



JAHRESBERICHT

2025

Vorwort

Unsere Mission am EnCN ist sehr eng mit den politischen und gesellschaftsrelevanten Zielen verbunden: Deutschland trägt zu den europäischen Zielen für 2030 (Klima, Effizienz, Biodiversität, Kreislaufwirtschaft) [1] bei und soll selbst 2045 klimaneutral sein. Die Vereinten Nationen definierten die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung [2]. Bei der Hälfte dieser Themen kann der EnCN durch seine Forschung und Arbeit direkt zur Zielerfüllung beitragen. Die Vision einer regenerativen Energieversorgung und die Transformation zu einer nachhaltigen Industriegesellschaft haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am EnCN bei ihrer Arbeit stets vor Augen.

Das diese genannten Ziele in Deutschland im Fokus von Politik und Gesellschaft sind, zeigt der Vergleich der Stromerzeugung von erneuerbaren und konventionellen Energieträgern. Im ersten Halbjahr 2025 war die Windkraft mit 27,2% der wichtigste Energieträger in der Stromproduktion. Die Photovoltaik lag in diesem Zeitraum bei 17,8% und war somit der drittgrößte Energieträger. Grund hierfür sind nicht nur die vielen Sonnenstunden, sondern auch der Zubau an neuen PV-Anlagen. Alle erneuerbaren Energieträger leisteten einen Anteil von 57,8% an der deutschen Stromproduktion [3]. Die Auswertung zeigt auch, dass Kohle den zweiten und Erdgas den vierten Rang einnahmen. Diese Tatsache stärkt die Mission des EnCN und die Vision der Pls, um die Transformation und die Energiewende voranzubringen.

Forschung steht nicht still; auch nicht am EnCN. Die neue Clusterung der Forschungsthemen und -gebiete in die zentralen Forschungsfelder „Materialien/Prozesse“, „Komponenten/Devices“ und „Systeme/Anwendungen“ spiegelt die Identität des EnCN wider. Dort werden an fehlenden Bausteinen der notwendigen Technologien und Prozesse für die Transformation gearbeitet. 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 Schlüsseltechnologien, um die fluktuierende Einspeisung von Wind- und Solarstrom auszugleichen (BMW, 2023).

Die Sektorkopplung zur ganzheitlichen Energiewende ist das ingenieurtechnische und regulatorische Ziel. Neben den oben beschriebenen Erzeugungsanteilen für Strom ist die Integration von Wärme und Verkehr essenziell. Die Elektrifizierung des Verkehrs, der Ausbau der Elektromobilität und die Errichtung der Ladeinfrastruktur, ist ein entscheidender nächster Schritt. Auch aktuelle politische Diskussionen und Entscheidungen zur Technologieoffenheit im Verkehr können die Notwendigkeit der Sektorkopplung nicht in Frage stellen. Fortschritte bei der kommunalen Wärmeplanung und die daraus abgeleiteten Investitionen in zentralen Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis von regenerativen synthetischen Energieträgern, Geothermie und Großwärmepumpen sind schon jetzt erkennbar. Die weitere Erschließung von Gebieten mit Wärmenetzen bilden eine sehr gute Basis für eine flächige Integration. Innovative Komponenten und Speichertechnologien, wie beispielsweise Elektrolyse und Wasserstoffspeicherung, sind bei Stadtwerken bereits gesetzt und sollen bald realisiert werden.

Der EnCN steht seit 14 Jahren für Nachhaltigkeit und Stabilität in der Metropolregion Nürnberg. Er ist eine herausragende Forschungsk Kooperation 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.

Hinter dem EnCN stehen die Wissenschaftler, die technischen Mitarbeiter und die Studierenden, die an diesem Ort ihre Expertise bündeln. Somit ist der EnCN ein einzigartiges multi-, inter-, und transdisziplinäres Energieforschungszentrum in Bayern geworden. Die verbindenden Elemente für langfristige Stabilität sind die gemeinsamen Gebäude und eine zentrale Geschäftsstelle. Networking unter den Wissenschaftlern geschieht zum einen im Gebäude automatisch und zum anderen durch die Geschäftsstelle gebündelt. Dies ist eine hervorragende Möglichkeit für die Industrie mit dem EnCN neutral und gezielt in Kontakt zu treten. Darüber hinaus begleitet die Geschäftsstelle im Rahmen der Forschungs Koordination die Anbahnung und Umsetzung von Forschungsverbünden und Entwicklungsprojekten, sowie die Ansiedlung von Zentren zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Dem EnCN ist auch die eigene Transformation für die Zukunft gelungen. Durch die langjährige Förderung durch das Bayerische Wirtschaftsministerium, kann er nun auf die Unterstützung der beteiligten Partneruniversitäten und -hochschulen, dem Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst sowie auf die Stadt Nürnberg bauen, um dieses einzigartige Erfolgsmodell langfristig zu sichern. An dieser Stelle möchten wir uns für diese strategische, langjährige und zuverlässige Unterstützung bedanken. Ohne diese Unterstützung könnte der EnCN seine Mission und Vision nicht verfolgen.

Der Geschäftsstelle des EnCN, vertreten durch den unermüdlichen Einsatz ihrer Mitarbeitenden, gilt unser besonderer Dank. Vielen Dank für die zahlreichen vernetzende Aktivitäten, den inhaltlichen Diskurs und die professionelle Außendarstellung, welche ebenso zum Erfolg des EnCN beitragen.

November 2025

Sprecher des EnCN



Prof. Dr. Christoph J. Brabec



Prof. Dr. Arno Dentel



Prof. Dr. Christoph Brabec (li) und Prof. Dr. Arno Dentel (re) im Austausch mit den Fachbereiten 2024

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
DER ENCN	4
FORSCHUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEEN	17
FORSCHUNGSBEREICH SPEICHER.....	33
FORSCHUNGSBEREICH NETZE	43
FORSCHUNGSBEREICH ENERGIEEFFIZIENZ	49
FORSCHUNGSBEREICH TECHNOLOGIEÖKONOMIE.....	70
FORSCHUNGSBEREICH TRANSFORMATION UND NACHHALTIGKEIT	73
IM FOCUS „PROJEKT E M POWER“	84
IM FOCUS „PROJEKT KOPERNIKUS“	86
INSIGHTS „DER EINSATZ VON FLUSSBATTERIEN ZUR VERSORGUNGSSICHERHEIT UND STABILISIERUNG DES NETZES“ ...	88
INSIGHTS „WELCHE ROLLE KANN BIOGAS IM ENERGIEMIX DER ZUKUNFT ÜBERNEHMEN“	90

Wer ist der EnCN

Der **Energie Campus Nürnberg** ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum mit dem Ziel, Schlüsseltechnologien für eine zukunftsfähige, auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung zu entwickeln. Die enge Zusammenarbeit von vier renommierten Partnerinstitutionen – der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm (Ohm), dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) sowie der Hochschule Ansbach – bilden das Fundament dieses Forschungsverbunds. In der Solarfabrik der Zukunft ist zusätzlich das Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg partnerschaftlich beteiligt.

Im Mittelpunkt steht ein ganzheitlicher Ansatz: Das Energiesystem wird in seiner Gesamtheit betrachtet. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlern aus technischen, naturwissenschaftlichen und volkswirtschaftlichen Disziplinen können komplexe wissenschaftliche Fragestellungen systemisch analysiert und bearbeitet werden.



Gruppenbild mit Vertretern der Institutionen

Der gemeinsame Campus schafft optimale Voraussetzungen für die effiziente Nutzung von Synergien. Dabei reicht das Spektrum der Forschung von der Grundlagenforschung bis hin zur praxisnahen Entwicklung von Prototypen. Der Brückenschlag zwischen theorie- und anwendungsorientierter Forschung ermöglicht es, innovative Lösungen entlang der gesamten technologischen Entwicklungskette voranzutreiben.

Standort

Der **Energie Campus Nürnberg (EnCN)** ist auf dem Areal „Auf AEG“, einem dynamischen Forschungs- und Innovationsstandort im Nürnberger Westen, angesiedelt. In unmittelbarer Nachbarschaft befinden sich das **Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI-ERN)** mit der Wasserstoffforschung, Lehrstühle der **FAU Erlangen-Nürnberg**, der **Nuremberg Campus of Technology (NCT)**, das **Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B)**, das neue **Ohm Innovation Center** sowie Unternehmen wie **Siemens Energy**, **Electrolux** und **Greenovative**.

Mit dem **Ohm Innovation Center (OIC)** der Technischen Hochschule Nürnberg wurde 2025 ein zusätzlicher Ort geschaffen, der **Innovation, Forschung und Unternehmertum** miteinander verbindet. Das Zentrum bietet Studierenden, Wissenschaftlern, Start-ups und Unternehmen die Möglichkeit, gemeinsam an zukunftsweisenden Projekten zu arbeiten und neue Ideen in die Praxis umzusetzen. Thematisch stehen dabei Forschungsfelder wie **Robotik, Wasserstoff- und Energietechnik, Künstliche Intelligenz, nachhaltige Materialien** und **autonome**

Mobilität im Fokus. Einige Wissenschaftler des EnCN haben im OIC zusätzliche neue Forschungsflächen erhalten und können so noch intensiver an neuen Projekten arbeiten. Das OIC stärkt den Campus „Auf AEG“ entscheidend als **Innovations- und Wissenschaftsstandorts Nürnbergs**.



Ohm Innovation Center

Als Verbindungsglied zwischen Forschung und Wirtschaft sind die **ENERGIEregion e.V.** und der **NKubator** – das Innovations- und Gründerzentrum für Energie, Green-Tech und Nachhaltigkeit – starke Netzwerkpartner.

Leitungs- und Organisationsstruktur

Die Leitungs- und Organisationsstruktur des EnCN beschreibt die Zusammensetzung der Gremien sowie die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Geschäftsstelle. Sie verdeutlicht, wie strategische Entscheidungen getroffen und operative Aufgaben umgesetzt werden.

Das **wissenschaftliche Gremium** des EnCN wird von den **EnCN-Forschenden** repräsentiert, die sich aus Professorinnen und Professoren, Nachwuchsgruppenleitenden 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 in der **Anbahnung neuer Projekte**, fördert den **Technologie-transfer** und initiiert **strukturbildende Verbundforschungsprojekte**. Sie besteht aus der Geschäftsstellen-

leiterin Dr. Maria Hammer, der Teamassistentin und Gebäudemanagerin Sabrina Löw und Kristin Zeug als Verantwortliche für Marketing und Kommunikation.

Darüber hinaus übernimmt die Geschäftsstelle **administrative Aufgaben** für die Partnerinstitutionen und verantwortet die **Außendarstellung des EnCN**. Sie organisiert z.B. verschiedene Veranstaltungsformate für die Öffentlichkeit. Eine zentrale Rolle spielt sie zudem als **Schnittstelle zwischen den Forschungsbereichen, Projekten und dem EnCN-Förderverein**.

Der **EnCN e.V.** unterstützt gezielt die **Forschung und Öffentlichkeitsarbeit** des Campus.

Der **Fachbeirat** berät die EnCN-Forschenden inhaltlich und strategisch bei der Weiterentwicklung des Forschungsverbunds. Er tagt **einmal jährlich** und nimmt Stellung zum Jahresbericht. Die Mitglieder des Fachbeirats wurden **2024 für fünf Jahre** neu berufen.

Mitglieder des Fachbeirates

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



Fachbeirat v.l.n.r.: vorn Prof. Dr. Leo Lorenz, Dr. Daniela Groher, Markus Löttsch, hinten Dr. Georg Liedl, Prof. Dr. Rolf Hellinger

EnCN in Zahlen

Mitarbeiter (2025)	224
Drittmittel (2025)	€ 16,6 Mio.
Publikationen (2025)	188
Patente	59
Industriepartner	260
Ausgründungen	16

Forschungsschwerpunkte

Kernelement der Kooperation und somit der wissenschaftlichen und forschungsstrategischen Ausrichtung des EnCN bildete bisher die Wertschöpfungskette der erneuerbaren Energieversorgung sowie technologische und gesellschaftliche Querschnittsthemen. Die For-

schung erfolgte in den sechs Forschungsbereichen Erneuerbare Energien, Speicher, Netze, Energieeffizienz, Technologieökonomie und Transformation und Nachhaltigkeit, wobei sich die Kompetenzen der Institutionen in den jeweiligen Bereichen ergänzen.



Die Forschungsbereiche entlang der Energiekette

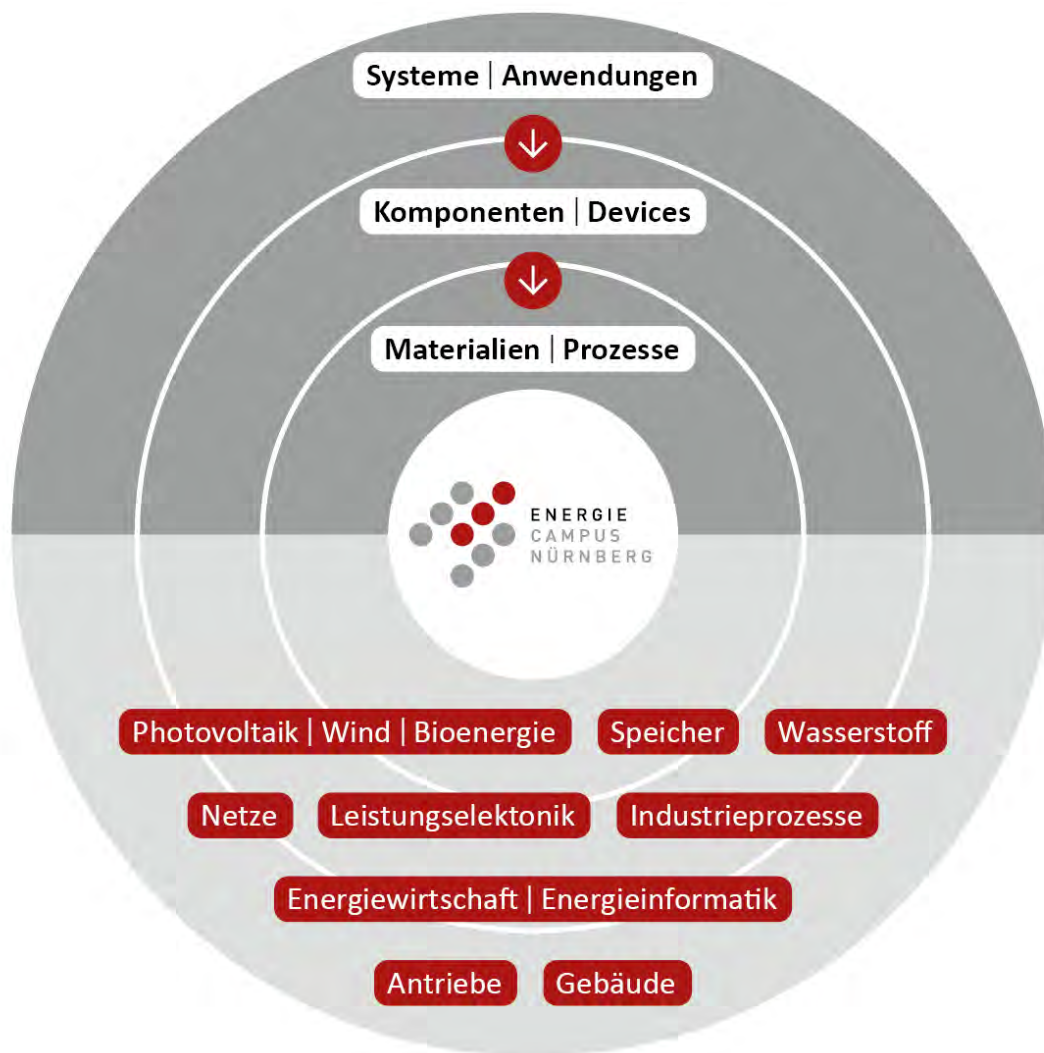
Neue Struktur der Forschungsthemen

Im Sommer dieses Jahres wurde die Darstellung der Forschungsthemen des EnCN grundlegend überarbeitet. Anstelle einer Einordnung entlang der Energiekette orientiert sich die Forschung nun an Energiethemen, die die tatsächliche Forschungsarbeit der Wissenschaftler besser widerspiegeln.

Bei der Neuausrichtung wurde bewusst darauf geachtet, Begriffe als Forschungsfelder zu wählen, die in der breiten Öffentlichkeit bekannt und verständlich sind. Dadurch wird es leichter, die Themen einzuordnen und

sich mit ihnen zu identifizieren. Gleichzeitig wird die Wertschöpfung in der Forschung an Materialien/Prozesse, Komponenten/Devices und Systemen/Anwendungen dargestellt. Sie bringt zum Ausdruck, dass die jeweiligen Forschungsfelder in der gesamten technologischen Wertschöpfungskette von Materialentwicklung bis zu Systemanwendungen betrachtet werden.

Mit dieser neuen Struktur wird eine ausgewogenere Verteilung der Forschenden auf die Forschungsfelder erreicht und zugleich eine größere Transparenz geschaffen – sowohl innerhalb des EnCN als auch nach außen.



Darstellung der EnCN Forschung: obere Teil Forschung entlang der Wertschöpfungskette, untere Teil Forschungsfelder

EnCN e.V.

Der **Energie Campus Nürnberg e. V. (EnCN e. V.)** ist ein gemeinnütziger Verein zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich Energie. Jährlich zeichnet der Verein herausragende Abschlussarbeiten (Bachelor- und Masterarbeiten) aus, die im Rahmen des Energie Campus entstanden sind. Viele der prämierten Studierenden haben im Anschluss eine wissenschaftliche Laufbahn eingeschlagen und ihre Forschung als wissenschaftliche Mitarbeitende am EnCN fortgeführt.

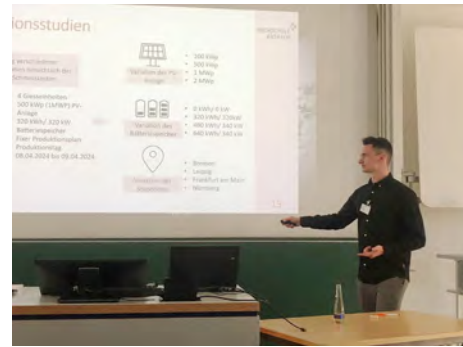
Besonderen wissenschaftlichen Erfolg erzielte **Johannes Thürauf**, ehemaliger Energiepreisgewinner, der heute

als **Nachwuchsprofessor an der Technischen Universität Nürnberg** tätig ist.

Darüber hinaus vergibt der EnCN jedes Jahr **Reisestipendien**, um Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler zu ermutigen, ihre Forschungsergebnisse auf internationalen Konferenzen zu präsentieren und in den wissenschaftlichen Diskurs einzubringen. Auf diese Weise tragen sie die Forschungsergebnisse des EnCN in die Welt hinaus und stärken die internationale Sichtbarkeit des Standorts Nürnberg.



Energiepreisverleihung 2024



Reisestipendium 2024

Nachwuchsförderung

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist ein zentrales Anliegen des EnCN. Als interdisziplinäre Forschungseinrichtung sehen wir es als unsere Aufgabe, junge Menschen frühzeitig für Forschung und Technik zu begeistern und ihnen Wege in die Wissenschaft zu eröffnen.

Unsere Nachwuchsarbeit umfasst ein breites Spektrum: Für **Schulen** bieten wir Vorträge und Laborführungen an und für die Kleinsten richten wir Veranstaltungen im Rahmen der **KinderUni** aus. Das durchweg positive Feedback und die zahlreichen Nachfragen der Schülerinnen und Schüler zu Studiengängen und Praktika zeigen, dass unsere Angebote Neugier wecken und das Interesse an Energiethemen nachhaltig fördern.



Aktives Mitmachen bei der Kinderuni



Schülerinnen und Schüler bei Laborbesichtigung

In diesem Jahr besuchten uns:

- 11. Jahrgang Willstätter Gymnasium Nürnberg
- 9. Jahrgang Adam Kraft Gymnasium Schwabach
- 11. Jahrgang Leibnitz Gymnasium Altdorf
- 11./12. Jahrgang Gymnasium Eckental
- 11./12. Jahrgang Hochbegabten Programm Mittelfranken

Durch die aktive Mitarbeit von Studierenden im EnCN erleben sie sehr früh in ihrem Studium interdisziplinäre Sichtweisen auf das Energiethema und sammeln erste praktische Erfahrungen in der Forschung. Wir unterstützen sie, wie bereits beschrieben, durch die Auszeichnung mit **dem Energiepreis** für herausragender Bachelor- und Masterarbeiten. Später als wissenschaftliche Mitarbeiter vergeben wir ein **Reisestipendium** zur Präsentation eigener Forschungsergebnisse auf Konferenzen. Der EnCN unterstützt auch **Doktorandentagungen**.

In diesem Jahr wurde die Initiative gestartet, sich um den Aufbau eines Vernetzungsprojektes zur gemeinsamen und strukturierten Ausbildung der Doktoranten zu kümmern. Daran sollen Wissenschaftler der FAU, der Ohm und der Hochschule Ansbach teilnehmen. In ersten Treffen wurde das Thema „**Sektorübergreifende Regelung für Energiesysteme**“ ausgewählt.

Das geplante Projekt soll die interdisziplinäre Forschung an der Schnittstelle von Energieerzeugung, Speicherung, Netzintegration und Sektorkopplung stärken.

Im Mittelpunkt steht die Entwicklung innovativer Methoden zur regelungstechnischen Koordination und Optimierung sektorübergreifender Energiesysteme, etwa zwischen Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor.

Für den EnCN bietet das Vorhaben eine wichtige Möglichkeit, die Kooperation zwischen universitären und

hochschulischen Partnern in der Region weiter auszubauen, gemeinsame Forschungsinfrastrukturen zu nutzen und neue Promotionsmöglichkeiten in der Energieforschung zu schaffen.

Wissenschaftliche Kooperationen

Die räumliche Nähe und die Zusammenarbeit auf einem Campus ermöglicht den Wissenschaftlern am EnCN einen schnellen Austausch von Ideen, fördert spontane Kooperationen und inspiriert zu neuen Forschungsprojekten. Zudem können sie gegenseitig auf vorhandene Forschungsinfrastrukturen zugreifen und diese gemeinsam nutzen.

Der EnCN soll künftig noch gezielter als Plattform für gemeinsame Projekte und thematische Initiativen genutzt werden – offen, praxisnah und im Dialog zwischen allen beteiligten Hochschulen in der Region. Aus diesem Grund fand im Sommer ein gemeinsames Treffen zwischen dem EnCN und den Präsidenten der Universitäten FAU, Prof. Dr. Joachim Hornegger und UTN, Prof. Dr. Michael Huth statt. Dabei wurde eine mögliche Weiterentwicklung des EnCN als Plattform für hochschulübergreifende Energie- und Nachhaltigkeitsforschung besprochen. Eine erste pragmatische Zusammenarbeit fand bei der Langen Nacht der Wissenschaften bereits statt. Prof. Dr. Veronika Grimm und ihr Team beteiligten sich mit einem Vortrag und einer Posterausstellung.



Gruppenbild v.l.n.r.: Prof. Huth (UTN), Dr. Hammer (EnCN), Prof. Hornegger (FAU)

Verschiedene Wissenschaftler arbeiten bereits erfolgreich institutionsübergreifend an verschiedenen bundesweit geförderten Verbundprojekten zusammen.

Beispiele sind die Projekte **OPVplus** – Entwicklung von OPV Folien mit schaltbarer Transparenz, **DuraFuelCell** –

Mit diesen Maßnahmen schafft der EnCN ein inspirierendes Umfeld, das Talente fördert, Wissen weitergibt und den Grundstein für die Energieforschung von morgen legt.

Untersuchung der Wirkung und Alterung von Wasserstoff-Brennstoffzellen, **EOS** – Energetische Optimierung einer Energie-Plus-Siedlung auf Systemebene, **Quartier-Opt** – Energetische und marktwirtschaftliche Lösungskonzepte für klimaneutrale Quartiere im urbanen Raum, **E|M Power** – Entwicklung eines Systems zum induktiven Laden von Nutzfahrzeugen auf der Autobahn und das Projekt **REMPUp** als Reallabor für eine CO₂ neutrale Energieversorgung der Nürnberg Messe mit Sektorkopplung.

Darüber hinaus wurden auch in diesem Jahr gezielt Verbundprojekte mit Nachwuchswissenschaftlern des EnCN gefördert. Ziel dieser Projekte ist es, in vorbereitenden Untersuchungen neue Themenfelder zu erschließen, die im kommenden Jahr in Form von Förderanträgen auf Bundesebene weitergeführt werden sollen. Eine Übersicht der Projekte sind in Tabelle 1 dargestellt.



Interdisziplinäre Forschung am EnCN

Die Forschungsergebnisse werden durch Veranstaltungen und wissenschaftliche Veröffentlichungen in die Fachwelt und an die Öffentlichkeit bekanntgegeben.



Präsentation der Forschungsergebnisse

Projektname	Beschreibung	Institutionen
Hydrofarm	Autarkes und nachhaltiges Energiesystem für landwirtschaftliche Betriebe zur Steigerung der regionalen Wertschöpfung (Hydrofarm)	FAU + Ohm Dr. Schühle + Prof. Uhrig
SimPrint	Aufklärung des Filmbildungsprozesses gedruckter Photovoltaik durch Simulation und Experiment	FAU + Ohm Dr. Distler + Prof. Lohbreier
SludgeBattery	Integration einer Carnot-Batterie auf Kläranlagen zur Dampf- und Flexibilitätsbereitstellung	FAU + Ohm Prof. Karl + Prof. Metz
ExKoH₂	Extraktion und Kompression von H ₂ aus Gasgemischen	FAU + Ohm Prof. Zeis + Prof. Opferkuch
DriveOpt	Minimierung der Gesamtverluste im Antriebssystem, bestehend aus Maschine und Umrichter, über den gesamten Betriebsbereich.	FAU + Ohm Prof. März + Prof. Germishuizen
Nanocool	Projektidee: Optimierte Nanokristalltinten für wärme-reflektierende Gläser	FAU + HS Ansbach Prof. Heiß + Prof. Buchele
EnBau	Grundlegende Untersuchung von nachhaltigen und autarken elektrischen Energieversorgungskonzepten temporärer Baustellen	FAU + Ohm Prof. Luther + Prof. Ulmer
EnergyGPT	Adaptive Steuerung von Gebäuden durch Large Language Models	FAU + Ohm Prof. German + Prof. Dentel
nextGenE	EnCN Strategic Partnership: Next Generation Electrolyser	Ohm + Adele Hydrogen SAS

Tabelle 1: Übersicht der geförderten EnCN Verbundprojekte

Wissens- und Technologietransfer

Neben der Forschung spielt der Austausch von Wissen und Technologie mit regionalen Partnern eine wichtige Rolle. Deshalb setzen sich sowohl die Geschäftsstelle als auch die beteiligten Professorinnen und Professoren mit großem Engagement dafür ein, Wissenschaft und Wirtschaft miteinander zu verknüpfen, wie z.B. beim Besuch von Siemens Energy.



Besuch Siemens Converter Fabrik Nürnberg

Durch Kooperationen, Studien und Fachveranstaltungen entstehen so praxisnahe Lösungen, die neue Technologien in der Praxis zur Anwendung bringen.



Fachveranstaltung IEEE Power and Energy Society

Regional bestehen z.B. enge Kooperationen mit Siemens Energy, A-Eberle Nürnberg sowie mit OPAL-RT Germany. Durch Workshops, studentische Arbeiten oder Projekte wird dabei ein effektiver Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis gewährleistet. Zusätzlich findet ein regelmäßiger Austausch mit regionalen Verteilnetzbetreibern statt, um Forschungsergebnisse praxisnah zu erproben. So entstanden im Berichtsjahr mehrere gemeinsame Aktivitäten mit dem regionalen Energieversorger N-ERGIE. Neben verschiedenen Projekten

unterstützte der EnCN bei der Energiebedarfsanalyse für die Erdgasnetztransformation.



Managementmeeting N-ERGIE

Weiterhin arbeitet der Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme national eng mit verschiedenen Systemtechnikern und insbesondere Übertragungsnetzbetreibern zusammen. Sie validieren Verfahren zur Stabilität, Regelung und zum Schutz von AC- und DC-Netzen unter realen Bedingungen und unterstützen so einen sicheren Netzausbau.

Der EnCN war zudem Anlaufstelle für verschiedene internationale **Delegationen**, die sich vor Ort über aktuelle Forschungsaktivitäten informierten. In Vorträgen und Laborführungen präsentierten die Forschenden ihre Forschungsarbeit und knüpften so Beziehungen nach Chile, Marokko und China. Auch die Wirtschaftsförderung Augsburg besuchte den EnCN, um sich über mögliche Kooperationen im Bereich Wasserstoff auszutauschen. Deren Ziel ist der Aufbau eines regionalen Wasserstoffzentrums und die Vernetzung mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie, um gemeinsame Potenziale optimal zu nutzen. Die Gäste zeigten sich dabei sehr beeindruckt von den vielseitigen Aktivitäten des EnCN. Wir freuen uns auf einen weiteren Austausch.



Besuch der Wirtschaftsförderung Augsburg

Die Unterstützung von Ausgründungen und Patenten ist ein weiterer zentraler Baustein im Bereich Wissens- und Technologietransfer des EnCN. Unser Ziel ist es, unsere Wissenschaftler gezielt dabei zu unterstützen, eigene Unternehmen zu gründen und ihre Forschungsergebnisse erfolgreich in die Praxis zu übertragen. In Kooperation mit der Bayerischen Patentallianz (BayPAT) wurde ein **Patentworkshop** eigens für unsere Wissenschaftler organisiert, um praxisnahes Wissen rund um Schutzrechte, Patentstrategien und Verwertungsmöglichkeiten zu vermitteln.

Aus dem EnCN sind mittlerweile 16 Unternehmen aus gegründet worden und weitere sind in Planung. Dadurch trägt der EnCN dazu bei, Forschungsergebnisse in marktfähige Produkte und Dienstleistungen zu transferieren und Innovationen in die Region zu bringen. Bestehende und neue **Ausgründungen** profitieren zudem von gezielten Kommunikationsmaßnahmen, die ihnen zusätzliche Sichtbarkeit und Aufmerksamkeit verschaffen – etwa durch Beiträge auf unserem Social-Media-Kanal oder Präsentationsmöglichkeiten bei Veranstaltungen. Zur Langen Nacht der Wissenschaften haben Start-ups eine eigene Ausstellungsfläche erhalten, auf der sie sich attraktiv darstellen konnten.



Start-ups zur Langen Nacht der Wissenschaften

Dr. Maria Hammer wurde zusammen mit Prof. Dr. Susanne Lehner und Prof. Dr. Mario Liebensteiner zum **Zukunftstalk** aus der Reihe überMorgen – Der #Zukunftsplausch“ ins Deutsche Museum Nürnberg eingeladen. Thema der Diskussionsrunde war „Wie gelingt eine nachhaltige, verlässliche und wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung?“. Ihre unterschiedlichen Forschungsbereiche und eingebrachten Themen waren eine Bereicherung.

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
Fiona Systems GmbH	Entwicklung von neuartigen Testplattformen in den Bereichen Sprüh- und Verbrennungstechnik, Wärme- und Stoffübertragung oder Elektrochemie
NextHeat	Entwicklung und Herstellung von Wasserstoffbrennern für Haushalte und Industrie sowie Wasserstoff-Contracting
NUEhydrogen UG	Beratung zum Einsatz von Wasserstoffanwendungen in der Industrie
Hudyne Sensor GmbH	Entwicklung und Vermietung von hochpräzisen Wärmefluss-Sensoren
Hydrogenious LOHC Technologies GmbH	LOHC-Wasserstoffspeicher und Logistik
Prosio Engineering GmbH	Ingenieurdienstleistungen 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
Unbound Potential AG	Entwicklung von innovativen großtechnischen Energiespeichersystemen
Zohm Control	Entwicklung und Herstellung von Steuerungsplattformen und Algorithmen für Leistungselektronik und elektrischer Antriebssysteme

Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit ist für den ENCN ein zentrales Instrument, um Forschungsergebnisse und wissenschaftliche Erkenntnisse zielgerichtet an verschiedene Interessensgruppen, wie Politik, Wissenschaft, Industrie und Öffentlichkeit, zu vermitteln und daraus neue Kooperationen zu entwickeln. Durch eine strategisch integrierte Kommunikation gelingt es, sowohl den wissenschaftlichen Austausch zu fördern als auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Impulse zu setzen.

In der Zusammenarbeit mit Wissenschaft und Industrie werden gemeinsame Forschungsprojekte initiiert, vernetzt und begleitet. Hierfür dienen gezielte Fachveranstaltungen als Plattformen für Austausch und Koopera-

tion, wie z.B. die Clusterveranstaltung „Die Gebäudehülle als Energiesystem“ in Kooperation mit Bayern Innovativ oder die EMN SIM Nutzerworkshops im Rahmen des Projekts Klimapakt 2030plus.



Clusterveranstaltung mit Bayern Innovativ



EMN SIM Nutzerworkshops

Darüber hinaus finden Fachveranstaltungen für die Wissenschaft statt, wie die **International Conference on Electric Airships** mit dreitägigem Programm.



International Conference on Electric Airships

Der aktive Dialog mit der breiten Öffentlichkeit als eine zentrale Säule unserer Arbeit rundet unsere Kommunikationskonzept wirkungsvoll ab. Mit den Vortragsreihen **FAUinsights** im Frühjahr und **Ohm Innovation Talks** im Herbst vermittelt der EnCN allgemein verständliche Einblicke in aktuelle Forschungsthemen und deren gesellschaftliche Relevanz. Die Veranstaltungen werden sowohl live gestreamt als auch aufgezeichnet.



FAUinsights – mit Frau Dr. Hoffmann (Stadt Nürnberg), Herr Prof. German (FAU), Herr Hildebrandt (ADAC)

FAUinsights fand dieses Jahr zum Thema „Mobilität der Zukunft“ mit 7 Veranstaltungen statt und die **Ohm Innovation Talks** zum Thema „KI – Technologien für Energie und Zukunft“ mit 5 Veranstaltungen. Auf YouTube wurden die FAUinsights bisher über 2700mal angesehen. Die Kurzvideos auf Instagram erzielten rund 24.000 Aufrufe. Durch integrierte Kommunikationsmaßnahmen –

etwa die Einladung zu Veranstaltungen über Instagram, Newsletter und die EnCN-Homepage – werden verschiedene Zielgruppen gezielt angesprochen und die Reichweite der Aktivitäten erhöht. Dabei werden regelmäßig Netzwerkpartner aktiv mit eingebunden.

Parallel zu den FAUinsights wurde in Kooperation mit Bayern Innovativ am EnCN eine Wanderausstellung zur Elektromobilität organisiert. Ziel der Ausstellung war es, die Bevölkerung sowie Schülerinnen und Schüler für das Thema Elektromobilität zu sensibilisieren. Dabei sollten verbreitete Mythen aufgeklärt und ein faktenbasierter Einblick in aktuelle Entwicklungen in der E-Mobilität gegeben werden. Schulen wurden gezielt eingeladen, die Ausstellung zu besuchen und sich interaktiv mit den Inhalten auseinanderzusetzen. Die Ausstellung erfreute sich einer sehr positiven Resonanz beim Publikum.



Besuch der Wanderausstellung durch das Leibnitz Gymnasium

Ein besonderer Höhepunkt des Jahres war erneut die Teilnahme an der **Langen Nacht der Wissenschaften**. Dabei präsentierte sich der EnCN mit 17 vielfältigen Ausstellungen, interaktiven Mitmachaktionen und einem abwechslungsreichen Vortragsprogramm mit 9 Vorträgen eindrucksvoll die Bandbreite seiner Forschungsaktivitäten der Öffentlichkeit.



Lange Nacht der Wissenschaften

Für politische Entscheidungsträger stehen insbesondere fachliche Beratung und wissenschaftlich fundierte Gutachten im Mittelpunkt. Prof. Dr. Jürgen Karl veröffentlichte in diesem Jahr eine **Studie** zur „**Speicherung von**

Wärme für die regionale Wärmeversorgung“, die einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung nachhaltiger Energiesysteme leistet.

Die Studie gibt einen umfassenden Überblick über verfügbare Speichertechnologien und untersucht, welche davon technisch und wirtschaftlich im Versorgungsgebiet der N-ERGIE umgesetzt werden können. Dabei werden sowohl zentrale als auch dezentrale Speicheransätze bewertet.

Die Öffentlichkeitsarbeit des EnCN trägt maßgeblich dazu bei, die Sichtbarkeit der Forschungsarbeiten zu erhöhen, Brücken zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu schlagen und neue Kooperationen zu ermöglichen. Für Instagram wurde ein Kurzvideo erstellt, das den EnCN in wenigen Sätzen beschreibt. Es wurde 16.800-mal angesehen.

Die hervorragende Infrastruktur des EnCN und die räumliche Nähe zu verschiedenen Einrichtungen der Energieforschung machen den Campus zu einem attraktiven Veranstaltungsort für Verbände und Netzwerkinstitutionen – darunter das **ECPE European Center for Power Electronics e.V.**, der **Bundesverband WindEnergie**, die **ENERGIEregion Nürnberg e.V.** sowie die **Europäische Metropolregion Nürnberg e.V.**. Durch diese Kooperationen kann der EnCN seine Aktivitäten einem noch breiteren Publikum vorstellen und seine Sichtbarkeit weiter erhöhen.



Tagung des Bundesverbands für Windenergie



EnCN Sommerkonferenz: Vorträge

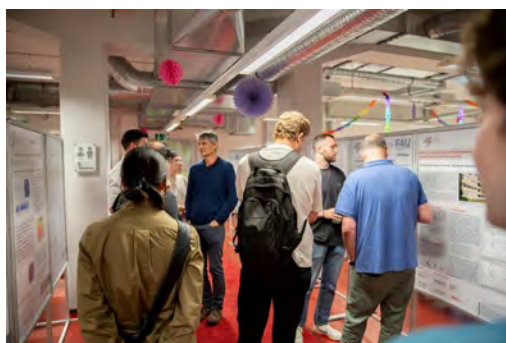


ECPE Schulung

Diese Veranstaltungen fördern den wichtigen Austausch der Hauptakteure im Energiebereich - Wissenschaft, Wirtschaft und Politik - und tragen zur Vernetzung über den EnCN hinaus bei.

Die jährlich stattfindende **Sommerkonferenz** mit anschließendem Sommerfest bietet eine ideale Gelegenheit, den persönlichen Austausch und die Vernetzung innerhalb des EnCN und des Nuremberg Campus of Technology (NCT) sowie mit externen Partnern zu stärken. Sie ist ein Highlight im Jahr, auf das sich jeder freut. Spannende Vorträge lieferten dabei zahlreiche Impulse für Gespräche und den gemeinsamen Erfahrungsaustausch.

In diesem Jahr wurde bewusst zu einem praxisorientierten Vortrag von Prof. Dr. Frank Ebinger (Ohm NCT) eingeladen. Er stellte die Strategien und Erfahrungen des Mittelstand-Digital Zentrums vor. Das von ihm initiierte Projekt unterstützt kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bei der Anwendung von Künstlicher Intelligenz sowie bei der Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit. Es ist ein gelungenes Beispiel dafür, wie wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Hochschulbereich erfolgreich in der Praxis eingesetzt werden können. Wir möchten unsere Kolleginnen und Kollegen durch so einen Vortrag motivieren, ihre Erfahrungen in der Praxis einzusetzen, z.B. durch die Gründung von einem eigenen Unternehmen.



Postersession



Networking mit Industrie



EnCN Sommerfest

Zusätzlich zu den Veranstaltungen vor Ort wird die Reichweite durch digitale Medien erweitert. Instagram und YouTube-Videos zur visuellen Darstellung der Forschungsarbeit ermöglichen es, ein breiteres Publikum

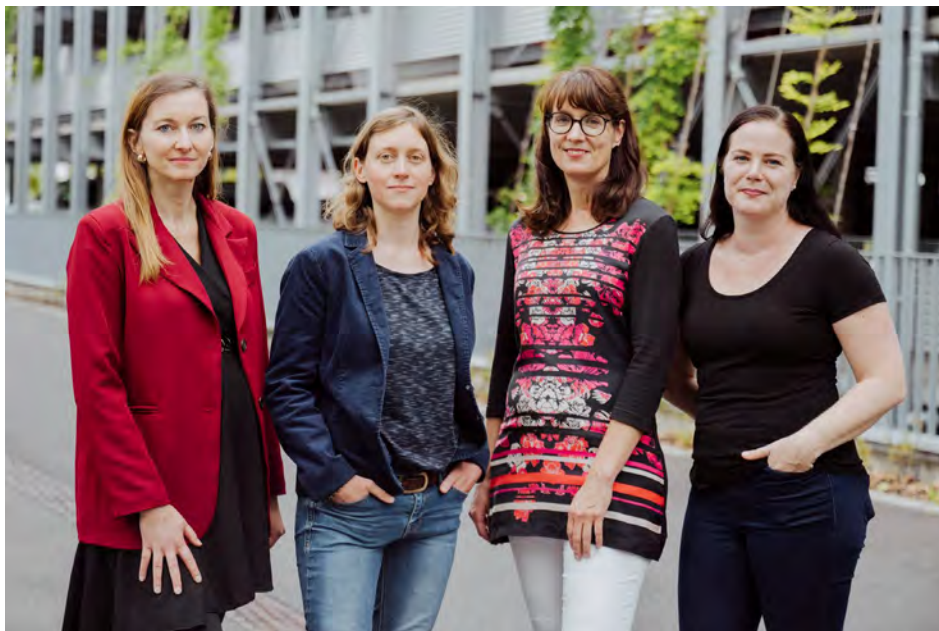
wirkungsvoll zu erreichen und die EnCN Aktivitäten einem größeren Kreis zugänglich zu machen. Mit all den Aktivitäten konnte der EnCN weit über die Region hinaus größere Bekanntheit erzielen.



Ausschnitt EnCN Instagram

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der neuen Geschäftsführerin Dr. Maria Hammer, der neuen Teamassistentin und Gebäudemanagerin Sabrina Löw sowie Kristin Zeug als Leiterin der Kommunikation hat die Geschäftsstelle ein starkes Team, das den EnCN erfolgreich in die Zukunft führen wird. Ab Januar 2026 wird zusätzlich Frau Susanna Bordin als neue Forschungskordinatorin in der Geschäftsstelle anfangen und sich sowohl um die Beantragung eines Zentrums zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses als auch um das ZIM Projekt „IntEQu: Sektorübergreifende Lösungen für Energiesysteme im Quartier“ kümmern. Ziel des Innovationsnetzwerks „Sektorübergreifende Lösungen für Energiesysteme im Quartier (IntEQu)“ ist es, gemeinsam mit Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen neue Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und zu vermarkten, welche dazu beitragen die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität auf Quartiersebene intelligent zu vernetzen und das Gesamtsystem somit effizienter, klima- und nutzerfreundlicher sowie kostengünstiger zu gestalten. Frau Bordin war langjährige Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Energieeffiziente Systeme der Gebäudetechnik am Institut für Energie und Gebäude der Technischen Hochschule Nürnberg. Ihre Promotion auf diesem Gebiet plant sie 2026 erfolgreich zu beenden.



v.l.n.r. Dr. Maria Hammer, Susanna Bordin, Kristin Zeug, Sabrina Löw

Im kommenden Jahr möchten wir den Fokus noch stärker auf die **Vernetzung innerhalb des EnCN** legen. Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bilden mit ihren vielfältigen Kompetenzen und Erfahrungen das Herzstück der Kooperation – diese Stärke wollen wir gezielt nutzen und weiter ausbauen. Die neue Forschungskordinatorin wird diesen Prozess aktiv begleiten und dazu beitragen, den Austausch und die Zusammenarbeit weiter zu intensivieren.

Es ist geplant gegenseitige Laborführungen sowie themenbezogene Workshops zu organisieren, die Raum für fachliche Diskussionen und neue Kooperationen schaffen sollen. Ziel ist es, ein noch besseres Verständnis dafür zu entwickeln, woran die einzelnen Gruppen arbeiten und welche Potenziale für gemeinsame Projekte sich daraus ergeben können.

Denn so können wir Synergien erkennen, voneinander lernen und gemeinsam Innovationen vorantreiben. Die Vernetzung im EnCN ist damit nicht nur eine organisatorische Aufgabe, sondern ein wesentlicher Baustein für unsere wissenschaftliche Exzellenz und Zukunftsfähigkeit.

Weiterhin ist eine stärkere Vernetzung mit der Industrie geplant, um den Technologietransferprozess zu beschleunigen. Hier wird es in einem ersten Schritt einen Erfahrungsaustausch mit dem Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg und der Technologieplattform **SOLARTAP** geben. Sie haben bereits erfolgreich viele Industrieunternehmen an sich binden und Zukunftsthemen schneller in der Forschung für die Industrie umsetzen können.

FORSCHUNGSBEREICH

Erneuerbare Energien



Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Christoph Brabec, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, FAU Erlangen-Nürnberg (i-MEET) und Forschungszentrum Jülich GmbH, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg (IET-2 & IMD-3)

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Solar TAP: Technologietransfer von neuen PV Technologien in die Industrie
- Multi-benefit PV: Entwicklung von Modultechnologien, die eine einfache Integration in bestehende funktionelle Oberflächen oder Infrastrukturen erlauben
- Beschleunigungsforschung: Entwicklung von neuen Energiematerialien und die dazugehörigen Prozesse, um in kürzester Zeit maßgeschneiderte Lösungen für aktuelle Probleme der Energiewende anzubieten.

Dr. Andreas Distler, Lehrstuhl für Werkstoffwissenschaften, FAU Erlangen-Nürnberg (i-MEET)

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Neuartige Photovoltaiktechnologien (Organische und Perowskit-basierte PV)
- Entwicklung vollständig gedruckter und hochtransparenter Solarmodule
- Transfer und Skalierung von kleinen Zellen ($0,1 \text{ cm}^2$) zu großen Modulen (200 cm^2)
- Laserstrukturierung mittels Ultrakurzpulslaser
- Gedruckte Barrieren

Michael Wagner, Forschungszentrum Jülich GmbH, Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg (IET-2)

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Aufskalierung organischer und Perowskit-basierter PV Module (bis zu 1400 cm^2)
- Entwicklung Rolle-zu-Rolle-gedruckter, flexibler PV-Technologien
- Lebenszeituntersuchungen und -optimierungen
- Hochdurchsatz-Optimierung von Materialien und Beschichtungsmethoden

Forschungsfelder

Entwicklung von Rolle-zu-Rolle-gedruckten, flexiblen, ultraleichten Solarmodulen



Rolle-zu-Rolle Beschichtungsanlage

In der „Solarfabrik der Zukunft“ werden Maschinen, Prozesse und Materialien weiterentwickelt, um Photovoltaik großflächig druckbar zu machen. Der Fokus liegt auf dem gängigen Schlitzdüsen-Druckverfahren, wobei hier photoaktive Materialien mit Schichtdicken $< 1 \mu\text{m}$ auf flexible Trägersubstrate aufgebracht werden. Hierbei können sowohl Perowskit-basierte Solarmodule, wie auch organische Solarmodule großflächig hergestellt werden. Organische Solarmodule stechen durch ihre Eigenschaft heraus, dass sie semitransparent hergestellt werden können und ihre spektrale Absorption (d.h. auch ihre Farbe) angepasst werden kann. Die FAU hat zusammen mit dem HIERN Solarmodule mit einer Transparenz von 45 % und 8 % Effizienz entwickelt, die für gebäudeintegrierte Anwendungen wie auch Agri-Photovoltaik extrem gut geeignet sind. Für Anwendungsfelder in der Luft- und Raumfahrt, wo die spezifische Leistung ausschlaggebend ist (d.h. wieviel elektrische Leistung erzeugt ein Solarmodul pro Gramm Modulgewicht), eignet sich die gedruckte Perowskit-Photovoltaik besonders. Hier werden derzeit Werte von bis zu $0,3 \text{ W/g}$ erreicht. Im Vergleich dazu haben flexible Silizium-basierte Solarmodule einen Wert von ca. $0,07 \text{ W/g}$.

Entwicklung gedruckter Hocheffizienz-Solarmodule



Weltrekord Modul

An der „Solarfabrik der Zukunft“ werden gedruckte (Organische und Perowskit-basierte) Solarmodule mit höchstmöglichem Wirkungsgrad entwickelt. Hierbei werden sowohl die Materialien als auch die Beschichtungs- und Laserstrukturierungsprozesse so optimiert, dass der Effizienzverlust bei der Skalierung von kleinen Zellen hin zu großen Modulen so gering wie möglich ($< 5\%$) ist. Zur Unterstützung der experimentellen Forschungsarbeiten werden Simulationen unterschiedlichster Art (z.B. zur fluiddynamischen Analyse des Beschichtungsprozesses) eingesetzt. Die Arbeitsgruppe nimmt dabei eine weltweite Spitzenstellung ein und hält weiterhin den Weltrekord für den höchsten zertifizierten Wirkungsgrad eines OPV-Moduls mit 14,5 % auf einer Modulfläche von $> 200\text{ cm}^2$.

Bedeutende Projekte

Solar TAP	Aufbau einer Plattform zur Beschleunigung der Solartechnologie (SOLAR TAP), die bahnbrechende Innovationen im Bereich aufstrebender PV-Technologien direkt in die Industrie transferiert
Projektzeitraum	04.2023 – 12.2025
Partner	Helmholtz-Zentrum Berlin, Karlsruher Institut für Technologie
Fördergeber	Helmholtz-Gemeinschaft (HGF)
BOOSTER	Entwicklung der nächsten Generation von Dünnschicht-Photovoltaiktechnologien
Projektzeitraum	09.2020 – 02.2027
Partner	ARMOR SA, ASCA GmbH & Co. KG, Avantama AG, Dupont Teijin Films UK Ltd., Brilliant Matters Inc., Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V., Imperial College of Science Technology and Medicine, Slovenska Technicka Univerzita v Bratislave, Eni SpA, Amires the Business Innovation Management Institute, University of Oxford
Fördergeber	Europäische Union
RABE	Entwicklung eines Rakelroboters für die automatisierte Beschichtung in der gedruckten Elektronik
Projektzeitraum	01.2024 – 11.2026
Partner	Sciprios GmbH
Fördergeber	Allianz für Industrie und Forschung (AiF)
OPVplus	Organische Photovoltaikfolien mit schaltbarer Transparenz (OPVplus)
Projektzeitraum	09.2024 – 08.2027
Partner	Ohm Technische Hochschule Nürnberg
Fördergeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung für Bauwesen und Raumordnung

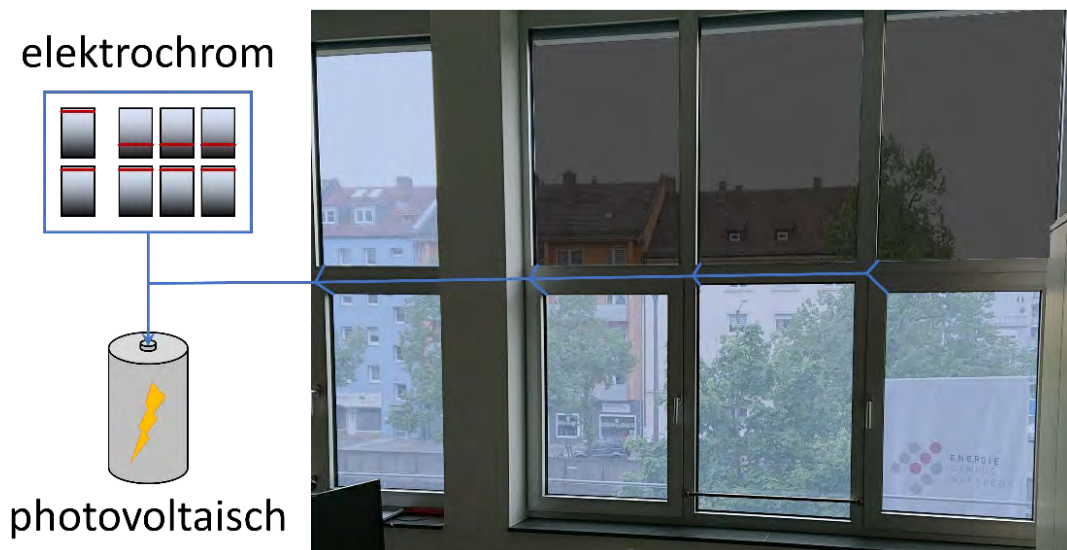
HIGHLIGHT

Projekt „OPVplus“

Das durch die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen geförderte Projekt „OPVplus“ ist ein Verbundprojekt aus vier kooperierenden EnCN-Arbeitsgruppen: Dr. Andreas Distler (FAU), Prof. Wolfgang Heiß (FAU), Prof. Arno Dentel (THN) und Prof. Roland Krippner (THN).

Zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden werden elektrochrome Photovoltaik-Folien für die Integration in transparente Fassadenbereiche (Fenster und sonstige Verglasungen) erforscht. Dazu wird eine drucktechnisch hergestellte Hybrid-Optoelektronik entwickelt, welche die Funktionalitäten „schaltbar abdunkelnd“ (elektrochrom) und „stromerzeugend“ (photovoltaisch) vereint. Der positive Effekt eines solchen Systems auf die Gebäudeeffizienz wird durch experimentelle Studien, Messungen und Simulationen untersucht. Die Mehrfachfunktion, die gestalterische Flexibilität, sowie die Witterungsbeständigkeit eines solchen Systems ergeben ein großes Potenzial in der Gebäudetechnik und der Energiewende. Durch das drucktechnische Herstellungsverfahren und eine fabrikseitige Integration in Verglasungen ist das System mittelfristig kostengünstig umsetzbar. Es ist auch durch minimalen Materialeinsatz (Ultradünnschichttechnologie) und den Einsatz ökologisch unkritischer Materialien nachhaltig.

Kern des Projekts ist die Entwicklung der Hybrid-Optoelektronik, wobei sowohl für die Photovoltaik als auch für das elektrochrome Bauteil anspruchsvolle Entwicklungsschritte für die einzelnen Funktionsschichten nötig sind, um Funktionalität, Leistung, Prozessierbarkeit und Stabilität zu gewährleisten. Anschließend wird eine kosteneffiziente Flächenskalierung erarbeitet und Prototypen gefertigt, welche durch die Projektpartner in einem Versuchsstand eingebaut und vermessen werden. Diese Entwicklung wird durch systematische Untersuchungen auf Basis von gebäudeenergetischer, raumklimatischer und lichttechnischer Modellierung begleitet, welche iterativ in die Optimierung der Hybrid-Optoelektronik eingehen. Parallel werden Regelungsmethoden für die Verdunklungsfunktion in verschiedene Szenarien/Nutzeransprüche entwickelt. Begleitend werden architektonische und bautechnische Aspekte für die Weiterentwicklung zu Serienprodukten untersucht und mit den Projektpartnern abgestimmt.



Elektrochrome Photovoltaik-Folien

Erneuerbare Energien

Prof. Dr. Maik Eichelbaum, Arbeitsgruppe Umwelt- und Elektroanalytik, Fakultät Angewandte Chemie, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

Der Schwerpunkt der Forschungsgruppe „Umwelt- und Elektroanalytik“ liegt im Bereich der Analytik elektrochemischer Energiesysteme, die essentiell für die klimaneutrale und nachhaltige Transformation von Industrie und Gesellschaft sind. Ein zentrales Thema sind hierbei analytische Methoden, mit denen die reversible und irreversible Alterung von Wasserstoff-PEM-Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuganwendungen, PEM- und AEM-Wasserelektrolyseure zur Erzeugung grünen Wasserstoffs sowie Lithium-Ionen-Batteriezellen untersucht werden kann. Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung nachhaltiger Methoden zur Lithiumgewinnung.

Forschungsfelder

Analytik von Elektrolyseuren, Batterien und Brennstoffzellen

Ein zentrales Thema ist hierbei die Entwicklung analytischer Methoden, um die reversible und irreversible Alterung von Wasserstoff-PEM-Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuganwendungen, PEM- und AEM-Wasserelektrolyseure zur Erzeugung grünen Wasserstoffs sowie Lithium-Ionen-Batteriezellen zu untersuchen. Die Gruppe nutzt hierbei vor allem Röntgenfluoreszenzmikroskopie, elektrochemische Rastersondenmikroskopie (scanning electrochemical microscopy, SECM) und elektrische Impedanztomographie (EIT) als bildgebende Methoden, um mögliche Alterungsprozesse orts aufgelöst sichtbar zu machen und Zusammenhänge zwischen Material, Betriebsbedingungen, Aktivität und Alterung aufzuklären. Die Degradation der elektrochemischen Zellen wird durch anwendungsspezifische beschleunigte Alterungstests im Labormaßstab untersucht und die Komponenten sowie Prozessmedien werden in-situ und ex-situ durch geeignete elektrochemische und elementanalytische Methoden analysiert.

Photoelektrochemische Verfahren für ein nachhaltiges Energiesystem

Ein zweiter Schwerpunkt liegt in der Entwicklung, Untersuchung und Anwendung photoelektrochemisch aktiver Materialien und Verfahren. Im Fokus stehen dabei vor allem Anwendungsszenarien im Bereich antibakterieller und selbstreinigender Oberflächen sowie die photoelektrochemische Extraktion von Lithium aus Meerwasser und Solen. Als Herstellungsmethoden für die photoaktiven Materialien und dünnen Schichten werden die Sol-Gel-Synthese sowie mechanische und mechano-chemische Verfahren in Verbindung mit Spin- und Dip-Coating für die Beschichtung von Substraten angewendet. Die Charakterisierung der Proben erfolgt unter anderem mit photoelektrochemischen Methoden wie der photoelektrochemischen Impedanzspektroskopie, linearen Sweep-Voltammetrie, Chopped-Light-Amperometrie und -Potentiometrie sowie der intensitätsmodulierten Photostrom- und Photospannungsspektroskopie.

Bedeutende Projekte

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

Das Projekt „SMART.H2“ beschäftigt sich mit der Alterung von Brennstoffzellen in Nutzfahrzeuganwendungen. Der Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von beschleunigten Alterungstests sowie instrumentell-analytischen und theoretischen Methoden zur Identifikation von kausalen Zusammenhängen zwischen spezifischen Betriebsbedingungen in Schwerlastfahrzeugen und den Degradationsprozessen in Brennstoffzellen.

Projektzeitraum

10.2022 - 04.2027

Partner

MAN Truck & Bus SE, TU Hamburg, TU München

Fördergeber

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, MAN Truck & Bus SE

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

Projektzeitraum

Im Forschungsimpuls „DuraFuelCell“ untersuchen zwölf Professorinnen und Professoren aus sieben Fakultäten der Ohm in einem interdisziplinären und vernetzten Forschungsansatz die Lebensdauer und Effizienz von Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologien in stationären Anwendungen sowie in schweren Nutzfahrzeugen.

04.2024 - 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

Fördergeber

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

LiSea: Photoelektrochemische Gewinnung von Lithium aus Meerwasser

Projektzeitraum

Das Projekt „LiSea“ befasst sich mit der Extraktion von Lithium aus Meerwasser. Die Projektidee kombiniert die Lithiumschöpfung aus Meerwasser mit einem photoelektrochemischen Ansatz unter direkter Ausnutzung des Sonnenlichts als einziger Energiequelle. Das Ziel dieses Projekts ist der Bau eines Prototyps, um die Machbarkeit dieses Konzepts nachzuweisen und für eine technologische Verwertung vorzubereiten.

05.2025 - 12.2026

Partner

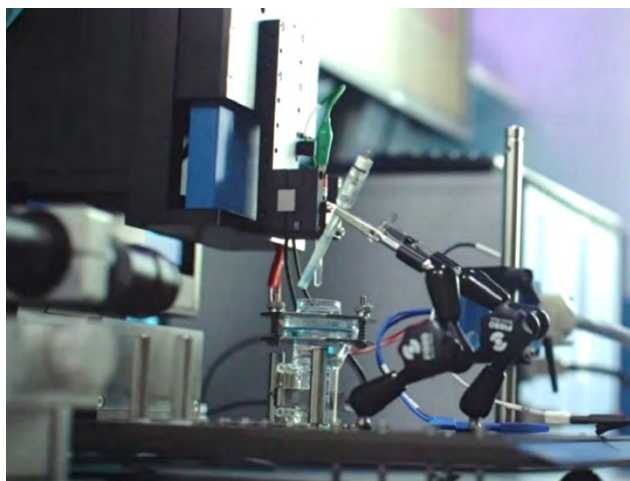
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Fördergeber

Staedtler-Stiftung, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

HIGHLIGHT

Neue orts aufgelöste Methode zur Detektion von Membranmikrodefekten in Brennstoffzellen



Elektrochemisches Rastersondenmikroskop (Scanning Electrochemical Microscope, SECM) mit Diffusionszelle zur Untersuchung von Membranmikrodefekten in Brennstoffzellen und Elektrolyseuren.

Um die Lebensdauer von Polymerelektrolytmembran (PEM)-Brennstoffzellen und PEM-Wasserelektrolyseuren zu erhöhen, ist das Verständnis lokaler Degenerationsprozesse in Membran-Elektroden-Einheiten (membrane electrode assemblies, MEA) zentral.

Durch die Kombination der Elektrochemischen Rastersondenmikroskopie (Scanning Electrochemical Microscopy, SECM) mit einer Diffusions-Durchflusszelle sowie Hexacyanidoferrat(II) und Protonen als Redoxmediatoren wurde eine orts aufgelöste Analysemethode entwickelt, die zwischen verschiedenen funktionellen und strukturellen Degradationserscheinungen im Alterungsverlauf einer Membran als Bestandteil einer MEA differenzieren kann. Ein SECM-Scan bei negativem Potential weist die Diffusion von Protonen durch die Membran und damit ihre Protonenleitfähigkeit nach, während ein zweiter SECM-Scan bei positivem Potential die Diffusion des Eisenkomplexes durch die Membran und damit perforierende Strukturschäden wie Risse und Löcher sichtbar macht. Die Methode wurde erfolgreich für die orts aufgelöste Differenzierung von Membranmikroschädigungen im MEAs nach verschiedenen Alterungstests validiert. (Mehr Informationen unter: [10.26434/chemrxiv-2025-442x9](https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2025-442x9))

Inbetriebnahme eines neuen Brennstoffzellenprüfstands am Campus Future Driveline

Für die Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen, die im Rahmen der Nutzungsphase typischer Lastkraftwagen mit Fahrstrecken über 1,6 Mio. Kilometern über 25.000 Betriebsstunden halten müssen, ist die Entwicklung realistischer beschleunigter Alterungstests im Labormaßstab entscheidend. Nur auf diese Weise können in einem frühen Entwicklungsstadium bzw. auf Einzelzellbasis Abschätzungen darüber getroffen werden, welche Zellkomponenten für diese herausfordernden Anforderungen im Realbetrieb geeignet oder an welchen Stellen noch Verbesserungen notwendig sind. Zu diesem Zweck wurde am Campus Future Driveline ein neuer Brennstoffzellenprüfstand in Betrieb genommen, der die Charakterisierung und Durchführung von Alterungstests an Einzelzellen und Short-Stacks bis zu einer Leistung von 2,3 kW_{el} ermöglicht. Neben der Simulation verschiedener Lasten für beliebige Fahrprofile und Anwendungsszenarien ermöglicht der Prüfstand auch die systematische Untersuchung des Einflusses von Gasverunreinigungen im Kathoden- und Anodengas wie CO, CO₂, CH₄, NO, NO₂, SO₂ und NH₃. Des Weiteren können auch extreme Bedingungen wie Kaltstarts bei -10°C, Brennstoffzelltemperaturen bis 100°C sowie sehr schnelle Wechsel zwischen niedriger und hoher Luftfeuchte simuliert werden. Der Prüfstand erlaubt die in-situ Messung elektrochemischer Kenndaten, eine Online-Analyse des Kathoden- und Anodenabgases sowie die orts aufgelöste in-situ Messung der Stromdichte- und Temperaturverteilung in der Zelle.



Neuer Prüfstand zur Charakterisierung und Lebensdaueruntersuchung von PEM-Brennstoffzellen bis 2,3 kW_{el}.

Erneuerbare Energien

**Prof. Dr. Wolfgang Heiß, Institut-Materialien für die Elektronik und Energietechnologie (i-MEET),
Lösungsprozessierbare Halbleitermaterialien, FAU Erlangen-Nürnberg**

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Projektleitung Forschungsgruppe SOPSEM (Solution-Processed-Semiconductor-Materials)

- Lösungsprozessierbare Halbleitermaterialien
- Kolloidale Nankristalle
- Perowskit-Halbleiter
- Elektrochrome Bauteile
- Ferroelektrische Hableiter

Forschungsfelder

Beitrag zu Projekt OPVplus

Ziel dieses Projektes ist es, Folien für Fenster zu gestalten, bei denen transparente organische Solarzellen und elektrochrome Bauteile kombiniert werden, um einerseits Sonnenenergie in elektrische Energie um zu wandeln und andererseits Innenräume von zu hohem Wärmeintrag über die Sonnenstrahlung zu schützen. Diese Kombination ermöglicht auch einen Betrieb der „smarten“ Fenster ohne zusätzliche elektrische Anschlüsse, was deren Installation natürlich deutlich vereinfacht, zumal die Ansteuerung der elektrochromen Filme tatsächlich drahtlos, über eine Applikation am Mobiltelefon erfolgen soll.

Ferroelektrische Solarzellen

Es handelt sich hier um ein Teilprojekt eines internationalen Graduiertenkollegs, welches sich in der zweiten Förderphase befindet. Ziel ist hier Photovoltaische Bauteile durch die Verwendung oder das Einbringen ferroelektrischer, bleifreier Perowskit Materialien zu verbessern. Im Speziellen wurden und werden Metall-Halide, Metalloxide und Metallfreie Perowskite in Form von Nanokristallen, Einkristallen oder auch in polykristalliner Form gezüchtet mit dem speziellen Ziel, ferroelektrische und optoelektronische Eigenschaften untereinander zu koppeln.

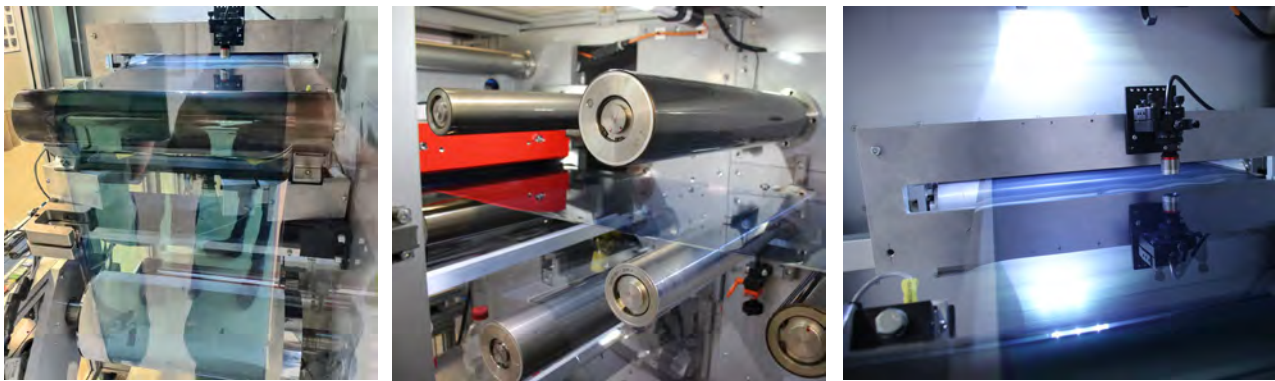
Bedeutende Projekte

OPVplus	Organische Photovoltaik mit schaltbarer Transparenz
Projektzeitraum	09.2024 – 08.2027
Partner	Ohm Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fördergeber	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung für Bauwesen und Raumordnung
DFG-Projekt Ferroelektrische Solarzellen	Forschung zu Ferroelektrischen und optoelektronischen Eigenschaften
Projektzeitraum	01.2019 – 12.2028
Partner	Nagoya Institute of Technology
Fördergeber	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

HIGHLIGHT

Startup: AMPERIAL Technologies

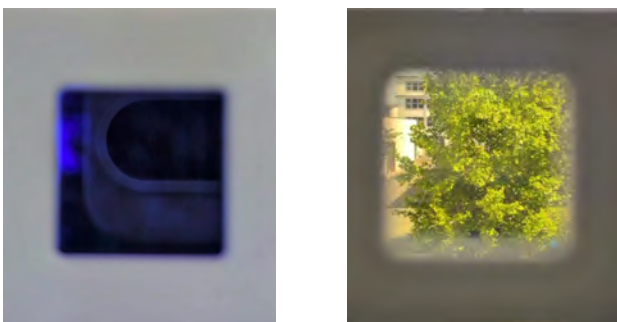
AMPERIAL Technologies entwickeln elektrochrome Folien, welche als Sonnenschutz in Fenster und Glasfassaden eingesetzt werden können. Die elektrochromen Nanomaterialien wurden dabei von vorangegangenen Projekten am EnCN übernommen, adaptiert, und aufskaliert. Insbesondere wurden Materialien als funktionelle Zwischenschichten neu entwickelt, welche erst den Druck von homogenen Filmen auf den Folien ermöglichen. Außerdem wurde der Polymer-basierende Elektrolyt verbessert, der nicht nur das elektrochrome Schalten ermöglicht, sondern die beiden Folien, die die aktive Zone des elektrochromen Bauteils einhüllen, miteinander verkleben. Die elektrochromen Folien schützen nicht nur vor Licht, sondern insbesondere auch vor Wärmestrahlung. Testfolien wurden an verschiedenen Büro- und Wohnhäusern getestet und es wurden abhängig von der Beschaffenheit des verwendeten Fensterglases eine Wärmeisolationseigenschaft der Folien nachgewiesen, welcher sich deutlich auf die Innenraumtemperatur der Gebäude auswirkt. Dieser Wärmestrahlungsschutz hilft somit Energie für Klimatisierungen von Räumen zu senken.



Die ersten elektrochromen Schichten auf Folie, abgeschieden über einen Rolle-zu-Rolle Drucker in Dimensionen von 40 cm Breite und mehreren 100 m Länge. (Copyright: AMPERIAL Technologies)

Beitrag zum Projekt OPVplus

Der Beitrag zum Projekt OPVplus von der Gruppe Heiß betrifft die Neuentwicklung von elektrochromen Bauteilen, welche mit organischen Solarzellen kombiniert werden. Im Vergleich zu den Folien von AMPERIAL Technologies wird hier das Augenmerk auf eine Verbesserung der elektrochromen Eigenschaften gelegt als auch auf eine Verbesserung der Stabilität der Bauelemente. Dazu wurden alternative Synthesemethoden der Nanomaterialien entwickelt, welche weniger problematische Ausgangsstoffe verwenden, leichter skaliert werden können, oder bessere Absorptionsspektren aufweisen. Außerdem wurde auch ein alternatives elektrochromes Material verwendet, aus einfachen organischen Molekülen (Viologen), die einen wesentlich einfacheren Aufbau der elektrochromen Bauteile erlaubt. Dies führt zu einer wesentlich erhöhten Zyklenstabilität und somit Lebensdauer der elektrochromen Bauteile. Ein Nebeneffekt dabei ist auch, dass diese Alternativen Materialien wesentlich preisgünstiger sind als die Nanokristallinen Metalloxide, die von AMPERIAL Technologies eingesetzt werden.



Schaltzustände eines elektrochromen Bauteiles, transparent vor- und abgedunkelt nach dem Anlegen einer Spannung.

Zuordnung Energiekette

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

Forschungsfelder

Thermochemische Stoffwandlung und Chemische Energiespeicherung

Die Arbeitsgruppe „Thermochemische Stoffwandlung und Chemische Energiespeicherung“ forscht an CO₂-freiem SNG und biologischer Methanisierung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Umwandlung von Teeren und Schwefelverbindungen an Nickelkatalysatoren sowie auf Heißgasreinigungstechnologien für die dezentrale Nutzung biogener Synthesegase.

Thermische Speichersysteme und Carbon Capture

Die Arbeitsgruppe „Thermische Speichersysteme und Carbon Capture“ entwickelt innovative Lösungen zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Die Forschung reicht von Carnot-Batterien und Druckluftspeichern über Carbonate-Looping und CO₂-Speicherung in der Zementindustrie bis hin zu Direct Air Capture.

Energiesysteme und Energiewirtschaft

Die Arbeitsgruppe „Energiesysteme & Energiewirtschaft“ analysiert Energie- und Gasmärkte, bewertet Risiken neuer Technologien und unterstützt die Weiterentwicklung der Energiewende in Deutschland und weltweit.

Bedeutende Projekte

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

Für einen CO₂-armen Transportsektor sind flüssige Energieträger wie Biome-
than (GreenLNG) entscheidend. Das Projekt ersetzt fossile Brennstoffe
durch erneuerbaren Kohlenstoff aus Biomasse. Die innovative Prozesskette
kombiniert Biomasse und günstigen erneuerbaren Strom und erreicht so
hohe Kohlenstoffeffizienz bei geringerer Prozesskomplexität.

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
- Koordination: FAU

Fördergeber

EU

BMWK-Projekt: KLÄFFIZIENTER – Optimierung der katalytischen Direktmethanisierung auf Kläranlagen zur Energiespeicherung und Erhöhung der Anlageneffizienz

Das Projekt erforscht und implementiert Maßnahmen, die Kläranlagen auf ihrem Weg zur Energieneutralität unterstützen, während sie gleichzeitig einen Beitrag zur Bereitstellung erneuerbarer Gase durch eine intelligente, tief integrierte Methanisierungseinheit leisten können, um Wärme- und Stromversorgung zu sichern sowie die Produktion von Biomethan zu optimieren.

Projektzeitraum

01.10.2024 – 30.09.2027

Partner

Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg
INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik

Fördergeber

BMWK

BMWK-Projekt: OxyGreenCO₂ – Bereitstellung von erneuerbarem CO₂ aus biogenen Festbrennstoffen mittels Oxyfuel-Verbrennung

Das BMWK-Projekt demonstriert die Oxyfuel-Wirbelschichtverbrennung biogener Festbrennstoffe unter Verwendung des bei der Elektrolyse anfallenden Sauerstoffs. So kann „grünes“ CO₂ per Partialkondensation des Rauchgases für die stoffliche Nutzung bereitgestellt werden

Projektzeitraum

1.10.2024 – 01.09.2027

Partner

Steinmüller Engineering GmbH

Fördergeber

BMWK

EU-Projekt STARTREC: Space, domesTic and industriAl applications with impRoved TheRmoElectric Components

Ziel des STARTREC-Projekts ist es, eine neue Generation thermoelektrischer Generatoren zu entwickeln, die auf der Kombination nanostrukturierter thermoelektrischer Si₈₅Ge₁₅-Materialien mit innovativen Modulararchitekturen basieren und deren Wirkungsgrad auf 10-15 % verdoppelt. Deren Leistung werden für drei verschiedene, hochwirksame Anwendungsfälle demonstriert: Industrielle Abwärmerückgewinnung, Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung und Radioisotopenbatterien.

Projektzeitraum

01.01.2025 – 31.12.2028

Partner

Commissariat à l’Energie Atomique et aux Energies
RGS Development
Voestalpine
K1-met
Tractebel
Centre Spatial de Liège
Ökofen

Fördergeber

EU



Labor mit Methanisierungs- und Verbrennungsanlagen

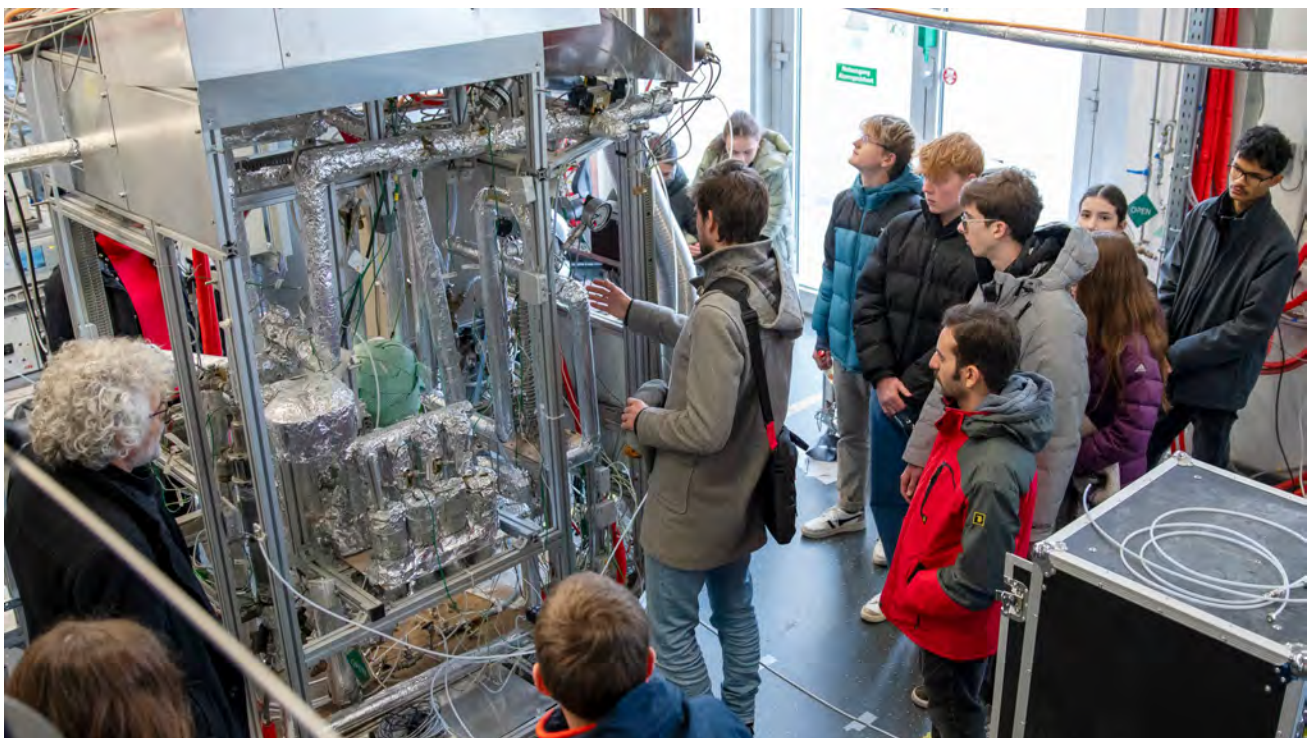
HIGHLIGHT

Studien: „Biogas im künftigen Energiesystem“ & „Speicherung von Wärme für die regionale Wärmeversorgung“



Die Studie „Speicherung von Wärme für die regionale Wärmeversorgung“ untersucht verfügbare Speichertechnologien und bewertet deren technische und wirtschaftliche Eignung für den Einsatz im Versorgungsgebiet der N-ERGIE. Dabei wird sowohl die zentrale als auch die dezentrale Speicherung betrachtet und analysiert, welche Wärmemengen wirtschaftlich in die Heizperiode verschoben werden können. Das Ergebnis zeigt, dass insbesondere große Wärmespeicher langfristig zur Senkung der Wärmepreise beitragen. Contracting-Modelle erweisen sich aufgrund des hohen Flächenbedarfs sowie möglicher Synergieeffekte mit der Entlastung der Stromnetze als besonders vielversprechend.

Die Studie „Biogas im künftigen Energiesystem“ untersucht die Rolle lastflexibler Biogasanlagen im zukünftigen deutschen Stromsystem und deren Beitrag zur Absicherung von Wind- und PV-Strom. Sie zeigt, dass die Flexibilisierung bestehender Biogasanlagen sowohl die künftigen Strompreise senkt als auch das Risiko von Versorgungsengpässen, etwa während mehr-tägiger „Dunkelflauten“, deutlich reduziert.



Katalytische Methanisierungsanlage mit 3D-gedruckten Reaktoren

Erneuerbare Energien

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

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

Bedeutende Projekte

Staedtler Projekt Future Stove

Im Projekt FutureStove wird ein äußerst emissionsarmes Verbrennungssystem für Kaminöfen entwickelt. Hierbei wird u.a. die gestufte Verbrennung, wie sie z.B. bei Holzvergaserkesseln und Großanlagen etabliert ist, konsequent auf Kleinstanlagen übertragen und angepasst. Eine besondere Herausforderung ist dabei die Flammenoptik, welche für eine spätere Nutzerakzeptanz relevant ist. Mit dem Projekt soll die prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen werden.

Projektzeitraum

10.2024 – 01.2026

Partner

Fa. Oranier

FNR-Projekt I_WESP

Im Projekt I_WESP (innovative wood electrostatic precipitator) wird ein innovativer Elektrofilter für Kaminöfen zur Abscheidung von Feinstaub und Ruß entwickelt. Gegenüber dem Stand der Technik mit Röhrenelektrofiltern setzt das Konzept hierbei auf einem Plattenelektrofilter-Design auf und verwendet zusätzlich ein Foliensystem, welches eine regelmäßige Abreinigung der Niederschlagselektroden ermöglicht.

Projektzeitraum

02.2023 – 12.2025

Partner

Fa. Greil Metallbau

HIGHLIGHT

Forschungsfeld Kleinstblockheizkraftwerk auf Basis Thermoelektrik

An der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm wird seit 2018 an der Idee gearbeitet, dass bei allen Verbrennungsprozessen möglichst immer auch elektrischer Strom produziert werden sollte, um die Gesamteffizienz im Energiesystem durch Kraft-Wärme-Kopplung zu steigern. Im Fokus stehen dabei Zentral- bzw. Etagenheizungen auf Basis von Gas, Öl und Biomasse, welche z.B. in Deutschland zurzeit jeweils mit ca. 51,2 Mio., 19,1 Mio. und 3,6 Mio. Stück vertreten sind¹. Die Thermoelektrik bietet hierbei besondere Vorteile, da sie Prinzipbedingt geräuschlos und wartungs-

frei arbeitet. Damit könnte in der Heizperiode etwa eine Leistung von ca. 1 bis 2 Atomkraftwerken bereitgestellt werden. Eine Herausforderung ist u.a. die Integration vergleichsweise empfindlicher thermoelektrischer Module in die raue Prozessumgebung von Brennräumen. ²Hierzu wurde über mehrere Projekte hinweg inzwischen ein System entwickelt, welches eine effiziente und modular skalierbare Integration ermöglicht, sog. thermoelektrische Compound-Module. Abbildung 1 zeigt die aktuelle Entwicklungsstufe eines Kleinstblockheizkraftwerks mit 50W elektrischer Leistung, betrieben mit einem H₂-Brenner.

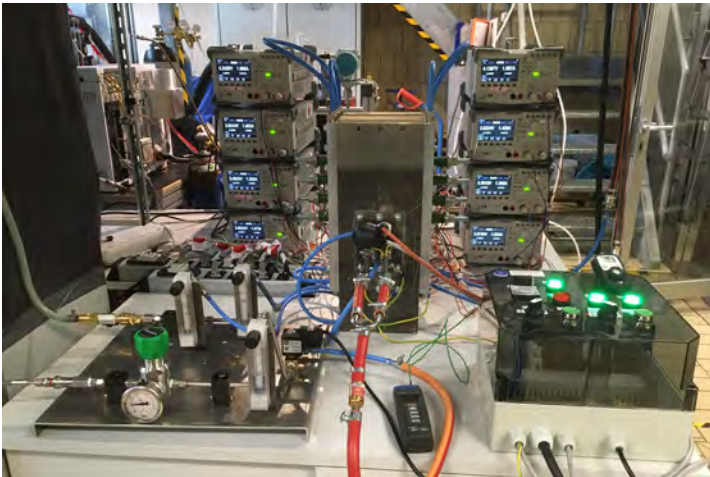


Abbildung 1: Modular skalierbares Kleinstblockheizkraftwerk mit 50W-Leistung

¹https://www.bdew.de/media/documents/Wie_heizt_Deutschland_2023_-_aktualisierte_Fassung-_BDEW_1.pdf

Forschungsfeld Biomasse und Emissionsminderung



Abbildung 2:
Plattenelektrofilter im Projekt I_WESP

Biomasse stellt in einem Energiesystem mit zunehmendem Anteil fluktuierender Stromerzeuger durch Wind und PV eine wichtige, stabilisierende Säule dar. Im Heizungssektor ist die Kombination von Wärmepumpe und Biomasse besonders vielversprechend. Zugleich sorgen aber bisher hohe Schadstoffemissionen von Einzelraumfeuerstätten, insbesondere von Kaminöfen mit unvollständiger Verbrennung für Kritik. Hierzu wird an Lösungen seit Jahren gearbeitet. Experimentelle Arbeiten finden dabei hauptsächlich im Technikum Rednitzhembach statt. Der Fokus liegt sowohl auf der Verbrennungsoptimierung selbst, als auch auf neuartigen Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung wie z.B. filternde oder elektrostatische Abscheider, welche auch im Kleinstmaßstab das Potenzial haben, wirtschaftlich eingesetzt werden zu können. Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau zum Plattenelektrofilter im Projekt I_WESP. Darüber hinaus wurden inzwischen Versuchsanlagen zur gestuften Verbrennung, zur thermischen Vergasung, Pyrolyse, Karbonisierung errichtet.

Erneuerbare Energien

Prof. Dr.-Ing. Stefan Will, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik (LTT), FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Der Schwerpunkt der Forschung ist die Untersuchung und Verbesserung von Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik. Zu diesem Zweck werden eine Vielzahl von optischen, oft laserbasierten Methoden (weiter-)entwickelt und angewendet. Das Themenspektrum umfasst dabei u.a. den Herstellungsprozess von Nanopartikeln bspw. für die Photokatalyse und das Design und die Auslegung von Brenner- und Dehydriersystemen. Die Forschung ist dabei in folgende Arbeitsgruppen gegliedert:

- Verbrennung und Reaktive Strömungen
- Partikelmesstechnik
- Angewandte Spektroskopie

Bedeutende Projekte

DFG-Projekt

Mesoscale burner array for hydrogen-rich fuels – achieving high power density, fuel flexibility, and low emissions through additive manufacturing

im Rahmen des SPP 2419 “HyCAM”

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung von Designprinzipien für eine 1-kW-Brennerdüse, die auf den brennstoffflexiblen Betrieb mit Wasserstoff und wasserstoffreichen Brennstoffmischungen zugeschnitten ist. In diesem Zusammenhang ist die additive Fertigung die Schlüsseltechnologie, die transformative Fähigkeiten in der Brennerkonstruktion ermöglicht, die auf die besonderen Verbrennungseigenschaften von Wasserstoff ausgelegt sind. Es werden zahlreiche Düsen Geometrien entworfen und getestet, die bestgeeigneten werden umfassend mit optischen Messverfahren charakterisiert.

Projektzeitraum

10.2023 – 09.2026

Partner

Technische Universität Darmstadt, Forschungsgruppe SFTS FAU Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Photonische Technologien

Fördergeber

DFG

BMW/IGF-Projekt

Präferentielle Verdunstung alternativer Kraftstoffgemische in motorischen Sprays

Die Zumischung alternativer Kraftstoffe (aus Biomasse, E-Fuels usw.) hat einen signifikanten Einfluss auf das Verbrennungs- und Schadstoffbildungsverhalten in modernen Motoren mit Direkteinspritzung. Neben der unterschiedlichen Reaktionskinetik liegt dies ganz wesentlich am veränderten Verdunstungsverhalten, hier ist insbesondere die präferentielle Verdunstung der komplexen Mehrkomponenten-Kraftstoffgemische relevant. Ziel des Projekts ist es, durch die enge Verzahnung von hochauflösenden laserdiagnostischen und numerischen Untersuchungen ein umfassendes Verständnis dieser Verdunstungsprozesse in motorischen Sprays zu generieren.

Projektzeitraum

05.2022 - 03.2025

Partner

Technische Universität Darmstadt, Forschungsgruppe SFTS Forschungsvereinigung Verbrennerkraftmaschinen (FVV e.V.)

Fördergeber

BMW

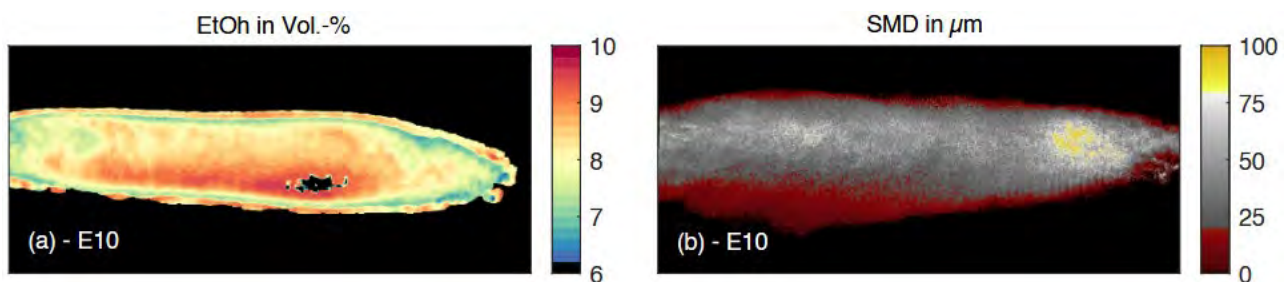
HIGHLIGHTS

Präferentielle Verdunstung alternativer Kraftstoffgemische in motorischen Sprays

Die Beimischung erneuerbarer Kraftstoffe wie Ethanol oder Methanol zu konventionellen Kraftstoffen kann signifikant zur Netto-Reduktion von CO₂ beitragen. Die Zugabe alternativer Kraftstoffe kann allerdings wesentlich die Verbrennungseigenschaften und die Schadstoffbildung beeinflussen. Ein entscheidender Faktor hierbei ist das komplexe Verdampfungsverhalten von Mehrkomponenten-Kraftstoffgemischen. Abhängig von der ursprünglichen Zusammensetzung kann eine Komponente bevorzugt verdampfen, was zu einer zeitlichen Veränderung der Kraftstoffzusammensetzung im Spray führt.

Zur Charakterisierung dieser präferentiellen Evaporation im Kraftstoffspray wurde ein optisches Messverfahren entwickelt, welches die zweidimensionale bildgebende Messung von Konzentrationen und Tropfengrößen in Sprays ermöglicht. Für eine simultane Messung beider Parameter wird die Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF) an einem Farbstoff, dessen Emissionssignal in zwei Wellenlängenbereichen erfasst wird, mit der elastischen Lichtstreuung gekoppelt. Zur Verfahrensentwicklung wurden sukzessive Messungen an levitierten und fallenden Einzeltropfen durchgeführt und die Ergebnisse schrittweise bis zum Anwendungsfall im Spray validiert.

Als exemplarischer Befund ist in der nachfolgenden Abbildung der Ethanol-Anteil in Vol.-% (a) und die Tropfengröße eines Sprays (b) dargestellt. Der ursprüngliche Ethanol-Anteil zum Zeitpunkt der Injektion betrug 10 Vol.-% Ethanol in Isooktan.



Ethanol-Anteil (a) und Tropfengrößenverteilung (mittlerer Sauterdurchmesser) (b) eines Kraftstoffsprays mit einer Ursprungszusammensetzung vor Einspritzung von 10 Vol.-% Ethanol und 90 Vol.-% Isooktan.

Brennerbeheizte Dehydrierung eines flüssigen organischen Wasserstoffträgersystems (LOHC)

Die Dehydrierung von LOHCs zur Wasserstofffreisetzung erfordert eine Bereitstellung von Wärme, welche z. B. aus der Verbrennung eines Teilstroms des Wasserstoffs aus der Dehydrierreaktion stammen kann. Hierzu wurde eine Anlage mit einer Direktbeheizung auf Brennerbasis entwickelt und deren Dynamik bei der H₂-Freisetzung untersucht. Gleichzeitig ist für eine effiziente Dehydrierung der Einsatz geeigneter Katalysatoren erforderlich sowie Wissen über die lokale Temperaturverteilung in katalysatornahen Bereichen. Auf Basis dieser Fragestellung wurde ein Thermometrieverfahren unter Verwendung der Laserinduzierten Phosphoreszenz entwickelt, welche berührungslosen und bildgebenden Zugang zur Temperaturverteilung auch unter den herausfordernden Bedingungen einer Gasfreisetzung mit Blasenbildung ermöglicht.



Dehydrieranlage und Reaktor sowie Schema der Laserinduzierten Phosphoreszenz zur Temperaturbestimmung.

FORSCHUNGSBEREICH

Speicher



Speicher

Prof. Dr.-Ing. Susanne Lehner, Lehrstuhl für Elektrische Energietechnik, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte der Arbeiten des Lehrstuhls für Elektrische Energietechnik sind die Elektrochemischen Energiespeichersysteme sowie deren Betriebsoptimierung, u.a. durch

- Messtechnische Analyse & Modellierung der Alterung von Batterien
- Energiemanagementalgorithmen für hybride Systeme, auch durch Einsatz von KI gestützten Prognosemodellen
- Entwicklung sicherer Batteriesysteme

Forschungsfelder

Analyse der Degradationsmechanismen von Batterien

Das Forschungsfeld Alterungsanalyse von Batterien untersucht die chemischen, physikalischen und elektrochemischen Prozesse die zu Kapazitätsverlust, Leistungsverfall und verkürzter Lebensdauer führen. Ziel ist es, durch die Analyse von Degradationsmechanismen, die Entwicklung von Lebensdauermodellen und den Einsatz moderner Diagnose- und Prognosetechniken ein besseres Verständnis der Alterung zu gewinnen. Dadurch können Betriebsstrategien optimiert und langlebigere, effizientere Batterien für Anwendungen wie Elektromobilität, stationäre Energiespeicher und tragbare Geräte entwickelt werden. Hierzu stehen uns umfassende Testkapazitäten auf Zell- und Modulebene, vom Consumer bis Automotive Bereich zur Verfügung.

Energiemanagementalgorithmen und Diagnostikverfahren

Im Forschungsfeld widmen wir uns der Optimierung von Batteriebetrieb und -sicherheit durch intelligente Steuerung und präzise Zustandsüberwachung. Energiemanagementalgorithmen zielen darauf ab, Lade- und Entladeprozesse sowie den Energiefluss effizient zu steuern, um Leistung, Lebensdauer und Zuverlässigkeit zu maximieren. Diagnostikverfahren durch modellbasierte Methoden, Sensordatenanalyse oder auch Machine-Learning-Ansätze ermöglichen eine genaue Bestimmung von Zustandsgrößen wie State of Charge (SoC), State of Health (SoH) oder State of Power (SoP). Zusammen bilden sie die Grundlage für eine sichere, effiziente und vorausschauende Nutzung von Batterien.

Energieeffiziente und sichere Batteriesystemarchitekturen

Im Batteriesystemdesign befassen wir uns mit der ganzheitlichen Entwicklung und Optimierung von Batteriesystemen, die aus Zellen, Modulen, Gehäusen, Kühlung, Sensorik und Leistungselektronik bestehen. Ziel ist es, ein effizientes, sicheres und kostengünstiges Gesamtsystem zu realisieren, das die Anforderungen an Energiemanagement und Sicherheit erfüllt. Dabei werden Aspekte wie mechanisch Stabilität auch unter Einwirkung des Cell Swellings, thermische Regelung, elektrische Verschaltung und Integration in das Gesamtsystem berücksichtigt. Zudem spielen modulare Designs, Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle, um den zielführenden Einsatz von Batterien zu ermöglichen. Die Auslegung der Systeme ergänzen wir durch umfassende Simulationsmodelle insbesondere im Bereich der mobilen Anwendungen.

Bedeutende Projekte

Messtechnische Evaluation der idealen Check-Up Bedingungen in kalendrischen Alterungsanalysen

Alterungsanalysen gehen üblicherweise mit regelmäßigen Analysen des aktuellen Batteriezustands einher. Diese umfassen üblicherweise Kapazitätsmessungen, Pulstests, OCV-Test und elektrochemische Impedanzmessungen. Diese Check-Ups variieren je nach Testmatrix in Frequenz und Umfang. Zugleich beeinflusst jede Check-Up Messung an sich die Ergebnisse der Alterungsanalyse. Daher ist es von Relevanz eine möglichst geeignete Frequenz und Umfang zu definieren, welche den Bedürfnissen der jeweiligen Anwendung Rechnung trägt.

Analyse der Varianz in der Vermessung der Elektrochemischen Impedanzspektroskopie

Dieser Einfluss soll über die betrachteten Frequenzbereiche hinweg analysiert und zudem die Streuung zwischen Einzelzellen und der sich daraus ergebende Einfluss auf Modellebene untersucht werden.

Übertrag von Lade- und Analyseverfahren aus dem Bereich der Batterietechnik in den Bereich der Elektrochromatischen Folien (Konzeptphase)

Im Rahmen der Zyklierung von Li-Ionen Batterien kommen gerade in den Randbereichen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Zudem werden typische Alterungsmechanismen im Rahmen strukturierter Alterungsmatrizen untersucht. Ziel ist es diese Verfahren in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner in den Bereich der elektrochromatischen Folien zu übertragen und so von der großen Vorerfahrung aus dem Bereich der Li-Ionenbatterien zu profitieren.

HIGHLIGHT

Hochpräzise Messtechnik zur beschleunigten Alterungsanalyse

Die hochpräzise Coulometry-Messtechnik ermöglicht eine exakte Vermessung von Batterien durch die kontinuierliche Erfassung von Strom und Spannung mit extrem hoher Genauigkeit. Dabei werden selbst kleinste Änderungen im Lade- und Entladeverfahren über lange Zeiträume hinweg detektiert, was eine präzise Berechnung der übertragenen Ladungsmenge sowie der Selbstentladeeffekte erlaubt. Hierbei können Spannungsmessfehler auf $< 4 \mu\text{V}$ (RMS) begrenzt werden, die Strommessung weist eine ähnliche Güte auf. Diese Technologie ist entscheidend für eine hochfeine Charakterisierung von Batteriezellen, die beschleunigte Bestimmung von Alterungsprozessen sowie die Analyse von Effizienzverlusten.



Temperierte Charakterisierungs- und Alterungsmessplätze



Elektrochemische Impedanzspektroskopie als Mittel zur Analyse von Zellstreuungen

Speicher

Prof. Dr.-Ing. Florian Uhrig, Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, Forschungsgruppe: Systeme zur Wasserstoffnutzung, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Lebenszyklusanalyse (LCA) für elektrochemische Speichertechnologien
- Energiespeicherung und Sektorenkopplung durch Wasserstofftechnologien
- Innovative Wasserstoffsysteme

Forschungsfelder

Regionale Energiespeicherkonzepte und Sektorenkopplung

Wenn große Mengen Energie aus Photovoltaik- oder Windkraftanlagen in das Stromnetz eingespeist werden, sinkt die Netzstabilität, während die Strompreise an der Börse fallen. Dezentrale Energiespeicher wie Batterie- und Wasserstoffsysteme gewinnen daher zunehmend an Bedeutung. Die Forschungsgruppe untersucht regionale Energiesysteme, dimensioniert die optimalen Speichergrößen basierend auf den Anforderungen der Kunden und Kundinnen und bewertet die Auswirkungen in unterschiedlichen Zukunftsszenarien.

Systeme zur elektrochemischen Wandlung von Wasserstoff

Die Forschungsgruppe beschäftigt sich mit innovativen Systemen zur Versorgung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen. Auf Basis von Digitalen Zwillingen werden sowohl die Systemarchitektur als auch die Betriebsparameter optimiert. Die Ergebnisse werden durch den Aufbau von Prototypen im Labor validiert.

Bedeutende Projekte

Fuel Cell Reference System with Generic Stack

Die Forschungsgruppe entwickelt ein Brennstoffzellensystem mit einer elektrischen Leistung von 100 kW. Das System wird später als Referenz für die deutsche Automobilindustrie dienen. Auf Basis der Charakterisierung des Brennstoffzellenstapels erfolgt die Erstellung eines digitalen Zwillings. Dieser ist die Grundlage für die Auslegung der Systeme, der Betriebsparameter und der Regelung. Durch den Aufbau und die Erprobung des Brennstoffzellensystems wird ein zuverlässiger und sicherer Betrieb gewährleistet.

Projektzeitraum

01.2025 - 12.2026

Partner

Technische Universität Chemnitz

Fördergeber

Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV)

BaList

Sektorenkopplung von Batteriesystemen mit Li-Ionen-Zellen, Elektrolyse und stationären Brennstoffzellensystemen zur Energiespeicherung in dezentralen Energiesystemen: Wissens- und Technologietransfer im Bereich dezentraler Speichertechnologien zur Unterstützung von Unternehmen im Strukturwandel der Energietechnik

Projektzeitraum

07.2024 – 06.2027

Partner

Bayerische Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

Fördergeber

Europäische Fonds für regionale Entwicklung Bayern 2021-2027

HIGHLIGHT

Die zunehmende Integration erneuerbarer Energien, insbesondere großflächiger Photovoltaikanlagen, ist zentral für die Energiewende in Deutschland. Zwar fördern sie den Klimaschutz, doch führt die hohe Solarstrom-Einspeisung zu instabilen Stromnetzen und sinkenden Börsenstrompreisen. Dies wirft die Frage auf, ob solche Anlagen unter aktuellen Marktbedingungen langfristig wirtschaftlich betrieben werden können. Im Rahmen der Systementwicklung wurden verschiedene Topologien für kommunale Energiesysteme modelliert und bewertet, wobei ein besonderer Fokus auf der Einbindung erneuerbarer Energien und dezentraler Speicher unter Berücksichtigung der lokalen Netzknotenpunkte liegt. Ziel ist die Optimierung des Eigenverbrauchs, die Reduktion von Lastspitzen (Peak-Shaving) sowie die Maximierung potenzieller Erlöse an der Strombörse. Zur wirtschaftlichen Bewertung wurden Kapitalwert und Amortisationszeit von Elektrolyseuren und Batteriespeichern in Abhängigkeit der installierten Peakleistung aus Wind- und Photovoltaikanlagen analysiert. Ergänzend wurden Parameterstudien zu optimalen Speichergrößen durchgeführt, um die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Systeme weiter zu steigern.

Photovoltaikanlagen:

Die Ausrichtung von Photovoltaikanlagen beeinflusst sowohl die maximal installierbare Leistung als auch die Wirtschaftlichkeit. Ost-/West-orientierte Anlagen ermöglichen in der Regel eine gleichmäßigere Stromerzeugung über den Tagesverlauf, während eine Südausrichtung eine höhere Leistung bezogen auf die Fläche bereitstellt.

Wasserstofferzeugung:

Für eine wirtschaftlich tragfähige Wasserstofferzeugung mit Hilfe von Elektrolyse ist in der Regel eine Kombination verschiedener erneuerbarer Energiequellen erforderlich. Während Photovoltaikanlagen alleine oft nicht ausreichen, kann die Ergänzung durch Windenergie eine kontinuierlichere Stromversorgung sicherstellen und die Auslastung der Elektrolyseure verbessern. Die optimale Dimensionierung hängt dabei stark von den Standortbedingungen und Energieprofilen ab.

Batteriespeicher:

Batteriespeicher leisten einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung von Energiesystemen. Sie ermöglichen eine effizientere Nutzung erneuerbarer Energien, reduzieren Lastspitzen und verbessern die Eigenverbrauchsquote. Dies führt zu einer verkürzten Amortisationszeit für Erzeugungsanlagen wie Photovoltaik- und Elektrolysesysteme.



Industrie mit Sektorkopplung

Speicher

**Prof. Dr.-Ing. Ulrich Ulmer, Arbeitsgruppe Wasserstoffinfrastruktur,
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm**

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Wasserstoff: Erzeugung, Speicherung, Transport und Nutzung
- Energieinfrastruktur: Wasserstoffspeicherung- und Verteilung (Leitungsnetz, Speicherung)
- CO₂-Umwandlung (mit Wasserstoff, Brennstoffzellen, Wasserstoff in der Industrie)

Forschungsfelder

Wasserstoff

Das Forschungsfeld „Wasserstoff: Erzeugung, Speicherung, Transport und Nutzung“ umfasst die Entwicklung effizienter, klimafreundlicher Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Ziel ist es, grünen Wasserstoff nachhaltig zu produzieren, sicher zu speichern, wirtschaftlich zu transportieren und in Industrie, Mobilität sowie Energieversorgung vielseitig einzusetzen.

Energieinfrastruktur

Das Forschungsfeld Energieinfrastruktur mit Fokus auf Sektorenkopplung untersucht die intelligente Vernetzung von Strom-, Wärme- und Mobilitätssektor. Ziel ist es, durch flexible Infrastrukturen und Speicherlösungen erneuerbare Energien optimal zu nutzen und CO₂-Emissionen zu senken.

CO₂-Umwandlung

Das Forschungsfeld CO₂-Umwandlung entwickelt Photokatalyse- und thermochemische Verfahren, um CO₂ in wertvolle chemische Grundstoffe oder Energieträger umzuwandeln. Ziel ist die Nutzung von erneuerbarer Energie zur nachhaltigen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft.

Bedeutende Projekte

DFG Projekt DuraFuelCell

Das DuraFuelCell-Projekt fördert langlebige und effiziente PEM-Brennstoffzellensysteme für stationäre und schwere Fahrzeuganwendungen. Im Verbund interdisziplinärer Forschungseinheiten werden Wirkung und Alterung der Systeme skalenübergreifend untersucht.

Projektzeitraum

2024 – 2029

Partner

MAN Truck & Bus, Stadtwerke Haßfurt, Stadtwerke Bamberg, u.a.

Fördergeber

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

HIGHLIGHTS

Neues Labor für Wasserstoffforschung im Ohm Innovation Center

Im neuen **Ohm Innovation Center (OIC)** entsteht derzeit ein zentraler Innovationsstandort für Zukunftstechnologien. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Wasserstoff- und Energietechnik. Ein zentrales Vorhaben ist das **Reallabor für Energie und Wasserstoff** („RealEnergy“) mit der Förderung durch das BMBF, das im OIC aufgebaut wird. Ziel des Projekts ist die Realisierung einer vollständigen wasserstoffbasierten Prozesskette – von der Erzeugung über die Speicherung bis zur Nutzung. Dabei werden Technologien unter realen Bedingungen erforscht und erprobt, um praxistaugliche Lösungen für die Energiewende zu entwickeln.



Ohm Innovation Center

Das Reallabor umfasst mehrere Kernkomponenten:

- **Elektrolyseanlage** zur Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom,
- **Metallhydrid-Speichersystem** in Kombination mit einem Wärmespeicher zur effizienten Energiespeicherung („H₂-Wärme-Kombispeicher“),
- **Nutzungseinheiten** wie Brennstoffzelle, Blockheizkraftwerk, Wärmepumpe und Wärmenetzsysteme.

Die Integration dieser Systeme ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung und Optimierung der Energieflüsse. Gleichzeitig wird eine interdisziplinäre Forschungsumgebung geschaffen, in der Expertinnen und Experten aus den Bereichen Energietechnik, Mobilität, Robotik und Digitalisierung gemeinsam arbeiten. Studierende und Forschende erhalten dadurch praxisnahe Einblicke, während Unternehmen aus der Region aktiv in Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte eingebunden werden.

Gründung der studentischen, interdisziplinären Arbeitsgruppe „Energie & Wasserstoff“

Prof. Ulmer gründete die Arbeitsgruppe Energie & Wasserstoff AG. Sie bietet Studierenden verschiedener Fachrichtungen eine Plattform für interdisziplinären Austausch, Forschung und Projektarbeit im Bereich nachhaltiger Energie- und Wasserstofftechnologien.

In der AG entwickeln Studierende eigene Ideen und Konzepte für die Energieversorgung von morgen. Bereits früh im Studium erhalten sie die Möglichkeit, sich praxisnah mit aktuellen Themen aus Wissenschaft und Industrie auseinanderzusetzen und wertvolle Erfahrungen zu sammeln.

Aktuell arbeitet die Gruppe an ihrem ersten spannenden Projekt: der Entwicklung einer wasserstoffbetriebenen Drohne – ein zukunftsweisender Beitrag zur nachhaltigen Mobilität und ein eindrucksvolles Beispiel für das Engagement und die Kreativität der Studierenden.



Speicher

Dr.-Ing. Patrick Schühle, Lehrstuhl für Chemische Reaktionstechnik AK Schühle, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Energie- und Wasserstoffspeicherung in C1-Derivaten wie Methanol, Dimethylether, Ameisensäure
- Dezentrale Wasserstoff- und Synthesegaserzeugung aus Biomassereststoffen
- Entwicklung von heterogenen Katalysatoren
- Design und Entwicklung neuer chemischer Reaktorkonzepte

Bedeutende Projekte

BMFTR Nachwuchsgruppe FAIR-H2

FAIR-H2 ist ein Forschungsprojekt zur dezentralen, effizienten Herstellung von hochreinem Wasserstoff aus biogener, wässriger Ameisensäure, die aus Biomasseabfällen gewonnen wird. Im Fokus stehen die Entwicklung neuartiger, stabilen heterogenen-Katalysatoren sowie innovativer Reinigungsverfahren zur Abtrennung von Wasserstoff aus Mischgasen. Es werden zwei Reaktionspfade untersucht – Dehydrierung und ein zweistufiger Prozess mit Wasser-Gas-Shift-Reaktion. Ziel ist eine kontinuierliche Wasserstoffproduktion unter milden Bedingungen. Die Ergebnisse sollen in einer technischen Demonstrationsanlage unter Realbedingungen erprobt werden.

Projektzeitraum

01.2024 – 12.2029

Partner

OxFA GmbH, Hydrogenious LOHC Technologies GmbH

Fördergeber

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)

DFG-Projekt Phosphide in der Wasserstofffreisetzung aus Alkanen

Im Rahmen eines DFG-geförderten Projekts werden Übergangsmetallphosphide (TMPs) als kostengünstige, selektive und stabile Katalysatoren für die Dehydrierung mittelkettiger Alkane (C5–C10) entwickelt. Ergänzend zu etablierten Syntheserouten für diese Katalysatoren wird eine alternative Niedertemperatur-Synthese auf Basis phosphoniumhaltiger ionischer Flüssigkeiten untersucht. Die Materialien werden umfassend strukturell und chemisch charakterisiert sowie in einer kontinuierlichen Gasphasen-Dehydrierung von n-Heptan und Methylcyclohexan hinsichtlich deren Aktivität, Selektivität und Stabilität erprobt.

Projektzeitraum

12.2024-11.2027

Fördergeber

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

EU Horizon SHIP Ah2OY (Projektleiter Prof. Dr. Peter Wasserscheid)

Das Projekt „Ship-aH₂OY“, Teil des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon Europe und gefördert mit bis zu 15 Millionen EUR, untersucht einen innovativen Lösungsansatz für die Dekarbonisierung des maritimen Sektors. Ziel des Projekts ist es, Wasserstoff aus LOHC an Bord eines Wartungsschiffs für Offshore-Windparks freizusetzen und in Verbindung mit einer Brennstoffzelle für die Energiegewinnung und den Antrieb zu nutzen. Das System soll eine elektrische Leistung von 1 MW aufweisen, wobei die Abwärme eines katalytischen Wasserstoff-Brenners für die endotherme LOHC-Dehydrierung genutzt werden soll.

Projektzeitraum

01.2023 – 12.2027

Partner

VTT Technical Research Centre of Finland, Edda Wind, Østensjø Rederi, Johannes Østensjø dy AS, Hydrogenious LOHC Maritime AS, Siemens Energy,

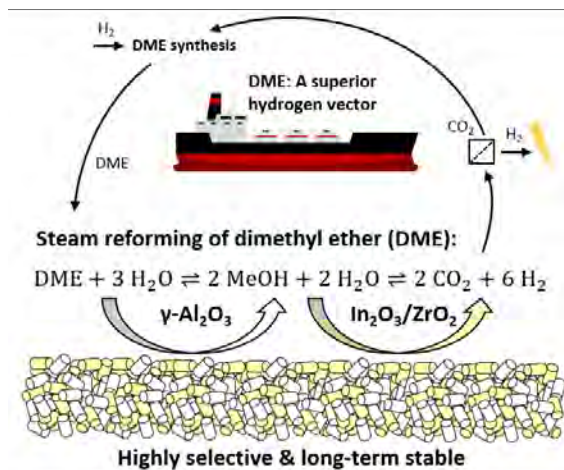
DNV Hellas Single Member SA, ENGITEC Systems International, National Center for Scientific Research Demokritos, Astilleros Gondan SA, Martitme CleanTech, Deltamarin OY, Teknotherm, Attica Holdings SA, Ethnicon Metsovion Polytechnion

Fördergeber

Europäische Union

HIGHLIGHT

Highlight 1: DME als Wasserstofftransportvektor und Katalysatoren zur effizienten Wasserstofffreisetzung

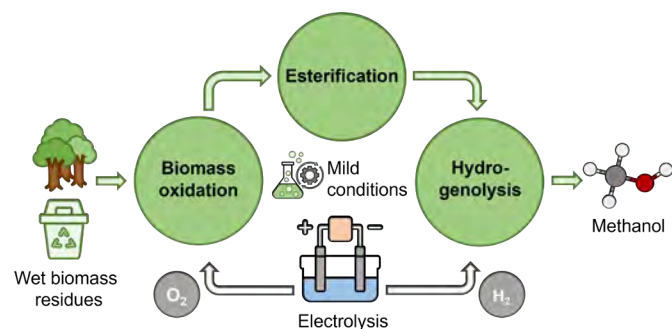


Freisetzung von Wasserstoff aus DME mit Indium-Katalysatoren als Teil eines Wasserstofftransportkreises

Der Transport von grünem Wasserstoff stellt einen zentralen Forschungsschwerpunkt an der FAU dar. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut wurde Dimethylether (DME) als potenzielles Transportvektormolekül untersucht. Die Studie zeigte, dass DME besonders vielversprechend für den Wasserstofftransport ist, unter anderem aufgrund der hohen Wasserstofffreisetzung bei der Synthese, der geringen toxikologischen Risiken sowie der im Vergleich zu Methanol und Ammoniak hohen Prozesseffizienz. Zudem ermöglichen die ähnlichen Stoffeigenschaften von DME und CO_2 einen Rücktransport des freigesetzten CO_2 im selben Schiff. Im Rahmen dieses Kreislaufes wurden Katalysatoren erforscht, die eine effiziente Wasserstofffreisetzung aus DME ermöglichen. Besonders vielversprechend erwies sich hierbei eine Kombination aus Al_2O_3 mit $\text{In}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, die bei 350°C über einen Zeitraum von 425 h eine stabile H_2 -Ausbeute von 88 % erreichte.

Highlight 2: Neues Verfahren zur dezentralen Herstellung von Wasserstoff und Methanol aus biogenen Reststoffen

Die Nutzung biologischer Abfallprodukte bietet einen innovativen Ansatz für eine nachhaltige Energiewirtschaft mithilfe von Wasserstoff und der Produktion der Plattformchemikalie Methanol. Die konventionelle Methanolherstellung basiert auf fossilen Rohstoffen und erfordert energieintensive Betriebsbedingungen. Aus diesem Grund wurde ein neuartiger Prozessweg entwickelt und untersucht: Über die Oxidation biologischer Reststoffe wird Ameisensäure erzeugt, welche über eine Veresterung in Methylformiat umgewandelt wird. Durch eine anschließende Hydrogenolyse entsteht biogenes Methanol.



Prozessroute für die Methanolherstellung aus biologischen Abfällen

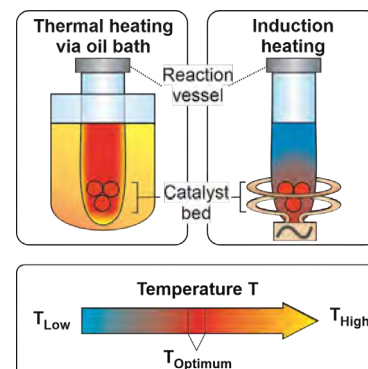
Eine techno-ökonomischen Analyse zeigt, dass dieser Prozess unter milden Betriebsbedingungen eine hohe Kohlenstoff-Effizienz von 80 % erreicht und wettbewerbsfähige Methanol-Kosten (0,69–2,31 €/kg) ermöglicht.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt umfasst die nachhaltige Wasserstoffgewinnung aus Biomasse. Im ersten Schritt wird Biomasse zu Ameisensäure und Methylformiat oxidiert, gefolgt von der Wasserstofffreisetzung durch die Dehydrierung oder Decarbonylierung. Auf Basis simulationsgestützter Prozessoptimierung und ökonomischer Analysen konnte die hohe Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliche Umsetzbarkeit demonstriert werden.

Aufgrund der milden Betriebsbedingungen, der Flexibilität hinsichtlich der Reststoffzusammensetzung und dem geringen Gefahrenpotential bieten beide Prozesse ein hohes Potenzial für die dezentralen Anwendung zur Nutzung biogener Ressourcen.

Highlight 3: Induktive Beheizung zur Wasserstofffreisetzung aus flüssigen organischen Wasserstoffträgern

Flüssige organische Wasserstoffträger (LOHCs) gelten als vielversprechende Lösung für zukünftige Anwendungen in der Wasserstoffspeicherung und -logistik. Besonders in Szenarien mit häufigen Lastwechseln, etwa in der Energieversorgung, ist eine schnelle und energieeffiziente Freisetzung des gespeicherten Wasserstoffs entscheidend. Da die Dehydrierung von LOHC-Molekülen ein endothermer Prozess ist, spielt die Wahl einer geeigneten Heiztechnologie eine zentrale Rolle. Die direkte Beheizung des katalytisch aktiven Materials durch Induktion stellt hierbei eine besonders vorteilhafte Methode dar. Dabei wird, im Gegensatz zur klassischen Beheizung des Reaktors von außen, primär das Katalysatormaterial und nicht der Reaktor selbst erhitzt. Dies führt zu sehr kurzen Aufwärmzeiten, einer hohen Temperaturregeldynamik und verminderten Wärmeverlusten. Zur Wasserstofffreisetzung mithilfe von Induktionsbeheizung kommen mit unterschiedlichen Katalysatorkonfigurationen in Frage. Schlüsselement zur effizienten induktiven Beheizung ist die Einbringung einer ausreichenden Masse eines ferromagnetischen Materials. Dazu können beispielsweise metallische Substrate (Stahlkugeln, FeCrAlloy-Platten) mit Katalysator beschichtet oder Eisenoxid-Nanopartikel auf dem Katalysator abgeschieden werden. Beide Möglichkeiten wurden bereits erfolgreich für die induktiv beheizte Dehydrierung von perhydro-Dibenzyltoluol (H18-DBT) demonstriert, mit vielversprechend Ergebnissen im Hinblick auf die dynamische Anwendung des Konzeptes zur Wasserstofffreisetzung.



Vergleich der konventionellen Beheizung von außen mit Thermalöl und der induktiven Beheizung.

FORSCHUNGSBEREICH

Netze



Netze

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls für Elektrische Energiesysteme (LEES) liegen in der Modellierung und Analyse von Stromnetzen. Hierzu hat der Lehrstuhl für elektrische Energie Systeme drei Forschungsgruppen:

- Systemstabilität
- Netzschutz
- Hochleistungstechnik

Forschungsfelder

Systemstabilität

Ein stabiler Netzbetrieb ist die grundlegende Voraussetzung zum Erhalt der Versorgungssicherheit in elektrischen Energieversorgungssystemen. Mit der Energiewende und der zunehmenden Integration dezentraler Erzeuger wächst jedoch die Komplexität, Systemstabilität langfristig sicherzustellen. Dabei ist Stabilität ein komplexer Begriff, der verschiedene physikalische Aspekte des Netzverhaltens umfasst. Klassisch wird zwischen Spannungsstabilität, Frequenzstabilität und Polradstabilität unterschieden. Mit der zunehmenden Integration leistungselektronischer Komponenten und dezentraler Erzeuger in modernen Stromnetzen erweitern sich die klassischen Stabilitätsbetrachtungen um neue Phänomene. Hierzu zählen Wechselwirkungen leistungselektronischer Erzeuger, welche durch die Regelung von Stromrichtern entstehen und zu ungewollten Schwingungen oder Abschaltungen führen können. Des Weiteren können harmonische Ausgleichsvorgänge auftreten durch die Ausbreitung und Überlagerung von Oberschwingungen, die vor allem durch leistungselektronische Betriebsmittel verursacht werden.

Netzschutz

Die Schutz- und Leittechnik ist für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb elektrischer Netze unverzichtbar. Zukünftige dekarbonisierte Netzstrukturen werden die Anforderungen an die Systemführung weiter erhöhen. Daher ist dieses Fachgebiet fest in den Forschungsschwerpunkten des Lehrstuhls verankert und wird hier durch drei Forschungsgebiete repräsentiert: AI-Protection, Systemführung in Stromrichternetzen und Adaptivschutz.

Für experimentelle Untersuchungen im Bereich Systemstabilität und Netzschutz betreibt der Lehrstuhl am Energie Campus Nürnberg ein Echtzeitlabor und eine Niederspannungslabor. Schwerpunkte in den Laboren liegen auf Control-Hardware-in-the-Loop und Power-Hardware-in-the-Loop.

Hochleistungstechnik

Für den sicheren Betrieb elektrischer Netze ist eine genaue Kenntnis und Prüfung der Belastungsgrenzen der Netzkomponenten von entscheidender Bedeutung. Diese werden mittels Hochspannungs- und Hochstromtechnik und genormten Verfahren überprüft.

Das Fachgebiet Hochspannungs- und Hochstromtechnik beschäftigt sich nicht nur mit der Prüfung elektrischer Komponenten, sondern vor allen Dingen auch mit der Erforschung neuartiger Materialien und Prüfmethoden.

Der Lehrstuhl betreibt für solche Untersuchungen ein eigenes Hochspannungs- und Hochstromlabor.

Bedeutende Projekte

BMFTR Projekt Kopernikus ENSURE

Kernaufgabe des Projekts ist es, Technologien zu entwickeln und zu testen, die im Zuge einer dekarbonisierten Energieversorgung die Versorgungssicherheit des Stromnetzes gewährleisten.

Laufzeit

2016 - 2026

Partner	Siemens AG, FAU-LEES und zahlreiche weitere Partner aus Industrie, Netzwirtschaft, Akademia und von Nichtregierungsorganisationen
Fördergeber	Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
BMW-Projekt Energetische Optimierung einer Energie Plus Siedlung - EOS	Es wird die Umwandlung eines Wohnquartiers zu einer Energiegemeinschaft untersucht sowohl technisch als auch regulatorisch. Das Projekt setzt stark auf Bürgerbeteiligung.
Projektzeitraum	2024 - 2027
Partner	FAU-LEES, OPAL-RT Germany GmbH, Heitec Innovations GmbH, ESTW AG, UTN
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)
BMW-Projekt Assistenzsysteme für eine optimierte automatisierte Systemführung in Verteilnetzen- Grid Assist	Im Projekt GridAssist werden KI-basierte Assistenzsysteme für die Netzführung der Verteilnetze entwickelt, beispielsweise zur Vermeidung von Netzengpässen oder zum Netzwiederaufbau.
Projektzeitraum	2024 - 2027
Partner	Siemens AG, FAU-LEES, FAU-Informatik 5, Energieversorgung Gera GmbH, LEW Verteilnetz GmbH, OPAL-RT Germany, RWTH Aachen
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)
BMW-Projekt Umweltfreundliche Energieversorgung der Nürnberger Messehallen - REMBup	Im Rahmen des Reallabor-Projekts soll eine zuverlässige und möglichst Kohlenstoff Dioxid (CO ₂)-neutrale Energieversorgung der Nürnberger Messe mittels Sektorenkopplung umgesetzt werden.
Projektzeitraum	2024 - 2028
Partner	Heitec Innovations GmbH, Nürnberg Messe GmbH, FAU-LEES, Energie Plus Concept GmbH, Energas BHKW GmbH, Forschungszentrum Jülich GmbH, Fraunhofer IISB, Fraunhofer IIS, Fraunhofer IEG, BUILD.ING Consultants + Innovators GmbH
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)

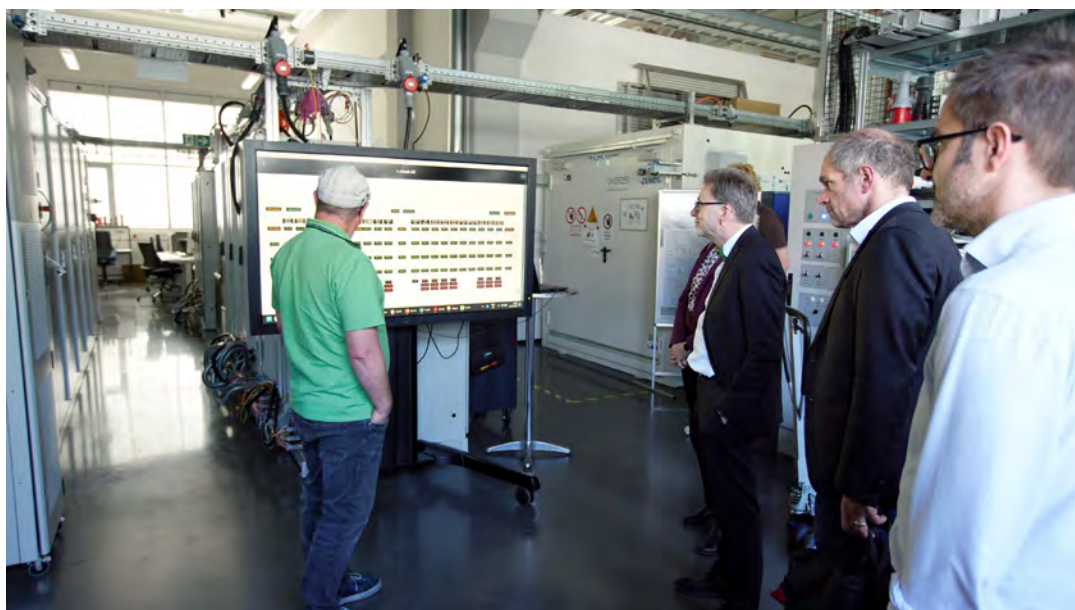


Abbildung 1: Niederspannungslabor - Microgrid

HIGHLIGHT

Demonstration of Grid-Forming Controls in Hybrid AC/DC Grid in a Real-Time PHIL Environment

Der Übergang zu inverterbasierten Stromversorgungssystemen mit neuartigen Regelungsstrategien hat zu schwachen Netzzenarien geführt, was umfangreiche Forschungen zu netzbildenden (GFM) Umrichtern und fortschrittlichen GFM-Regelungsschemata ausgelöst hat.

Bisherige Studien zu netzbildenden Regelungen beschränken sich häufig auf stark abstrahierte, synthetische Testsysteme mit vereinfachter Topologie. Diese liefern zwar erste Erkenntnisse, spiegeln aber die Komplexität realer Verteil- und Übertragungsnetze nur unzureichend wider.

Diese Studie bewertet zwei GFM-Regelungsstrategien hinsichtlich ihrer stabilisierenden Wirkung in Netzen mit niedriger Kurzschlussleistung und inselbetriebenen Stromversorgungssystemen: die etablierte Regelung mit virtueller Synchronmaschine (VSM) und das neu entwickelte Phase-Restoring-Principle (PRP). Die Bewertung wird unter Verwendung eines Echtzeit-EMT-Simulationstestbeds (EMT = Electromagnetic Transient) mit Hardware-in-the-Loop-Fähigkeiten (HiL) durchgeführt (siehe Abbildung). Das System umfasst ein multi-terminales Mittelspannungs- (MVDC) und Hochspannungs-Gleichstromnetz (HVDC), das schwach mit einem Netzäquivalent gekoppelt ist, das durch eine skalierte Synchronmaschine (SynM) dargestellt wird, um das Netz mit Frequenzverhalten (Trägheit)nachzubilden. Modulare Mehrstufenumrichter (MMCs) modellieren die Umrichter, während Power-Hardware-in-the-Loop-Experimente (PHIL) echte Leistungshardware integrieren. Dynamische Interaktionen, einschließlich Inselbedingungen, werden emuliert, um die Leistung von GFM-Steuerungen und deren Interaktionen in HV/MV- und AC/DC-Systemen zu bewerten.

Die Arbeit liefert den methodischen und technischen Beweis, dass fortschrittliche netzbildende Regelungen, wie das Phase-Restoring Principle, auch unter den realen, komplexen Bedingungen eines hybriden AC/DC-Netzes stabil arbeiten können. Dieser modulare Demonstrator ist ein realistischer Prototyp zukünftiger Energiesysteme und bietet eine flexible Plattform zum Testen neuer GFM-Strategien und -Hardware, wodurch die Entwicklung robuster und stabiler Wechselrichter-basierter Netze unterstützt wird. Damit wird ein entscheidender Beitrag zur Netzstabilität in zukünftigen leistungselektronischen Netzen gelegt

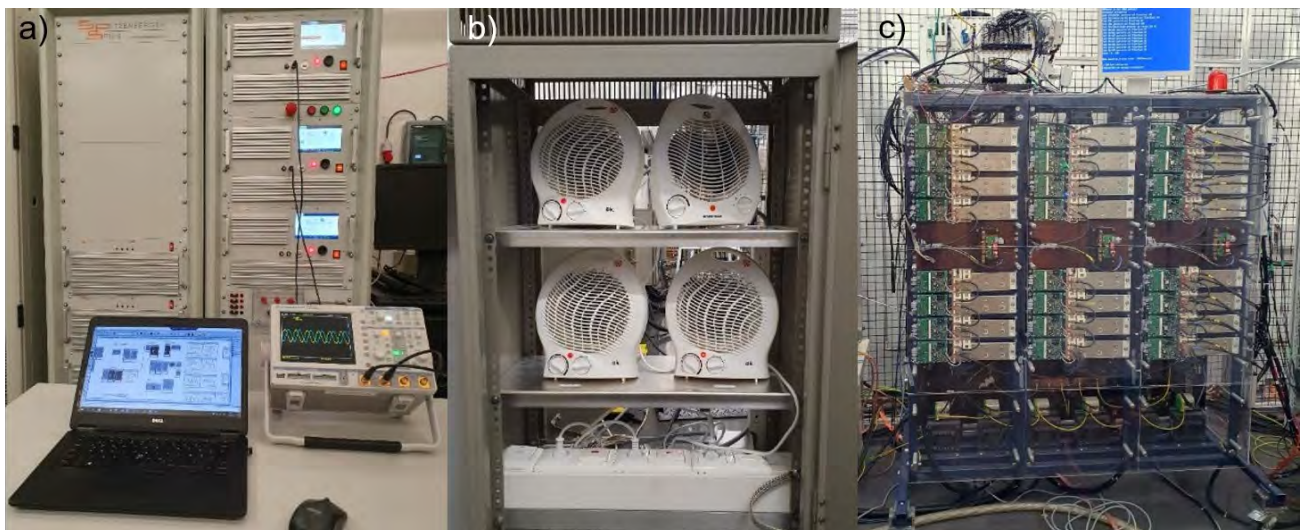


Abbildung 2: Hardware-Aufbau für die Versuchsdurchführung, a) Leistungsverstärker, b) Lasten, c) 5-Level MMC Umrichter

Richter, M.; Kuri, A.; Richter, J.; Wagner, T.; Henninger, S.; Mehlmann, G. Demonstration of Grid-Forming Controls in Hybrid AC/DC Grid in a Real-Time PHIL Environment. *Electronics* **2025**, *14*, 730. <https://doi.org/10.3390/electronics14040730>

Netze

Prof. Dr.-Ing. Ivana Mladenovic, Institut ELSYS, Fakultät EFI, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Stationäre und dynamische Netzanalyse zur Speicherstabilisierenden Netzbetrieb (in sektorengesetzten Netzen)
- Untersuchungen zu Second-Life Anwendungen von Batteriespeichersystemen sowie Entwicklung und Erprobung von Methoden für deren Zustandsästimation
- Modellierung von Batteriespeichersystemen und Simulation des Speicherbetriebes
- Alterung und Zustandsdiagnose von Betriebsmitteln inkl. Speichersystemen

Forschungsfelder

Die Flexibilisierung des Energieverbrauchs, der Netznutzung und der Einspeisung zählen zu den zentralen Erfolgsfaktoren der Energiewende. Die Sektorenkopplung mit dem elektrischen Netz sowie der Einsatz von Batteriespeichersystemen steigern das Flexibilitätspotenzial erheblich und ermöglichen ein ökologisch nachhaltigeres sowie technisch besser steuerbares Energiesystem. Ein weiterer wichtiger Beitrag ist die flexible Verbrauchsgestaltung auch in Privathaushalten, deren Wirksamkeit maßgeblich von der gesellschaftlichen Akzeptanz abhängt.

Durch stationäre und dynamische Netzanalysen sollen neue Konzepte der Betriebsführung erprobt sowie der innovative Einsatz von Betriebsmitteln und intelligenten Komponenten untersucht werden. Ziel ist es, das Energiesystem weiterzuentwickeln und gleichzeitig Zuverlässigkeit, Sicherheit, Nachhaltigkeit und den Gesamtzustand zu verbessern.

Zusätzlich werden Verfahren zur Zustandsabschätzung von Speichersystemen im laufenden Betrieb entwickelt. Mithilfe präziser Diagnosen und Überwachungssysteme lassen sich Schwachstellen, Schäden oder Fehlfunktionen frühzeitig erkennen. So können Wartungsmaßnahmen gezielt, kosteneffizient und vorausschauend durchgeführt und Ausfälle vermieden werden. Auf diese Weise sollen Batteriespeicher ressourcenschonend, langfristig und zuverlässig betrieben werden – ohne die Betriebssicherheit zu gefährden.

Bedeutende Projekte

Balista	Sektorenkopplung von Batteriesystemen mit Li-Ionen-Zellen, Elektrolyse und stationären Brennstoffzellensystemen zur Energiespeicherung in dezentralen Energiesystemen: Wissens- und Technologietransfer im Bereich dezentraler Speichertechnologien zur Unterstützung von Unternehmen im Strukturwandel der Energietechnik
Projektzeitraum	07.2024 – 06.2027
Partner	Bayerische Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)
Fördergeber	EFRE Bayern
EVEKT	Erhöhung der Verbraucherpartizipation an der Energiewende durch KI-Technologien und datenbasierte Mehrwertdienste. Ziele: • Erhöhung der Akzeptanz durch Verbraucherpartizipation an der Energiewende • Erhöhung des bewussten Umgangs mit dem Energieverbrauch durch Entwicklung einer Energiespar-App für Privathaushalte • Testen von KI-Algorithmen zur Disaggregation von Stromlastprofilen • Praxisnahe Anwendung in Privathaushalten
Projektzeitraum	07.2022 – 08.2025

Partner	Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Universität Regensburg, Eniano GmbH
Veröffentlichungen	- Kyriaki Koutrouveli, Omar Elattar, Ivana Mladenovic: Methodik zur Abschätzung des Flexibilisierungspotentials von Haushaltsverbrauchern in elektrischen Netzen ETG Kongress, 2025, Deutschland - Kyriaki Koutrouveli, Omar Elattar, Christiane Dettelbacher, Ivana Mladenovic: Motivating households to adopt climate-friendly behavior by using smart meter data and AI technologies CLIMA Conference, 2025, Italien
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

HIGHLIGHT

Batterie Lifecycle Center (BLiC) am Ohm Innovation Center (OIC)

Derzeit wird am OIC ein neues Batterie Lifecycle Center aufgebaut. Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich der Zustandsschätzung und Lebensdauerprognose von Batteriespeichersystemen.

Zur Entwicklung innovativer Methoden und Technologien für die Zustandsbestimmung und -überwachung von Batteriespeichern wird am OIC eine moderne Laborumgebung installiert. Diese dient sowohl der wissenschaftlichen Forschung als auch der Erprobung und Validierung von Batteriesystemen sowie von neu entwickelten Diagnose-, Mess- und Batteriemanagementsystemen.



Die zu bearbeitenden Forschungsfragen reichen von der Zustandsüberwachung im laufenden Betrieb – wie beispielsweise bei Traktionsbatterien – über die Zustandsermittlung gebrauchter Batteriespeicher bis hin zur Entwicklung anwendungsspezifischer Batteriemanagementsysteme für dynamische und zustandsorientierte Betriebsstrategien.

Im neuen Batterielabor sollen – von der Batteriezelle bis zum kompletten Batteriespeicher – unter anderem folgende Tätigkeiten ermöglicht werden:

- Künstliche Alterung und automatisierte Zustandsüberwachung unter kontrollierten Bedingungen
- Entwicklung hybrider Modelle von Batteriespeichern (Digitaler Zwilling)
- Entwicklung von Methoden und Technologien zur Offline-Zustandsermittlung
- Entwicklung von Methoden und Technologien zur Online-Zustandsermittlung
- Durchführung von Tests und Laboruntersuchungen an Batteriespeichern
- Untersuchung und Zustandsanalyse gebrauchter Batteriespeicher mit entsprechenden Serviceempfehlungen
- Entwicklung dynamischer, zustandsorientierter Betriebsstrategien

FORSCHUNGSBEREICH

Energieeffizienz



Energieeffizienz

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Ziel unserer Forschungsgruppe ist die simulative Optimierung technischer Systeme zur Steigerung von Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. Unsere Schwerpunkte liegen insbesondere auf:

- Windenergie im komplexen Gelände
- Simulation und Optimierung betrieblicher Material- und Energieflüsse
- Kopplung von künstlicher Intelligenz und Simulation

Forschungsfelder

Windenergie im komplexen Gelände

Daten zu Windgeschwindigkeiten liegen derzeit meist nur in grober räumlicher Auflösung vor ($> 1 \text{ km}^2$). Im komplexen Gelände können sich Windverhältnisse jedoch bereits auf kleinsten Distanzen erheblich verändern. Für viele Anwendungen wie die Bewertung potenzieller Standorte für Windkraftanlagen, die Bekämpfung von Waldbränden oder den Transport von Rotorblättern sind daher deutlich feinere Auflösungen erforderlich. Ziel unserer Forschung ist es, die Qualität und räumliche Auflösung von Winddaten durch die Verknüpfung grobskaliger Wetterdaten mit detaillierten Topografie-daten in Simulationsmodellen signifikant zu verbessern.

Industrielle Energieeffizienz

Vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenknappheit und steigender Energiepreise sehen sich insbesondere produzierende Unternehmen mit der Herausforderung konfrontiert, ihre Effizienz zu steigern, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Da betriebliche Umstellungen und Investitionen häufig mit erheblichen Risiken verbunden sind, bieten sich simulationsbasierte Analysen als risikoarme Entscheidungsgrundlage an. In Zusammenarbeit mit Industriepartnern erforschen wir, wie sich betriebliche Abläufe und Energiesysteme modellieren und gezielt optimieren lassen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Kopplung kontinuierlicher und diskreter Simulationsansätze sowie der Integration künstlicher Intelligenz.

Bedeutende Projekte

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, Technische Universität Clausthal
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
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	10.2023 – 06.2026
Partner	Optolution GmbH
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

**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 Einzelprojekt

Fördergeber

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

HIGHLIGHT
Strömungssimulation mit Hilfe von VR erlebbar machen

Um die Ergebnisse und Abläufe von Strömungssimulationen anschaulicher und intuitiver erfahrbar zu machen, wird im Rahmen des TAKE | Transferzentrum Ansbach | Klimaschutz & Effizienz ein innovativer Virtual Reality Arbeitsplatz entwickelt. Dieser überträgt die numerischen Berechnungen der Simulationssoftware STAR CCM+ in eine immersive 3D-Umgebung. Auf diese Weise lassen sich komplexe Strömungsvorgänge, etwa an Windkraftanlagen, in komplexem Gelände oder in neu entwickelten Produkten, realitätsnah visualisieren, analysieren und bewerten. Die virtuelle Umgebung ermöglicht es Kooperationspartnern und Studierenden, sich niedrigschwellig mit den Funktionsweisen und Ergebnissen komplexer CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) auseinanderzusetzen. Vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen, die im Rahmen des TAKE mit der Hochschule Ansbach kooperieren, wird dadurch der Zugang zu modernen Simulationsverfahren erleichtert, ohne dass tiefgehende Vorkenntnisse im Bereich der Strömungsmechanik erforderlich sind. Als erste Anwendungsumgebung wurde ein Virtual Reality Modell eines Referenzwindparks in Burghaslach erstellt. In dieser virtuellen Darstellung können Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsverhalten vor und hinter den Windkraftanlagen des Windparks dreidimensional untersucht und analysiert werden.



Strömungssimulation mit Hilfe von VR

BMW Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Arno Dentel - Energieeffiziente Systeme der Gebäudetechnik, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Optimierung von energieeffizienten Systemen der Gebäudetechnik
- Simulation und Modellierung von Gebäude- und Energiesystemen
- Monitoring von Reallaboren und deren Betriebsoptimierung
- Evaluierung von Nutzerakzeptanz

Forschungsfelder

Simulation und Optimierung

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Optimierung von energieeffizienten Systemen der Gebäudetechnik, insbesondere auf der Simulation und Modellierung von Gebäude- und Energiesystemen. Es werden Betriebsführungsstrategien für energie- und lastflexible Gebäude entwickelt. Die ganzheitliche Betrachtung von Energie- und Informationssystemen steht dabei im Vordergrund, um effiziente Wege in der Gebäudetechnik aufzuzeigen. Ziel ist die Darstellung von energieeffizienten und kostensparenden Lösungen für nachhaltige Gebäude.

Monitoring

Des Weiteren bilden das Monitoring von Reallaboren und deren Betriebsoptimierung einen Schwerpunkt. Anhand von realen Messdaten erfolgt eine energetische Bewertung des Gebäudes oder Quartiers. Durch das umfangreiche Monitoring können die Ziele aus der Planung und Simulation überprüft werden. Auch der Einfluss auf die Nutzenden und deren Akzeptanz werden untersucht.

Bedeutende Projekte

BMW- Projekt sEnSys	Das Projekt umfasst die Entwicklung und Umsetzung eines umfassenden Konzepts für energieeffiziente, wirtschaftliche und netzdienliche Gebäude, die in der Jahresbilanz eine Klimaneutralität erreichen.
Projektzeitraum	06.2022 - 05.2025
Partner	GEWOBAU mbH, enisyst GmbH, Grass Power Electronics GmbH
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)
BMWSB-Projekt Quartier Opt	Mit Hilfe geeigneter Modellierung wird die klimaneutrale Transformation städtischer Quartiere unter ganzheitlicher Betrachtung von Zusammensetzung, Energiekonzepten und Energiemarktdesign untersucht.
Projektzeitraum	12.2023 - 11.2025
Partner	FAU Erlangen Nürnberg
Fördergeber	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)
DFG-Projekt DuraFuelCell Research Impulse	Ziel ist es, durch interdisziplinäre und vernetzte Forschung einen entscheidenden Impuls für die Umsetzung der Wasserstoff-Brennstoff-Zellentechnologie für mobile und stationäre Anwendungen zu geben.
Projektzeitraum	2024 - 2028
Partner	Prof. Dr. Maik Eichelbaum und weitere ProfessorInnen der TH Nürnberg
Fördergeber	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

HIGHLIGHT

sEnSys - Demonstration einer Mustersanierung mit smarter Energiesystemregelung für kosteneffizienten und klimaneutralen mehrgeschossigen Wohnungsbau

Ein klimaneutraler Gebäudestandard ist für das Erreichen der Klimaschutzziele im Gebäudesektor für Neubauten ebenso wie für Bestandsgebäude notwendig. Energetisch und baulich ist eine Realisierung von energieneutralen Gebäuden bereits in vielen Fällen möglich, jedoch existieren sehr oft Hemmnisse, die eine wirtschaftliche und funktionale Realisierung verhindern.

Das Projekt „sEnSys“ umfasst die Entwicklung und Umsetzung eines umfassenden Konzepts für energieeffiziente, wirtschaftliche und netzdienliche Gebäude, welche in der Jahresbilanz eine Energie- bzw. Klimaneutralität erreichen. Ziel des Projektes ist die Demonstration einer Sanierung im Bestand eines mehrgeschossigen Mehrfamilienhauses. Die Schwerpunkte des Projektes umfassen technische und wirtschaftliche Aspekte sowie Nutzerakzeptanz der Bestandsanierung.

Um die genannten Schwerpunkte in Einklang zu bekommen, wird ein ganzheitliches Gebäude- und Energiekonzept entwickelt. Eine prädiktive Steuerung soll die Effizienz der Wärmepumpen steigern, Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch gezielt koordinieren und damit die Betriebskosten senken. Durch ein geeignetes Betreibermodell sollen zudem die Bewohner beteiligt werden und durch günstige Energiepreise profitieren. Zur Steigerung der Nutzerakzeptanz nach einer Sanierung sollen Messwerte durch ein Nutzerinterface visualisiert und Steuerungseingriffe durch den Nutzer ermöglicht werden. Im Planungsprozess wird ein digitaler Zwilling des Gebäudes zur Entwicklung und Bewertung des Gebäude- und Energiekonzept eingesetzt. Damit können vorab verschiedene Gebäude- und Anlagenkonfigurationen getestet und bewertet werden. Nach Sanierung dient der digitale Zwilling zur Überprüfung und Optimierung des Betriebs.



Abbildung 1: Das Referenzgebäude, ein vierstöckiges Wohnhaus in Erlangen, Deutschland.

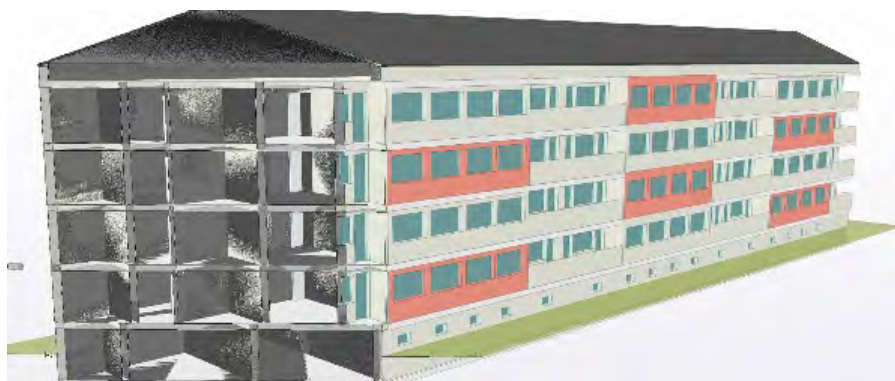


Abbildung 2: IFC-Modell als digitaler Zwilling des Referenzgebäudes

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Armin Dietz, Institut für Leistungselektronische Systeme (ELSYS), Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Berechnung elektrischer Maschinen
- Messung und Prüfung elektrischer Maschinen und Antriebe
- Moderne Regelungsverfahren für elektrische Antriebe
- Steuerverfahren und Regelung für mehrphasige Maschinen
- Anwendung Neuronaler Netze für die Regelung von Maschinen

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

Forschungsfelder

Elektromagnetische Energiewandlung

Im Bereich der Berechnung und Optimierung elektrischer Maschinen werden analytische und numerische Verfahren weiterentwickelt, mit dem Ziel die Vorausberechnung in Hinblick auf Verluste und Energieeffizienz zu verbessern. Grundlage der Methodenentwicklung bilden die Messungen und Modellbildungen für weichmagnetische Werkstoffe, für die hochpräzise Messplätze und eine umfangreiche Materialdatenbank zur Verfügung stehen. Darüber hinaus konnte für rotordynamische Fragestellungen Prof. Dr.-Ing. Ulrich Werner als Forschungspartner gewonnen werden, der im Bereich der aktiven Schwingungsdämpfung an elektrischen Maschinen forscht. Für experimentelle Untersuchungen stehen verschiedene Leistungsprüfstände bis 400 kW und 30.000 min⁻¹ und ein 3D-Scanning-Laservibrometer zur Verfügung.

Elektrische Antriebssysteme – Embedded Systems

Für die Forschung und Entwicklung elektrischer Antriebe wird ein offenes Rapid Control Prototyping System eingesetzt, das sowohl hardwaretechnische Anpassung an verschiedenen leistungselektronischen Endstufen (Si-, SiC-, GaN-Endstufen) für verschiedene Leistungsklassen bietet, als auch sehr performante Rechenkerne für moderne Regelungsverfahren (MPC, Reinforcement Learning, Neuromorphe Computing) zur Verfügung stellt. Dieses System wird für die modellbasierte Methodenentwicklung zusammen mit Matlab/Simulink in einer Toolkette für automatisierte Code-Entwicklung eingesetzt. So werden z.B. Steuerverfahren und Regelung mehrphasiger Maschinen in dieser Umgebung erprobt und auch neuronale Netze für die Stromregelung (Reinforcement Learning) elektrischer Maschinen werden damit virtuell und experimentell erforscht.

Bedeutende Projekte

MedTechCM

Entwicklung einer antriebsbasierten Zustandsdiagnose für komplexe mechatronische Antriebsstränge in der Medizintechnik

Projektzeitraum

2025 - 2028

Partner	Siemens Healthineers AG
HighTorqueCraft	Effiziente elektrische Flugmotoren mit hohem Drehmoment
Projektzeitraum	2023-2025
Partner	Hacker GmbH
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
BMBF- Projekt KI-Power	Erforschung einer skalierbaren Entwicklungsplattform für KI-basierte und hochdynamische Regelungsverfahren für Leistungselektronik und elektrische Antriebe
Projektzeitraum	2020-2025
Partner	TU München, Fraunhofer IISB, Karing GmbH, Zohm Control GmbH, Trenz Electronic GmbH, Maccon GmbH, ZF Friedrichshafen AG, Bayerische Motoren Werke AG, ECPE (assoziiierter Partner)
Fördergeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

HIGHLIGHT

Forschungsfeld „Zustandsüberwachung mechatronischer Antriebssysteme“

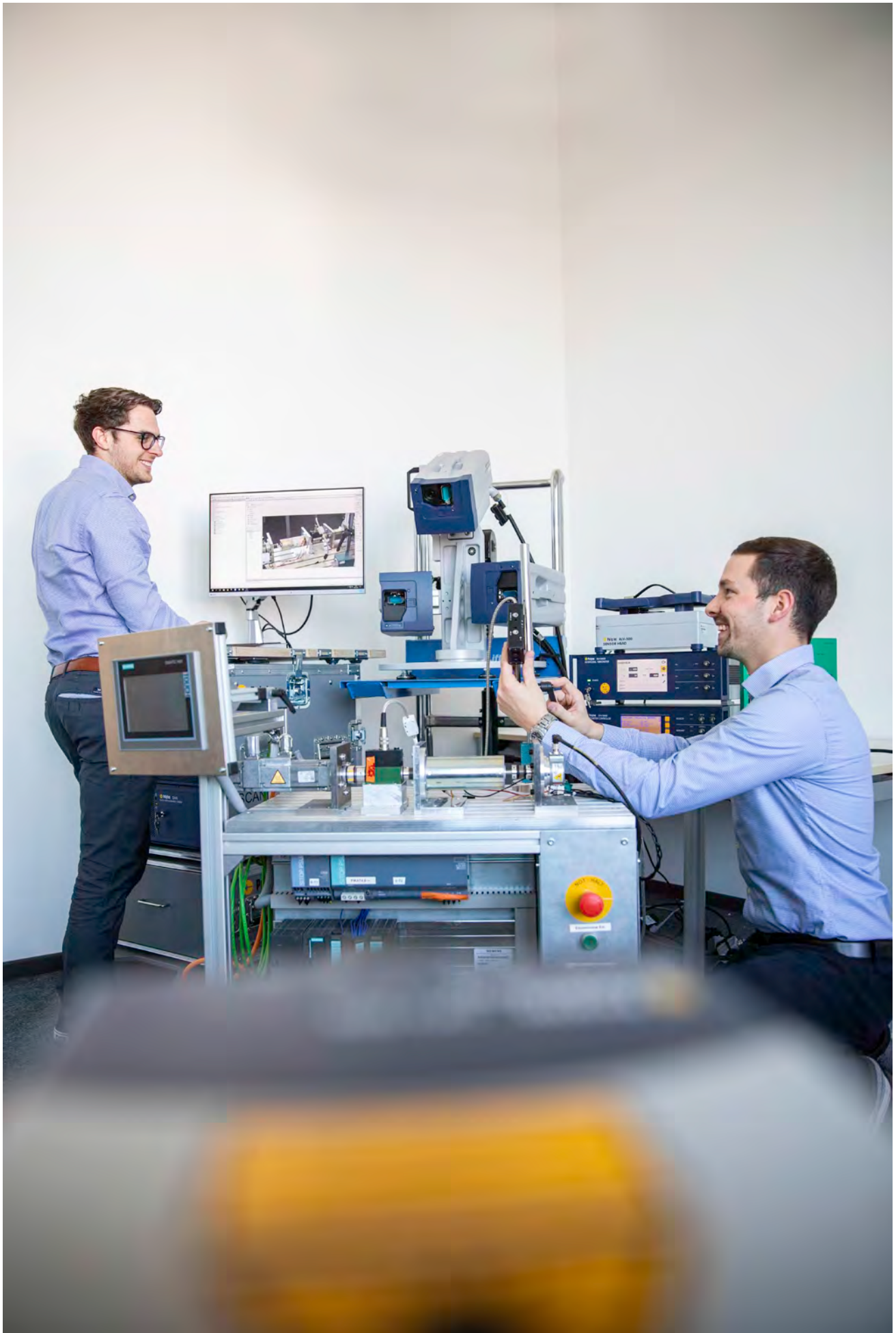
In einer Vielzahl von technischen Applikationen und Maschinen bilden elektrische Antriebssysteme, die in der Regel mit mechanischen Übertragungsgliedern zur Kraftübertragung gekoppelt sind, die Grundlage eines mechatronischen Antriebsstranges. Das primäre Ziel der angewandten Forschung ist es derzeit, den Qualitätsanspruch sowie die Bewegungsführung der Systeme weiterzuentwickeln und neue Potenziale zu erschließen.

Der zentrale Fokus dieses Forschungsfeldes richtet sich an die stetige Verbesserung und Charakterisierung mechatronischer Komponenten – einschließlich der Nutzung der dabei generierten Daten zur Regelung elektrischer Antriebe. In verschiedenen industriellen Anwendungsbereichen, beispielsweise bei Pumpen, Windkraftanlagen oder Werkzeugmaschinen, ist die Methodik der Zustandsüberwachung ein etabliertes und weit verbreitetes Verfahren. Diese Systeme basieren in der Regel stark auf dem Einsatz zusätzlicher Sensorik, um physikalische Größen präzise erfassen und auswerten zu können.



*Forschungsobjekt in Form eines
Angiographie-Bodenstativ*

In der Medizintechnik hingegen ist der Einsatz externer Sensorik aus verschiedensten Gründen – etwa aufgrund von Einschränkungen durch das klinische Applikationsumfeld und Kostendruck – oftmals nur eingeschränkt oder gar nicht möglich. Zudem wurden sensorlose Verfahren in der Medizintechnik bislang kaum erforscht und stellen angesichts der hohen Anforderungen im medizinischen Umfeld eine große Herausforderung mit entsprechend hohem Forschungsbedarf dar. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen arbeitet das Institut für leistungselektronische Systeme „ELSYS“ im Rahmen des mehrjährigen Forschungsprojektes „MedTechCM“ in enger Kooperation mit der Siemens Healthineers AG. Ziel ist die Entwicklung und Erprobung eines geeigneten Mess- und Überwachungssystems für den Einsatz in industriellen und medizinischen Umgebungen. Siemens Healthineers stellt dafür Angiographie-Systeme als Untersuchungsobjekte zur Verfügung, sodass diese direkt vor Ort umfassend analysiert und auf Herz und Nieren geprüft werden können – ein entscheidender Vorteil für die praxisnahe Entwicklung und Erprobung der Überwachungssysteme.



Energieeffizienz

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe „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.

Forschungsfelder

Forschungsfeld 1: Klimaneutrale Werkstoffe und Prozesse

Entwicklung neuartiger Materialien und Herstellungsverfahren mit deutlich reduzierter CO₂-Bilanz. Der Fokus liegt auf ressourceneffizienten Werkstoffen, dem Einsatz von Sekundärrohstoffen sowie der Prozessoptimierung durch Digitalisierung und Simulation. Ziel ist die Integration klimafreundlicher Materialien in industrielle Wertschöpfungsketten.

Forschungsfeld 2: Additive Fertigung und digitale Werkstofftechnik

Erforschung additiver Fertigungstechnologien (z. B. 3D-Druck von Keramiken oder Metallen) zur energieeffizienten Herstellung komplexer Bauteile. Durch Kombination mit datengetriebener Werkstoffentwicklung, KI-gestützter Optimierung und virtueller Prozesssimulation entstehen nachhaltige Produktionslösungen für die Industrie von morgen.

Forschungsfeld 3: Energieeffizienz durch funktionale Materialien

Entwicklung und Anwendung von Materialien, die aktiv zur Energieeinsparung oder -nutzung beitragen – etwa durch Photokatalyse, Wärmespeicherung oder verbesserte Isolation. Ziel ist es, durch smarte Werkstoffe die Transformation in ein klimaneutrales Energiesystem aktiv zu unterstützen.

Bedeutende Projekte

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	10.2023 – 05.2026
Partner	Wolfshöher Tonwerke GmbH & Co. KG
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) Forschungszentrum Jülich
InnoPrint	Entwicklung eines kontinuierlichen, in der Fertigung einsetzbaren 3D-Druckers für Keramik und Bindebaustoffe im Layerverfahren basierend auf den Formgebungsverfahren Extrusion/Pressen
Projektzeitraum	10.2023 – 05.2025
Partner	BMI Deutschland GmbH
Fördergeber	Industrie / Standard Industries
GeoBOD²	Entwicklung einer 3D-druckfähigen Mischung aus Recycling- Bau- und Reststoffen (z.B. Bauschutt) und die Erprobung der Einsetzbarkeit dieser für den Haus 3D-Druck.

Projektzeitraum	09.2024 – 02.2026
Partner	PERI Vertrieb Deutschland GmbH & Co. KG
Fördergeber	DATipilot / Forschungszentrum Jülich
AMHEX	Entwicklung eines optimierten Kühlerdesigns für CT auf Basis eines digitalen Zwillings mit AI
Projektzeitraum	09.2024 – 09.2025
Partner	Siemens Healthineers AG
Fördergeber	Industrie

HIGHLIGHTS

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



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



Geopolymer Extrusionsversuche im Labormaßstab

Das GeoWolf-Projekt zielt auf die Entwicklung eines innovativen kalthärtenden Systems ab, welches Rohstoffe und Reststoffe aus der Schamotteherstellung verwendet, um feuerfesten Keramiken für häusliche Feuerstätten zu optimieren. Der Einsatz dieser Materialien ermöglicht eine nachhaltige Ressourcennutzung und bietet eine Lösung, die gleichzeitig den hohen Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen im bisherigen Herstellungsprozess reduziert. Durch den ganzheitlich neuen Ansatz der Verwendung von Geopolymeren, müssen die Materialeigenschaften wie Druckfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit, dem Benchmark angepasst werden. Darüber hinaus ist vor allem die Optimierung der Geopolymermassen hinsichtlich der Formgebung von Interesse, so dass in naher Zukunft eine großtechnische Umsetzung erfolgen kann.

InnoPrint: 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 Materialeinsparung (Gyroid-Struktur). Hierdurch werden Energieeinsparungen im Brennprozess und erhöhte Effizienz in der Fertigung erreicht.



Von der digitalen Planung zum realen 3D-Druck: CAD-Modell (oben links), Slicing-Vorschau (oben rechts), additiver Fertigungsprozess

GeoBOD2: Entwicklung einer 3D-druckfähigen Mischung aus Recycling- Bau- und Reststoffen (z.B. Bauschutt) und die Erprobung der Einsetzbarkeit dieser für den Haus 3D-Druck

Im Forschungsprojekt wird eine innovative, 3D-druckfähige Materialmischung aus Recycling- und Reststoffen – insbesondere Bauschutt – entwickelt. Ziel ist es, diese ressourcenschonende Mischung für den großformatigen 3D-Druck im Bauwesen nutzbar zu machen, ohne eine zusätzliche thermische Aktivierung oder einen keramischen Brand zu benötigen.

Durch den Verzicht auf die energieintensive Zementproduktion kann der Energiebedarf um bis zu 88 % gesenkt werden (112 kWh statt 890 kWh). Gleichzeitig werden rund 68 % weniger CO₂-Emissionen verursacht, was den ökologischen Fußabdruck deutlich reduziert.

Im Rahmen des Projekts werden geeignete Recyclingstoffe identifiziert und ihre wesentlichen Materialeigenschaften – wie Korngrößenverteilung, Zusammensetzung und Mineralogie – untersucht, um optimale 3D-Druckeigenschaften, Prozessstabilität und Praxistauglichkeit zu gewährleisten. Aufbauend auf einer bereits durchgeführten Machbarkeitsstudie (GeoBOD, gefördert durch Staedtler) wird zudem eine Ökobilanz für den neu entwickelten Baustoff erstellt, um die erzielten Nachhaltigkeitsvorteile transparent zu belegen.



Gedrucktes Bauteil aus Recyclingbaustoffen

AMHEX: Entwicklung eines optimierten Kühlerdesigns für CT auf Basis eines digitalen Zwillings mit AI

Im Rahmen des Projekts wird ein Wärmetauscher ganzheitlich optimiert – von der strömungsmechanischen Simulation über die geometrische Auslegung bis hin zur Fertigungssimulation. Mithilfe von ANSYS CFX, Design of Experiments und ANSYS Discovery erfolgte eine umfassende Analyse und Optimierung der Strömungs- und Wärmeübertragungseigenschaften.

Parallel dazu wurden Versuchsaufbauten messtechnisch erfasst, um die Simulationsergebnisse zu validieren. Anschließend wurde das Selektive Laserschmelzen (SLM) als Fertigungsprozess simuliert, um potenzielle Eigenspannungen, Verzüge und Fertigungstoleranzen frühzeitig zu berücksichtigen.

Darüber hinaus wurde ein digitaler Zwilling des Kühlerdesigns entwickelt, der die Grundlage für eine KI-gestützte Optimierung bildet. Auf diese Weise konnte ein leistungsfähiges und zugleich fertigungsgerechtes Kühlerdesign für den Einsatz in Computertomographen (CT) realisiert werden.



Messtechnische Validierung an verschiedenen Kühlergeometrien

Energieeffizienz

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



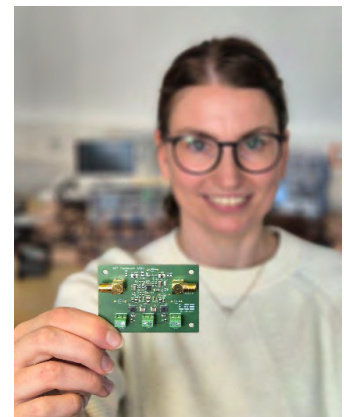
Forschungsschwerpunkte

- Leistungselektronik für extreme Anforderungen und Einsatzbedingungen
- DC-Energienetze (Power Router, Stabilitäts- und Regelverhalten, Zustandsdiagnose, Impedanzmessverfahren, Schutzelemente)
- RF-Leistungselektronik und elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Innovative Schaltwandler- und Modulkonzepte

Forschungsfelder

Aktive EMV-Filter

In modernen leistungselektronischen Systemen steigen die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) stetig – angetrieben durch höhere Schaltfrequenzen und den Einsatz neuer Halbleitertechnologien. Konventionelle passive Filter beanspruchen dabei einen wachsenden Anteil am Gesamtbauvolumen von Leistungselektronik. Einen Ausweg stellen aktive EMV-Filter dar: Sie bieten gezielte und dynamische Störunterdrückung bei gleichzeitig geringerem Platzbedarf und höherer Effizienz. Damit sind sie ein Schlüssel zur weiteren Erhöhung der Leistungsdichte und Reduzierung des Leistungsgewichts. Die Integration aktiver Filter erfordert jedoch ein tiefes Verständnis für die komplexen Wechselwirkungen zwischen Regelung, Filterstruktur und Systemumgebung. Neben Fragen der Stabilität und Einfügedämpfung müssen auch parasitäre Effekte und die Einbettung in reale Anwendungen berücksichtigt werden. Ziel unserer Forschung ist es, robuste, adaptive und leistungsfähige aktive Filterlösungen für zukünftige Leistungselektronikanwendungen zu entwickeln.



Kryogene Leistungselektronik



Zu sehr tiefen Temperaturen hin reduzieren sich die Verluste vieler Leistungshalbleiter und Leitermaterialien drastisch. Dies bietet enormes Potential zur Erhöhung der Leitungsdichte und Effizienz leistungselektronischer Wandler. Speziell für die Dekarbonisierung der Luftfahrt ist der Einsatz von flüssigem Wasserstoff als Treibstoff in kommerziellen Flugzeugen praktisch alternativlos. Kryogene Leistungselektronik kann hier mehrere Herausforderungen lösen: Zum einen muss der im Flugzeug vorhandene, flüssige Wasserstoff verdampft und aufgeheizt werden, um ihn in der Brennstoffzelle verstromen zu können. Zum anderen muss die elektrische Energie der

Brennstoffzelle mit minimalen Verlusten für den Antrieb gewandelt werden, wobei die Leistungswandler im Flugzeug möglichst leicht sein müssen. Die Herausforderungen im Bau kryogener Leistungswandler sind jedoch vielfältig: Sowohl die Auswahl der geeigneten Bauelemente, Materialien und Kühlkonzepte als auch die Berücksichtigung thermo-mechanischer Spannungen und der gesamte Systementwurf müssen speziell auf kryogene Temperaturen abgestimmt werden.

Bedeutende Projekte



»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.
www.elektronikforschung.de/projekte/ecs4dres

Projektzeitraum	07.2024 – 06.2027
Partner	31 Partnern, Gesamtvolumen 27,9 Mio. €
Fördergeber	Europäische Union, Bundesministerium für Bildung und Forschung



Dieses Gemeinschaftsprojekt der Friedrich-Alexander-Universität und der Universität Stuttgart im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „GaNIus“ zielt auf die Entwicklung von Schlüsselkomponenten für radio-frequent getaktete, GaN-basierte isolierende DC/DC-Wandler mit Fokus auf monolithisch integrierte, aktive Gleichrichterioden und neuartige Transformator-Designs.

Projektzeitraum	2024 – 2027
Partner	Universität Stuttgart, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Fördergeber	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)



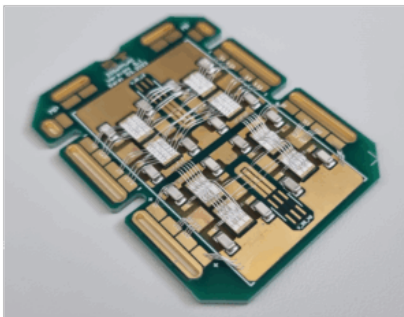
Im Rahmen des gemeinsamen Vorhabens „Clean Aviation Joint Undertaking“ der Europäischen Union hat sich das Projekt NEWBORN zum Ziel gesetzt, ein vollständig elektrifiziertes Regionalflugzeug zu entwickeln, dessen elektrische Architektur auf innovativer Brennstoffzellentechnologie basiert. Der Lehrstuhl für Leistungselektronik (LEE) leistet einen Beitrag durch Simulationen zum elektrischen Teilsystem.

Projektzeitraum	2023 – 2024
Partner	13 Partnern aus der europäischen Luftfahrtindustrie und Luftfahrtforschung
Fördergeber	HORIZON-JU-CLEAN-AVIATION-2022-01-HPA-02

HIGHLIGHT

Zero Overvoltage Switching

Jeder Leistungselektroniker kennt den Lehrsatz: „Ist die Abschaltüberspannung zu hoch, musst Du halt langsamer schalten!“ Das innovative patentierte Verfahren des Zero-Overvoltage-Switching (ZOS) durchbricht dieses Paradigma mit der erstaunlichen Botschaft „Aber wenn Du schnell genug schaltest, dann verschwindet die Überspannung plötzlich!“.



Beim Zero-Overvoltage-Switching werden inhärent vorhandene parasitäre Elemente gezielt genutzt, um Transistoren nahezu verlustfrei, überschwingungsfrei und mit maximaler Geschwindigkeit zu schalten. Dadurch wird ein vollständiges Ausschöpfen des Potenzials von Wide-Bandgap-Bauelementen möglich und der Weg zu noch effizienterer und kompakterer Leistungselektronik geebnet. Damit das Verfahren zuverlässig funktioniert, müssen zahlreiche Parameter sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Besonders entscheidend sind

das extrem schnelle Schalten – was hohe Anforderungen an den Gate-Treiber stellt – sowie der spezifische Aufbau der Kommutierungszelle, der exakt auf die ZOS-Bedingungen zugeschnitten sein muss. Nur wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, lassen sich die Vorteile von ZOS voll ausschöpfen.

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Frank Opferkuch,

Forschungsgruppe Dezentrale Energiewandlung und Speicherung am Nuremberg Campus of Technology (NCT)

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe für Dezentrale Energiewandlung und Speicherung (ENE) ist am Nuremberg Campus of Technology (NCT) angesiedelt. Seit der Berufung an die Technische Hochschule Georg Simon Ohm 2015, arbeitet die Forschungsgruppe Dezentraler Energiewandlung und Speicherung 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.

Forschungsfelder

Thermodynamische Systeme

In den Sektoren Gebäude & Industrie sind Thermodynamische Systeme wie Kältemaschinen, Wärmepumpen sowie Anlagen, die nach dem Rankine-Prinzip arbeiten, unverzichtbare Bausteine einer künftigen Versorgungstechnik für Kälte & Wärme, sowie bei der Abwärmenutzung in der Industrie. Die Umstellung von Wärmepumpen und Kältemaschinen auf nachhaltigere Kälte- und Arbeitsmittel, ständig steigende Anforderungen an energieeffizientere Lösungen sowie neue Anwendungen in Verbindung mit Energiespeichern, z.B. bei der Sektorkopplung, stellen diesen Wachstumsmarkt aktuelle vor große Herausforderungen. Die Forschungsgruppe ENE arbeitet mit Anlagen- und Komponentenherstellern sowie mit Anwendern an anwendungsorientierten Fragestellungen im Umfeld dieser Systeme.

Forschungsfeld Antriebssysteme

Im Sektor Verkehr ist die Entwicklung neuer, klimaneutraler Antriebssysteme die zentrale Aufgabenstellung, der sich alle Hersteller und Lieferanten verschrieben haben. Bei neuartigen Schlüsseltechnologien wie Batterien und Brennstoffzelle hat die angewandten Forschung im Moment wichtige Funktionen zu erfüllen. Die Forschungsgruppe ENE arbeitet gemeinsam mit Herstellern an neuen Fahrzeugbatterien und Brennstoffzellen nahe am Markteintritt und entwickelt zeit- und kosteneffiziente Testverfahren zur Absicherung neuer Technologien.

Bedeutende Projekte

BMWK Projekt EnEffWerk	Steigerung der Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit von spanenden Werkzeugmaschinen durch optimierte Kühlung mit ökoeffizienter und digitaler Kältetechnik
Projektzeitraum	10.2022 - 09.2025
Partner	BKW GmbH, GMN, HELLER, Fraunhofer ISE, Lehrstuhl für Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen (REP, Prof. Hanenkamp), SIEMENS
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
BMWF Projekt InnoREva	In Kooperation mit diversen Forschungsgruppen der Ohm und Industriepartnern werden neue Verdampfertechnologien für die Kältetechnik mit natürlichen Kältemittel für Wärmepumpen und Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln untersucht.
Projektzeitraum	02.2023 - 01.2026
Partner	Institut POF AC, Fakultät VT, KELVION
Fördergeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

BNG - Battery Next Generation

Forschung an Batteriesystemen für die nächste Generation schwerer Nutzfahrzeuge mit batterieelektrischen Antrieben. In Kooperation mit OEM und Zulieferern am Campus Future Driveline

Projektzeitraum

01.2023 - 12.2025

Partner

MAN, E.T.A.

Fördergeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi)

Batterieprüffeld der Forschungsgruppe am Campus Future Driveline



Die Elektrofahrzeug-Hersteller setzen heute bei eFahrzeugen auf Zellen auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie. Durch ständige Weiterentwicklungen konnte in den letzten Jahren deren Energiedichten gesteigert und die Kosten deutlich reduziert werden. Dadurch konnten auch große neue Märkte im stationären Bereich erschlossen werden. Während bei Elektrofahrzeugen in der Vergangenheit Kleinfahrzeuge und PKW im Vordergrund standen, sind nun Omnibussen und Nutzfahrzeuge ein aktueller Trend, wobei die Technologie nun das Potential hat einen Großteil aller dieser Anwendungen abdecken zu können. Die Herausforderungen bei schweren Nutzfahrzeugen sind aber extreme Anforderungen an die Robustheit im Fahrbetrieb auf der Straße oder abseits wie bei Baufahrzeugen, an die Fahrleistung wie bei Langstrecken-LKW und an die Verschleißfestigkeit der Zelle gegen das häufige Laden mit höchsten Ladeleistungen wie beim Mega-Watt-Charging. Neue Wege beim Thermomanagement, bei der Zellchemie und beim Zelldesign können Lösungsansätze dafür sein. Die Forschungsgruppe entwickelt, baut und betreibt spezielle Prüfeinrichtungen und Testmethoden, die für Erprobung dieser neuartigen Systeme besonders geeignet sind.

Versuchsfeld mit vollautomatisierten Prüfständen für Batteriesysteme am Campus Future Driveline

Energieeffizienz

Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing, Professur für Fluidsystemtechnik, Technische Fakultät, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Thermodynamische Analysen in dezentralen Energiewandlungssystemen
- Untersuchung des Massen- und Wärmetransports in transienten Prozessen
- Untersuchung von Sprays, Gas- und Flüssig-Injektoren, Brennstoffzellen, Wärmeübergang, Expertise in optischer In-situ-Messtechnik
- Entwicklung spezieller Prüfstände für F&E

Forschungsfelder

Wir befassen uns mit thermodynamischen Analysen in dezentralen Antriebs- und Energiesystemen wie Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen und batterieelektrischen Speichern. In diesen Systemen untersuchen wir transiente Stoff- und Wärmetransporte. Dabei nutzen wir Untersuchungsmethoden aus der Forschung und applizieren diese unter realen Betriebsbedingungen an Labor- und Seriensysteme. Eine spezielle Expertise liegt in der Anwendung von optischer in-situ Messtechnik mit hoher lokaler und zeitlicher Auflösung. Dies wird durch eigenentwickelte spezialisierte Prüfstände unterstützt sowie durch null- und eindimensionale Modellbildung.

Eine Übersicht über unsere Themenfelder finden Sie unter: www.FST.TF.FAU.de

Die Professur für Fluidsystemtechnik (FST) ist eine unabhängige Professur des Departments Chemie- und Bioingenieurwesen der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Aktuell besteht die Professur aus 16 drittmittelfinanzierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und 8 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Verwaltung und Technik. Wir sind in drei Arbeitsgruppen organisiert:

„Thermodynamik“ unter der Leitung von Dr.-Ing. Sebastian Rieß

Die Arbeitsgruppe verfügt über eine international etablierte Expertise in der Untersuchung von Kraftstoffsprays und Beurteilung von alternativen Kraftstoffen für innovative Antriebs- und Energiekonzepte. Spezielle Prüfstände erlauben Hoch-Durchsatz-Untersuchungen von Spray-, Zündungs- und Verbrennungsverhalten von Flüssigkeiten und Gasen. Die Arbeitsgruppe ist aktiv in der Lehre und Schulungen zu Effizienz und Transportprozessen.

„Elektrochemische Systeme“ unter der Leitung von Katharina Braun, M. Sc.

Die Arbeitsgruppe untersucht elektrochemische Prozesse für die Energie- und Stoffwandlung. Eingesetzt werden neue Mess- und Prüfmethode zur Untersuchung neuer elektrochemischer Prozesse, alternativer Energieträger wie LOHC und saisonaler Energiespeicher. Spezielle Kompetenzen der Arbeitsgruppe liegen in der rigorosen Effizienzbeurteilung neuer Energiesysteme sowie in der integrierten Simulations-Modellbildung und Testung (X-in-the-Loop).

„Messtechnik“ unter der Leitung von Dr.-Ing. Bastian Lehnert

Die Arbeitsgruppe stellt insbesondere optische Messmethoden zur orts- und zeitaufgelösten Erfassung von Fluidzusammensetzung (lokale Konzentration von Komponenten in Energieprozessen, Spray-Messtechniken und -analysen, Gasfeuchten) und thermodynamischen Größen zur Verfügung. Besondere Kompetenzen bestehen in der quantitativen Analyse von Flüssigkeits-Sprays, Raman-Untersuchungen in Gasen und hoch-zeitaufgelösten Wärmestrommessung.

Bedeutende Projekte

H2 Season	Übergeordnetes Ziel des Projekts H2Season ist es, eine elektrochemische Wasserstoffspeichertechnologie auf Basis von flüssigen Wasserstoffträgern (LOHCs) für die saisonale Speicherung von überschüssiger Wind- und Sonnenenergie auf Ihre Demonstratorauglichkeit im Bereich zwischen 60 – 500 MWh zu bewerten. Im Teilprojekt am FST werden in Simulation und Experiment die Thermodynamik der elektrochemischen (De-)Hydrierung von Aceton bzw. Isopropanol untersucht. Wesentliche Ziele sind frühzeitig energieeffiziente und systemdienliche Architekturen (optimaler Energie- und Stoffaustausch zwischen Teilsystemen) für die neuen Systeme in Wasserstoffwertschöpfungsketten zu identifizieren, die Umsetzung im Projekt zu optimieren und das thermodynamische Potenzial zu bewerten.
Projektzeitraum	04.2025 – 03.2028
Partner	Helmholtz Institut Erlangen-Nürnberg (Hi ERN)
Fördergeber	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi)
BMWE-Projekt Verdemo	Das Projekt zielt darauf ab, die industrielle Entwicklung von BZ-Technologie durch abgestimmte Entwicklungen in Modellierung (Simulation) und Brennstoffzellen-Prüftechnik (Experiment) zu beschleunigen. Die Modellierung muss skalenüberbrückend sein und die Kopplung der Komponenten in der MEA abbilden. Die Prüftechnik muss in der Lage sein, Randbedingungen der Simulation dynamisch im Experiment aufzuprägen und die Reaktion des Testobjekts dynamisch zu erfassen und in die Simulation zurückzugeben. Die Resultate aus diesem Zusammenspiel sollen die Industrie befähigen, auf verkürzter Zeitskala eine bessere Qualität in der (A) Analytik und Interpretation von Messergebnissen (Auswirkungen von MEA-Ergebnissen auf das System), (B) Erfassung von Messdaten im dynamischen Betrieb (schnelle Messung, Erfassung und Auswertung transienter Betriebszustände), (C) Entwicklung optimierter Prüfroutinen (standardisiert, gerafft, aussagekräftig) zu erreichen.
Projektzeitraum	11.2025 – 10.2028
Partner	Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach Forschungszentrum Jülich GmbH
Fördergeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)
H2 OHA	Wasserstoff-Gemischbildung in Off-Highway-Anwendungen (Messtechnikentwicklung, -optimierung und -applikation) Im Bereich der Off-Highway-Anwendungen (z.B. Baumaschinen, Tagebau) besteht die Notwendigkeit defossilisierter Antriebe zur Erreichung der Klimaziele zu entwickeln. Mit besonderen Anforderungen an Energiedichte, Robustheit und Laufzeit bieten sich hier als kurzfristig realisierbare Lösung Wasserstoffmotoren an. Die Eignung verschiedener Einblase- und Zündkonzepte für solche Motoren ist eine offene Fragestellung, derer sich das Projekt annimmt. Mit optischen Messtechniken werden Konzepte zur Saugrohr- und Niederdruck-Direktinblasung quantitativ hinsichtlich Gemischbildung verglichen und der Einfluss des Einblasesystems (Fokus: Injektor) bewertet. Darüber hinaus erfolgt mit dem Ziel einer nahezu emissionsfreien Verbrennung

eine Untersuchung der Zündung mit einer aktiv gespülten Wasserstoff-Vorkammer, um Magerbetrieb und damit die Vermeidung von Stickoxid-Emissionen zu ermöglichen. Komponenten der Einblase- und Zündsysteme sowie Untersuchungsmethodiken werden im Projekt spezifisch entwickelt.

Projektzeitraum

01.2023 - 12.2025

Partner

Liebherr Components, Deggendorf

Fördergeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi)

HIGHLIGHT

I BAT: Immersed-cooling Concepts for Electric Vehicle Battery Packs using Viscoelastic Heat Transfer Liquids (I-BAT)

Die Durchdringung des Weltmarktes mit Plug-in-Elektrofahrzeugen steht vor erheblichen technologischen Herausforderungen. Die Leistung von batterieelektrischen Antrieben wird unter anderem durch die Leistungsdichte und den Wirkungsgrad des EV Battery Thermal System (BTMS) beeinflusst, dem Heiz- und Kühlsystem für Batterien und Leistungselektronik. Lithium-Ionen-Batterien benötigen für einen optimalen Betrieb eine Temperatur von 15 bis 60 °C, wobei hohe Anforderungen an die Temperaturgleichmäßigkeit zwischen den Zellen gestellt werden. Die Leistungsdichte der Batteriekühlsysteme muss im Vergleich zum Stand der Technik verdoppelt werden, um leistungsstarke und kompakte Antriebe zu ermöglichen. Durch die enge Integration in Fahrzeuge stehen nur minimale Querschnitte für die verwendeten Flüssigkeitskühlmittel zur Verfügung. Dieser Herausforderung wird mit innovativen Kühlmitteln begegnet, die in Grundlagenuntersuchungen ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Kühlwirkung und zur Verringerung der Pumpverluste gezeigt haben. Gegenstand der Arbeit ist die Synthese und Charakterisierung von Kühlmitteln auf Mineralölbasis mit optimalen rheologischen und thermischen Eigenschaften, die für EV-BTMS geeignet sind. Die neuartigen Flüssigkeiten zur Verbesserung der Wärmeübertragung bestehen aus einer viskoelastischen flüssigen Trägermatrix mit suspendierten Nanopartikeln. Die dielektrischen Eigenschaften von Mineralölen ermöglichen die Realisierung von Immersionskühlsystemen mit verbesserten Wärmeübertragungsraten im Vergleich zu aktuellen Geräten mit indirekter Kühlung. Darüber hinaus können viskoelastische Additive dem Fluss einen kontrollierbaren nicht-newtonschen Charakter verleihen, was zu reduzierten Reibungsverlusten und damit zu 10-20 % weniger Druck führt.

Gleichzeitig begünstigt die selektive Verstärkung bestimmter Arten kohärenter Sekundärströmungen eine weitere Steigerung der Wärmeübertragung. Insgesamt zielt die vorgeschlagene Forschung darauf ab, die thermische Leistung zu verdoppeln. Die neu entwickelten Nanokühlmittel werden in einem BTMS-Prototyp getestet, um zu beweisen, dass diese Verbesserungen das Potenzial haben, den relevanten Transportsektor zu revolutionieren.



Energieeffizienz

Prof. Dr. Roswitha Zeis, Lehrstuhl Elektrische Energietechnik, Professur für Elektrische Wasserstoffsysteme, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsschwerpunkte

- Entwicklung von Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen und Vanadium-Redox-Flow-Batterien
- Analyse von Impedanzdaten mittels Verteilung der Relaxationszeiten (DRT)
- Test von elektrochemischen Wasserstoffpumpen
- Visualisierung von elektrochemischen Zellen und deren Komponenten mittels Röntgenstrahlung

Forschungsfelder

Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen

Es wird an Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen (HT-PEMFCs) und elektrochemischen Wasserstoffpumpen (EHPs) geforscht, die auf mit Phosphorsäure dotierten Membranen basieren. Die Verwendung von Phosphorsäure als Elektrolyt ermöglicht einen Betrieb der Zellen bei Temperaturen zwischen 160 °C und 200 °C und erhöht die Toleranz gegenüber üblichen Gasverunreinigungen wie beispielsweise Kohlenmonoxid (CO). Wir stellen Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs) her und charakterisieren deren Leistung in Einzelzellentests.

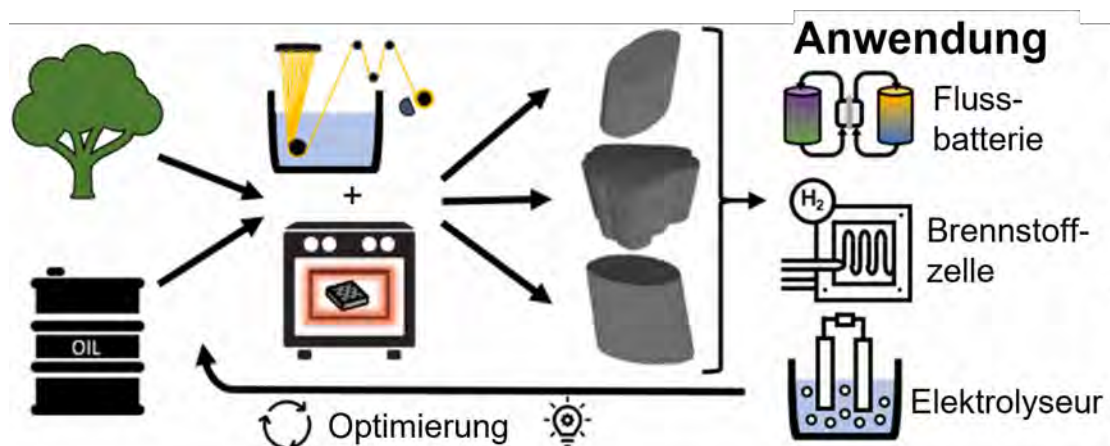
Vanadium-Redox-Flow-Batterien

Unsere Gruppe befasst sich ebenfalls mit Vanadium-Redox-Flow-Batterien (VRFBs), einer vielversprechenden Technologie zur Energiespeicherung im großen Maßstab. Wir designen und entwickeln neue Elektrodenmaterialien auf Kohlenstoffbasis und untersuchen diese mit einem multimodalen Charakterisierungsansatz. Unsere Expertise liegt in den Bereichen der elektrochemischen Charakterisierung und der röntgenbasierten Bildgebung mit Synchrotronstrahlung.

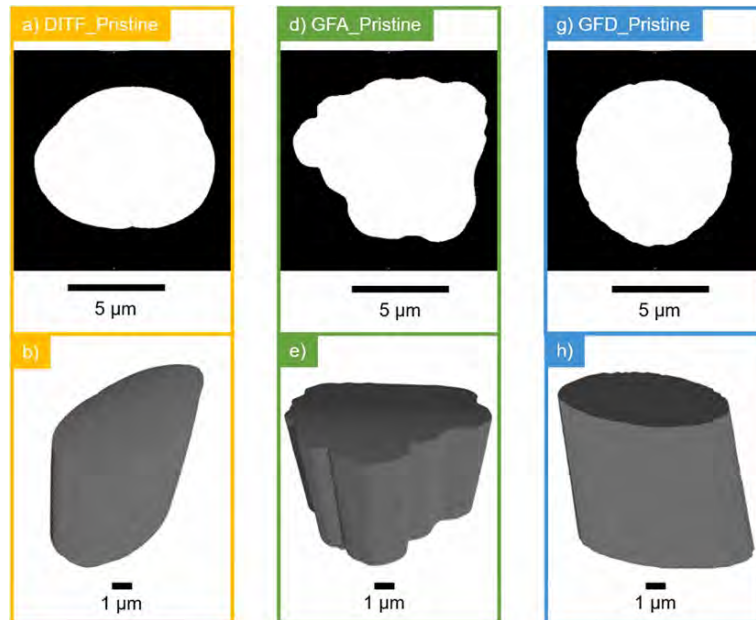
HIGHLIGHT

Kohlenstofffaser für elektrochemische Anwendungen

Kohlenstoffbasierte Elektrodenmaterialien werden in einer Vielzahl von Energiespeichersystemen eingesetzt und beeinflussen deren Leistung erheblich. Diese Studie untersucht im Labor hergestellte und kommerzielle Elektrodenmaterialien für Vanadium-Redox-Flow-Batterien (VRFBs) sowie den Einfluss der thermischen Behandlung auf diese Materialien.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen und Röntgen-Nanocomputertomografie zeigten signifikante Unterschiede zwischen den 3D-Formen der Kohlenstofffasern, die durch die Wahl des Ausgangsmaterials und den Herstellungsprozess beeinflusst werden. Beide haben einen entscheidenden Einfluss auf die innere Struktur der Fasern, wie z. B. Löcher, die die mechanische Stabilität verringern.



Röntgen-Nanocomputertomografie unterschiedlicher Kohlenstofffasern

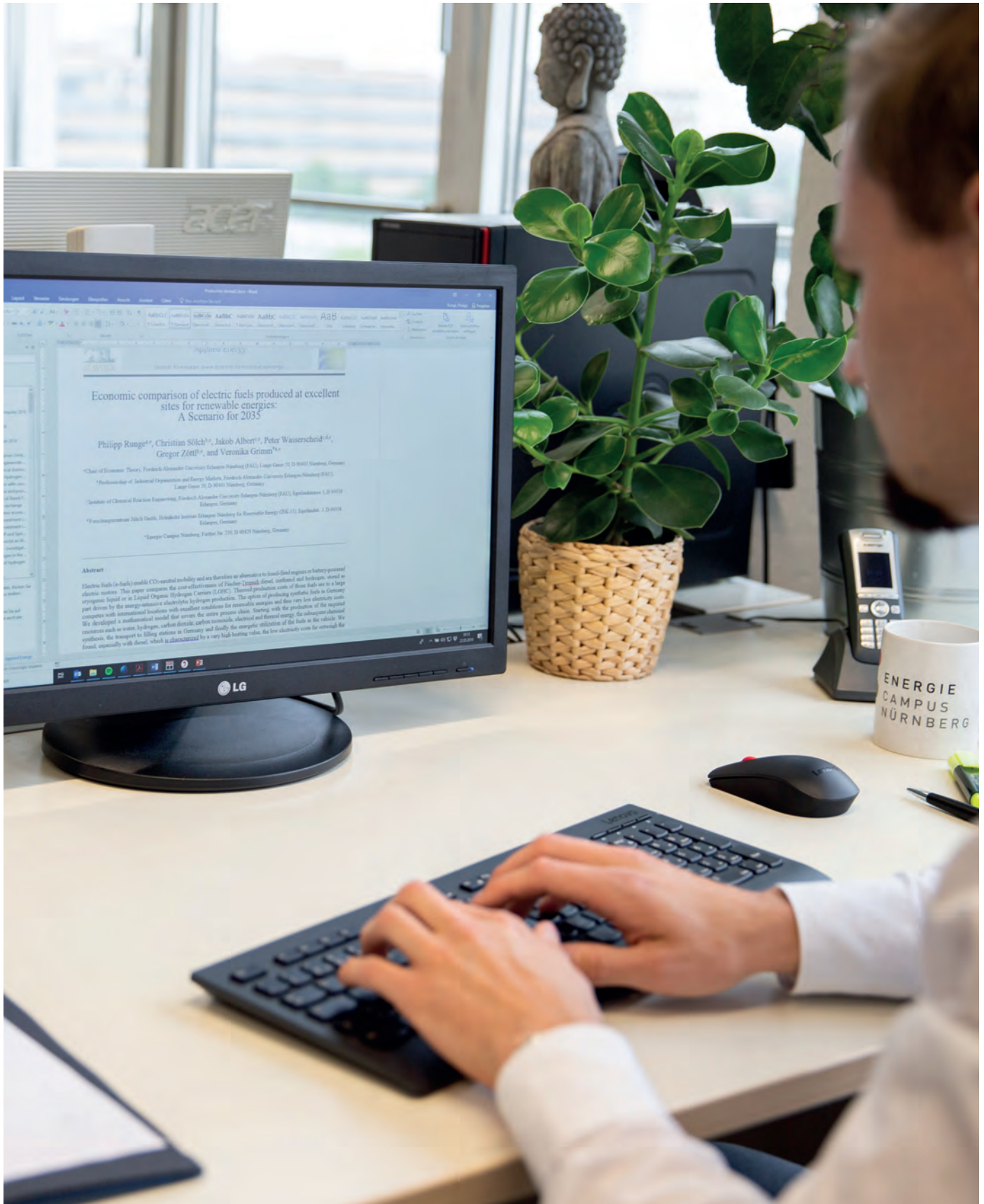
Darüber hinaus wurde die Zusammensetzung der Fasern mittels Weitwinkel-Röntgenstreuung und Röntgen-Photoelektronenspektroskopie untersucht, wobei insbesondere Unterschiede im Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalt der Fasern hervorgehoben wurden. Die angewandte Wärmebehandlung erhöhte den O-Gehalt und verbesserte damit die Benetzbarkeit des Materials, was mit dynamischer Dampfsorption untersucht wurde. Nach der Wärmebehandlung wurden keine strukturellen Veränderungen der Faserform festgestellt. Die elektrochemische Leistung der Materialien wurde für VRFBs untersucht. Die Untersuchung verschiedener Elektrodenmaterialien zeigt hier, wie wichtig die Wahl eines geeigneten Ausgangsstoffes und Herstellungsverfahrens ist und dass eine multimodale Charakterisierung der Materialien erforderlich ist, um potenzielle Kandidaten zu identifizieren.

Literatur

Schilling, M., M.P. Vocht, R. Debastiani, S. Scherer, F. Hermanutz, and R. Zeis, *Structure & composition of carbon fibers for electrochemical applications*. Journal of Power Sources, 2025. **647**: p. 237345 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.237345>.

FORSCHUNGSBEREICH

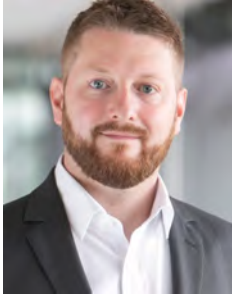
Technologieökonomie



Technologieökonomie

Prof. Dr. Mario Liebensteiner, Juniorprofessur für Energiemärkte und Energiesystemanalyse, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Die Forschungsgruppe „Technologieökonomik“ untersucht Fragestellungen rund um ein effizientes, sicheres und widerstandsfähiges Energiemarktdesign sowie die wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für die Transformation des Energiesystems. Im Fokus stehen unter anderem:

- Investitionsanreize in Flexibilitäten und nachhaltige Stromerzeugungstechnologien
- Eine effiziente Regulierung der Energieinfrastruktur, insbesondere der Netze
- Rolle des Staates und Effizienz marktwirtschaftlicher Instrumente

Bedeutende Projekte

Hydrogen-Ready Power Plants: Optimizing Pathways to a Decarbonized Energy System in Germany

Die Arbeit modelliert mit einem Kapazitätsoptimierungsmodell verschiedene Politik-Szenarien für wasserstofffähige Gaskraftwerke (H₂-CCGT) im deutschen Stromsystem bis 2050. Mindestens 53 GW H₂-CCGT sind nötig, um ein klimaneutrales System flexibel abzusichern; ohne CO₂-Preis oder gezielte Förderung wird Wasserstoff in diesen Anlagen erst nach 2040 wirtschaftlich eingesetzt. Ein steigender CO₂-Preis reduziert Kosten und Emissionen deutlich effizienter als reine Investitionszuschüsse, die Gasnutzung und Emissionen sogar erhöhen können.

Projektzeitraum

10.2024 – 06.2025

Partner

Hochschule Offenburg

Exploring the feasibility of low-carbon fuel blends in CCGTs for deep decarbonization of power systems

Die Umrüstung von Gaskraftwerken auf CO₂-arme Brennstoffe kann zur Dekarbonisierung beitragen und bestehende Infrastruktur weiter nutzen. Die Studie vergleicht technische und wirtschaftliche Optionen wie Wasserstoff, Ammoniak und Biomethan für deutsche und britische Kraftwerke. Biomethan erweist sich als besonders kosteneffizient, da kaum Umrüstungen nötig sind, während Wasserstofflösungen höhere Investitionen erfordern – insbesondere für Speicherinfrastruktur. Dennoch liegen die Stromgestehungskosten mit CO₂-armen Brennstoffen selbst unter günstigen Bedingungen über 120 €/MWh, sodass staatliche Subventionen nötig sein werden.

Projektzeitraum

02.2025 – 07.2025

Partner

Cambridge University
Hochschule Offenburg

From Gas to Coal: Environmental and Health Impacts of Europe's Energy Crisis

Ökonometrische Schätzung von zusätzlicher Kohleverstromung durch den Gaspreisanstieg während der Energiekrise 2021/22 in Europa und die dadurch zugenommene CO₂-Belastung, lokale Luftverschmutzung (Feinstaub, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide) sowie Gesundheitskosten.

Projektzeitraum

11.2024 – 06.2025

HIGHLIGHT

Hohe Strombörsenpreise trotz Hochlauf erneuerbarer Energien – Wie Markttrends den deutschen Strommarkt in den kommenden Jahren beeinflussen

In dieser Studie haben wir mithilfe eines ökonometrischen Modells (Datenzeitraum Januar 2015 – Mai 2023) untersucht, wie sich Deutschlands Großhandelsstrompreis bis 2030 entwickeln könnte. Berücksichtigt wurden alle zentralen Treiber des Strombörsenpreises, wie der Ausbau von Wind- und Solarenergie, Nuklearstromausstieg, steigende CO₂-Zertifikatspreise und hohe Gaspreise, wachsende Stromnachfrage durch E-Mobilität & Wärmepumpen sowie grenzüberschreitender Stromhandel. Um Rückwirkungen zwischen Handel und Preis auszuschließen, nutzen wir den Windstrom in Frankreich zur Instrumentierung.

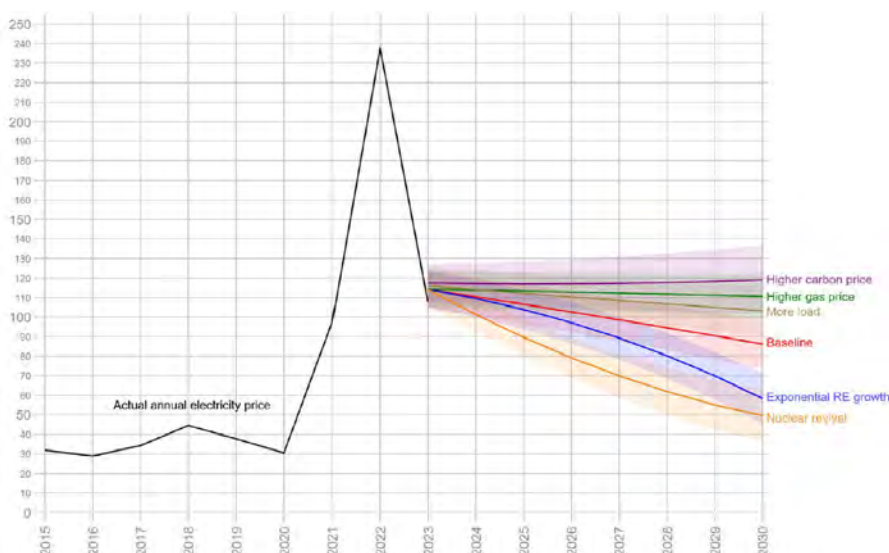
Zentrale Resultate: Erneuerbare Energien senken den Strombörsenpreis signifikant (Merit-Order-Effekt). Doch dieser dämpfende Impuls wird von fünf gegenläufigen Trends überlagert: mehr Stromnachfrage, höhere Gas- und CO₂-Kosten, der Wegfall von Kernenergie-Grundlast mit geringen Grenzkosten und sinkende Nettoexporte. So ist die Preisprognose für die kommenden Jahre, dass der Strombörsenpreis deutlich über dem Vorkrisenniveau bleiben wird.

Volatilität nimmt zu: Weil künftig ein größerer Teil des Systems von wetterabhängigen Quellen, schwankenden Brennstoff- und Zertifikatspreisen sowie Lastspitzen geprägt ist, rechnen wir mit deutlich stärkeren Preisausschlägen im Tages- und Saisonverlauf. So folgen Stunden und Tage mit sehr geringen oder sogar negativen Strompreisen Stunden und Tage mit sehr hohen Strompreisen. Das eröffnet Spielräume für flexible Technologien, erhöht aber das Risiko für Verbraucher.

Kernbotschaften:

- „Erneuerbar ≠ automatisch billig“
Ohne flankierende Maßnahmen wie Speicher, Lastflexibilität und Netzausbau wird der Strompreis trotz Solar- und Wind-Boom auf Jahre höher und sprunghafter bleiben als vor der Energiekrise.
- Preissignale als Chance für Investitionen
Ein dauerhaft hoher – aber volatiler – Preis kann genau die Anreize setzen, die wir für zusätzliche Flexibilitäts- und Effizienztechnologien brauchen, um den Weg zur 80 %-Erneuerbaren-Quote bis 2030 wirtschaftlich zu meistern.

Referenz: Liebensteiner, M., Ocker, F., & Abuzayed, A. (2025). High electricity price despite expansion in renewables: How market trends shape Germany's power market in the coming years. *Energy Policy*, 198, 114448.



Strompreisprognose der Studie gemäß verschiedenen politischen Szenarien.

FORSCHUNGSBEREICH

Transformation und Nachhaltigkeit



Transformation und Nachhaltigkeit

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

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Forschungsgruppe Smart Energy

- Sektorenggekoppelte Energiesystem-Simulationen
- Informations- und Kommunikationstechnologien in Smart Grids
- KI für die Erzeugung von Simulationen und Steuerungen
- Digitale Zwillinge und Szenarioanalysen
- Techno-ökonomische Bewertungen
- Datenbasierte Auslegung vernetzter Energiesysteme

Forschungsfelder

Sektorenggekoppelte Energiesystem-Simulationen

Modellierung und Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Gas und Verkehr in hochaufgelösten, regional skalierten Modellen, um Wechselwirkungen, Flexibilität und Netzausbauoptionen konsistent zu bewerten.

Informations- und Kommunikationstechnologien in Smart Grids

Untersuchung von Kommunikationsnetzen, verteilten Steuerungen und IKT-basierten Anwendungen zur stabilen, effizienten Betriebsführung vernetzter Erzeuger, Verbraucher und Speicher.

Digitale Zwillinge und Szenarioanalysen

Aufbau simulationsbasierter digitaler Zwillinge von Energiesystemen und systematische Was-wäre-wenn-Analysen zu Technik-, Markt- und Regulierungsmaßnahmen.

Techno-ökonomische Bewertungen

Verknüpfung physikalischer Simulationen mit Kosten- und Emissionskennzahlen zur Bewertung von Technologien (z. B. Speicher- und Wärmepumpen-Konzepte) und Betriebsstrategien.

Datenbasierte Auslegung vernetzter Energiesysteme

Nutzung datengetriebener Methoden – von verteilten Simulationsframeworks bis zu Reinforcement Learning – zur Dimensionierung, Regelung und Optimierung von Energieverbünden.

Bedeutende Projekte

BMBF-Projekt Klimapakt2030plus

Erstellung eines Simulationswerkzeug zur Unterstützung von Entscheidungsträgern und Interessengruppen bei der Umsetzung der Energiewende mit Hilfe eines umfassenden Energiesystemmodells. Es ermöglicht die Analyse von Wechselwirkungen zwischen Energiequellen, Speicheroptionen und Verbrauchsmustern unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie Netzinfrastuktur und regionalen Gegebenheiten. Indem es die Auswirkungen politischer Maßnahmen auf die Dynamik der Energieversorgung veranschaulicht, schließt das Tool die Lücke zwischen den politischen Zielen und der praktischen Umsetzung.

Projektzeitraum

12.2022 – 11.2027

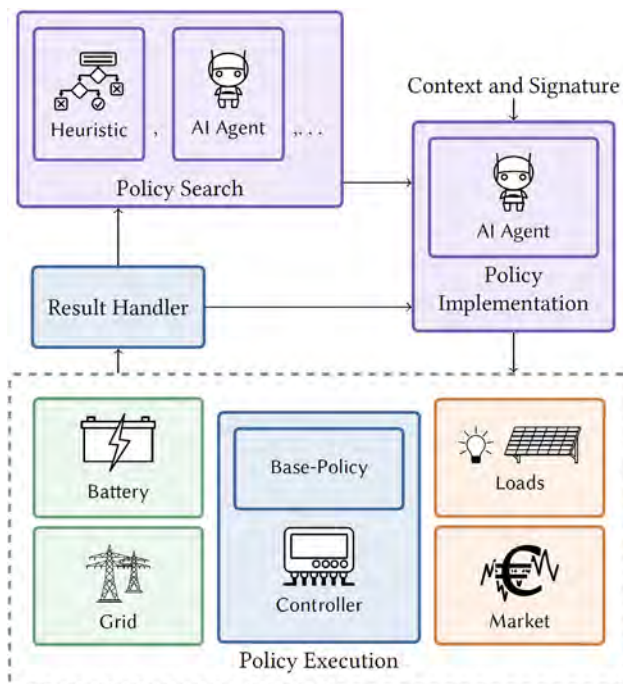
Partner

Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, FAU Erlangen-Nürnberg
Verein EMN Europäische Metropolregion Nürnberg e. V.
Informatik XI (Modellierung und Simulation), Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

	HafenCity Universität Hamburg
Fördergeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
DFG-Projekt NFDI4Energy	Die Nachverfolgung von Daten und Modellen in der Forschung zu cyber-physischen Energiesystemen stellt eine komplexe Herausforderung dar, die in jedem Forschungsprojekt neu bearbeitet werden muss. Diesen Herausforderungen begegnet nfdi4energy über den gesamten Forschungs- und Transferzyklus von Projekten in der Energiesystemforschung: Von der Identifizierung von Partnern mit relevanten Kompetenzen und Wissen für ein Projekt, über die Formulierung von Forschungsvorhaben und Experimenten, der Identifizierung und Kopplung von Methoden, Modellen und Daten, der Vorbereitung von Ergebnissen zur Veröffentlichung bis hin zur Identifizierung von Folgeaktivitäten.
Projektzeitraum	03.2023 – 02.2028
Partner	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Carl von Ossietzky Universität Oldenburg Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT) Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) Karlsruhe Institute of Technology (KIT) OFFIS e.V. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen
Fördergeber	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
BMBF-Projekt KMU-innovativ deQarb	Ziel ist die Entwicklung einer Web-Anwendung, die auf Basis innovativer Zustandserfassung computergestützte Maßnahmenpakete und Aktionspläne zur Effizienzsteigerung und Dekarbonisierung von Gebäuden, Portfolios und Quartieren erstellt – unter Berücksichtigung von ROI, Kosten, Lebenszyklus und Ökobilanz. Dies kann den CO ₂ -Fußabdruck von Immobilien pro Sanierungszyklus deutlich senken, abhängig von Investitionsbereitschaft und Rahmenbedingungen. Dazu kombiniert deQarb den zellularen Modellierungsansatz im i7-AnyEnergy-Framework mit einem zentralen DataHub für interne und externe Datenquellen sowie Konflikt-, Reality- und Feasibility-Checks.
Projektzeitraum	08.2025 – 07.2027
Partner	BUILD.ING Consultants + Innovators GmbH
Fördergeber	Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
DFG-Projekt Adaptive Quality-of-Service-Management für einen effizienten und resilienten Betrieb intelligenter Verteilnetze	Untersucht wird die verlässliche Bereitstellung von Smart-Grid-Services (SGSs) in Verteilnetzen trotz knapper Netzwerk- und Rechenressourcen durch Online-Rekonfiguration der Kommunikationsinfrastruktur und gesicherte QoS. Methodisch wird ein zweistufiger Ansatz eingesetzt: (1) diskrete Optimierung/Constraint-Satisfaction zur Zuordnung von SGSs zu verfügbaren Servern sowie zur Pfad- und Flow-Allokation unter Ressourcenrestriktionen; (2) Network Calculus zur analytischen Absicherung von QoS-Anforderungen (z. B. Worst-Case-Latenzen) für kritische Dienste. Der Ansatz identifiziert ressourcenschonende Kommunikationspfade, verhindert Netz- und Rechenengpässe und ermöglicht eine zuverlässige Ausführung kritischer Funktionen.
Projektzeitraum	07.2022 – 10.2025
Partner	Energieinformatik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Fördergeber	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

HIGHLIGHTS

Adaptive Selbstverbesserung für intelligentere Energiesysteme durch Agentic Policy Search



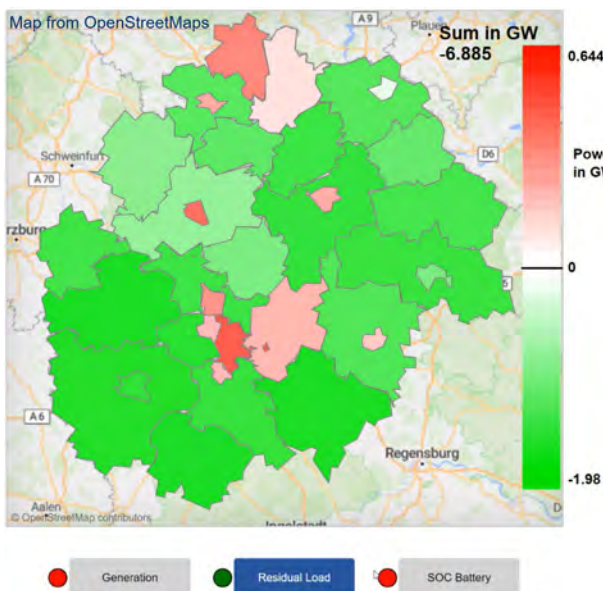
Systemarchitektur des Agentic Policy Search (APS)-Frameworks

Ziel der Forschung ist es, mit Agentic Policy Search (APS) ein hierarchisches Optimierungsverfahren zu entwickeln, in dem Large Language Models (LLMs) eigenständig transparente Steuerlogiken für gekoppelte Energiesysteme entwerfen und anhand von Simulationsergebnissen schrittweise verbessern. APS kombiniert dazu drei Ebenen – Policy-Ausführung, LLM-basierte Code-Generierung und Meta-Suche – und stützt sich dabei methodisch auf Powells Universal Modeling Framework, sodass jede Entscheidung als ausführbarer Code vorliegt statt als Black-Box-Aktion. Anhand eines realitätsnahen Mehrsektor-Szenarios wird das Vorgehen iterativ bewertet; das LLM erhält Feedback, passt seinen Code an und sucht nach besseren Varianten.

Bereits nach wenigen Iterationen erreicht APS Strategien, deren Kosten- und Emissionswerte dicht an einer streng optimierten Benchmark liegen und damit das Potenzial konventioneller Verfahren nahezu ausschöpfen. Die erzeugten Controller umfassen verschiedene Klassen von Strategien; robuste, regelbasierte Lösungen dominieren, während komplexere Ansätze nur selektiv Mehrwert bieten. Insgesamt belegt die Forschung, dass LLM-gestützte Optimierung anpassungsfähige und nachvollziehbare Steuerlogiken für zukünftige Smart-Energy-Anwendungen bereitstellen kann. [Agentic Policy Search](#)

Insamt belegt die Forschung, dass LLM-gestützte Optimierung anpassungsfähige und nachvollziehbare Steuerlogiken für zukünftige Smart-Energy-Anwendungen bereitstellen kann. [Agentic Policy Search](#)

Analyse intelligenter Energiesysteme mit dem agentenbasierten Simulationsframework i7-AnyEnergy



i7-AnyEnergy-Simulation zum Wasserstoffpotenzial in der Europäischen Metropolregion Nürnberg

In der Forschungsgruppe *Smart Energy* wird die Entwicklung von i7-AnyEnergy vorangetrieben, einem eigenständigen, quelloffenen Simulationsframework für die schnelle Modellierung komplexer Smart-Energy-Systeme. Das Werkzeug kombiniert agenten- und komponentenbasiertes Design mit einem hierarchischen Interface/Filter-Konzept, das Energie-, Informations- und Kostenflüsse abstrakt handhabt und somit detaillierte physikalische Modelle bei Bedarf ersetzt. Durch einen zellularen Ansatz lassen sich atomare und aggregierte Energiezellen hierarchisch oder als Nachbarschaften koppeln, wodurch Analysen vom Gebäude bis zur Region skalierbar werden. Aufbauend auf AnyLogic erweitert i7-AnyEnergy dieses um eine verteilte Observer-Struktur, Drag-and-Drop-Komponenten und konfigurationsbasierte Workflows für großskalige Modelle.

In Fallstudien – etwa zur hybriden Optimierung eines Zementwerks und zur Wasserstoff-Potenzialanalyse der Metropolregion Nürnberg – wurde das Framework erfolgreich

zur Kopplung von Produktion, Speichern, Märkten und Netzen eingesetzt. Dabei zeigten sich deutliche Kosteneinsparungen und CO₂-Reduktionen sowie belastbare Handlungsempfehlungen für Netz- und Speicherausbau. Die Forschung zeigt, dass i7-AnyEnergy den Modellierungsaufwand reduziert und gleichzeitig transparente, flexible Steuerungsstrategien für zukünftige sektorengesetzte Energiesysteme ermöglicht. [i7-AnyEnergy](#)

Ausgründung Eta-Q GmbH

Start-up



www.eta-q.de

Eta-Q GmbH

Äußere Bayreuther Straße 59
90409 Nürnberg

Eta-Q (www.eta-q.de) ist eine Ausgründung der Forschungsgruppe *Smart Energy*, die datenbasierte Analysen für komplexe, sektorgekoppelte Energiesysteme anbietet. Ziel ist, verborgene Effizienzpotenziale zu heben, Resilienz zu steigern und Investitionen fundiert zu planen – mit maßgeschneiderten Lösungen, die in wenigen Wochen einsatzbereit sind. Das Angebot fußt auf über 20 Jahren akademischer Forschung, mehr als 20 Projekten mit Netzbetreibern, Stadtwerken und Industrie sowie zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

Eta-Q erstellt Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsstudien entlang der gesamten Kette (Erzeugung, Transport, Nutzung) – für Investitionssicherheit und belastbare Business-Cases. Mit digitalen Zwillingen und Custom-Simulationen Ihrer Standorte und Netze werden vorausschauende Planungen und schnelle Was-wäre-wenn-Analysen ermöglicht. Die Bewertung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Smart Grids zeigen auf, wie leistungsfähige ICT-Infrastruktur eine stabile und skalierbare Betriebsführung unterstützt.

Die Leistungen adressieren private und öffentliche Akteure. Im öffentlichen Bereich unterstützt Eta-Q bei Versorgungssicherheit via Extremszenarien, strategischer Sektorkopplung und der Priorisierung von Maßnahmen nach Wirkung, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Im privaten Bereich unterstützt Eta-Q Unternehmen bei der Elektrifizierung und Sektorkopplung (PV, Speicher, Wärmepumpen, E-Mobilität), der optimierten Betriebsführung (Lastmanagement, Peak-Shaving, Flexibilitätsnutzung) und investitionssicheren Entscheidungen durch belastbare Szenario- und Wirtschaftlichkeitsanalysen.

Transformation und Nachhaltigkeit

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

Kurzvorstellung 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

DFG-Sonderforschungsbereich Trans- regio SFB / TRR 154

Der DFG-geförderte Sonderforschungsbereich „Modellierung, Simulation und Optimierung am Beispiel von Gasnetzwerken“ widmet sich der Entwicklung neuer mathematischer Methoden mit dem Ziel, die Effizienz der Gasversorgung zu verbessern – sowohl im Hinblick auf den Transport als auch unter Berücksichtigung marktregulatorischer Rahmenbedingungen und der Kopplung mit anderen Energieträgern. Aktuell liegt die Transformation zu Wasserstoffnetzen im Fokus.

Projektzeitraum

07.2014 – 06.2026

Partner

Sprecher: FAU, Sprecher/in: A. Martin (07/2014-03/2023), F. Liers (seit 04/2023) TUDa, TUB, HUB, WIAS, UDE, ZIB, UTN, DESY.

Fördergeber

HIGHLIGHT

Sektorgekoppelte Gasnetzsimulation

Im Rahmen des Forschungsprojekts ESM-Regio (Mitarbeiter der OUDA Forschungsgruppe: Dr. Kevin Aigner) wurde zur sektorgekoppelten Modellierung des Gassektors ein zeitlich und räumlich hochaufgelöstes Simulationsmodell abgebildet, das auf vereinfachten isothermen Euler-Gleichungen basiert. Damit konnte der Gasfluss im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Bayreuth realitätsnah simuliert werden.

Der Anwendungspartner stellte eine detaillierte digitale Netzabbildung zur Verfügung, die sich mit dem Python-Tool *pandapipes* effizient weiterverarbeiten ließ. Das Modell bildet alle relevanten Druckstufen – von Hoch- bis Niederdruck – inklusive der Gasdruckregelanlagen ab.



Abbildung 1: Gasverteilnetz der Stadt Bayreuth.

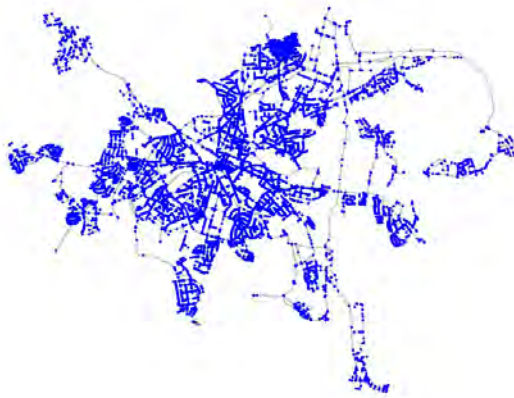


Abbildung 2: Graphentheoretische Darstellung des Gasnetzes in pandapipes.

Da gemessene Verbrauchsdaten nur teilweise vorlagen, wurden für viele Zählpunkte standardisierte Lastprofile verwendet. Zusätzliche Informationen zur Art der Gaskunden, bereitgestellt durch die Stadtwerke, ermöglichten eine plausible Zuordnung der Verbrauchswerte. Die Modellvalidierung erfolgte mithilfe historischer Messdaten aus dem Jahr 2019 an der Gasübernahmestation. Zur Kopplung mit dem Wärmesektor und der zentralen Simulationssteuerung wurden darüber hinaus Aggregations- und Disaggregationsmethoden für die unteren Druckebenen entwickelt. Diese ermöglichen eine effiziente Reduktion der Modellkomplexität an der Schnittstelle zwischen Gas- und Wärmesektor.

Mathematische Optimierung von Sektorkopplungstechnologien

Zur gesamtheitlichen Betrachtung aller Sektoren wurden im Projekt ESM-Regio ein simulationsgestütztes, mathematisches Optimierungsmodell entwickelt. Hierfür wurden graphenbasierte, zeitexpandierte Lastflussmodelle aus der Stromnetzoptimierung um die im Projekt betrachteten Sektorkopplungstechnologien erweitert. Um die Rechenzeiten bei der Bestimmung optimaler Steuerungsstrategien zu reduzieren, kommen räumliche und zeitliche Aggregations- und Approximationsverfahren zum Einsatz. Diese verringern die Rechenkomplexität durch Dimensionsreduktion und Relaxierung der Nichtlinearitäten – insbesondere bei der Modellierung der Strom- und Gasflüsse. Das im Projekt entwickelte lernbasierte Optimierungsverfahren passt diese Modellvereinfachungen iterativ in einem konvergenten Austausch mit detaillierten Simulationsmodellen der einzelnen Sektoren an.

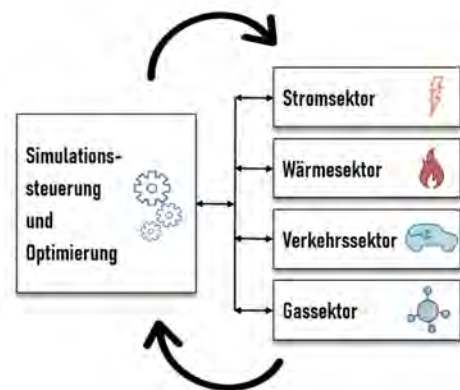


Abbildung 3: Zusammenspiel Optimierung und Simulation der Sektoren. Quelle: Natalia Luna-Jaspe.

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Jan Lohbreier, Computational Physics For Green Energy, Fakultät Angewandte Mathematik, Physik und All-gemeinwissenschaften, 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 und auch Ersatzmodelle ein. Diese sogenannten Surrogate Models basieren auf mathematische Methoden des Maschinellen Lernens und dienen der Steigerung der Effizienz und Senkung der Kosten der Berechnungen.

Bedeutende Projekte

BMWK Projekt E MPOWER	Im Rahmen dieses BMWK-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. (siehe auch „Im Fokus“ in diesem Heft)
Projektzeitraum	07.2022 – 09.2025
Partner	FAPS@FAU, Electreon, Risomat, VIA IMC, Autobahn GmbH
Fördergeber	BMWK
EU Projekt LoLiPoP IoT	Mit Hilfe von Energy Harvestern werden im Rahmen eines EU CHIPS JU-Projekts 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	06.2023 – 05.2026
Partner	Über 40 internationale, europäische Partner (https://www.lolipop-iot.eu/)
Fördergeber	EU
DFG Projekt DuraFuelCell	Dieser DFG-Forschungsimpuls konzentriert sich auf die Erhöhung der Haltbarkeit von PEM-Brennstoffzellen und die Steigerung von deren Effizienz. Dafür werden auf verschiedenen Skalen Prozesse experimentell untersucht und mittels Computersimulation nachgebildet, um valide Modelle zu entwickeln.
Projektzeitraum	04.2024 – 03.2029
Partner	Gemeinsam mit 9 Kolleginnen und Kollegen der TH Nürnberg
Fördergeber	DFG

HIGHLIGHT

DuraFuelCell – interdisziplinäre Grundlagenforschung zu PEM-Brennstoffzellen

Neun Kolleginnen und Kollegen erforschen im Rahmen eines DFG-Forschungsimpulses gemeinsam wie PEM-Brennstoffzellen dauerhaft haltbarer gemacht werden können. Beispielhaft sieht man auf dem Foto die Doktorand*innen (v.l.) Lena Birkner von der Angewandten Chemie, Lisa Machard von den Werkstoffwissenschaften sowie Fabian Gumpert und Zahra Harati von der Computational Physics For Green Energy-Gruppe. Wir untersuchen mehrskalig, das heißt vom Kleinen auf μm -Zellebene bis zum Großen auf cm-Stackebene, die Prozesse, die zur Alterung von PEM-FC beitragen.



Chemischer Prüfstand

Besonders hervