreiche Projekte sind die bioelektrochemische Elektrolyse von CO₂ zu grünem Methanol, die Entwicklung anwendungsnaher Weltrekord-Solarmodule sowie das Projekt Green Melting, das auf lokal induktives Schmelzen mit erneuerbarer Energie setzt.

Ein **Teilprojekt** davon ist die Entwicklung des **Simulationsmodells „EMN_SIM“**, welches vom EnCN koordiniert wird. Das Modell dient als Werkzeug für Entscheidungsträger, um die Auswirkungen von Veränderungen in den Sektoren Strom, Wärme oder Mobilität auf die anderen Sektoren und die Energiedynamik in den Gemeinden zu verstehen und zu analysieren. Dies ist entscheidend, um die Integration erneuerbarer Energien, die Energieeffizienz und die Optimierung der Energieverteilung zu verbessern. Unter dem Dach des EnCN sind die FAU, die Universität Würzburg und die Hochschule Coburg an diesem Leuchtturmprojekt beteiligt. Die enge Zusammenarbeit der beteiligten Hochschulen verleiht dem Projekt einen besonderen Innovationscharakter und unterstreicht die Vorreiterrolle der Region in der klimafreundlichen Energieversorgung. Das Projekt wird im Abschnitt „IM FOCUS“ näher beschrieben.

Consulting & Innovation zur Beratung von Energieversorgungsunternehmen.



Infotag und Schulung mit A. Eberle GmbH

Das Lancieren von Vorträgen auf Konferenzen, wie z.B. Cleantech Innovation Summit bzw. Münchner Experten Runde oder die Unterstützung von wissenschaftsbasierten Ausstellungen, wie das Bionicum und das Deutsche

Zukunftsmuseum, sind ebenfalls Teil der Arbeit der Geschäftsstelle für einen aktiven Wissenstransfer in die Gesellschaft. Darüber hinaus ist der EnCN stark an drittmittelfinanzierten Projekten des Bundes oder EU beteiligt. Nähere Informationen werden im Abschnitt der Forschungsbereiche dargestellt.



Besuch Bundesverband für Windenergie

Zur Förderung von Ausgründungen, insbesondere im Energiebereich, wurde 2020 der NKubator – Innovations- und Gründerzentrum für Energie, GreenTech und Nachhaltigkeit – am Standort „Auf AEG“ von der Stadt

Nürnberg ins Leben gerufen. Ziel ist es, Wissenschaftler, Start-ups und Unternehmen bei der Gründung und Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle umfassend zu unterstützen. Der EnCN spielt dabei eine aktive Rolle als Partner des NKubator und bietet unter anderem Zugang zu modernster Forschungsinfrastruktur, Unterstützung im Marketing sowie die Vernetzung mit Fachexperten.

Ein Beispiel für die enge Zusammenarbeit zwischen EnCN und dem Startup Amperial Technologies GmbH ist die Nutzung der EnCN-Infrastruktur zur Entwicklung von schaltbaren Folien für smarte Fenster und intelligente Hitzeschutzsysteme. Zusätzlich profitiert das Unternehmen von gezielten Marketingkampagnen durch den EnCN zur Förderung seiner Innovationen.

Aus dem EnCN sind mittlerweile 13 Unternehmen aus-gegründet worden und weitere sind in Planung. Dadurch trägt der EnCN zur Sicherung und Aufbau von Beschäftigung in High-Tech-Branchen in Bayern bei und kann so auch Impulse für den laufenden Strukturwandel geben.

Ausgegründete Unternehmen aus dem EnCN

Unternehmen	Tätigkeit
AMPERIAL Technologies GmbH	Entwicklung und Herstellung von dynamischem Hitzeschutz für Gebäude mit intelligenten Sonnenschutzfolien
Automatic Research GmbH	Messgeräte und Druckmaschinen für die Forschung
Ceramix AG	Dienstleistungen für die Keramikindustrie: Produktüberwachung und Prüfung ziegeltechnischer Erzeugnisse
Ceus UG	Mobile Batteriespeicherlösungen
DHG Engineering GmbH	Entwicklung von Leistungselektronik-Produkten und Beratung
Eta-Q GmbH	Beratung zur Optimierung komplexer Systeme mit Schwerpunkt auf Energie- und Ressourceneffizienz
NUEhydrogen UG	Beratung zum Einsatz von Wasserstoffanwendungen in der Industrie
Hydrogenious LOHC Technologies GmbH	LOHC-Wasserstoffspeicher und Logistik
NextHeat	Entwicklung und Herstellung von Wasserstoffbrennern für Haushalte und Industrie
Prosio Engineering GmbH	Ingenieursdienstleistungen in der Prozess-, Verfahrens-, Feuerungs- und Kraftwerkstechnik unter Anwendung KI-basierter Prozessassistenz
OxFA GmbH	Herstellung von Bio-Ameisensäure
SCIPRIOS GmbH	Schlüsselfertige Herstellung von Druckmaschinen für gedruckte PV und Elektronik
Zohm Control	Entwicklung und Herstellung von Steuerungsplattformen und Algorithmen für Leistungselektronik und elektrischer Antriebssysteme

Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit des EnCN basiert auf integrierten Marketingmaßnahmen, die gezielt auf die verschiedenen Zielgruppen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit abgestimmt sind. Durch die Vernetzung der Kommunikationsaktivitäten wird eine konsistente und effektive Außenkommunikation sichergestellt, die die Sichtbarkeit und Wahrnehmung des EnCN und seiner vielfältigen Projekte deutlich steigert.

Die Strategie umfasst die Koordination und Integration verschiedener Kommunikationskanäle und -instrumente. Dazu gehören Social Media, Public Relations, Veranstaltungen, Online-Marketing und direkte Kommunikationsmaßnahmen. Diese umfassende Herangehensweise ermöglicht es dem EnCN, seine Botschaften klar und einheitlich über alle Plattformen hinweg zu vermitteln. Im Berichtszeitraum konnten die Follower auf Instagram um 78% gesteigert werden und die Interaktionen mit Ihnen um 100%. Von 2023 – Oktober 2024 fanden 215 Veranstaltungen am EnCN statt.



Netzwerkveranstaltung mit Bayern Innovativ

Der EnCN dient als bedeutender Treffpunkt für seine Stakeholder. Hier veranstaltet der EnCN nicht nur Netzwerktreffen mit Wissenschaftlern und Unternehmen bzw. organisiert Konferenzen, sondern es finden auch öffentliche Events wie z.B. die Lange Nacht der Wissenschaften mit über 1000 Besuchern, Veranstaltungen mit der Politik oder die FAUinsights-Reihe zum Thema Wasserstoff 2023 und Technologien für eine solare Welt 2024 statt. Mit der Veröffentlichung der Vorträge auf YouTube konnten im Jahr 2023 13.000 Interessierte erreicht werden und 2024 sind es bisher rund 6.500 Besucher auf dem Kanal. In diesem Jahr wurden erstmals für die FAUinsights Teaservideos (Reels) auf Instagram veröffentlicht und haben über 43.000 Klicks erzielt.



Lange Nacht der Wissenschaften



FAUinsights – „Eine solare Weltwirtschaft“ mit Frau Dr. Decker (FAU CxO Council), Herr Dr. Lehmann (Club of Rome), Herr Prof. Liebensteiner (FAU)



Veranstaltung „Weltklimakonferenz und Auswirkung auf die Region“ mit MdB Lisa Badum

Diese Veranstaltungen fördern den wichtigen Austausch der Hauptakteure im Energiebereich - Wissenschaft, Wirtschaft und Politik - und tragen zur Vernetzung über den EnCN hinaus bei. Ein gutes Beispiel dazu ist auch die Vortragsreihe „Ohm Innovation Talks“, die wie die FAUinsights, Wissenschaftler, Industrie- und Politikvertreter eine gemeinsame Bühne geben und die Kompetenzen der OHM und ihrer Partner beeindruckend präsentieren. Die Ohm Innovation Talks finden im Herbst jedes Jahr statt und die FAUinsights im Frühjahr.

Mit Vorträgen und Führungen positioniert sich der EnCN als ein herausragendes Aushängeschild für Energieforschung in der Metropolregion Nürnberg, das nationale und internationale Delegationen beeindruckt.



Besuch Generalkonsulin der Niederlande



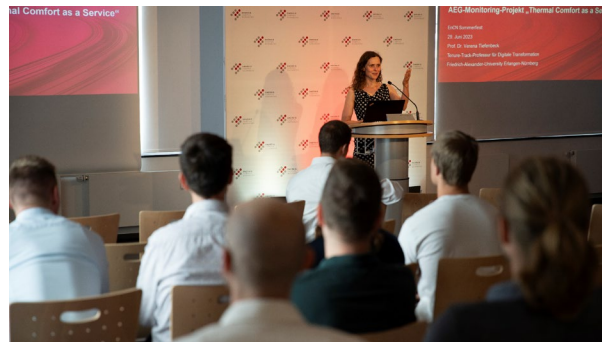
Veranstaltung für die Regierung Mittelfranken



Internationale Konferenz „Electric Airships“

Weitere Aktivitäten umfassen z.B. Vorträge zur Energiewende für die Regierung Mittelfranken, die Organisation von internationalen Konferenzen, wie die Electric Airships Conference mit 70 Teilnehmern aus 10 Ländern oder Next Generation Solar Energy Conference mit über 100 Teilnehmern aus über 10 Ländern.

Einen besonderen Stellenwert haben die Vernetzungsaktivitäten mit Kolleginnen und Kollegen des EnCN. Jährlich findet eine Sommerkonferenz mit Vorträgen und einem Sommerfest statt. Mitarbeitende können sich über aktuelle Projekte informieren und mit anderen Fachbereichen in Austausch treten.

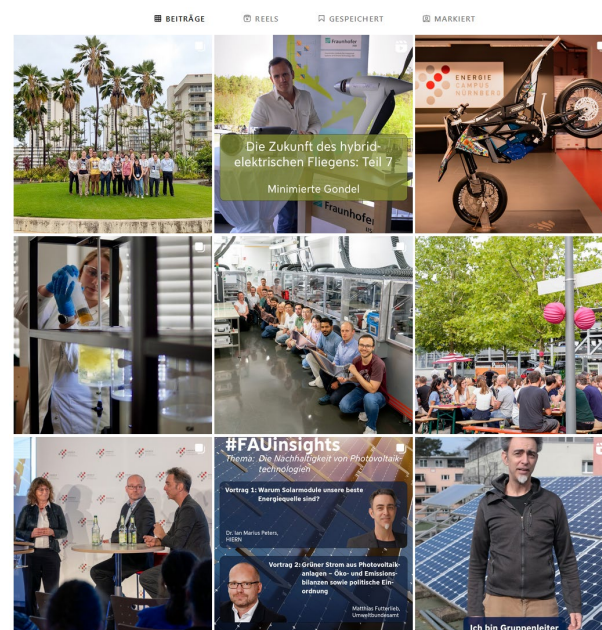


Vorträge zur EnCN Sommerkonferenz



EnCN Sommerfest

Zusätzlich zu den Veranstaltungen vor Ort wird die Reichweite durch digitale Medien erweitert. Instagram-Reels und YouTube-Videos zur visuellen Darstellung der Forschungsarbeit ermöglichen es, ein breiteres Publikum wirkungsvoll zu erreichen und die EnCN Aktivitäten einem größeren Kreis zugänglich zu machen. Mit all den Aktivitäten konnte der EnCN weit über die Region hinaus größere Bekanntheit erzielen.



EnCN Instagram Kanal

Zusammenfassung und Ausblick

Der EnCN widmet sich, wie im Überblick dargestellt, der Forschung an Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung auf Basis regenerativer Energiequellen, Speicherung, Netz- und Energiemanagement und Marktdesign. Die Wissenschaftler engagieren sich auch in Zukunft auf vielfältige Weise für diese zentrale Aufgabe: Zum einen durch enge Zusammenarbeit mit der regionalen Industrie, um innovative Ideen in gemeinsamen Projekten zu konkreten Lösungen und Produkten zu entwickeln. Dieser Wissenstransfer wird durch zahlreiche, oft international vernetzte Forschungsprojekte der PIs unterstützt.

Zum anderen wird ein weiterer Schwerpunkt zukünftiger Aktivitäten des EnCN in der gezielten Stärkung der internen Vernetzung der Forschenden liegen. Die erfolgreich etablierten inter-institutionellen Kooperationen sollen konsequent ausgebaut werden, sodass bereits ab 2025 neue strukturfördernde Forschungsprojekte am EnCN initiiert werden können. Dies fördert den Know-how-Transfer zur Industrie und die Projektförderung gleichermaßen.

Auch die hohe Sichtbarkeit des EnCN sowie das Outreach-Engagement für die Öffentlichkeit und die Gesellschaft, insbesondere in der Europäischen Metropolregion Nürnberg, werden 2025 durch die Geschäftsstelle und alle PIs weiter gestärkt. Veranstaltungen wie FAUinsights, Ohm Innovation Talks und die Lange Nacht der Wissenschaften werden auch weiterhin wertvolle Einblicke in die Arbeit des EnCN geben und unseren Beitrag zur Energieforschung deutlich machen.

Abschließend lässt sich festhalten: Der EnCN ist vielseitig aufgestellt, verfügt über ein herausragendes Netzwerk, exzellente Infrastruktur und modernste Laborausstattungen und ist bis zum einzelnen Mitarbeiter motiviert und engagiert, die Energiewende voranzutreiben. Wir freuen uns auf viele innovative Ideen unserer Wissenschaftler, auf spannende Projekte und großes Interesse der Öffentlichkeit, die uns mit zahlreichen Fragen bei unseren Veranstaltungen kontaktiert.



Einblicke in die EnCN Forschung

Forschungsbereich Erneuerbare Energien



Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Christoph Brabec, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, Materialien der Elektronik und Energietechnologie (i-MEET), FAU und Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg (HI ERN)

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



In der Solarfabrik erforschen die FAU und das Forschungszentrum Jülich „emerging“ Photovoltaik Technologien, die vollständig gedruckt werden können. Dazu zählen die Perowskit PV, die organische PV und hybride Ansätze, wie z.B. auf Nanopartikel basierte PV-Materialien. Zur Forschungstätigkeit gehört insbesondere die Prozessentwicklung dieser bereits hocheffizienten und stabilen Technologien. Dazu zählen die Entwicklung von umweltverträglichen Tintenformulierungen, die Erforschung von Produktionsprozessen die Gigawatt tauglich sind, aber auch die Demonstration von großflächig gedruckten Solarmodulen.

Bedeutende Projekte

DFG Projekt Radiation Hardness (BR 4031/22-1)	Entwicklung und Erforschung von effizienten und strahlungsresistenten organischen Solarzellen für Raumfahrtanwendungen basierend auf einer KI angeleiteten Hochdurchsatz Forschungsstrategie
Projektzeitraum	01.05.2022 - 30.04.2025
BMW/ZIM Projekt OPV4IoT	Entwicklung von Prozessen für die drucktechnische Herstellung von organischen Photovoltaikmodulen für die Energieversorgung von IoT-Geräten
Projektzeitraum	01.12.2021 – 30.11.2023
Partner	Enerthing GmbH, HeiQ RAS AG
EU Projekt Citysolar	Entwicklung von transparenten Tandem Solarmodulen für die Fensterintegration
Projektzeitraum	01.12.2020 – 30.04.2024
Partner	Consiglio Nazionale Delle Ricerche + Eni Spa + Università Degli Studi Di Roma Tor Vergata, Italien Syddansk Universität, Dänemark Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs + Electricite de France, Frankreich Electronique Organique Brilliant Matters Inc, Canada King Abdullah University of Science and Technology, Saudi-Arabien
Industrieprojekt	Entwicklung vollständig gedruckter Perowskit Module
Projektzeitraum	01.05.2019 – 30.04.2023
Partner	Industrie
EU Projekt (Horizon) OPV Stability	Untersuchung von Degradationsmechanismen und Entwicklung von Tools für Vorhersagen von Lebensdauer von organischen Solarzellen
Projektzeitraum	01.09.2023 - 31.08.2027
Partner	Universität Graz, Johannes Kepler Universität Linz, University of Southern Denmark, Karlstad University, Universität Bayreuth, Universität Potsdam, Ben-Gurion University of the Negev

HIGHLIGHT

Effizienz-Weltrekord für organische Solarmodule

Das i-MEET hat in Kooperation mit dem HI ERN einen neuen Weltrekord für organische Photovoltaikmodule mit einer Fläche von mehr als 200 cm² aufgestellt. Das Modul erreichte eine vom Fraunhofer Institut ISE zertifizierte Effizienz von 14.5 % auf die totale Fläche und wurde deshalb auch in der offiziellen Übersicht des „National Renewable Energy Laboratory“ (NREL) über die Rekorderffizienzen von Solarmodulen aufgenommen. Die verwendeten Materialien erlauben es die Module ohne Verwendung einer Schutzgasatmosphäre an Luft herzustellen. Durch die geschickte Auswahl des Absorbermaterials konnte außerdem auf die Verwendung von giftigen Lösungsmitteln, wie Chloroform, verzichtet werden. Nahezu alle Schichten des Moduls wurden aus Tinten in Rakelverfahren gedruckt, wodurch größtenteils auf aufwendige Aufdampfprozesse verzichtet werden konnte. Das bedeutet, dass der gesamte Herstellungsprozess deutlich umweltfreundlicher gestaltet werden kann, als bei vergleichbaren hocheffizienten Photovoltaiktechnologien. In Kooperation mit der technischen Hochschule Nürnberg wurde der Rakelprozess so angepasst, dass auch auf große Flächen sehr homogene Schichten erzeugt werden können. Finite-Elemente-Simulationen ermöglichten es den Rakelprozess nachzubilden und dadurch den für dieses Beschichtungsverfahren typischen Gradienten auf großen Flächen zu minimieren. Durch eine simulationsgestützte Moduloptimierung konnte die Effizienz durch eine geschickte Auswahl des Layouts weiter gesteigert werden. Die Totflächen in den Verschaltungslinien zwischen den Subzellen konnten durch die Verwendung eines Femtosekunden-Lasers auf weniger als 4 % der Gesamtfläche begrenzt werden. All diese Verbesserungen ermöglichten es die Verluste bei der Skalierung kleinster Laborzellen (aktive Fläche 0.04 cm²) um mehr als das 5000-fache auf weniger als 10 % - inklusive unvermeidbarer Verluste – zu reduzieren. Die Modulentwicklung erfolgte im Rahmen des vom Energie Campus Nürnberg geförderten Kooperations-Forschungsprojektes „AWESOME“.



Weltrekord Solarmodul (Bildrechte: Kurt Fuchs/Hi ERN)

Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Maik Eichelbaum, Arbeitsgruppe Analytische Chemie mit Forschungsschwerpunkt Wasserstoff/Brennstoffzellen, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe von Prof. Eichelbaum konzentriert sich auf neue CO₂-neutrale Wege zur Erzeugung von grünem Wasserstoff, d.h. über Elektrolyse und Photo(elektro)-katalyse, auf die elektrochemische Umwandlung von CO₂ zu wichtigen Chemikalien und Energieträgern sowie auf die in-situ und ex-situ Analyse von Wasserstoff-Polymerelektrolyt (PEM)-Brennstoffzellen und Batteriezellen in realen Anwendungen. Dabei ist das Verständnis der chemischen Alterungsmechanismen und die Verlängerung der Lebensdauer der elektrochemischen Energiesysteme ein zentrales Thema.

Bedeutende Projekte

BMWK Projekt SMART.H2: Smartes Monitoring der Alterung u. Regenerierung von Truck-H2 Brennstoffzellen mittels neuronaler Netze und Impedanztomographie

Projektlaufzeit

01.10.2022 - 30.04.2027

Partner

MAN Truck & Bus SE, TU Hamburg, TU München

DFG Projekt DuraFuelCell: Multiskalen-Untersuchung zur Entwicklung langlebiger und effizienter Wasserstoff-Brennstoffzellensysteme für mobile und stationäre Anwendungen

Projektlaufzeit

01.04.2024 - 31.03.2029

Partner

TU München, TU Hamburg, TU Darmstadt, EKPO Fuel Cell Technologies, MAN Truck & Bus SE, Be-Rex, Stadtwerke Bamberg / Haßfurt / Stuttgart, Wun H2, EAM, HEITEC Innovation, Consolinno Energy, Kyros Hydrogen

BECO2Me: Bioelektrochemische Elektrolyse von CO₂ zu grünem Methanol

Projektlaufzeit

01.04.2023-31.03.2024

Partner

FAU Erlangen-Nürnberg

BattElAnalytik: Analytik von Alterungsprozessen in Lithium-Ionen-Batterie-Elektrolyten für Nutzfahrzeuganwendungen

Projektlaufzeit:

01.01.-31.12.2023

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt fokussiert sich auf die Entwicklung von Alterungstests und Methoden zur Analyse der Alterung von Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuge.

In dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsimpuls werden Wasserstoff-Brennstoffzellen in stationären und schweren Nutzfahrzeuganwendungen skalenübergreifend untersucht.

Das vom Energie Campus Nürnberg geförderte Projekt hat zum Ziel, grundlegende Untersuchungen zur Synthese von Methanol aus CO₂ über elektrochemisch und enzymatisch katalysierte Verfahren durchzuführen.

In diesem von der TH Nürnberg geförderten Vorlaufforschungsprojekt wurde die thermische und elektrochemische Alterung von Batterieelektrolyten für Anwendungen in Lithium-Ionen-Batterien untersucht.

HIGHLIGHT

Neue Analysemethoden zur Untersuchung der Alterung von Brennstoffzellen

Der Einsatz von Wasserstoff-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen (PEMBZ) in emissionsfreien Schwerlastfahrzeugantrieben erfordert extrem langlebige PEMBZ-Komponenten mit Lebensdauern im Bereich von 30.000 Betriebsstunden. Dafür werden Test- und Analysemethoden benötigt, die realistische Betriebsszenarien abbilden, aber die Alterung deutlich beschleunigen. Zu diesem Zweck wurde in Zusammenarbeit mit MAN Truck & Bus SE und der TU München ein beschleunigter Alterungstest entwickelt, der mit einem umfassenden Analyseprogramm gekoppelt ist, um die Alterungsprozesse einer PEMBZ-Membran-Elektroden-Einheit (MEA) realitätsnah zu untersuchen. Der Test umfasst dynamische Zyklen zwischen niedriger, moderater und hoher Last, verschiedene Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen sowie Erholungssequenzen. Feste, flüssige und gasförmige Komponenten werden während der Alterung online durch elektrochemische, massenspektrometrische und ionenchromatographische Analysemethoden überwacht. Die strukturelle und elementare Zusammensetzung der MEA vor und nach dem Alterungsprogramm (post-mortem) werden mittels Röntgenfluoreszenz- sowie Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie untersucht. Mit diesem Programm konnte eine kommerzielle MEA in 1000 Stunden und eine speziell für Nutzfahrzeuganwendungen vorgesehene MEA in 2.070 Stunden bis zum Ende ihrer Lebensdauer gealtert werden, wobei ein genaues Bild der chemischen Alterungsprozesse erhalten wurde.

Die Polymerelektrolytmembran (PEM) ist eine für die Maximallebensdauer von Brennstoffzellen besonders kritische Komponente. Wir konnten eine neue Analysemethode zur Unterscheidung verschiedener PEM-Degradationsphänomene auf der Grundlage der elektrochemischen Rastermikroskopie (SECM) entwickeln. Die Kombination der SECM mit einer Diffusionszelle ermöglicht erstmalig die orts aufgelöste Unterscheidung zwischen der radikalinduzierten Alterung aufgrund der Deaktivierung der Sulfonsäuregruppen und der radikalinduzierten Bildung von Rissen und Löchern im Polymer. Es konnte gezeigt werden, dass Löcher und Risse mit diesem Ansatz zuverlässig nachgewiesen und von einer Änderung der Protonenleitfähigkeit unterschieden werden können. Das Vorhandensein von Löchern in den untersuchten gealterten Membranen wurde durch Rasterelektronenmikroskopie bestätigt, während der Verlust von Sulfonatgruppen durch infrarotspektroskopische Messungen belegt werden konnte.



Untersuchung von Alterungsprozessen einer Brennstoffzelle

Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Wolfgang Heiß, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, Materialien der Elektronik und der Energietechnologie (i-MEET), FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte der Forschungsgruppe SOPSEM (Solution-Processed-Semiconductor-Materials):

Synthese kolloidaler Nanokristalle aus Halbleitern als aktive Materialien in photovoltaischen Bauelementen, speziell für den infraroten Spektralbereich, aus organischen Pigmenten für photokatalytische Reaktionen wie der Reduktion von Sauerstoff zu Wasserstoffperoxid und aus Metalloxiden für smarte und schaltbare Fenster.

Bedeutende Projekte

FAU-Ausgründungsprojekt AMPERIAL

Das AMPERIAL Ausgründungsprojekt ist aus der langjährigen Forschung zu kolloidalen Nanokristallen der Forschungsgruppe "Solution Processed Semiconductors" (SoPSem) der FAU am ENCN entstanden.

Projektzeitraum

01.2023 - heute

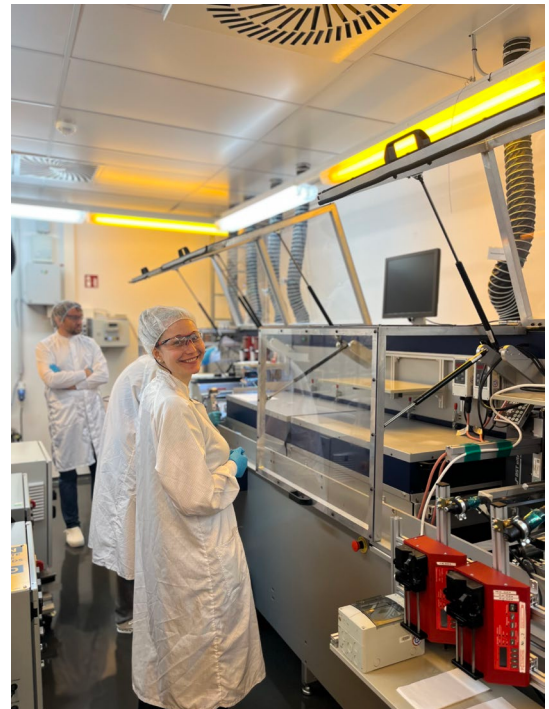
HIGHLIGHT

FAU-Spin-Off - AMPERIAL Technologies GmbH

AMPERIAL entwickelt einen nachrüstbaren und dynamischen Hitzeschutz für Gebäude. Die Erfindung eines neuartigen, nanotechnologischen Materials (US- & EU-Patentanmeldung eingereicht) ermöglicht eine neuartige Innovation, um kostengünstig und skalierbar, nachrüstbare und intelligente Sonnenschutzfolien herzustellen. Diese können die Aufheizung im Gebäude um bis zu 7°C und den Stromverbrauch für Kühlung und Beleuchtung um bis zu 26% reduzieren.

Die transparente Folie reflektiert hauptsächlich den Wärmeanteil des Sonnenlichts (ca. 50% Infrarot), ohne jedoch den gewünschten Tageslichteinfall zu beeinträchtigen. Sozusagen: "Licht kommt rein, Hitze bleibt draußen." Der Effekt kann automatisiert (bspw. nach Temperatur, Jahreszeit, Sonneneinstrahlung) oder individuell nach Komfort und Wohlbefinden aktiviert oder deaktiviert werden. Die Folie kann ebenso graduell getönt werden, um unangenehme Sonnenblendung zu vermeiden (Blendschutz).

Im Jahr 2023 wurde das Team vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und dem Europäischen Sozialfond durch das EXIST Gründerstipendium mit einem sechsstelligen Fördergeld unterstützt. Anfang 2024 konnte das Team eine Anschlussfinanzierung durch Business Angels sichern. Im November 2023 wurde das Team als FAU Innovator des Jahres ausgezeichnet.



Druck einer elektrochromen Schicht auf flexible Folie



Bildrechte: Stadtwerke Herne

Mit einer Installation von kleinen Prototypen der Fensterfolien testet AMPERIAL mit kontinuierlichen Messungen durch hochsensible Sensoren aktuell den Impact der Folie. Nach Auswertung und Optimierung werden in einer zweiten Phase komplette Räume bei den Stadtwerken in Herne ausgestattet.

Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Jürgen Karl, Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Schwerpunkte unserer Arbeiten in Lehre und Forschung sind die effiziente Nutzung konventioneller und erneuerbarer Energien durch thermochemische und biologische Prozesse, wie

- Thermochemische Stoffwandlung und Chemische Energiespeicherung
- Thermische Speichersysteme und Carbon Capture
- Energiesysteme und Energiewirtschaft

Bedeutende Projekte

EU-Projekt CarbonNeutralLNG – Truly Carbon Neutral electricity enhanced Synthesis of Liquefied Natural Gas (LNG) from biomass

Ein zukünftiger CO₂-armer Transportsektor benötigt flüssige Energieträger wie Flüssigmethan aus Biomasse (GreenLNG). Das Projekt zielt hierbei auf die Substitution von fossilen Brennstoffen durch die Nutzung von erneuerbarem Kohlenstoff aus Biomasse ab. Die innovative Prozesskette ermöglicht zudem eine optimale Kohlenstoffeffizienz, die durch kostengünstige erneuerbare Energien aus elektrischem Strom und Biomasse sowie durch eine reduzierte Prozesskomplexität ermöglicht wird.

Projektzeitraum

01.12.2022 – 30.11.2027

Partner

- National Technical University of Athens, Griechenland
- University of Natural Resources and Life Sciences Wien, Österreich
- Electrochaea GmbH, Deutschland
- Josef Bertsch GmbH & Co, Österreich
- RINA-C Consulting SpA, Italien
- University of Graz, Österreich
- Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland
- BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH, Österreich
- Baltic Energy Innovation Centre, Schweden
- Klaipėdos Nafta, Litauen

BMBF-Projekt: Klimapakt2030plus

Im Klimapakt2030plus, wird ein Modell zur Analyse des sektorgekoppelten Energiesystems der europäischen Metropolregion Nürnberg erstellt, um die Energieflüsse zwischen den Kommunen der Region zu analysieren und Potentiale zu erkennen sowie Auswirkungen bestimmter Maßnahmen zu bewerten. Der Lehrstuhl modelliert den Wärmesektor mit unterschiedlichen Wärmeverbräuchern (Wohngebäude, Gewerbe, Industrie) sowie deren unterschiedliche Energieträgernachfrage.

Projektzeitraum

01.12.2022 – 30.11.2027

Partner

- EMN Europäische Metropolregion Nürnberg e.V.
- ENERGIEregion Nürnberg e.V.
- Lehrstuhl für Informatik 7, FAU Erlangen-Nürnberg
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Coburg
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Informatik III
- HafenCity Universität Hamburg

HIGHLIGHT

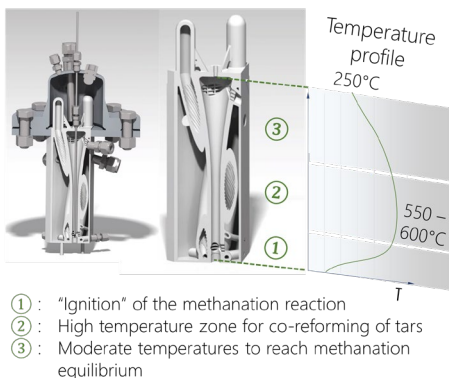
Forschungsfeld Carnot-Batterien



An der FAU Erlangen-Nürnberg begann die Forschung auf dem Gebiet der **Carnot-Batterien** zunächst im Rahmen des Energie Campus Nürnberg im Jahr 2017, gefördert durch die Bayerische Staatsregierung. Der Schwerpunkt der laufenden Carnot-Batterie-Forschung am Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik der FAU liegt auf reversiblen Wärmepumpen und Organic Rankine Cycles. Die Forschungsaktivitäten umfassen thermodynamische und thermoökonomische Analysen sowie die experimentelle Validierung in einer reversiblen Wärmepumpen-ORC-Pilotanlage mit einer Lade- und Entladeleistung von 15 kW_{el} bzw. 9 kW_{el}, kombiniert mit zwei Heißwasserspeichern mit einer Kapazität von je 150 kWh_{th}. Neuere Studien befassten sich mit dem Screening von Flüssigkeiten mit niedrigem GWP (Global Warming Potential), der Interaktion mit thermischen Energiespeichern, optimalen Speichertemperaturen und Schmierkonzepten.

Carnot-Batterie mit thermischen Energiespeichern im Speicherhaus des EnCN.

Forschungsfeld Methanisierung



ADDmeth-Reaktor mit Hochtemperaturzone für das In-situ-Co-Reforming von Teeren

Eine der wichtigsten Innovationen zur **Methanisierung** ist ein additiv gefertigtes Reaktorkonzept, das für die Methanisierung von (teerhaltigem) Synthesegas und für die Direktmethanisierung von Biogas im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben erfolgreich getestet wurde. Im Rahmen des EU-Projektes CarbonNeutralLNG wird das Konzept eingesetzt, um auch teerhaltige Synthesegase aus der Vergasung biogener Reststoffe in Methan umzusetzen. Teere sind meist aromatische Verbindungen, die bei der Pyrolyse und Vergasung von Biomasse entstehen. Dafür wurde ein neuartiger Methanisierungsreaktor konzipiert, in dem Teere direkt reformiert werden können. Dadurch wird sich die Prozesskette deutlich vereinfachen.

Das bestehende Design der 3D-gedruckten heatpipe-gekühlten ADDmeth-Reaktoren wird an die erforderlichen Bedingungen für die endothermen Reformierungsreaktionen angepasst. In einer Hochtemperaturzone werden Teere in Synthesegas umgewandelt, das dann bei niedrigeren Temperaturen zu Methan rekombiniert wird.



100 kWh Pilot-Carbonatspeicheranlage im Speicherhaus des EnCN

Erneuerbare Energien

Prof. Dr.-Ing. Thomas Metz, Fakultät Verfahrenstechnik, Institut für Energie- und Gebäudetechnik, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Kraft-Wärme-Kopplung: Thermoelektrik, Gasverbrennung, Abhitzennutzung
- Energetische Nutzung von Biomasse: Festbrennstoff-Verbrennung, thermische Vergasung, Pyrolyse, Karbonisierung, Gasreinigungsprozesse, Wärme- und Stoffübertragungsaspekte
- Regenerative Prozesswärmebereitstellung

Bedeutende Projekte

ZIM-Projekt Nano-BHKW auf Basis thermo-elektrischer Generatoren	Im Projekt wurde ein innovativer thermoelektrischer Generator in ein Gasbrennwertgerät integriert, so dass ein stromproduzierendes Heizgerät entstand. Hierdurch werden CO ₂ -Emissionen gesenkt.
Projektzeitraum	2020 – 2023
Partner	Deutsches Luft- und Raumfahrt Zentrum DLR Köln, SitusTechnicals GmbH Wuppertal, metz automotive GmbH Amberg, Interdomo GmbH Emsdetten
Thermochemischer Reaktor (Vorlauftforschungsprojekt)	Im Projekt wurde eine multifunktionale Versuchsanlage zur thermochemischen Umwandlung (Verbrennung, thermische Vergasung) von Biomasse errichtet und in Betrieb genommen.
Projektzeitraum	2023 – 2024
Partner	Technische Hochschule Nürnberg - internes Projekt

HIGHLIGHT

Thermoelektrische Compound-Module

Im Projekt Nano-BHKW wurde die Idee sog. thermoelektrischer Compound-Module geboren und gemeinsam mit dem DLR Köln zum Patent angemeldet. Gegenüber konventionellen thermoelektrischen Modulen zeichnen sich die Compound-Module dadurch aus, dass sie sehr robust sind und in rauen, industriellen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden können. Dabei haben sie das Potential zur kostengünstigen Fertigung in großen Stückzahlen (Massenproduktion). Typische Einsatzbereiche sind:

- Produzierendes Gewerbe (z.B. Verhüttung, Stahlherstellung, Walzwerke, Härtereien, Keramikherstellung, Zementwerke, Glasherstellung, Abwärmenutzung, Thermische Nachverbrennung)
- Energieerzeugung (z.B. Solarkraftwerke, Industriekessel, Biogasverstromung, Raffinerien)
- Transport (z.B. PKW-Abgase, LKW-Abgase; Schiffsmotoren, Flugzeugturbine)
- Raumfahrt (z.B. Energiequellen für Satelliten, Energiewandlung am Raketenantrieb)

Die Abwärmenutzung mittels thermoelektrischer Generatoren hat ein erhebliches Marktpotential, das u.a. deshalb noch nicht voll erschlossen ist, weil bisher für die Integration in reale Prozessumgebungen keine entsprechende Standard-Modularisierung entwickelt wurde. Dies wird mit dem Ansatz der Compound-Module adressiert.



Brennerversuchsstand



Forschung an thermoelektrischen Generatoren

Forschungsbereich Speicher



Speicher

Prof. Dr.-Ing. Florian Uhrig, Professur für Systeme zur Wasserstoffnutzung in stationären Anwendungen in der Energietechnik, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe fokussiert sich auf die Rückverstromung von Wasserstoff durch Brennstoffzellensysteme. Durch die Sektorenkopplung auf Basis von Wasserstoff schaffen wir Synergien, um die Abhängigkeit der Energieversorgung aus fossilen Quellen zu reduzieren. D.h. sie beschränkt sich auf Technologien, welche sich positiv auf den Umwelt-Fußabdruck auswirken. Diese Bewertung erfolgt durch die ganzheitliche Betrachtung auf Basis der Lebenszyklusanalyse (LCA).

Bedeutende Projekte

Energiespeicherkonzepte und Sektorenkopplung in der Energieversorgung	Konzepte für den zukünftigen Einsatz von Elektrolyseuren, Brennstoffzellen und Batteriespeichern zur Entlastung des Stromnetzes und zur Steigerung des Nutzungsgrades regenerativer Energie
Projektzeitraum	Seit 2024
Partner	Kommunen und Stadtwerke
Fuel Cell Reference System with Generic Stack	Aufbau eines Brennstoffzellenreferenzsystems für die Fahrzeugindustrie
Projektzeitraum	2025 - 2026
Partner	FVV e.V. // Science for a moving society

HIGHLIGHT

Förderpreis der N-ERGIE Aktiengesellschaft

Im Juni 2024 wurden herausragende Arbeiten im Rahmen der jährlichen Förderpreisverleihung gewürdigt. Einer der begehrten Preise ging diesmal an Tobias Nierlich und seinen Betreuer, Prof. Dr.-Ing. Florian Uhrig.

Die ausgezeichnete Abschlussarbeit mit dem Titel „Simulative Sektorenkopplung durch die Integration von Energiespeichern in lokale Stromnetze zur Optimierung der Netzauslastung“ befasst sich mit der simulativen Integration von Batterie- und Wasserstoffspeicherkraftwerken in örtliche Stromnetze.

In enger Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Altdorf bei Nürnberg wurden reale Stromnetzdaten analysiert und mögliche Zukunftsszenarien entwickelt. Mithilfe von Simulationen konnte aufgezeigt werden, wie die Integration von Energiespeichern zur Entlastung des

Stromnetzes beiträgt und gleichzeitig die Effizienz der Nutzung erneuerbarer Energien verbessert werden kann.



Verleihung des Förderpreises

Speicher

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Ulmer, Forschungsprofessor für Wasserstoffinfrastruktur, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Arbeitsgruppe „Wasserstoffinfrastruktur“ entwickelt innovative Verfahren und Methoden zur Etablierung einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft. Die folgenden Themen werden in der angewandten Forschung & Entwicklung bearbeitet:

- Wasserstoffproduktion (Elektrolyse)
- Wasserstoffspeicherung- und verteilung (Leitungsnetz, Speicherung)
- Wasserstoffnutzung (CO₂-Umwandlung mit H₂, Brennstoffzellen, H₂ in der Industrie)

Bedeutende Projekte

InnoCap	Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Herstellung von grünem H ₂ mittels Kapillarelektrolyse. Umfang: gefördert durch die Staedtler-Stiftung; ein wiss. Mitarbeiter (weitere Drittmittelanträge eingereicht oder in Arbeit)
Projektzeitraum	seit 04.2023
Partner	Technische Hochschule Nürnberg, Schaeffler, Siemens Energy
CO₂ Photokatalyse	Photokatalytische Umwandlung von CO ₂ und H ₂ in Methanol. Umfang: gefördert durch ein EnCN Nachwuchsprojekt; ein wiss. Mitarbeiter (weitere Drittmittelanträge in Arbeit)
Projektzeitraum	seit 04.2023 – 12.2023
Partner	Technische Hochschule Nürnberg, FAU (Prof. M. Hartmann)
HydroCharge	Kurzbeschreibung: Entwicklung eines innovativen Wasserstoffspeichersystems auf Basis von Metallhydriden gekoppelt mit einem Wärmespeicher Umfang: gefördert durch Fakultät Verfahrenstechnik der Ohm, Bosch Förderpreis, Ohm Potenziale; mehrere Bachelor- und Masterstudenten (Drittmittelanträge in Arbeit)
Projektzeitraum	seit 04/2024
Partner	Technische Hochschule Nürnberg, AIST Tsukuba (Japan), Helmholtz Zentrum Hereon
DFG Projekt DuraFuelCell	Kurzbeschreibung: Untersuchung von Alterungserscheinungen in PEM Brennstoffzellen in stationären Anwendungen
Projektzeitraum	seit 04.2024
Partner	Technische Hochschule Nürnberg, diverse Stadtwerke

HIGHLIGHT

CO₂ Photokatalyse

Im Rahmen des Projektes wurde ein neuartiger Reaktor für die Umwandlung von CO₂ und H₂ in Methanol entwickelt und gebaut. Der Photokatalysator wurde dafür auf einem porösen Trägermaterial (poröser Keramikschaum) aufgetragen, siehe Abb. 1. Diese Arbeiten wurden hauptsächlich in der Arbeitsgruppe Prof. Hartmann, FAU durchgeführt.

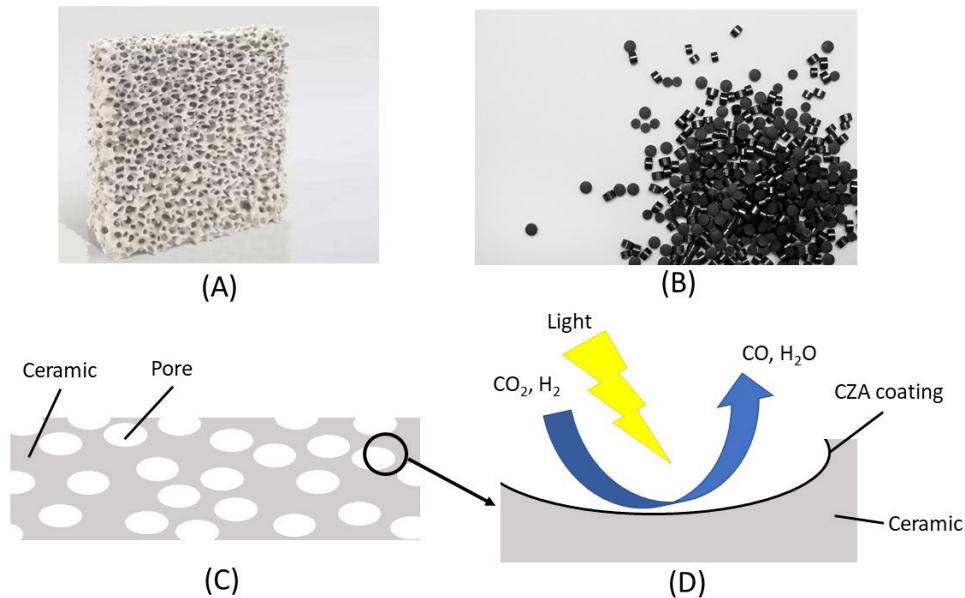


Abbildung 1: (A) Keraimschaum, der als 3-D-Trägerstruktur verwendet werden soll; (B) Pellets des Cu/ZnO/Al₂O₃ (CZA)-Methanolsynthesekatalysators; (C) Schema des Keraimschaums mit Darstellung des Keramikmaterials und der Poren; (D) Detail einer Pore mit CZA-Beschichtung, die die photokatalytische RWGS- oder MeOH-Reaktion antreibt.

Die Technische Hochschule Nürnberg hat sich hauptsächlich mit der Entwicklung und dem Bau einer innovativen Versuchsanlage beschäftigt, die in Abb. 2 gezeigt wird. Diese Versuchsanlage trägt zu einer Weiterentwicklung des Stands der Technik bei und ist für zukünftige Forschungsprojekte im Bereich der Umwandlung von CO₂ in erneuerbare industrielle Chemikalien und Treibstoffe verfügbar.

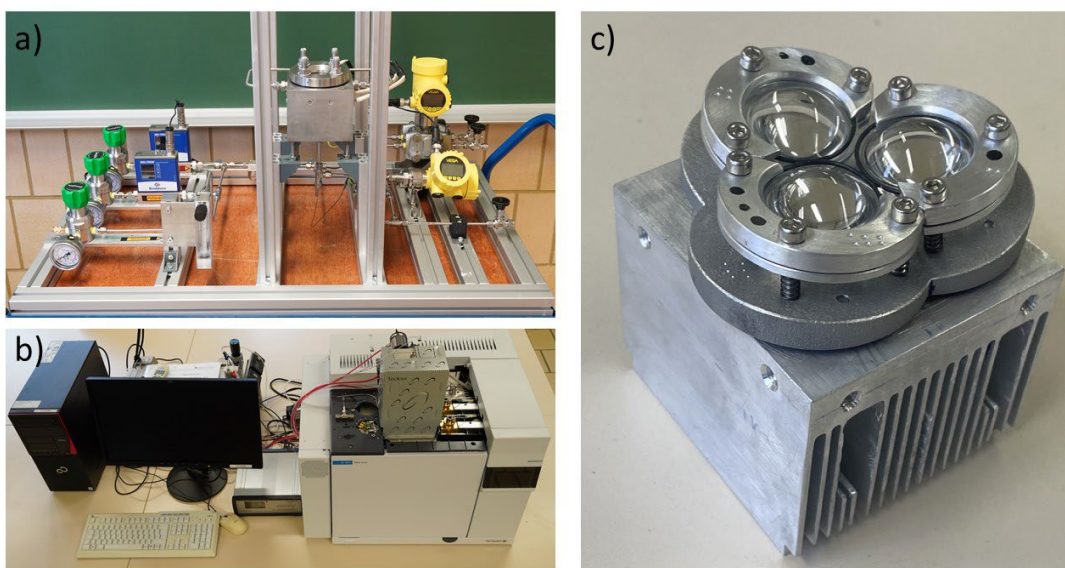


Abbildung 2: Fotos der Anlagen: a) Photoreaktor (an Gestell mit Gasdosiersystem und Drucksensoren; b) Gaschromatograph für die Produktgasanalyse; c) LED-Linsen montiert auf dem LED-Kühler.

Speicher

Prof. Dr. Peter Wasserscheid, Lehrstuhl für Chemische Reaktionstechnik, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



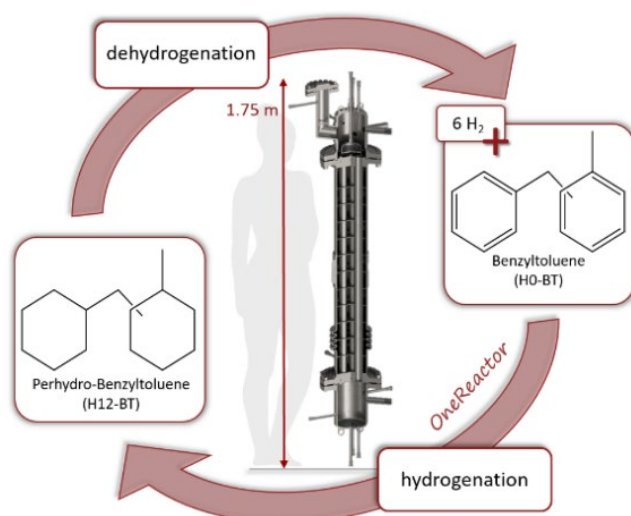
Entwicklung von neuartigen Katalysatorsystemen zur Durchführung technisch relevanter, chemischer Reaktionen und Komponenten für neuartige Werkstoffe. Forschungsschwerpunkte sind u.a.:

- Leistungsdichte H_2 -Freisetzung in LOHC-Reaktoren
- One-Reactor Konzept für die effiziente Wasserstoffspeicherung in LOHC
- Synthese des grünen Kraftstoffs Dimethylcarbonat aus erneuerbaren Rohstoffen
- Einsatz phosphorhaltige Katalysatoren für die chemische Wasserstoffspeicherung
- Wasserstofffreisetzung aus LOHC zur maritimen Fortbewegung

Ausgewählte Arbeiten

In der Arbeitsgruppe Wasserscheid wurden in 2023 und 2024 die erfolgreichen Arbeiten zum Einsatz flüssiger organischer Wasserstoffträger (engl. Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHCs) fortgesetzt. Hierbei erfolgten insbesondere Untersuchungen am MiniOne-Reactor im Speicherhaus des EnCN. Das OneReactor-Konzept wurde für die stationäre Energiespeicherung in LOHC entwickelt. Dieses Konzept ermöglicht es, im selben Reaktor und mit demselben Katalysator entweder eine Hydrierung (exotherme H_2 -Speicherung) oder eine Dehydrierung (endotherme H_2 -Freisetzung) durchzuführen. Beide Reaktionen werden bei ähnlichen Temperaturen im Bereich von 260-310 °C durchgeführt, was die Wärmeintegration in einem Wechselmodus erleichtert.

Durch die Steuerung von Temperatur, Druck und Strömungsregime konnten die Hydrierungsgrade des LOHC sowie die Wasserstofffreisetzungsraten präzise eingestellt werden. Das Betriebsfenster des gewählten Reaktoraufbaus wurde evaluiert. Die dynamische Betriebsfähigkeit wurde untersucht, indem die Reaktion des Systems auf Änderungen des Betriebspunkts und während des zyklischen Betriebs analysiert wurde. In den Experimenten mit insgesamt mehr als 20 Hydrier-/Dehydrier-Zyklen konnte gezeigt werden, dass die Nebenproduktbildung und Zersetzung des LOHC nur in sehr geringem Maße auftritt und dass die Katalysatoren über den zyklischen Betrieb stabil waren.



Schematische Darstellung des Hydrierungs-/Dehydrierungszyklus von Benzyltoluol/Perhydrobenzyltoluol im OneReactor.

Um den freigesetzten Wasserstoff im Anschluss in einer PEM-Brennstoffzelle nutzen zu können, muss dieser die zulässige Grenze (ISO 14687) an Verunreinigungen (z.B. < 0,2 ppm CO, < 100 ppm Methan) einhalten. Deshalb wurden am EnCN 2023/24 Studien zur adsorptiven Abtrennung von Gasverunreinigungen an Aktivkohle- und Silica-Adsorberbetten durchgeführt.

Schematische Darstellung eines Wasserstoffkreislaufs mit adsorptiver Aufreinigung des aus LOHC freigesetzten Gasstroms.



MiniOne-Reactor im Speicherhaus des EnCN

Forschungsbereich Netze



Netze

Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther, Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls für Elektrische Energiesysteme (LEES) liegen in der Modellierung und Analyse von Stromnetzen mit hoher Durchdringung leistungselektronischer Betriebsmittel, der Bewertung der Systemstabilität, sowie des Netzschutzes. Weitere Forschungsthemen liegen im Bereich intelligenter Verteilnetze und Mikronetze, sowie deren netzdienlicher Regelung und Optimierung. Zur experimentellen Simulation im Bereich elektrischer Netze betreibt der Lehrstuhl Laborinfrastruktur für Hardware-in-the-Loop (HiL) und Power-Hardware-in-the-Loop (PHiL) Untersuchungen.

Bedeutende Projekte

BMBF Projekt Kopernikus ENSURE	Schwerpunkte des LEES ist der Aufbau einer Co-Demonstrationsplattform, Untersuchungen im Bereich Netzschutz und in umrichterdominierten Netzen. (https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/ensure)
Projektzeitraum	2016 – 2026
Partner	Zahlreiche weitere Partner aus Industrie, Netzwirtschaft, Akademie und von Nichtregierungsorganisationen
BMWK Projekt EOS	Das Projekt verfolgt das Ziel einer sektorengerkoppelten Optimierung eines Wohnquartiers und Weiterentwicklung zur Energiegemeinschaft.
Projektzeitraum	2024 – 2027
Partner	Heitec Innovations GmbH, ESTW AG, OPAL-RT Germany GmbH, UTN
BMWK Projekt REMBup	Im Projekt REMBup soll im Rahmen eines Reallabors eine zuverlässige, CO ₂ -neutrale Energieversorgung eines Messebetriebs am Standort Nürnberg Messe umgesetzt und erprobt werden.
Projektzeitraum	2024 – 2028
Partner	HEITEC Innovations GmbH, NürnbergMesse GmbH, INP Deutschland GmbH, Energie PLUS Concept GmbH, Energas BHKW GmbH, Fraunhofer-Institut IISB, Fraunhofer-Institut IIS, Fraunhofer-Institut IEG, Forschungszentrum Jülich GmbH

HIGHLIGHT

Kopernikus ENSURE Co-Demonstrationsplattform

Im Rahmen des Projekt Kopernikus ENSURE soll unter Leitung von Dr.-Ing. Gert Mehlmann, des Lehrstuhls für Elektrische Energiesysteme, Europas leistungsfähigster Simulationsverbund für elektrische Netze entstehen. Diese sogenannte Co-Demonstrationsplattform soll zur Validierung und Demonstration von Lösungen für die Energiewende, einzeln und im Zusammenspiel innerhalb des Projekts eingesetzt werden und nach dem Projekt erhalten bleiben und einen gesellschaftlichen Mehrwert schaffen. Wesentliche Werkzeuge für die Plattform sind die (verteilte) Echtzeitsimulation und verschiedene Netzmodelle, einschließlich eines echtzeitfähigen Übertragungsnetzmodells von Deutschland und den

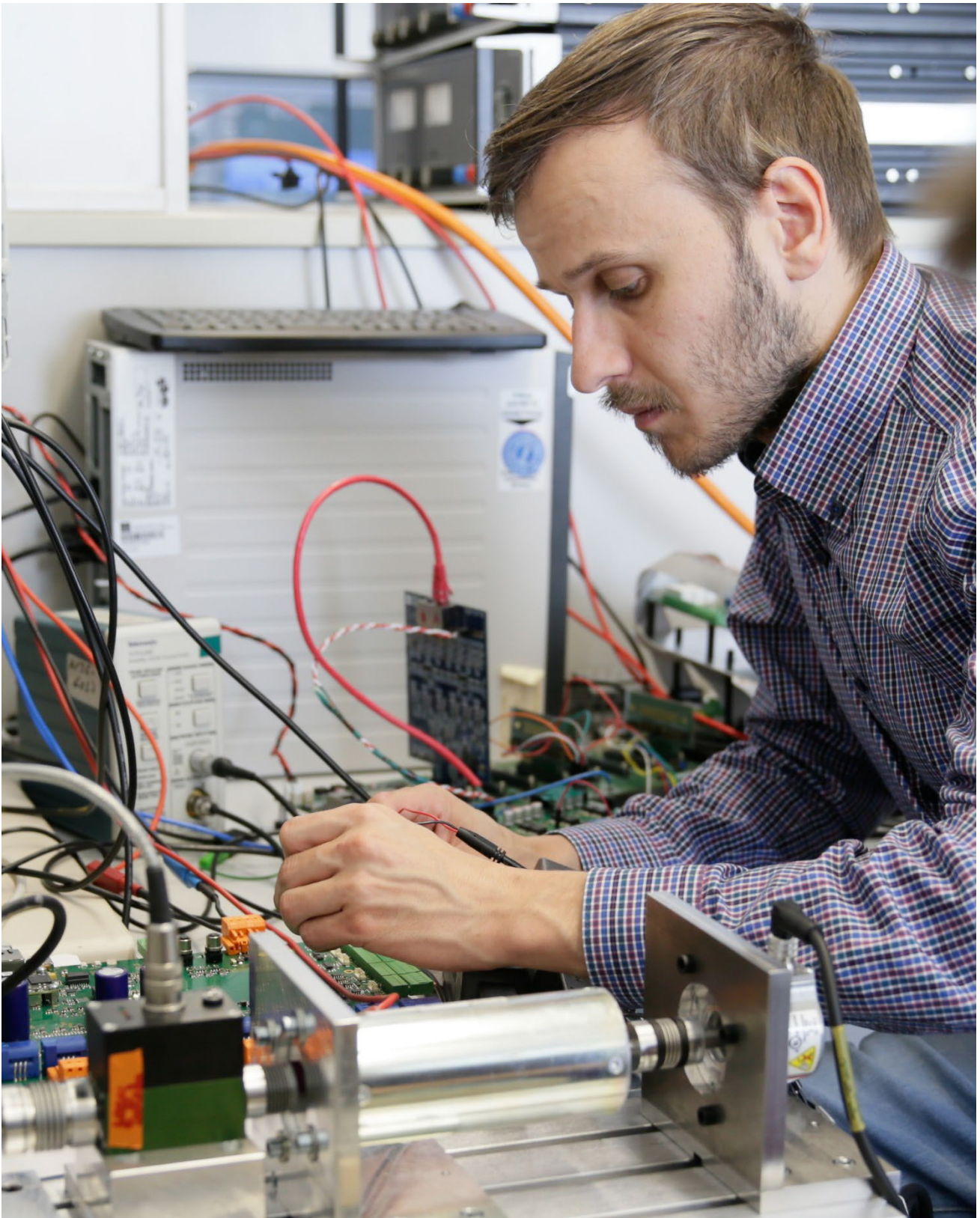
Nachbarländern. Die Kopplung von Laboren an verschiedenen Standorten in Deutschland mittels Co-Simulation ermöglicht den Zugriff auf die dortige Infrastruktur und die jeweiligen Kompetenzen vor Ort. Dies ermöglicht umfangreiche gemeinsame Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulationen und erweitert die Plattform um eine wichtige Funktionalität.

Anwendungsfelder der Plattform liegen im Bereich der Systemstabilität, des Netzschutzes, ausgedehnter HiL Simulationen, Netzkonformitätsuntersuchungen und Digitaler Zwillinge elektrischer Netze, sowie Leitwartenapplikationen.



Echtzeitsimulationslabor am Energie Campus Nürnberg

Forschungsbereich Energieeffizienz



Energieeffizienz

Prof. Dr. Alexander Buchele, Kompetenzzentrum Industrielle Energieeffizienz, Hochschule Ansbach

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Alexander Buchele lehrt und forscht im Bereich „Simulation für Energieeffizienz und nachhaltige Produktionsprozesse“. Er leitet die Kompetenzzentren für Strömungssimulation (KSTS) und Industrielle Energieeffizienz (KIEff) und betreut die Forschungsgruppe der Hochschule Ansbach am EnCN. Er ist weiterhin Mitglied der Studiengangsleitung im Bachelor-Studiengang „Nachhaltige Ingenieurwissenschaften“.

Bedeutende Projekte

BMWK Projekt Klguss	Entwicklung einer KI-basierten Bildverarbeitungssoftware zur Gefügeauswertung und innovative Erweiterung einer Gießprozesssimulation um ein datenbasiertes KI-Modul zur Prognose von Bauteileigenschaften
Projektzeitraum	10.2023 – 09.2025
Partner	RWP GmbH, Ancud IT-Beratung GmbH, TU Clausthal
Green Melting	Pilotstudie zur Elektrifizierung von Leichtmetallgießereien durch lokales induktives Schmelzen
Projektzeitraum	03.2023 – 12.2024
Partner	Lehrstuhl für Gießereitechnik (FAU)
TAKE Transferzentrum Ansbach Klimaschutz & Effizienz	Förderung des regionalen Technologietransfers durch kostenlose Beratung und Unterstützung von klein- und mittelständischen Unternehmen im Bereich der Simulationstechnik, einschließlich der Bereitstellung notwendiger Hard- und Software
Projektzeitraum	12.2022 – 12.2027
Partner	Verschiedene je nach Einzelprojekt
BMWK Projekt WindBreaks	Fundierte Beurteilung der Leistungssteigerung von Windenergieanlagen durch Windschutzstreifen mittels messtechnischer und numerischer Untersuchung und Weiterentwicklung der fliegenden Windmesstechnik zur hochaufgelösten Messung der Windcharakteristik
Projektzeitraum	07.2023 – 06.2026
Partner	Optolution GmbH
BMDV Projekt WindForest	Untersuchung der schnellen und unkomplizierten Bereitstellung von Winddaten über bewaldeten Gebieten: Mittels KI-Anwendungen werden erstmals grobskalige Wetterdaten auf kleinskalige Topografiedaten mit Waldbedeckung projiziert, um die lokale Auflösung zu erhöhen
Projektzeitraum	10.2023 – 03.2025
Partner	Optolution GmbH, Nefino GmbH

HIGHLIGHT

Gründung DigiGuss: Netzwerk für innovative Lösungen in der Gießerei-Industrie

Zum 01. September 2023 startete das Innovationsnetzwerk DigiGuss, ein Zusammenschluss aus neun Unternehmen und zwei wissenschaftlichen Einrichtungen, initiiert von der Hochschule Ansbach und der ENERGIEregion Nürnberg e.V. Dieses ZIM-Kooperationsnetzwerk wird im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Das Forschungs- und Entwicklungsnetzwerk DigiGuss konzentriert sich auf die Schwerpunkte Digitalisierung und Ressourceneffizienz. In einer Branche, die sich ständigen technologischen und ökologischen Herausforderungen gegenüberstellt, bietet DigiGuss eine Plattform für die gemeinsame Entwicklung und Vermarktung innovativer Lösungen. Im Mittelpunkt von DigiGuss steht die Bewältigung der aktuellen Herausforderungen der Gießerei-Industrie. Hierzu zählen unter anderem die Optimierung von Produktionsprozessen durch den Einsatz digitaler Technologien, die Verbesserung der Ressourceneffizienz und die Reduktion von Umweltbelastungen. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen sollen Synergien geschaffen und die Innovationskraft der beteiligten Partner gesteigert werden.



Vorwärmung von Aluminium-Masse in im Gießerei-Betrieb



VR-Analyse der Nachlaufströmung einer Windkraftanlage

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Arno Dentel, Energieeffiziente Systeme der Gebäudetechnik, Leiter des Instituts für Energie und Gebäude, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Tätigkeiten umfassen die Lehre und Forschung an der Technischen Hochschule Nürnberg. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Optimierung von energieeffizienten Systemen der Gebäudetechnik, insbesondere auf der Simulation und Modellierung von Gebäude- und Energiesystemen. Des Weiteren bilden das Monitoring von Real-laboren und deren Betriebsoptimierung einen Schwerpunkt. Auch der Einfluss auf die Nutzenden und deren Akzeptanz werden untersucht. Anwendungsfelder sind der Gebäude- und Quartiersbereich, einzelne Räume und aktive Fassaden.

Bedeutende Projekte

BMWK Projekt sEnSys (FKZ 03EN1053A)	Das Projekt umfasst die Entwicklung und Umsetzung eines umfassenden Konzepts für energieeffiziente, wirtschaftliche und netzdienliche Gebäude, die in der Jahresbilanz eine Klimaneutralität erreichen.
Projektzeitraum	01.06.2022 - 31.05.2025
Projektpartner	GEWOBAU Erlangen Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Erlangen mbH, enisyst GmbH, Grass Power Electronics GmbH
BMWSB Projekt Quartier Opt (10.08.18.7-23.35)	Mit Hilfe geeigneter Modellierung wird die klimaneutrale Transformation städtischer Quartiere unter ganzheitlicher Betrachtung von Zusammensetzung, Energiekonzepten und Energiemarktdesign untersucht.
Projektzeitraum	01.12.2023 - 30.11.2025
Projektpartner	FAU Erlangen-Nürnberg
EU Projekt EFRE-DEGREE	Ziel ist es, Methoden der Digitalisierung für die Dekarbonisierung in der Energie- und Gebäudetechnik voranzutreiben und einen Wissens- und Technologietransfer zu den Unternehmen zu fördern.
Projektzeitraum	01.05.2023 - 31.12.2027
Projektpartner	13 regionale KMUs, unter Mitwirkung von: Prof. Dr. Stephan, Prof. Dr. Jahangiri, Prof. Heying, Prof. Dr. Opferkuch, Prof. Dr. Dietz, Prof. Dr. Stockinger, Prof. Dr. Schober der Technischen Hochschule Nürnberg
AZURE	Ziel ist die Entwicklung eines Wasserstoffbrenners in unterschiedlichen Designs für innovative Verbrennungslösungen sowie zur Integration der Wasserstofftechnologie in unterschiedliche Wärmeerzeuger.
Projektzeitraum	01.04.2022 - 31.03.2024
Projektpartner	Ausgründung

HIGHLIGHT

MoSimEx-Luft (10.08.18.7-22.33), 01.09.2022 - 31.12.2024, WOLF Klimatechnik GmbH

Das Forschungsvorhaben der Ohm und der Wolf Klimatechnik GmbH untersucht, wie mit Hilfe von geeigneten Lüftungskonzepten für Klassenräume, die Anforderungen an eine gute und gesunde Raumluft eingehalten und ein gleichzeitig möglichst energieeffizienter Betrieb von maschinellen Lüftungsanlagen erreicht werden können. Es werden sowohl simulative als auch experimentelle Studien im Labor am Energie Campus Nürnberg durchgeführt. Zusätzlich werden im Rahmen einer Feldstudie Klassenräume mit zentraler, dezentraler sowie ohne Lüftungstechnik verglichen. Auch der Einfluss auf die Schulkinder wird bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in einem Leitfaden zusammengefasst.



Bildrechte: Kurt Fuchs

Emulationsprüfstand für Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz, Institut für Leistungselektronische Systeme (ELSYS), Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsbereiche

- Moderne Regelungsverfahren für elektrische Antriebe und leistungselektronische Systeme (Modellprädikative Regelung, Reinforcement Learning)
- Modellbasierte Beschreibung und Erprobung elektrischer Mehrphasenantriebe
- Rapid Control Prototyping mit automatischer Codegenerierung

Bedeutende Projekte

BMW Projekt NetPVStore	Erforschung und Entwicklung eines netzdienlichen Photovoltaik-Speicher-Systems unter Einsatz von Ultrakondensatoren
Projektzeitraum	2022 - 2025
Partner	Center for Applied Energy Research (Würzburg), Sunset Energietechnik GmbH, Skeleton Technologies, DHG Engineering GmbH, Unterfränkische Überlandzentrale eG
BMW Projekt POV.OS	Entwicklung einer Plattform zur Automatisierung von mobilen Arbeitsmaschinen - Regelungsverfahren für modulare Leistungselektronik und elektrische Antriebe
Projektzeitraum	2023 - 2026
Partner	FAU Erlangen-Nürnberg, Apex.AI GmbH, Bosch Engineering GmbH, Continental Automotive Technologies GmbH, DHG Engineering GmbH, Elektrobit Automotive GmbH, indurad GmbH, Infoteam SET GmbH, Robert Bosch GmbH, MicroSys Electronics GmbH, Scantinel Photonics GmbH
Dependable Engine	Erforschung und Entwicklung eines fehlertoleranten 2x3-strängigen Elektromotors
Projektzeitraum	2021 - 2024
Partner	Hans Mayer Elektromotoren, UniTek Industrie Elektronik GmbH
BMW Projekt E M Power –Automatisierte Fertigungsprozesse für Electric Road Systems zur Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs	Entwicklung eines Demonstrators fürs dynamische Laden von Elektrofahrzeugen
Projektzeitraum	2022 - 2025
Partner	FAU Erlangen-Nürnberg (LS FAPS), VIA IMC GmbH, Electrecon Deutschland GmbH, Risomat GmbH, Autobahn GmbH (Niederlassung Nordbayern)

HIGHLIGHT

KI-Power geht in die zweite Runde

Ende 2023 wurde das Projekt KI-Power für weitere zwei Jahre vom Bundesministerium für Bildung und Forschung bewilligt. Das Projekt ist in der Förderlinie „Zukunftsfähige Spezialprozessoren und Entwicklungsplattformen“ (ZUSE) angesiedelt. Das Hauptziel von KI-Power ist die Erforschung einer skalierbaren Entwicklungsplattform für KI-basierte und hochdynamische Regelungsverfahren für Leistungselektronik und elektrischen Antrieben.

In der ersten Förderphase von 2020 bis 2023 hat das Konsortium, das sich aus drei mittelständischen Unternehmen und Forschern der TU München und der Technischen Hochschule Nürnberg zusammensetzt, ein höchstperformantes Hard- und Softwaresystem geschaffen. Das Ecosystem „UltraZohm“ ermöglicht die Forschung und Entwicklung neuer Algorithmen für Energieeffizienz, Zuverlässigkeit, Robustheit und Sicherheit in elektrischen Antrieben. UltraZohm eröffnet die schnelle Implementierung von echtzeitfähigen Algorithmen, die vor allem für mittelständische Unternehmen ein niederschwelliger Einstieg in modellprädikative und KI-basierte Algorithmen ermöglicht. Damit werden aktuelle und modernste Entwicklungen auch für kleinere Unternehmen im Bereich der Energie- und Antriebstechnik mit überschaubarem Zeit- und Kostenaufwand möglich. Hervorzuheben ist, dass sowohl die Hard- als auch die Software von KI-Power konsequent als „Open Source“ angelegt ist, um die Einstiegsbarriere gering zu halten. Durch dieses gewählte Konzept konnte bereits eine lebendige und stetig wachsende „Community“ von Nutzern aufgebaut werden. UltraZohm hat vor allem im akademischen Bereich, neben der nationalen Anwendung, auch bereits internationale Nutzer, wie z.B. in Finnland, Italien und Chile.

Ein wichtiger Meilenstein in der ersten Projektphase war die Ausgründung des Unternehmens Zohm Control GmbH. Die zweite Projektphase hat zum Ziel, das Wachstum der Nutzergemeinschaft zu fördern und das Ecosystems in industriellen Anwendungen zu intensivieren und zu etablieren. Für die zweite Phase ist auch ein wissenschaftlicher Wettbewerb auf Basis dieses Ecosystems geplant, der für einen weiteren Schub der Verbreitung sorgen soll. Unterstützt wird diese Initiative vom European Center for Power Electronics (ECPE), das von Anfang an als assoziierter Partner das Projekt begleitete und über sein europäisches Netzwerk das Vorhaben und den Wettbewerb ausschreiben wird.

BACKGROUND

1. Welche Vorteile könnten KI-Verfahren für die Regelung elektrischer Antriebe bieten?

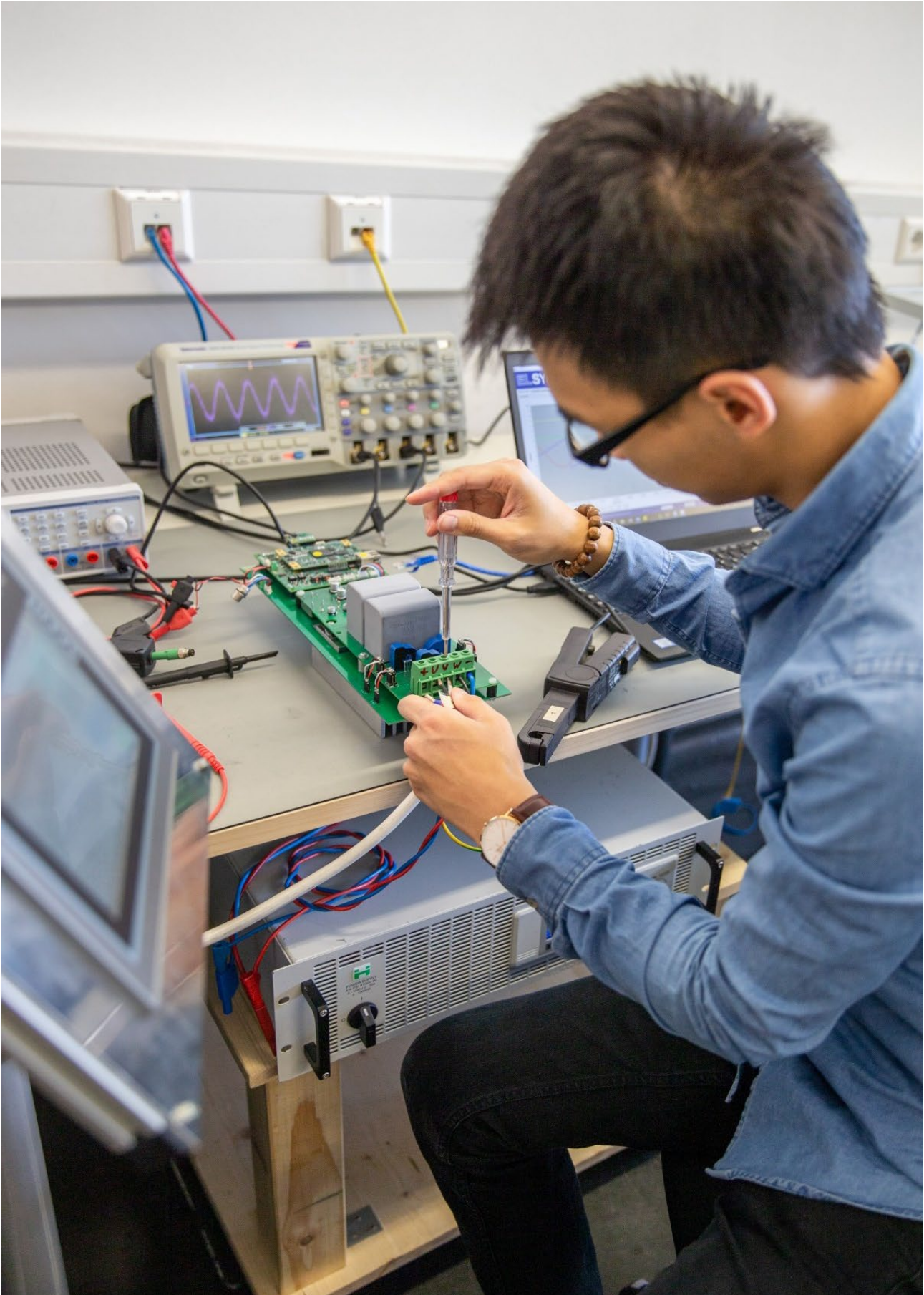
Elektrische Antriebe weisen in der Regel nichtlineare Eigenschaften der Regelstrecke auf, die mit klassischen Verfahren eine hohe Expertise bei der Reglereinstellung und -optimierung erfordern. Hier setzt unsere Forschung an, um mit KI-Verfahren einfachere und selbsteinstellende Regelungen zu entwickeln. Hierdurch kann sowohl das dynamische Verhalten als auch die Energieeffizienz des Antriebsstrangs verbessert werden.

2. Was sind Herausforderungen, damit KI-Verfahren unter Echtzeitbedingungen elektrische Antriebe regeln können?

Bei der Regelung elektrischer Antriebe ist die Stabilität der Regelung ein wichtiger Aspekt. Es muss sichergestellt werden, dass die KI-Verfahren zu jedem Zeitpunkt die physikalischen Systemgrenzen (z.B. maximaler Strom) einhalten, um das Antriebssystem nicht zu beschädigen. Dies ist vor allem beim Edge Learning von großer Bedeutung, da das KI-Verfahren zu Beginn des Trainings noch keine Informationen über das Antriebssystem hat und daher zufällige Aktionen ausgibt.

3. Was ist der Vorteil einer „Open Source“ Regelungsplattform?

Dies fördert die Vernetzung von Forschungseinrichtungen und beschleunigt gleichzeitig die kontinuierliche Weiterentwicklung der Regelungsplattform, da Nutzer der Plattform unkompliziert und offen miteinander arbeiten können. Dadurch wird die breitere Anwendung von KI-Technologien in der Forschung und der Industrie unterstützt, was langfristig zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft führt.



Laboraufbau zur Evaluierung von Regelalgorithmen für die Antriebstechnik

Energieeffizienz

Prof. Dr. Johannes Germishuizen, Institut für leistungselektronische Systeme (ELSYS), Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Energieeffiziente Antriebe und mechatronische Antriebssysteme
- Antriebe für die Elektromobilität
- Verlustoptimierte Auslegung elektrischer Maschinen
- Analytische/messtechnische Ermittlung der Eisen- und Zusatzverluste
- Elektrische Maschinen

Bedeutende Projekte

Entwicklung hochdrehender Verdichter für Wasserstoffantriebe	Simulative Untersuchung einer schnelldrehenden permanenten Synchronmaschine. Analyse und Optimierung der elektromagnetischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften des Verdichters.
Projektzeitraum	05.2024 – 04.2025
Partner	Staedtler Stiftung
BMW/ZIM Projekt HighTorqCraft	Entwicklung eines effizienten Antriebs für Lastdrohnen, welcher drehmomentstark und mit hoher Drehmomentdichte ausgestattet ist.
Projektzeitraum	07/2021 bis 09/2024
Partner	Hacker Motor GmbH
SynchronBlow	Einsatz einer Synchronreluktanzmaschine in einem Querstromfahrtwindgebläse für Fahrzeugprüfstände.
Projektzeitraum	10/2021 bis 09/2024
Partner	Ben Buchele und WMB Ventilatoren GmbH

HIGHLIGHT

Optimierung des Wirkungsgrades permanenterregter Synchronmaschinen (PMSM)

Unsere Forschung zielt darauf ab, den Wirkungsgrad permanenterregter Synchronmaschinen (PMSM) im Feldschwächbetrieb zu optimieren, die insbesondere im Mobilitätssektor eingesetzt werden. Diese Maschinen zeichnen sich durch eine hohe Leistungsdichte und einen verbesserten Wirkungsgrad aus, doch die genaue Bewertung der Ummagnetisierungs- und Zusatzverluste im Feldschwächbetrieb stellt eine Herausforderung dar.

Ein wesentlicher Meilenstein in diesem Projekt war die erfolgreiche Inbetriebnahme des Motors mit dem UltraZohm Real Time Control System. Dieser Schritt ist entscheidend, um die komplexen Wechselwirkungen zwischen dem Stator- und Permanentmagnetfeld zu analysieren, die zu zusätzlichen Verlusten führen können. Die präzise Charakterisierung dieser Verluste ist notwendig, um den Gesamtwirkungsgrad der Maschine zu verbessern.

Durch die Kombination von numerischen Simulationen und experimentellen Messungen werden neue Berechnungsmodelle entwickelt, um die Verluste im Feldschwächbetrieb genau zu erfassen. Dies bildet die Grundlage für die Optimierung von PMSM-Antrieben und die Weiterentwicklung der Technologie.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in einem Folgeprojekt vertieft werden, das auf dieser Vorlaufforschung aufbaut. Unser Ziel ist es, gemeinsam mit regionalen Industriepartnern im Mobilitätssektor die Forschungsergebnisse in praktische Anwendungen zu überführen und so zur Weiterentwicklung effizienter Antriebssysteme beizutragen.



Inbetriebnahme des Motors mit UltraZohm



Motorenprüfstand für Leistungsbereiche bis 400 kW, Drehmomente bis 5000 Nm und Drehzahl bis 3300 U/min

Energieeffizienz

Prof. Dr. rer. nat. Barbara Hintz, MBA, Arbeitsgruppe Energieeffiziente Werkstoffe, Fakultät Werkstofftechnik, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschergruppe „Energieeffiziente Werkstoffe und Simulation“ beschäftigt sich mit der Optimierung von Herstellungsverfahren, Produkt und Anwendung in verschiedenen Bereichen durch numerische Methoden, KI und 3D-Druck. Dabei erstrecken sich die Anwendungsfelder von 3D-Druck ganzer Häuser aus Recyclingstoffen bis hinein in den Bereich der Medizintechnik (3D-Druck von Kühlern für Computertomographen (CT)). Material, Herstellungsverfahren als auch Produkte werden hinsichtlich Effizienz optimiert.

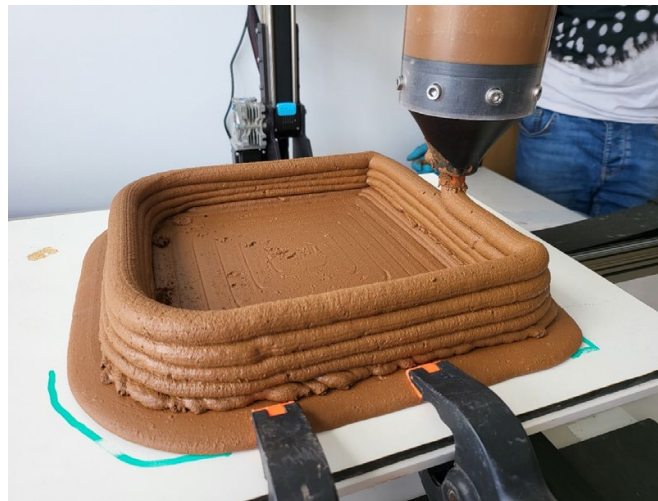
Bedeutende Projekte

BMW/ZIM Projekt GeoWolf	Entwicklung und Erprobung eines innovativen kalthärtenden Systems aus Rohstoffen und Reststoffen der Schamotteherstellung für den Einsatz beim Bau häuslicher Feuerstätten für feste Brennstoffe
Projektzeitraum	01.10.2023 – 30.05.2026
Partner	Wolfshöher Tonwerke
InnoPrint	Entwicklung eines kontinuierlichen, in der Fertigung einsetzbaren 3D-Druckers für Keramik und Bindebaustoffe im Layerverfahren basierend auf den Formgebungsverfahren Extrusion/Pressen
Projektzeitraum	01.10.2023 – 30.05.2025
Partner	BMI Gruppe
AM HX I	Ganzheitliche Optimierung eines Wärmetauschers durch ANSYS CFX, Design of Experiment und ANSYS Discovery mit anschließender SLM-Fertigungssimulation
Projektzeitraum	01.10.2022 – 30.08.2023
Partner	SIEMENS HEALTHINEERS
AM HX II	Entwicklung eines optimierten Kühlerdesigns für CT auf Basis eines digitalen Zwillings mit AI
Projektzeitraum	01.09.2024 – 15.03.2026
Partner	SIEMENS HEALTHINEERS, EOS Optical Systems

HIGHLIGHTS

GeoBOD und GeoBOD²: Geopolymer-Beton aus Abfallstoffen für den 3D-Druck

Es ist bereits heute absehbar, dass herkömmliches, konventionelles Bauen zumindest in weiten Bereichen des Bauwesens in naher Zukunft durch direkten 3D-Druck auf der Baustelle und in der Vorfertigung abgelöst wird. Dadurch eröffnen sich neuartige Möglichkeiten der innovativen Raum- und Gebäudenutzung. Durch den Einsatz von Geopolymeren aus Recycling und Reststoffen für den 3D-Druck statt Zement, werden erhebliche Mengen Rohstoff und Energie eingespart. Das Forschungsprojekt GeoBOD (Geopolymer-Based Onsite 3D-Printing) beschäftigt sich mit der Entwicklung und Erprobung von derartigen Geopolymeren, die für den 3D Druck geeignet sind. Anhand der für die Vorstudie entwickelten Mischungen überprüfen die Forschenden in GeoBOD² die bauphysikalische Eignung der Geopolymere. Dadurch entwickeln sie Mischungen, die sich für den 3D-Häuserdruck eignen und den derzeit eingesetzten Beton ersetzen. Die Mischungen sollen später für den großtechnischen Einsatz dienen und zur Produktreife geführt werden. In einer Zeit, in der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung immer wichtiger werden, bieten dieses Projekte eine zukunftsweisende Alternative zu traditionellen Baustoffen, die teilweise bei Ihrer Herstellung hohe CO₂-Emissionen verursachen. GeoBOD ist ein von der Staedler Stiftung gefördertes Projekt und GeoBOD² ist ein öffentlich gefördertes Projekt, vom Projektträger Jülich, zusammen mit der Firma PERI, bei dem Häuser aus Bauschutt gedruckt werden sollen.



3D-Druck eines Demonstrators mit den Maßen 450x450x500 mm aus 100% Recycling-Bauschutt.



Eingesetzter Sekundärrohstoff (Recycling-Bauschutt) (links) für den 3D-Druck von Gebäuden im Layer-Verfahren (rechts)

GeoWolf: Entwicklung und Erprobung eines innovativen kalthärtenden Systems aus Rohstoffen und Reststoffen der Schamotteherstellung

Das GeoWolf-Projekt zielt auf die Entwicklung eines innovativen kalthärtenden Systems ab, das Rohstoffe und Reststoffe aus der Schamotteherstellung verwendet, um häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe zu optimieren. Der Einsatz dieser Materialien ermöglicht eine nachhaltige Ressourcennutzung und bietet eine kosteneffiziente Lösung, die gleichzeitig den hohen Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im bisherigen Herstellungsprozess reduziert.



Pressplatten aus Recyclingstoffen hergestellt in ersten Technikumsversuchen bei unserem Projektpartner Wolfshöher Tonwerke

Entwicklung eines kontinuierlichen, in der Fertigung einsetzbaren 3D-Druckers für Keramik und Bindebaustoffe im Layerverfahren basierend auf den Formgebungsverfahren Extrusion/Pressen

Der Anteil 3D gedruckter keramischer Produkte wird sich bis 2025 um ca. das 25-fache steigern. Unser Partner im Projekt, die BMI-Gruppe fertigt Komplettlösungen für die Dachausgestaltung, bisher mittels herkömmlicher Herstellungsverfahren (Extrusion, Strangpressen, Pressverfahren).

Ausgewählte Dachsystemteile und Brennhilfsmittel für Dachsteine können zukünftig mittels 3D-Druck hergestellt werden. Durch die Fertigung des Bauteils in einem Stück (möglich nur durch den 3D-Druck), können Klebestellen im Bauteil und manuelle Fügevorgänge mit viel Handarbeit eingespart werden. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt sind auf viele weitere keramische Werkstoffe, z.B. Porzellan, Cordierit oder Steinzeug bis zu Bindebaustoffen übertragbar. Auch komplexe Feuerfest-Formen/Brennhilfsmittel können mittels keramischen 3D-Druck hergestellt werden und eröffnen ganz neue Ansätze zur Material-Einsparung (Gyroid-Struktur). Hierdurch werden Energieeinsparungen im Brennprozess und erhöhte Effizienz in der Fertigung erreicht.

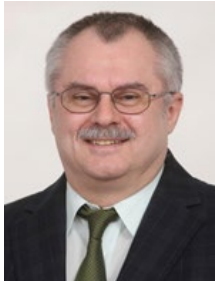


3D-gedruckte Dachentlüftung / Ansicht von oben (l) und von unten (r) (Druckzeit 15 min), eine Nacharbeit ist nicht erforderlich.

Energieeffizienz

Prof. Dr. Wolfgang Krcmar, Arbeitsgruppe Energieeffiziente Werkstoffe, Fakultät Werkstofftechnik, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Arbeitsgruppe modifiziert klassische Baustoffe (Mauerziegel, Mörtel, Putze, Isolierstoffe) mit neuartigen Effekten, mit dem Ziel, die physikalischen Eigenschaften, insbesondere die Wärmedämmung zu verbessern. Die Reflex-Beschichtung von Hohlräumen führt zur Verbesserung der Wärmedämmung; ein erhöhter Schallschutz wird durch Anwendung der „Schallstopper-Technologie“ erreicht. Durch Nanofaser-Verstärkung gelingt die Herstellung stabiler hochwärmedämmender SiO₂-Aerogel-Monolithe. Für die Geopolymer-Entwicklung wird Bauschutt durch „kalte“ Erhärtung zu neuartigen Ersatz-Baustoffen recycelt.

Bedeutende Projekte

Forschungsprojekt „Entwicklung eines hochporösen mineral-organischen Akustikschaum-Systems“	Im Rahmen des Vorhabens soll ein Akustikschaum-System aus Gips- und Polyharnstoff so modifiziert werden, dass eine Schallabsorption $\geq 0,7$ bei gleichzeitig verbesserten Wärmedämmeigenschaften $\lambda_{10, tr} \leq 0,04 \text{ W/(mK)}$ resultiert. Um das Ziel zu erreichen werden pulverfeine anorganische Zuschlagstoffe der Ausgangsmischung hinzugefügt.
Projektzeitraum	01.01.2021 – 31.08.2023
Partner	Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Maschinenbau/Versorgungstechnik
EU-Projekt (Horizon) – LightCocoe “Building an ecosystem for the up-scaling of lightweight multi-functional concrete and ceramic materials and structures”	Für die Optimierung von Ziegeleigenschaften erfolgt eine Kombination von Mikro- und Nano-Porosierungsmitteln, u.a. von Papierfangstoff und Carbon Black. Dadurch gelingt eine Absenkung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit und Verbesserung der Wärmedämm-Eigenschaften um 20,6 %.
Projektzeitraum	01.01.2019 – 31.06.2024
Partner	25 Partner aus 9 EU-Ländern
EU-Projekt (Life) – Hypobrick “Towards hypocarbonic economy – Development of non-fired building materials based on wastes”	Im Projekt werden Ersatzbaustoffe aus kalterhärtenden Geopolymeren entwickelt. Als Einsatzstoffe fungieren Flugasche, Ziegelmehl, Beton- und Misch-Bauschutt. Die Geopolymer-Ersatzbaustoffe zeigen für den Einsatz in der Bauindustrie geeignete werkstofftechnische Eigenschaften.
Projektzeitraum	01.10.2019 – 31.03.2023
Partner	Schlagmann POROTON GmbH & Co.KG, Zeilarn/Deutschland, Ladrillos MORA, S.L., Illescas/Spanien, Asociacion de investigacion de las Industrias Ceramicas (ITC-AICE), Recycling, Consulting & Services, S.L., Valencia
Forschungsprojekt RaPro Ziegel 2020 „Entwicklung wärmedämmender Mauerziegel mit optimierten Schallschutzeigenschaften durch iterative Finite Elemente-Simulation und Rapid Prototyping“	Mit der neu entwickelten „Schallstopper-Technologie“ kann das bewertete Schalldämm-Maß und damit die Schalldämm-Eigenschaft eines Mauerziegels um 1,4 dB, entsprechend um 40 % erhöht werden. Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass die Wärmedämm-Eigenschaft erhalten bleibt und die Dichte und Druckfestigkeit erhöht werden.

Projektzeitraum	01.10.2017 – 12.12.2023
Partner	Ziegelwerk Bellenberg Wiest GmbH & Co. KG, Bellenberg, Ziegelwerk Turber GmbH, Pförring / Forchheim, Ziegelsysteme Michael Kellerer GmbH & Co. KG, Oberweikertshofen, HÄNDLE GmbH, Maschinen und Anlagenbau, Mühlacker

HIGHLIGHT

Zur Veröffentlichung eingereichte Publikation (Auszug):

„Einfluss der Porenform auf die Thermoschock-Eigenschaften von Cordierit-Keramik“

Jan Sebastian Hildebrand^A, Luca Thieme^A, Jan Kröger^A, Dr. Stefan Stöber^B, Prof. Dr. Christiane Stephan-Scherb^B, Prof. Dr. Dr. Herbert Pöllmann (+)^B und Prof. Dr. Wolfgang Krcmar^A

A Technische Hochschule Nürnberg - Georg Simon Ohm, Fakultät Werkstofftechnik, B Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie

Für die thermische Isolierung von Hochtemperatur-Prozessen werden feuerfeste Isoliersteine aus hochtemperaturbeständiger Cordierit-Keramik benötigt. Damit die in Ofenanlagen eingebauten Cordierit-Steine so lange wie möglich genutzt werden können, müssen sich diese durch eine ganze Reihe optimaler werkstofftechnischer Kenngrößen empfehlen, u.a. durch eine sehr gute Thermoschock-Beständigkeit. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit bestand das Ziel darin, zu untersuchen, ob durch Variation der Porenform in der Cordierit-Keramik die Thermoschock-Eigenschaften optimiert werden können.

Auszug Dissertation:

Um die Feuerfest-Eigenschaften von Cordierit-Isoliersteinen zu verbessern, werden ausbrennbare Porosierungsmittel mit unterschiedlichen, einfachen Geometrien der ungebrannten Cordierit-Ausgangsmasse zugemischt. Dazu wird die keramische Rohmasse in vier Ansätze aufgeteilt. Bei drei Ansätzen wird vor dem Extrusionsprozess in Monoporosierung 20 Vol. % je eines der drei Porosierungsmittel, nämlich sphärisches, aufgeschäumtes Polystyrol (EPS) oder zylinderförmiges Polylactid (PLA) oder kubisches Polyamid 6 (PA6) eingemischt. Die Größe der verwendeten Porosierungsmittel wird so gewählt, dass nach dem Brennprozess das resultierende Einzelporenvolumen bei allen drei Cordierit-Keramiken annähernd $3,38 \text{ mm}^3 \pm 0,25 \text{ mm}^3$ beträgt, während ausschließlich die Porenform variiert.



Bilder 1 bis 3:

Eingesetzte, ausbrennbare Porosierungsmittel zur Erzeugung von Poren mit einfachen Geometrien in Cordierit-Keramik. Siebfraction von EPS-Kügelchen zwischen 2,0 mm und 2,5 mm Maschenweite (l). PLA-Zylinder mit einer Höhe von 5,3 mm und einem Durchmesser von 0,9 mm (m). Kubisches PA6-Granulat mit einer Kantenlänge von 1,5 mm (r).

Beim Brennprozess mit maximal 1330 °C zersetzen sich die Porosierungsmittel bereits in der Aufheizphase thermisch und hinterlassen Poren von eben diesen Geometrien. Die Rohlinge werden in einmaligen, nicht zyklischen Thermoschock-Versuchen auf je eine der Temperaturen 350, 450, 550, 650 und 750 °C aufgeheizt, in einem Wasserbad bei 20 °C abgeschreckt und die resultierenden, relativen Verluste der 3-Punkt-Biegefestigkeiten L der Temperaturdifferenzen $\Delta T = 330, 430, 530, 630$ und 730 K ermittelt.

Die unporosierte Referenzprobe und die Probe mit kubischen Poren weisen kritische Temperaturdifferenzen ($L(\Delta TC) = 30 \%$) ΔTC von 671 K und 436 K auf, während die Proben mit sphärischen und zylindrischen Porenformen ΔTC nicht erreichen.

In einer weiteren Messreihe werden identisch hergestellte Proben über 100 Thermoschock-Zyklen bei gleichen Abschreckbedingungen einer Temperaturdifferenz von $\Delta T = 650 \text{ K}$ ausgesetzt. Durch die Korrelation der 3-Punkt-Biegefestigkeit σ_{3p} mit dem dynamischen E-Modul E_{dyn} (Impulserregung) ist in guter Näherung die Berechnung der relativen Verluste der 3-Punkt-Biegefestigkeit L_{calc} möglich. Proben mit kubischen und zylindrischen Poren zeigen innerhalb der ersten Thermoschock-Zyklen Materialversagen ($L_{calc} \geq 30 \%$), während die unporosierten Referenzproben im Intervall zwischen 20 und 30 Zyklen versagen und Proben mit sphärischen Poren über 100 Thermoschock-Zyklen hinweg kein Materialversagen aufweisen. Die Scherben-Wärmeleitfähigkeiten $\lambda_{10, tr.}$ nicht geschockter, porosierter Proben liegen im Vergleich zur unporosierten Referenzprobe zwischen 19,8 % bis 43,1 % niedriger. Aus der Untersuchung geht hervor, dass kugelförmige Poren in Cordierit-Isoliersteinen eine Verbesserung der Thermoschock-Eigenschaften bewirken. Hochtemperatur-Prozesse sollten daher mit entsprechend porosierten Cordierit-Steinen ausgerüstet werden, um eine möglichst langlebige thermische Isolierung zu gewährleisten.



Bilder 4 und 5: Mit unterschiedlichen Porenformen ausgerüstete plattenförmige Cordierit-Probekörper mit den Abmessungen ($L \times B \times H$) 100 mm x 100 mm x 25 mm (l). Mit unterschiedlichen Porenformen ausgerüstete Cordierit-Probestäbe mit den Abmessungen ($L \times B \times H$) 120 mm x 25 mm x 20 mm (r).



Bild 6: Im Wirbelschicht-Reaktor erfolgt das Sintern von kleinsteiliger Elektrokeramik bei 1350 °C im Schwebezustand.

Energieeffizienz

Prof. Dr. Martin März, Lehrstuhl für Leistungselektronik, FAU

Kurzzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte: 1. hocheffiziente leistungselektronische Wandler für das elektrische Energiemanagement im Nieder- und Mittelspannungsbereich, 2. kryogene Leistungselektronik für Anwendungen, insbesondere im Luftfahrtsektor, mit Flüssig-Wasserstoff als Energieträger, 3. aktive EMV-Filter zur Bauraum- und Gewichtsreduzierung leistungselektronischer Wandler sowie 4. RF-Leistungselektronik für neuartige Anwendungen im Bereich der elektrischen Energiewandlung und -übertragung. Wichtig ist uns die gesamte Bandbreite, von Grundlagenuntersuchungen über die Modellierung bis hin zum Prototypenbau sowie die enge Vernetzung mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft.

Bedeutende Projekte

BMBF Projekt ECS4DRES	»Electronic Components and Systems for flexible, coordinated and resilient Distributed Renewable Energy Systems« Ziel des Lehrstuhls LEE ist die Entwicklung modularer, intelligenter und hocheffizienter Leistungselektronik zur Anbindung von Wasserstoffspeichern an verteilte erneuerbare Energiesysteme.
Projektzeitraum	07.2024 – 06.2027
Partner	31 Partnern
EU Projekt NEWBORNn	Modellierung und Simulation der elektrischen Architektur von mit Wasserstoff und Brennstoffzellen betriebenen Flugzeugen, Analyse des Energiemanagements. Untersuchung des Energiebordnetzes hinsichtlich Systemstabilität und Fehlerszenarien.
Projektzeitraum	2023 – 2025
Partner	13 Partnern aus der europäischen Luftfahrtindustrie und Luftfahrtforschung
IGF Projekt DC hyPAMod	»Digitale Planung und Simulation hybrider AC/DC-Energienetze in automatisierten Produktionsanlagen« Ziel dieses IGF-Forschungsprojekts ist es, die Planung und Auslegung von hybriden AC/DC-Netzen für industrielle Produktionsanlagen zu erleichtern.
Projektzeitraum	2022 – 2025
Partner	FAU FAPS; Projektbegleitender Ausschuss mit über 30 Partnern aus Industrie und Forschung

HIGHLIGHT

Multi-MW-Brennstoffzellen-Antriebssystem für wasserstoffbetriebene Flugzeuge

Als Teil des "Clean Aviation Joint Undertaking" der Europäischen Union zielt das Projekt NEWBORN (Förderungsnummer 101101967) auf den Bau eines vollständig elektrifizierten Regionalflugzeugs ab, dessen elektrische Architektur auf innovativer Brennstoffzellentechnologie aufbaut. Um den dringenden Bedarf an einer radikalen Reduzierung oder sogar Eliminierung der Lebenszyklusemissionen im Luftfahrtsektor zu erfüllen, ist ein völlig neues, umweltfreundliches Design des Antriebs und des Energiebordnetzes von Flugzeugen erforderlich.

Der Lehrstuhl für Leistungselektronik (LEE) ist für die Entwicklung der Simulationsplattform für die gesamte elektrische Architektur des Flugzeugs verantwortlich. In einem mehrschichtigen Modellierungsansatz mit Funktions- und Verhaltensebenen werden die Brennstoffzelle, die Batteriespeicher, leistungselektronischen Wandler (Stromrichter) und elektrischen Antriebsmotoren als digitale Zwillinge beschrieben. Darauf aufbauend erfolgt die Entwicklung eines Energiemanagements und eines Steuerverfahrens für das Energiebordnetz des Flugzeugs sowie die Analyse der Systemstabilität und des Verhaltens bei unterschiedlichsten Fehlerszenarien.



Forschung an kryogener Leistungselektronik für die Luft- und Raumfahrt

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch, Forschungsgruppe Dezentrale Energiewandlung und Speicherung, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe für Dezentrale Energiewandlung und Speicherung (ENE) ist am Nuremberg Campus of Technology angesiedelt. Seit der Berufung von Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch an die Ohm (2015) arbeitet die Gruppe an thermodynamischen Systemen zur Abwärmenutzung und Kälteerzeugung sowie an Antriebstechnologien für Nutzfahrzeuge. Die Gruppe betreibt diverse Außenlabore, u.a. ein Labor zur Abwärmeverstromung mit Mikrodampfturbinen am Klärwerk I der Stadt Nürnberg sowie diverse Prüfstände für Batterien und Brennstoffzellen am Campus Future Driveline.

Bedeutende Projekte

BMW Projekt EnEffWerk - Steigerung der Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit von spannenden Werkzeugmaschinen durch optimierten Kühlung mit öko-effizienter und digitaler Kältetechnik	In einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem NCT-Lehrstuhl von Prof. Dr.-Ing. Nico Hanenkamp der FAU und diversen Industriepartnern werden effizientere Kühlungstechnologien für Präzisions-Werkzeugmaschinen erforscht.
Projektzeitraum	01.10.2022 - 30.09.2025
Partner	Industriepartner
BMBF Projekt InnoREva - Innovative Kältemittel-Plattenverdampfer	In Kooperation mit diversen Forschungsgruppen der Ohm und Industriepartnern werden neue Verdampfertechnologien für die Kältetechnik mit natürlichen Kältemittel untersucht.
Projektzeitraum	01.02.2023 - 31.01.2026
Partner	Industriepartner
StMWi Projekt BNG - Battery Next Generation	Forschung an Batteriesystemen für die nächste Generation schwerer Nutzfahrzeuge mit batterieelektrischen Antrieben. In Kooperation mit Industriepartnern am Campus Future Driveline.
Projektzeitraum	01.01.2023 - 31.12.2025
Partner	Industriepartner

HIGHLIGHT

Campus Future Driveline

Schon bald sollen schwere Nutzfahrzeuge mit Antriebssystemen ausgestattet sein, die es ermöglichen, lokal emissionsfrei zu fahren. Im Fokus stehen bei den Herstellern neuartige Systeme auf Basis von Wasserstoff und batterieelektrische Antriebe. Brennstoffzellen und Li-Ionen-Zellen sind die Schlüsselkomponenten in solchen Systemen. Diese sind hohen Belastungen ausgesetzt und müssen daher besonders robust und betriebssicher sein. Die Entwicklung solcher Systeme bis zur Markteinführung erfordert große Anstrengungen in Forschung und Entwicklung. Zu diesem Zweck hat die Forschungsgruppe, gemeinsam mit dem Fahrzeughersteller MAN Truck & Bus und der FAU, einen Forschungscampus gegründet, der unter dem Namen Campus Future Driveline die anwendungsbezogene Forschung der Ohm, die Grundlagenforschung der FAU und die Praxis enger zusammenbringen soll. Die Forschungsgruppe Energie- und Speichertechnologien von Herrn Prof. Opferkuch entwickelt zu diesem Zweck effizientere Testverfahren und untersucht Alterungseinflüsse unter anwendungsnahen Bedingungen. Praxisgerechte Ausbildung von angehenden Ingenieuren im Rahmen von Praktika und Vorlesungen direkt am Campus Future Driveline sowie der schnelle und effizientere Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis sind die besonderen Vorteile dieser Kooperation.



Versuchsanlage zur Abwärmeverstromung auf Basis des Clausius-Rankine-Prinzips mit Mikro-Dampfturbine

Energieeffizienz

**Prof. Dr. Roswitha Zeis, Lehrstuhl Elektrische Energietechnik, Professur für Elektrische Wasserstoffsyste-
me, FAU**

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Entwicklung von Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen und Vanadium-Redox-Flow-Batterien

- Untersuchung der Sauerstoffreduktion in verschiedenen Elektrolyten
- Analyse von Impedanzdaten mittels Verteilung der Relaxationszeiten (DRT)
- Test von elektrochemischen Wasserstoffpumpen
- Visualisierung von elektrochemischen Zellen mittels Röntgenstrahlung
- Charakterisierung von Kohlenstoffelektroden

Bedeutende Projekte

KIT Future Fields Projekt ALU-STORE - Aluminum Metal as Energy Carrier for Seasonal Energy Storage	Machbarkeitsuntersuchung der Verwendung von Aluminium als Energieträger und Speichermedium für die saisonale Energiespeicherung in einem breiten Spektrum von Speicherdauern und der Bewertung der Nachhaltigkeit der Lebenszyklusphasen
Projektzeitraum	2021-2023
Partner	Helmholtz-Institut Ulm, Karlsruher Institut of Technology
Bamboo Charcoal for Electrochemical Energy Conversion and Storage (Förderung: Deutsch-Chinesisches Zentrum für Wissenschaftsförderung)	Um die Durchdringung erneuerbarer Energien, Brennstoffzellen und Redox-Flow-Batterien zu verbessern, müssen fortschrittliche Energieumwandlungs- und Speichertechnologien implementiert werden. Die Verbesserung der Leistung durch den Stofftransfer und die elektrochemische Reaktion an der Grenzfläche zwischen Elektrode und Elektrolyt wird erforscht.
Projektzeitraum	2020-2024
Partner	Chongqing University

HIGHLIGHT

Operando-Visualisierung der Elektrolytverteilung in Vanadium-Redox-Flow-Elektroden

Die Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB) wird zur stationären Energiespeicherung eingesetzt und ist bereits kommerziell erhältlich. Während des Ladens und Entladens wird eine Lösung mit Vanadium-Ionen, der Elektrolyt, mit Pumpen aus den Tanks in das Herzstück der Batterie, die elektrochemische Zelle, gepumpt. Dort wird die redoxaktive Vanadium-Spezies im Elektrolyten reduziert oder oxidiert, es findet also eine elektrochemische Reaktion statt. Da Vanadium eine Vielzahl von Oxidationszuständen einnehmen kann, ist der Betrieb der VRFB mit nur einer aktiven Spezies möglich. Die Besonderheit der Technologie liegt in der Entkopplung von Energiekapazität und Leistungsdichte.

Elektrolyttransportverluste sind einer der Faktoren, die die Leistung der VRFB begrenzen. Um diese Verluste zu reduzieren, muss der Elektrolyt in die Elektrode eindringen und die Reaktionsstellen mit minimalem Widerstand erreichen. Eine optimierte Elektrolytströmung stellt sicher, dass Edukte und Produkte ungehindert zu und von den Reaktionsstellen transportiert werden und reduziert die Pumpverluste der elektrochemischen Zelle, wodurch der Gesamtwirkungsgrad des Batteriesystems erhöht wird.

Die Elektrolytverteilung in einer porösen Elektrode ist entscheidend für die Stabilität und Leistung der Elektrode. Das Vorhandensein von Gasblasen in der Elektrode verringert die elektrochemisch aktive Oberfläche, was zu Schwankungen des Zellpotenzials führt. Außerdem verursachen die Gasblasen einen schlechten Kontakt zwischen Elektrolyt und Elektrode und die Ionenleitfähigkeit kann lokal blockiert werden. Diese Effekte führen zu einer inhomogenen Potentialverteilung (Spikes), die die Korrosion des Elektrodenmaterials beschleunigt. Gasblasen sind in VRFB sehr häufig und resultieren aus parasitären Nebenreaktionen wie Kohlenstoffkorrosion. Die Synchrotron-Röntgenbildgebung ist ein leistungsfähiges Werkzeug, um diese Blasen in porösen Kohlenstoffmaterialien zu verfolgen. Wir haben einen Versuchsaufbau entworfen, der einer in Betrieb befindlichen VRFB-Zelle ähnelt, um die Strömung durch die poröse Kohlenstoffelektrode abzubilden. Mit seinem modularen Aufbau bietet der Aufbau eine ausgezeichnete Flexibilität, um verschiedene Designs und Betriebsaspekte von VRFBs zu bewerten.



Hochtemperatur-Brennstoffzellenteststand

Forschungsbereich Technologieökonomie



Technologieökonomie

Prof. Dr. Mario Liebensteiner, Juniorprofessor für Wirtschaftswissenschaften, insbes. Energiemärkte und Energiesystemanalyse, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Mario Liebensteiner ist Juniorprofessor für Volkswirtschaftslehre, insbes. Energiemärkte und Energiesystemanalyse. Seine Forschungsinteressen liegen in der Analyse und Regulierung von Energiemärkten und Umweltpolitik. Zuvor arbeitete er an der TU Kaiserslautern und der WU Wien. Er absolvierte ein Doktorat in Economics an der WU Wien und ein Diplomstudium in Economics an der JKU Linz und der City University of Hong Kong. Er ist Mitglied des Expertengremiums „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) der deutschen Wissenschaftsakademien.

Bedeutende Projekte

Beyond Borders: Estimating the Marginal Emission Factor of Electricity Trade	Ökonometrische Schätzung der CO ₂ -Emissionsveränderung durch Stromimporte und -exporte in Deutschland mittels hochfrequenter Marktdaten.
Projektzeitraum	Februar 2024 - August 2024
Partner	Filippo Beltrami (EURAC Research Bolzano) & Luigi Grossi (University of Parma)
From Gas to Coal: Environmental and Health Impacts of Europe's Energy Crisis	Ökonometrische Schätzung der zusätzlichen Kohleverstromung und der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen, Luftverschmutzung (Feinstaub, Stickoxide, Schwefelsulfur) und frühzeitigen Todesfälle durch die Energiekrise 2021/22
Projektzeitraum	Januar 2024 - Juli 2024

HIGHLIGHT

Positive und negative lokale Externalitäten von Windturbinen in Deutschland

Ein Forschungsprojekt von Prof. Mario Liebensteiner, Prof. Sven Heim (MINES Paris PSL University) und Félix Michelet (MINES Paris PSL University) beschäftigt sich mit der empirischen Evaluierung positiver und negativer externer Effekte durch den Zubau von Windrädern in Deutschland. Während Windräder Strom emissionsfrei erzeugen können und somit bedeutende ökologische Vorteile gegenüber konventionellen Stromproduktionsanlagen mit sich bringen, gibt es zunehmend lokalen Widerstand in der Bevölkerung. Vor allem Lärmbelastung und visuelle Beeinträchtigungen werden dabei oft genannt. Dieses „Not-in-my-backyard“-Phänomen kann zu signifikanten lokalen Spannungen und Widerstand in der Bevölkerung gegenüber der Energiewende führen. Die Forscher untersuchen Daten zu lokalen Immobilienpreisen der Jahre 2008 bis 2017 in einem statistisch-ökonometrischen Modell. Weil Hauspreise und die Standortwahl von Windturbinen sich gegenseitig beeinflussen, beispielsweise weil Windturbinen vermehrt dort platziert werden, wo der Grundstückspreis günstig ist, verwenden die Forscher Änderungen im Fördersystem für Windenergie als innovativen Instrumentalvariablenansatz, um unverzerrte Schätzergebnisse zu erhalten. Es zeigt sich, dass die Errichtung einer Windturbine in einer deutschen Gemeinde den Kaufpreis eines Hauses um 1,9 % senkt, wobei dieser nachteilige Effekt am stärksten bei der ersten installierten Windanlage zutrifft. Zudem führt die Installation von Windkraftanlagen zu einem Rückgang des lokalen Tourismus und dazu, dass weniger Baugenehmigungen für Wohnungen und Häuser erteilt werden, was die Wohnungsnot weiter verschärft. Auf der positiven Seite erhöht jede installierte Windkraftanlage das Steueraufkommen einer Gemeinde um durchschnittlich 1,8 % durch zusätzliches Gewerbesteuerertrags. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die negativen externen Effekte durch Investitionen in lokale Infrastruktur und Dienstleistungen

durch erhöhte Steuereinnahmen abgemildert werden können. Das wiederum würde die negativen Auswirkungen der Windkraftanlagen kompensieren. Insgesamt hilft die Studie, fundiertere, evidenzbasierte politische Entscheidungen zu treffen.

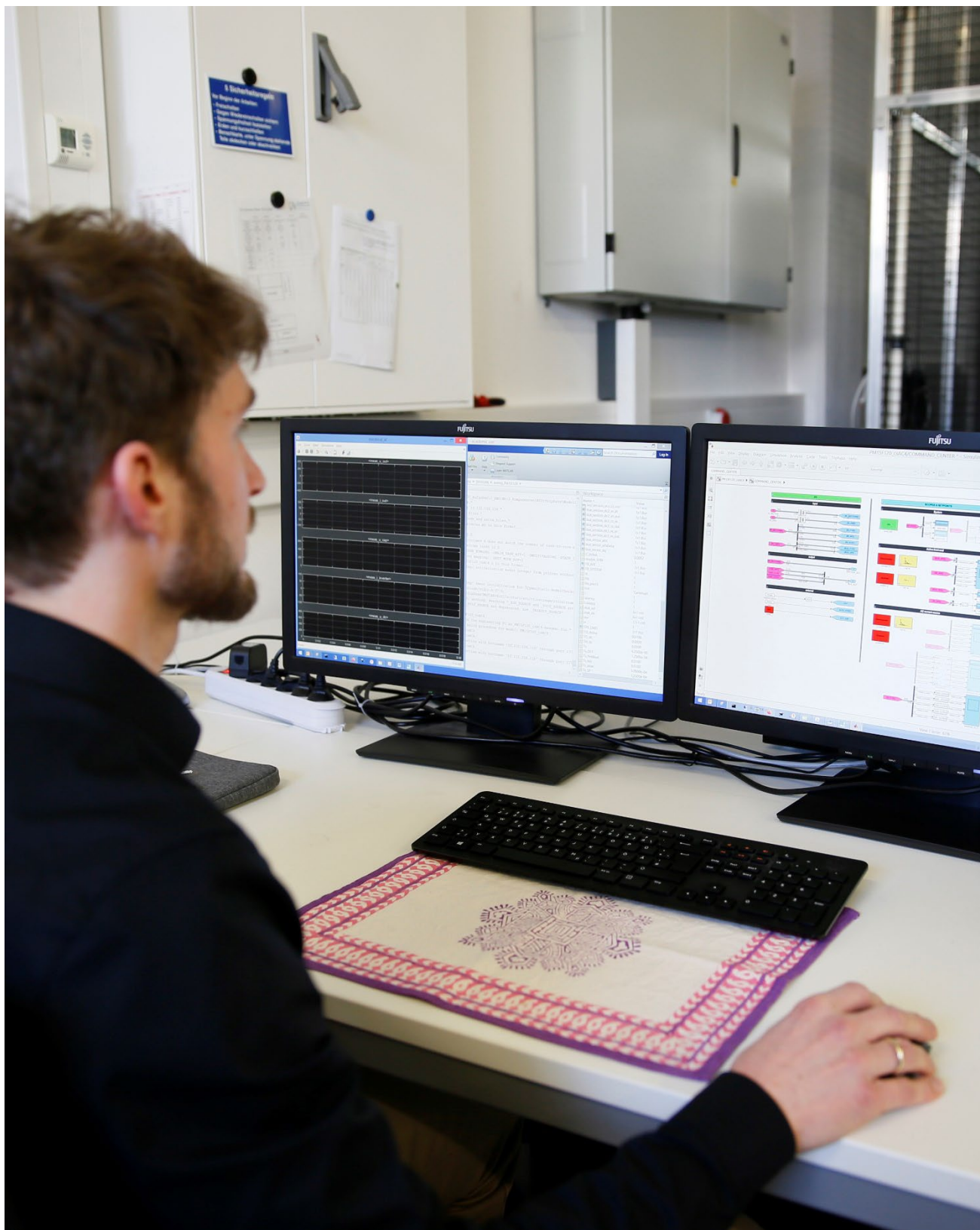


Windkraftanlagen verringern den Wert eines Hauses



Im Umkreis von Nürnberg gibt es neben Solarparks auch einige Windparks. Die Metropolregion Nürnberg ist stark in der Erschließung von erneuerbaren Energien und trägt dazu bei, CO₂ zu sparen. Eigentümer dieser Anlagen sind neben den regionalen Energieversorgern auch Bürgerinitiativen.

Forschungsbereich Transformation und Nachhaltigkeit



Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr.-Ing. Reinhard German, Lehrstuhl Informatik 7 (Rechnernetze und Kommunikationssysteme), FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Gruppe Smart Energy befasst sich mit der Simulation von vernetzten Energiesystemen und mit Eigenschaften der Kommunikation in vernetzten Energiesystemen. Der Open-Source Simulationsbaukasten i7-AnyEnergy, der vom Lehrstuhl entwickelt wurde, basiert auf dem zellularen Ansatz. Er wurde bereits in vielen Projekten von der Hausebene bis zur nationalen Ebene sowie für Fragen der Elektromobilität eingesetzt. Für die Kopplung in verteilten Simulationen kann das Open-Source Werkzeug daceDS eingesetzt werden. Bei der Kommunikation werden Echtzeiteigenschaften analysiert und die Informationssicherheit untersucht.

Bedeutende Projekte

BMWK-Projekt - ESM-Regio	Das Projekt beschäftigt sich mit der „mehrs sektoral gekoppelten Energiesystemmodellierung auf regionaler Ebene“ und erstellt ein zeitlich hochaufgelöstes Energiesystemmodell in der Größenordnung von Landkreisen, das die vier Sektoren Elektrizität, Gas, Wärme und Verkehr sowie die benötigten Schnittstellentechnologien berücksichtigt. Eine ganzheitliche Analyse und Optimierung des Systembetriebs ist möglich.
Projektzeitraum	05.2021 – 10.2024
Partner	FAU LS Energieverfahrenstechnik, Uni Würzburg, Hochschule Coburg, Stadtwerke Bayreuth, Energieagentur Nordbayern, Bayern Innovativ
DFG Projekt - Adaptive Quality-of-Service-Management für einen effizienten und resilienten Betrieb intelligenter Verteilnetze	Durch den Ausbau erneuerbarer Energieanlagen auf Nieder- und Mittelspannungsebene und der dadurch notwendigen Verlagerung der Systemverantwortung müssen vergleichbare Funktionen und Dienste – sogenannte <i>Smart Grid Services</i> (SGSs) – auf <i>Verteilnetzebene</i> umgesetzt werden. In diesem Projekt werden Methoden zur Online-Rekonfiguration des Kommunikationsnetzes auf Verteilnetzebene erforscht, die auf einem zweistufigen Ansatz für Quality-of-Services Bereitstellung basieren.
Projektzeitraum	07.2022 – 06.2026
Partner	Universität Oldenburg
BMBF Projekt - EMN_SIM	Das im Rahmen des Projekts Klimapakt2030plus vom Lehrstuhl entwickelte Simulationswerkzeug unterstützt Entscheidungsträger mit Hilfe eines umfassenden Energiesystemmodells. Es ermöglicht die Analyse von Wechselwirkungen zwischen Energiequellen, Speicheroptionen und Verbrauchsmustern unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie Netzinfrastruktur und regionalen Gegebenheiten.
Projektzeitraum	12.2022 – 11.2027
Partner	FAU LS Energieverfahrenstechnik, Universität Würzburg, Hochschule Coburg, HafenCity University Hamburg

HIGHLIGHT

Etablierung eines Simulation-as-a-Service-Dienstes in NFDI4Energy

Die Kommunikation und den Austausch von Daten und Software in der Energiesystemforschung zu verbessern, ist Ziel des Konsortiums NFDI4Energy (Nationale Forschungsdateninfrastruktur für die interdisziplinäre Energiesystemforschung). Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Vorhaben mit bis zu zehn Millionen Euro zunächst für fünf Jahre. Mit der Arbeit sollen Forschungsergebnisse besser nutzbar gemacht werden, damit diese für die verschiedenen Akteure in der Energiesystemforschung bedarfsgerecht zur Verfügung stehen.

Forschungsdaten entstehen in der Wissenschaft in verschiedenster Form und in großen Mengen – von historischen Wetterdaten über prognostizierte Parameter technischer Anlagen und Infrastrukturen bis hin zu Softwaresystemen. Um derartige Daten besser zugänglich zu machen, Standards zu setzen und in der jeweiligen Fach-Community zu etablieren, wurde eine Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) aufgebaut. Sie besteht aus Konsortien, die deutschlandweit Infrastruktureinrichtungen für Forschungsdaten stellen. NFDI4Energy fokussiert sich auf Daten und Software in der Energiesystemforschung, die unter anderem zur Forschung an zukunftsweisenden Technologien rund um die Energiewende sowie für die Digitalisierung der Energiesysteme notwendig sind. Diese Daten sollen von der ersten Projektidee über den Diskurs mit der Gesellschaft bis hin zum Transfer in die Industrie oder Politik nachverfolgbar, nutzbar und bestmöglich wiederverwendbar gemacht werden.

Das Vorhaben wird durch die Universität Oldenburg koordiniert, weiterhin sind der offis e.V., die Universität Freiburg, die FAU, das Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS) in Potsdam, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die RWTH Aachen, das Soziologische Forschungsinstitut Göttingen (SOFI) und die Technische Informationsbibliothek (TIB) in Hannover beteiligt. Als Partner wirken außerdem das Reiner Lemoine Institut in Berlin sowie das Fraunhofer-Institut für angewandte Informationstechnik in Sankt Augustin mit.

Die FAU wird im Konsortium die Task Area „**Simulation in Interdisciplinary Energy Research**“ koordinieren. Das übergeordnete Ziel dieser Task Area ist es, den Einsatz von Simulationen im Energiebereich sowohl für Experten als auch für interessierte Laien besser zu unterstützen. Für viele fortgeschrittene Forschungsfragen ist es notwendig, verteilte Simulationen durchzuführen. Dies ermöglicht beispielsweise die Kombination von Simulationssoftware aus verschiedenen Bereichen (z.B. Energiesektoren, Märkte, IT, Kommunikation, Mobilität), die Kombination verschiedener Abstraktionsebenen (z.B. Haushalte in einer Nachbarschaft, die in ein größeres Energiesystem integriert sind) oder verschiedene ausführbare Dateien derselben Simulationssoftware, um die Rechenleistung zu steigern (z.B. Teile eines Netzmodells auf verschiedenen Prozessoren). In der Regel erfordern solche verteilten Simulationen im Vergleich zu eigenständigen Simulationen höhere Programmierkenntnisse und sind daher nicht leicht zugänglich. Daher ist es ein wichtiges Ziel, die Durchführung verteilter Simulationen besser zu unterstützen, indem **Simulation-as-a-Service (SaaS)** mit der NFDI4Energy -Plattform als Frontend angeboten wird.

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Martin Hartmann, Erlangen Center for Interface Research and Catalysis, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Der Schwerpunkt meiner Forschungsarbeiten liegen im Bereich der Verwendung mikro- und mesoporöser (hierarchischer) Materialien in der heterogenen Katalyse und der Stofftrennung durch Adsorption. Die Anwendung moderner spektroskopischer Methoden zur Material- und Prozesscharakterisierung (u.a. Operando-NMR-, ESR-Spektroskopie und IR-Spektroskopie) sind ebenfalls wichtiger Bestandteil meiner Forschung. Weiterhin befassen wir uns mit der Bewertung von Prozessen zur Herstellung von Funktionsmaterialien sowie zur Umwandlung von Biomasse in verschiedene Wertprodukte mittels „Life Cycle Assessment“.

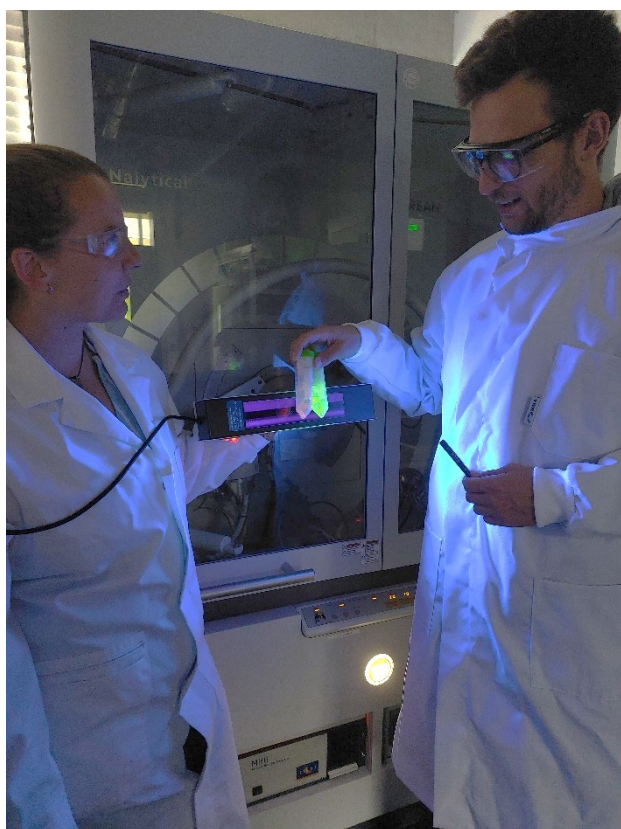
Bedeutende Projekte

Photothermal CO₂ conversion using Cu/ZnO/Al₂O₃ coated on ceramic foams	The project involves development of high-performance supported photothermal catalysts, design and testing of a prototype photoreactor for the RWGS reaction. Advances in the analytical understanding and control of photothermal CO ₂ processing are expected.
Projektzeitraum	01.2023 – 12.2023
Partner	Prof. Dr. Ulrich Ulmer (THN), Dr. Dorothea Wisser & Dr. Florian Wisser (FAU)
EU Projekt (Horizon) Novel metal-organic framework adsorbents for efficient storage of hydrogen	It is an integrated multiscale, lab-to-tank approach to develop, validate and demonstrate innovative, low cost, cryo-adsorptive hydrogen storage systems. The main focus is on developing monolithic MOF adsorbents with an optimal combination of volumetric and gravimetric H ₂ storage capacity.
Projektzeitraum	06.2022 – 05.2026
Partner	16 partners from Greece, Germany, Spain, the UK, Austria, France, Italy, and Morocco, including Prof. Dr. M. Thommes (FAU), Dr. Michael Hirscher (MPG, Stuttgart), Dr. Theodore Steriotis (NCIR Demokritos Athen)
Carbon Capture with MOFs	The project is devoted to the development of a new adsorbent based on metal organic frameworks (MOF) for direct air capture under humid conditions and different temperatures. The project also involves scale-up and shaping as well as LCA of the technology.
Projektzeitraum	01.2024 – 12.2025
Partner	Industrial partner
Development of a catalytic system for mediation of fugitive methane emissions	The objective of this project is the development of a catalytic system capable of maintaining high conversion (>90%) of humid, lean methane streams with extended periods of activity and exhibiting minimal pressure drop. The proposed system aims to significantly reduce the greenhouse gas emissions from natural gas fueled power plants by catalytically oxidizing the lean methane streams to the less harmful carbon dioxide.
Projektzeitraum	01.2022 – 10.2025
Partner	Prof. Michael Stockenhuber (UoN), Prof. Eric Kennedy (University of Newcastle, Australia)

HIGHLIGHT

The group has recently installed the first purpose-built gravimetric sorption analyzers for advanced carbon capture conditions. In most gas phase carbon capture applications such as point-source and direct air capture, CO₂ often competes with other chemical species at adsorbent sites, especially water vapor. The new DVS Carbon range enables the measurement of CO₂ uptake in real life conditions, controlling both temperature and humidity at a broad range of CO₂ concentrations, from flue gas capture to direct air capture. The new instrument will be employed in a recently acquired project on the development of novel adsorbents based on metal organic frameworks for direct air capture at different temperatures from 5 °C to 60 °C and humidity levels up to 85 %. Direct air capture (DAC) is an ambitious initiative to capture CO₂ from the ambient air. This endeavor is challenging due to the low concentration of carbon dioxide in the atmosphere, around 430 ppm. Adsorbents functionalized with amines are promising for this application due to their high affinity for carbon dioxide. Functionalizing amine groups or impregnating amines on various porous supports helps to mitigate issues such as accessibility, degradation, and vaporization. The influence of water is particularly important, as its presence can reduce or even enhance the capacity for CO₂.

The instruments are a custom-built symmetric microbalance that measures microgram changes in sample weight at a resolution of 0.01 µg. Temperature control ensures long-term stability, under dry and humid conditions. An advanced mixing system and calibrated mass flow controllers enable the setup to generate accurate concentrations of CO₂ and humidity. Thanks to a precisely tuned temperature enclosure, heated water reservoirs, and calibrated sensors, accurate high relative humidity is achievable in the enclosure operating temperature range. An extended range of reduced relative humidity is accessible using local heating up to 300 °C. A wide range of CO₂ concentrations may be generated by mixing pure CO₂ (or diluted carbon dioxide) and an inert carrier gas. The employed speed-of-sound sensor affords accurate measurements with CO₂ concentrations up to 100 vol%, and an increased resolution below 50%. A non-dispersive infrared (NDIR) sensor is installed for measuring CO₂ down to 50 ppm.



Lumineszierende MOF-Nanopartikel für die Temperatur-erfassung (in Reaktor- und Adsorber-Festbetten)



Pulverdiffraktometer mit In-situ bzw. Operando-Kammern (T = - 150 – 450 °C)

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Frauke Liers, Optimization under Uncertainty & Data Analysis, Department of Data Science, FAU

Kurzworstellung Forschungstätigkeit



Die Forschung der Gruppe liegt in der Optimierung unter Unsicherheit, einschließlich kombinatorischer, gemischt-ganzzahliger und nichtlinearer Aspekte, wobei neue Methoden zum Lernen aus Daten integriert werden. Anwendungen der Forschungsthemen finden sich in Energie (Strom, Gas, Energiesystem), Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie in der Logistik. Frauke Liers hat das European Graduate College MINOA (2018-2021) koordiniert und ist PI in den Sonderforschungsbereichen SFB 1411 und SFB / TRR 154. Seit April 2023 ist sie Sprecherin des SFB / TRR 154.

Bedeutende Projekte

BMWK-Verbundprojekt ESM-Regio	Im BMWK-geförderten Verbundprojekt ESM-Regio wird ein Energiesystemmodell entwickelt, das Elektrizität, Wärme, Gas und Verkehr integriert und Technologien wie Power-to-Heat und Vehicle-to-Grid koppelt. Basierend auf Daten der Stadtwerke Bayreuth optimieren wir sektorenübergreifend. Ein simulationsgestütztes mathematisches Optimierungsproblem erweitert Lastflussmodelle um Sektorkopplungstechnologien. Aggregations- und Approximationsverfahren reduzieren die Rechenkomplexität. Untersuchungen zeigen signifikante Einsparpotenziale durch Betriebsoptimierung.
Projektzeitraum	01.05.2021 – 31.10.2024
Partner	FAU Erlangen-Nürnberg (Verbundsprecher Reinhard German), JMU Würzburg, Stadtwerke Bayreuth, Bayern Innovativ, Hochschule Coburg. Energieagentur Nordbayern (EAN), Stadtwerke Bayreuth, Bayern Innovativ.
DFG-Sonderforschungsbereich Transregio SFB / TRR 154	DFG-geförderter Sonderforschungsbereich „Modellierung, Simulation und Optimierung am Beispiel von Gasnetzwerken“. Entwicklung neuer mathematischer Methoden mit Fokus auf eine effiziente Gasversorgung sowohl in Bezug auf den Transport sowie als auch was die Berücksichtigung marktregulatorischer Bedingungen sowie die Kopplung mit anderen Energieträgern.
Projektzeitraum	01.07.2014 – 30.06.2026
Partner	Sprecher: FAU, Sprecher/in: A. Martin (07.2014 – 03.2023), F. Liers (seit 04.2023) TUDa, TUB, HUB, WIAS, UDE, ZIB, UTM, DESY

HIGHLIGHT

Optimierung von Gasnetzwerken unter Unsicherheit

Die Energiewende ist von zentraler Bedeutung für Gesellschaft, Politik und Wissenschaft. Parallel zum Ausstieg aus der Kernenergie spielt Gas als Energieträger eine entscheidende Rolle für eine klimafreundliche Energieerzeugung. Wasserstoff kann eine enorme Menge Energie liefern oder speichern und ähnlich wie Erdgas durch Pipelines transportiert werden. Die Fokussierung auf eine effiziente Gasversorgung bringt zahlreiche Herausforderungen mit sich, etwa beim Transport, der Netztechnik, den marktregulatorischen Bedingungen und der Kopplung mit anderen Energieträgern. In der Forschungsgruppe beschäftigen wir uns mit zahlreichen Optimierungsfragestellungen, die in diesem Kontext relevant sind, unter anderem in der Optimierung von Strom- und Gasnetzwerken unter Unsicherheit mit nichtlinearen Modellen für die zu Grunde liegende Physik sowie mit der datengetriebenen Optimierung in der Solarzellenforschung (zusammen mit der Gruppe von C. Brabec).

Ziel des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs SFB/TRR 154 (Berlin, Darmstadt, Erlangen-Nürnberg, Sprecheruni: FAU, Sprecher/in: A. Martin (07.2014 – 03.2023), F. Liers (seit 04.2023)) ist es, Lösungen auf einem neuen Qualitätsstandard anzubieten. Dafür sind neue Erkenntnisse in der mathematischen Modellierung, numerischen Analysis und Simulation sowie der ganzzahligen, kontinuierlichen und Optimierung unter Unsicherheit erforderlich. Eine besondere Neuerung des TRR 154 ist die fokussierte Integration dieser mathematischen Teilgebiete.

Aktuell beschäftigen wir uns in Teilprojekt B06 des TRR mit der Entwicklung von neuen, praktisch effizienten, Lösungsalgorithmen für Optimierungsprobleme mit robusten Wahrscheinlichkeitsrestriktionen. Zulässigkeit (beispielsweise des Gastransports) wird mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt, wobei die Methoden robust gegenüber Unsicherheiten in den zukünftigen Bedarfsverteilungen absichern. Wir entwickeln Dekompositionsmethoden sowie Penalisierungs- und Glättungstechniken zur Erforschung und Nutzung von Bündelmethoden. Im weiteren Verlauf werden wir ganzzahlige Entscheidungen sowie Online-Lernen zur effizienten Nutzung von Daten integrieren.



Projektbesprechung Transregio SFB / TRR 154

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Jan Lohbreier, Computational Physics for Green Energy, Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und Allgemeinwissenschaften, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe nutzt unterschiedliche Methoden der computergestützten Modellierung und Simulation im Bereich nachhaltiger Energietechnik. Insbesondere verwenden wir multiphysikalische Modelle, um in der Natur vorkommende gekoppelte Phänomene realitätsgetreu abzubilden. Teilweise setzen wir dabei auch stochastische Simulationen ein. Physics-informed neural networks (PINNs) sind eine Kombination aus den oben genannten Techniken mit Neuronalen Netzen zur Steigerung der Effizienz und Senkung der Kosten der Berechnungen.

Bedeutende Projekte

BMW Projekt E M POWER	Im Rahmen dieses Projekts demonstrieren und untersuchen wir induktives, dynamisches Laden von Fahrzeugen auf einem 1000-m-langen Autobahnabschnitt in Nordbayern. Wir simulieren dabei die Übertragungseffizienz der elektrischen Energie während der Fahrt.
Projektzeitraum	01.07.2022 – 30.06.2025
Partner	FAU (LS FAPS), Electreon, Risomat, VIA IMC, Autobahn GmbH
BMBF Projekt LoLiPoP IoT	Mit Hilfe von Energy Harvestern werden nachrüstbare, kabellose Sensorsysteme mit Energie versorgt. Diese IoT-Netze werden im Bereich Predictive Maintenance oder Condition Monitoring bei insgesamt 10 Use Cases europaweit implementiert.
Projektzeitraum	01.06.2023 – 30.05.2026
Partner	über 40 internationale und europäische Partner

HIGHLIGHT

AWESOME

Ein besonderes Projekt, welches durch das EnCN-3.0-Nachwuchsförderungs-Programm finanziert wurde, ist AWESOME: **Anwendungsnahe Weltrekord-Solarmodul-Entwicklung**. Dabei geht es um die Weiterentwicklung von organischer Photovoltaik (OPV)-Technologie, die als gemeinsames Projekt von Dr. Andreas Distlers (FAU, i-MEET, „Solarfabrik der Zukunft“) und Computational Physics for Green Energy vorangetrieben wurde.

Während die Laborarbeiten in der Gruppe von Dr. Distler durchgeführt wurden, hat in meiner Gruppe vor allem der Doktorand Fabian Gumpert geeignete Modelle und darauf basierende Simulationen erstellt. Diese bilden den Druckprozess mittels Blade-Coating durch numerische Computational Fluid Dynamics (CFD)-Simulationen in einem zweidimensionalen Modell nach. Besonders herausfordernd war dabei die skalenübergreifende Dimensionierung (μm Schichtdicke in cm-großem Aufbau) und die Phasengrenze zwischen Luft und OPV-Fluid. Zur Validierung wurden die Simulationsergebnisse mit experimentellen Labordaten verglichen: Es zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung. Durch diesen Ansatz ist es uns gelungen die entstehenden OPV-Schichtdicken in Abhängigkeit von wichtigen Parametern (u.a. Flüssigkeitsvolumen, Druckgeschwindigkeit) numerisch präzise und schnell vorherzusagen. Dieses Resultat wurde im August 2023 veröffentlicht (<https://doi.org/10.1080/19942060.2023.2242455>). In einer Folgearbeit gelang es uns, im Januar 2024 die experimentellen und numerischen Daten auch mit einem analytischen Ansatz zur Deckung zu bringen

(<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108505>). Damit ist es möglich, eine Vielzahl von Prozess- und Materialparametern theoretisch so auszuwählen, dass eine gewünschte Schichtdicke entsteht. Ende 2023 gelang es unseren Forschungspartnern aus diesem Zusammenspiel von Computersimulation und herausragender Laborexpertise einen neuen Weltrekord für die Effizienz von OPV-Modulen aufzustellen (<https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.02.016>).



Projektbesprechung zur optimalen numerischen Simulation der induktiven Energieübertragung im Rahmen des Projekts E/M POWER

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Verena Tiefenbeck, Tenure-Track-Professur für Digitale Transformation und Nachwuchsgruppenleitung, Institut für Wirtschaftsinformatik, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, FAU

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe Digitale Transformation entwickelt datengetriebene Instrumente, um menschliches Verhalten zu verstehen und zu verändern, wobei der Schwerpunkt auf realen Anwendungen in den Bereichen Energie, Nachhaltigkeit, Mobilität und Gesundheit liegt. Informationssysteme sind sowohl ein Mittel als auch ein Ziel unserer Forschung: Wir setzen digitale Technologien ein, um menschliches Verhalten in der realen Welt zu untersuchen, und wir nutzen die Erkenntnisse aus dem Verhalten, um effektivere Informationssysteme zu entwickeln.

Bedeutende Projekte

StMWK Förderung Nachwuchsforschungsgruppe “Digital technologies and human behaviour: transforming consumer behaviour in the energy and mobility sector”	Nachwuchsforschungsgruppe mit 3 Doktoranden; die Gruppe untersucht digitale Interventionen zur Verhaltensänderung in den Bereichen Energie, Mobilität, KI und Gesundheit anhand von quantitativen Verfahren
Projektzeitraum	Okt. 2019 - Dez. 2026
Partner	Bayerisches Institut für Digitale Transformation (Projektkoordination),
StMD Konsortialprojekt DataDonations4Sustainable Change	Förderung einer Doktorandin über 3 Jahre. Durch den Einzug digitaler Technologien in unterschiedlichste Lebensbereiche ergeben sich aussichtsreiche Anwendungskontexte für Datenspenden zur Steigerung des Allgemeinwohls, insbesondere in den Bereichen Gesundheit und Umwelt.
Projektzeitraum	Juni 2023 – Mai 2026
Partner	Prof. Dr. Daniel Schnurr (Universität Regensburg), Dr. Jörg Hassler (LMU München), Prof. Dr. Lucia Reisch (Cambridge University), Prof. Dr. Richard Watson (University of Georgia/Melbourne); Bayerisches Institut für Digitale Transformation (Projektkoordination)
StMWK Projekt Lokales Netz vs. globale Emissionen: Laden von Elektrofahrzeugen	Es wird untersucht, bei welcher Ladestrategie ein Kompromiss zwischen der Überlastung lokaler Transformatoren, die Privathaushalte versorgen (und dem Risiko von Lastverlusten), und den daraus resultierenden Emissionen beim Laden gefunden werden kann.
Projektzeitraum	März 2023 - Februar 2024
Partner	Universität Bamberg

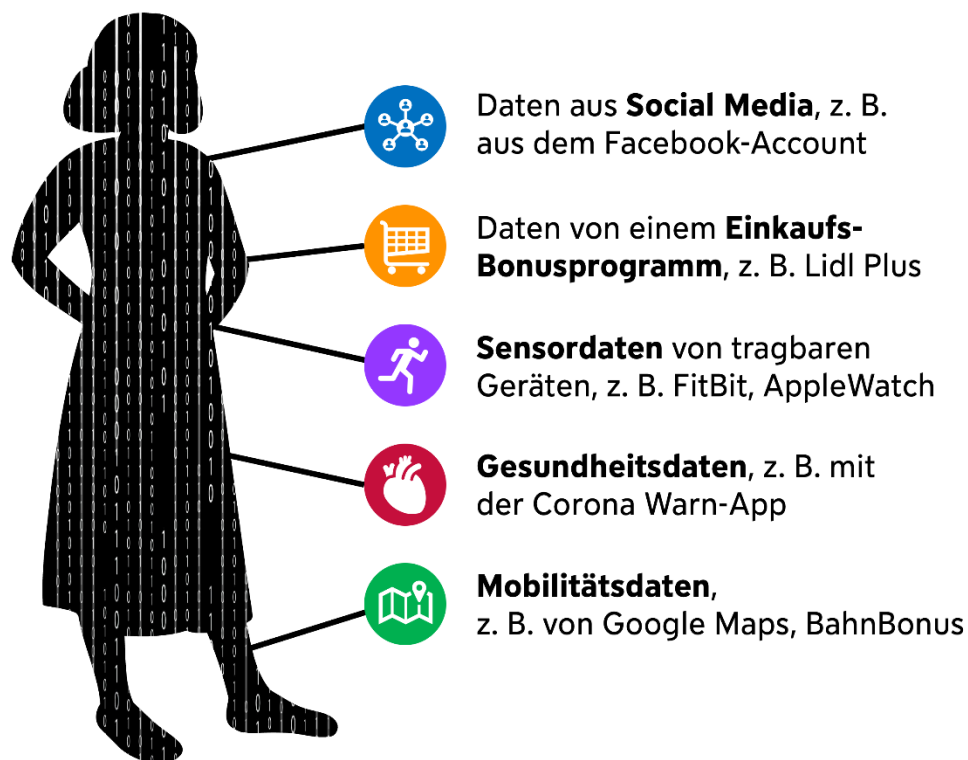
HIGHLIGHT

Konsortialprojekt DataDonations4SustainableChange mit der LMU München und Universität Regensburg

Die Gruppe konnte Anfang 2023 ein Konsortialprojekt zu Datenspenden und digitalen Interventionen mit Schwerpunkt Energie/Gesundheit einwerben zusammen mit Forschern der LMU München und Universität Regensburg.

Das Projekt „DataDonations4SustainableChange“ geht der Frage nach, wie das Bewusstsein und die Bereitschaft zum Datenspenden durch digitale Nudges gefördert werden kann, um nachhaltige Verhaltensänderungen in den Bereichen Umwelt und Gesundheit zu erreichen. Digitale Nudges sollen entlang des gesamten Datenspendeprozesses von der Mobilisierung über die Motivation bis zur Wertschöpfung aus den Perspektiven der Kommunikationswissenschaft, der Wirtschaftsinformatik und der Verhaltensökonomie untersucht werden.

DataDonations4SustainableChange liefert damit Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen zu Datenspenden als Möglichkeit der aktiven Bürgerbeteiligung zur Lösung drängender gesellschaftlicher Herausforderungen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit oder zur Früherkennung, Prävention und Eindämmung schwerer Krankheiten. Ziel des Projekts ist es, auf der Grundlage empirischer Befunde das tatsächliche Potenzial von Datenspenden, aber auch deren Grenzen in den verschiedenen Anwendungskontexten aufzuzeigen. Aus den Ergebnissen sollen sich auch konkrete Handlungsempfehlungen ergeben, wie der gerade erst entstehende Rechtsrahmen für Datenspenden möglichst effektiv gestaltet und weiterentwickelt werden kann.



Typen von Daten, die durch Datenspenden nutzbar gemacht werden können (Auswahl)

IM FOCUS

Das **EMN_SIM-Projekt** ist ein wesentlicher Bestandteil der Bemühungen der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN) zur Erreichung der Klimaziele im Rahmen des **Klimapakt2030plus**. Mit einem Fokus auf die Optimierung und Simulation von Energieflüssen in der gesamten Region zielt das Modell darauf ab, Entscheidungsträger auf kommunaler, regionaler und überregionaler Ebene mit validen Daten und Prognosen zu unterstützen, um die Energiewende erfolgreich und nachhaltig voranzutreiben. Die Verknüpfung des Modells mit den Zielen des Klimapakts unterstreicht die übergeordnete Bedeutung als Schlüsselwerkzeug zur Förderung der Klimaneutralität und Energiewende in der Region.

Der Klimapakt2030plus und seine Ziele

Der Klimapakt2030plus verfolgt das Ziel, die CO₂-Emissionen in der Metropolregion Nürnberg drastisch zu reduzieren, die Energieeffizienz zu steigern und den Anteil erneuerbarer Energien am Energiemix deutlich zu erhöhen. Dies soll durch eine enge Zusammenarbeit von Städten, Kommunen, Energieversorgern und der Zivilgesellschaft erreicht werden. EMN_SIM stellt hierbei das technische Rückgrat dieser Transformation dar, da es die Auswirkungen von energiepolitischen Maßnahmen auf die Energieversorgung simuliert, sichtbar macht und so Handlungsmöglichkeiten aufzeigt.

Übergeordnete Bedeutung des EMN_SIM-Modells

Unterstützung der Entscheidungsfindung

In der politischen Entscheidungsfindung besteht oft eine erhebliche Lücke zwischen den formulierten Zielen und der tatsächlichen Umsetzbarkeit der Energiewende. Dies ist auf die Komplexität der Energieversorgungssysteme und den Mangel an verlässlichen Daten und Prognosen zurückzuführen, die die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Sektoren (Strom, Wärme, Gas, Mobilität) abbilden. EMN_SIM schließt diese Lücke, indem es ein präzises Modell entwickelt, das die Energieflüsse in der Region analysiert, mögliche Engpässe identifiziert und die Auswirkungen von Maßnahmen auf den Energiemix, die Versorgungssicherheit und die CO₂-Emissionen prognostiziert. Es kann verschiedene Szenarien nach ökonomischen und ökologischen Auswirkungen durchspielen und die Maßnahmenpakete auf

ihre Effizienz hin bewerten. So können die Auswirkungen von z.B. dem Ausbau von Windkraftanlagen, der Erhöhung der Energieautarkie oder der Einführung von Elektromobilität realistisch eingeordnet und eine größere Sicherheit bei Investitionsentscheidungen erzielt werden.

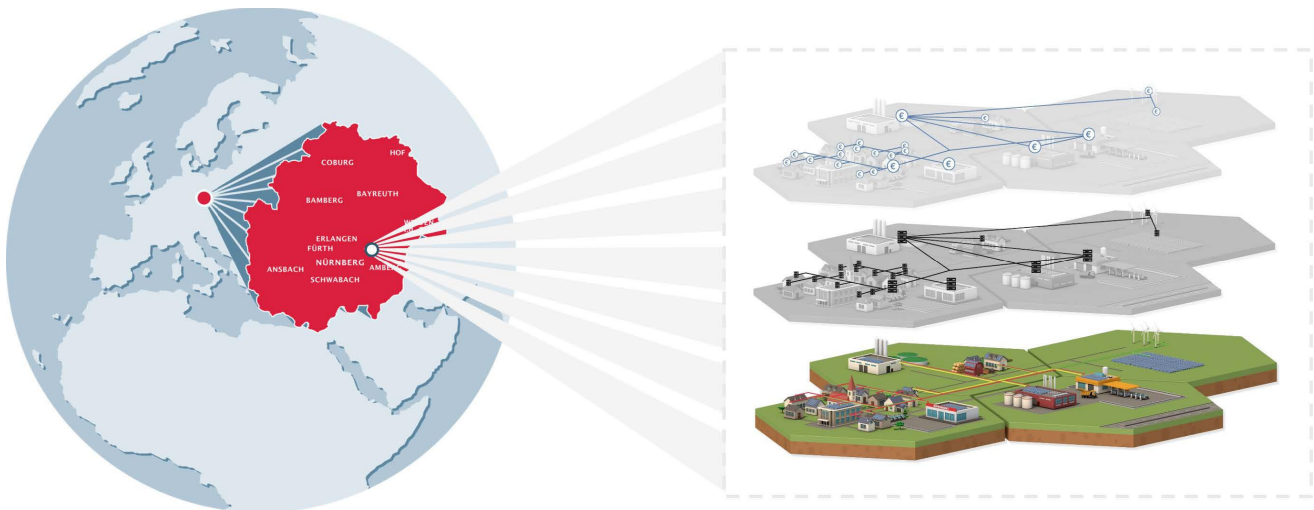
Bürgerbeteiligung und Transparenz

Die Akzeptanz der Bevölkerung spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Energiewende. EMN_SIM trägt durch die Bereitstellung transparenter Daten und verständlicher Prognosen dazu bei, das Vertrauen der Bürgerinnen und Bürger in die politischen Maßnahmen zu stärken. Durch die Integration von Beteiligungsformaten und die Möglichkeit, auch auf kommunaler Ebene Szenarien durchzuspielen, wird den Bürgern verdeutlicht, wie ihre Stadt oder Gemeinde zu den regionalen Klimazielen beiträgt. Diese Transparenz fördert die Akzeptanz der Energiewende und motiviert zur aktiven Mitgestaltung.

Technische Implementierung und Funktionsweise vom EMN_SIM-Modell

Das Herzstück des Modells ist der zelluläre Ansatz, der die gesamte Region in kleine, miteinander verbundene Einheiten – sogenannte Zellen – unterteilt. Diese Zellen stellen die Kommunen dar, die als eigenständige Systeme betrachtet werden. Jede Zelle hat ihre eigenen Energiequellen und Transformationssysteme und kann mit benachbarten Zellen über definierte Verbindungen interagieren. Dieses Netzwerk von Energiezellen ermöglicht eine präzise Simulation der Energieflüsse in der gesamten Region und berücksichtigt dabei sowohl Strom, Wärme, Gas, Mobilität und deren Kopplungsmöglichkeiten.

Die Ortsauflösung des Modells erlaubt es, Energieflüsse nicht nur auf regionaler Ebene, sondern bis hinunter auf kommunaler Ebene zu betrachten. Diese Detailtiefe ist einzigartig, da das Modell sowohl kleine lokale Effekte als auch große regionale Zusammenhänge simulieren kann. Die zeitliche Auflösung von 15-Minuten-Intervallen gewährleistet zudem eine realitätsnahe und dynamische Simulation der Energieflüsse, wodurch das Modell präzise Aussagen über Lastspitzen, Energieengpässe und CO₂-Emissionen treffen kann.



EMN_SIM modelliert die Europäischen Metropolregion Nürnberg als vernetzte Energiezellen, die sektorgekoppelt Energie untereinander austauschen können. Jede Zelle kann Energie verbrauchen, bereitstellen, speichern oder transformieren. Die Interaktion zwischen den Zellen bildet die realen Energieflüsse der Region ab. Auf drei Ebenen werden die Verflechtung von Kosten (obere Ebene), Daten (mittlere Ebene) und Energieflüssen (untere Ebene) visualisiert, um die komplexen Zusammenhänge in einem Teilgebiet der Metropolregion detailliert darzustellen.

Eine weitere Besonderheit von EMN_SIM liegt in der Sektorkopplung. Die Kopplung von Strom, Wärme, Gas und Mobilität ist ein wesentlicher Bestandteil des Modells und erlaubt es, die Interaktionen zwischen den einzelnen Sektoren zu simulieren. Durch diese innovative Kopplung können Synergien zwischen den Sektoren optimal genutzt werden, z.B. durch die Nutzung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Quellen für Wasserstoffproduktion oder Elektromobilität.

Nutzen für den Klimapakt2030plus

Ein wesentliches Ziel des Klimapakt2030plus ist es, die Energieautarkie in der Metropolregion zu erhöhen. EMN_SIM ermöglicht es, den Energiebedarf und die Erzeugungskapazitäten auf kommunaler Ebene zu analysieren und Maßnahmen zu entwickeln, die den Anteil an lokal erzeugter und verbrauchter Energie

steigern. Dies könnte beispielsweise durch den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien, den Einsatz von Speichertechnologien oder die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen in privaten und öffentlichen Gebäuden geschehen.

Das Modell wird kontinuierlich aktualisiert und weiterentwickelt, um den sich verändernden Rahmenbedingungen und neuen Technologien Rechnung zu tragen. Dies stellt sicher, dass das Modell immer den aktuellen Stand der Technik widerspiegelt und flexibel an neue Herausforderungen, wie z. B. dem Anstieg der Elektromobilität, angepasst werden kann. Zudem trägt die regelmäßige Modellpflege dazu bei, dass das System langfristig als Werkzeug zur Unterstützung der regionalen Klimaneutralität dient.

EMN_SIM ist ein unverzichtbares Werkzeug für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in der Metropolregion Nürnberg und darüber hinaus. Es schafft die notwendige Transparenz, um fundierte, datengestützte Entscheidungen zu treffen, fördert die Akzeptanz in der Bevölkerung und ermöglicht es, Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele effektiv umzusetzen. Im Kontext des Klimapakt2030plus stellt das Simulationsmodell eine zentrale Komponente dar, um die Transformation der Energieversorgung hin zu einem nachhaltigen und klimafreundlichen System zu fördern.

INSIGHTS

Wie kann die standardisierte Vergleichbarkeit von Emerging PV hergestellt und die technologische Entwicklung beschleunigt werden?

Dr. Karen Forberich, Lehrstuhl i-MEET, FAU /Abteilung Hochdurchsatzmethoden in der Photovoltaik, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien

Kommentar

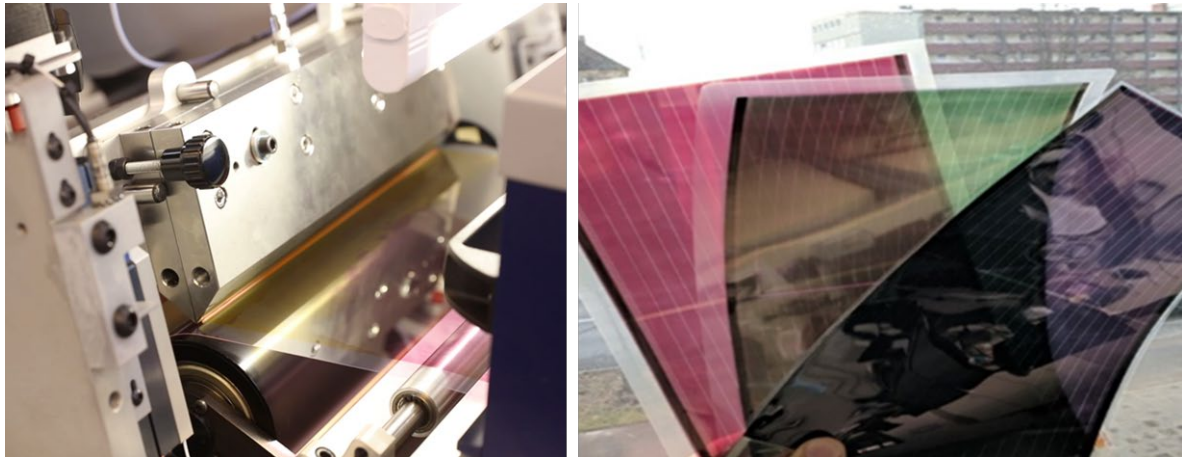


Abbildung 1: Herstellung von druckbaren transparenten Solarmodulen in der Solarfabrik der Zukunft und am Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg.

Neben den etablierten Photovoltaik-Technologien wie Siliziumbasierten gibt es eine Reihe von weiteren Technologien, die alternative Materialien als Lichtabsorber verwenden. Weil sie kommerziell noch nicht etabliert sind, werden diese Technologien als „Emerging PV“ bezeichnet. Die bekanntesten hiervon sind die Organische Photovoltaik, die seit dem Jahr 2000 intensiv erforscht wird, und die noch deutlich jüngere Perowskit-Photovoltaik, bei der dies seit dem Jahr 2013 der Fall ist.

Beide Technologien haben die besondere Eigenschaft, dass sie sich aufgrund der verwendeten Absorbermaterialien (ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen bzw. organisch-anorganische Salze) auch aus einer Tinte in einem Druckprozess herstellen lassen (illustriert in Abbildung 1). Durch die Druckbarkeit ergeben sich eine Reihe von Eigenschaften, über die herkömmliche Solarmodule nicht verfügen, wie zum Beispiel Transparenz und Flexibilität, die sie für neue Anwendungen wie Gebäudeintegration oder Gewächshäuser interessant machen.

Für solche Eigenschaften gibt es keine allgemein verwendeten Standards, und sie werden in den Effizienztabelle vom NREL und in der halbjährlich aktualisierten Effizienztabelle der Zeitschrift „*Progress in Photovoltaics*“ nicht erfasst. Dies erschwert den Vergleich der Resultate, die in unterschiedlichen Gruppen erzielt werden und damit den Überblick über den Fortschritt im gesamten Forschungsfeld.

Wir haben deshalb mit einem internationalen Konsortium die **Emerging PV Initiative** gegründet, die aus einer Datenbank sowie einer dazugehörigen Webseite besteht (<https://emerging-pv.org/>) und Rekordwerte in unterschiedlichen Kategorien wie Effizienz und Lebensdauer erfasst. Wissenschaftler können ihre veröffentlichten Daten in die Datenbank hochladen, wobei die Daten automatisch auf Vollständigkeit und Konsistenz überprüft werden. Wenn diese Prüfung erfolgreich ist, werden die Daten auf der Webseite angezeigt. Zusätzlich werden die innerhalb eines Jahres erzielten Fortschritte jährlich in einer Publikation veröffentlicht. Abbildung 2 zeigt als Beispiel für aus der Datenbank extrahierte Daten die Effizienzentwicklung von organischen Solarzellen (OPV) und Perowskit-Solarzellen (PPV) mit der Zeit. Zusätzlich erkennt man an der Farbgebung, mit welchen Bandlücken die höchsten Effizienzen erzielt wurden, nämlich etwa 1,4 Elektronenvolt für OPV und circa 1,55 Elektronenvolt für PPV.

Wir wollen mit dieser Initiative erreichen, dass Wissenschaftler ihre Resultate nach einheitlichen Kriterien veröffentlichen, um die Fortschritte besser erkennbar zu machen und die technologische Entwicklung zu beschleunigen.

Dies gilt besonders für die Lebensdauer im Betrieb, die im Moment das größte Hindernis für die Kommerzialisierung von Emerging PV-Technologien darstellt, und die unter sehr vielen unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Beleuchtung und Umgebungsatmosphäre getestet wird. Wir möchten außerdem die auf dem Gebiet forschenden Wissenschaftler dazu ermutigen, zur Initiative beizutragen, indem sie ihre eigenen Daten auf der Webseite der Emerging PV Initiative hochladen.

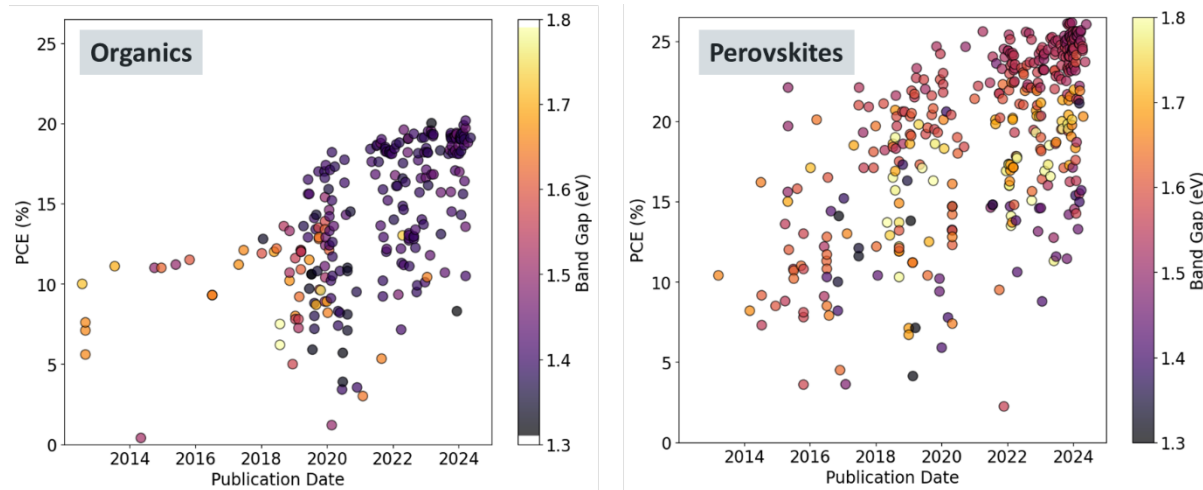


Abbildung 2: Aus der Emerging PV Datenbank extrahierte Effizienzwerte für Organische PV und für Perowskit-PV, aufgetragen über dem Veröffentlichungsdatum. Zusätzlich zur Entwicklung der Effizienzwerte erkennt man an der Farbgebung, mit welchen Bandlücken die Rekordwerte erzielt wurden.



Abbildung 3: Rolle-zu-Rolle Anlage für den Druck von organischer Photovoltaik in der Solarfabrik der Zukunft

INSIGHTS

Warum Förderungen für erneuerbare Energien mit dem europäischen CO₂-Zertifikatehandel unvereinbar sind

Prof. Dr. Mario Liebensteiner, Juniorprofessor (Tenure Track) für Energiemärkte und Energiesystemanalyse, FAU

Kommentar

Das zentrale Element der europäischen Klimapolitik ist der CO₂-Emissionshandel, genannt EU Emission Trading System (EU ETS). Die Idee dahinter ist simpel. Es wird eine begrenzte Anzahl an Emissionszertifikaten an die im ETS regulierten Firmen ausgegeben. Übersteigt der CO₂-Ausstoß einer Firma die Zertifikate, die sie hält, muss sie welche am Markt zukaufen. Firmen, die kostengünstig CO₂-Emissionen vermeiden können, werden dies tun, und können so ihre überschüssigen Zertifikate am Markt verkaufen. Der Deckel an Emissionszertifikaten, die jedes Jahr in Umlauf gebracht werden, sinkt kontinuierlich, bis irgendwann der Emissionsausstoß auf null fällt. Schaubild 1 stellt die Wirkungsweise eines ETS schematisch im Zeitverlauf dar.

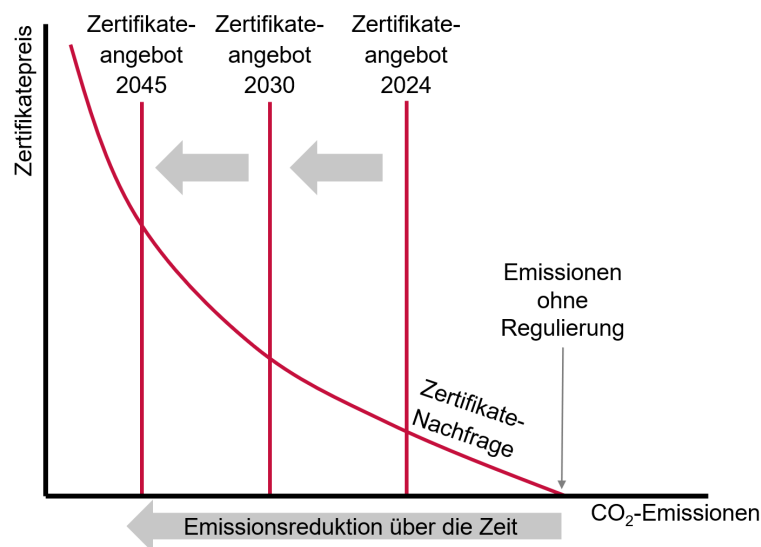


Schaubild 1. Schematische Darstellung der Emissionswirkung eines Zertifikatehandels über die Zeit

Aus ökonomischer Sicht handelt es sich hierbei um ein marktbasiertes Klimaschutzinstrument, weil der Preis für Emissionszertifikate regelt, welche Anstrengungen die Firmen für die Emissionsvermeidung unternehmen. Ist der Preis für Zertifikate hoch, lohnt es sich mehr, CO₂ zu vermeiden. Letztendlich bestimmt aber die Anzahl der Zertifikate im Markt, wie viel CO₂ in der EU ausgestoßen wird. Das EU ETS reguliert seit 2005 Emissionen aus der Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie, seit 2012 auch die Binnenluftfahrt und seit 2024 auch die Binnenseefahrt. Nach der neoklassischen ökonomischen Theorie würden gewinnorientierte Firmen immer dann CO₂ vermeiden, wenn dies für sie günstiger ist, als Zertifikate am Markt zu kaufen, was letztendlich zu kostengünstigster CO₂-Vermeidung führt.

Laut ökonomischer Theorie sollte der Emissionshandel aber das einzige Instrument sein, das zur Anwendung kommt, da zusätzliche klimapolitische Instrumente die Wirkung des ETS nur verzerren würden. Komplementäre Klimaschutzmaßnahmen, wie beispielsweise die finanzielle Förderung erneuerbarer Energien, ein freiwilliger Verzicht auf nationale oder EU-Binnenflüge, oder die Installation von Photovoltaik-Anlagen auf dem eigenen Hausdach, führen in einem bestehenden ETS zu keiner zusätzlichen Emissionsminderung. Diese zusätzlichen Maßnahmen sind also wirkungslos und sparen kein CO₂ ein. Eine formale Analyse dieses Problems findet sich in Herweg & Schmidt ('How to regulate carbon emissions with climate-conscious consumers', The Economic Journal, 2022).

Schaubild 2 zeigt, dass zusätzliche emissionsreduzierende Maßnahmen zwar die Nachfrage nach CO₂-Zertifikaten senken, aber die Emissionen aufgrund des starren Emissionsdeckels unverändert lassen. Beispielsweise führt die Förderung erneuerbarer Energien dazu, dass die Besitzer von thermischen Kraftwerken weniger CO₂ ausstoßen und

somit weniger CO₂-Zertifikate benötigen, was den Zertifikatspreis sinken lässt – der Emissionsdeckel bleibt jedoch unberührt.

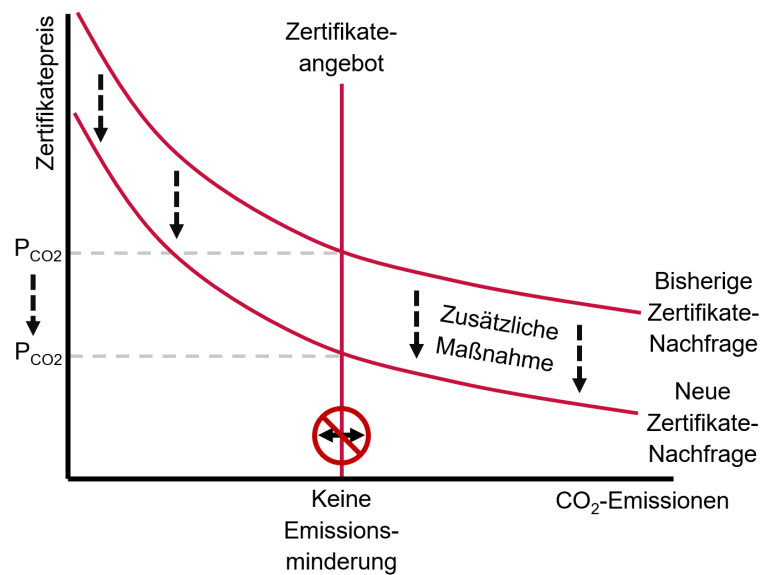
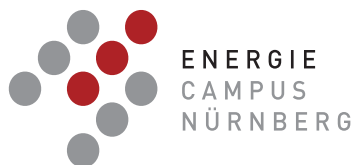


Schaubild 2. Schematische Darstellung zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen in einem bestehenden Zertifikatehandelssystem

Förderungen für erneuerbare Energien können durchaus sinnvoll sein, um technologische Anreize zu setzen, beispielsweise um Fixkostensenkungen zu ermöglichen oder die Produktivität der Anlagen zu erhöhen, oder auch um standortspezifische industriepolitische Impulse zu liefern, beispielsweise durch die Schaffung von Arbeitsplätzen im Bereich der erneuerbaren Energien. In einem bestehenden Emissionszertifikatehandel, wie im EU ETS, führen Förderungen für erneuerbare Energien jedoch zu keiner zusätzlichen Emissionsminderung. Die Politik muss diese Tatsache endlich anerkennen.



Industriestandort Metropolregion Nürnberg mit erneuerbaren Energien



Fürther Str. 250
90429 Nürnberg
Tel.: +49 911 56854 99120
[www.@encn.de](http://www.encn.de)

Partner:



Gefördert durch:



Bayerische Staatsregierung

Unterstützt durch:

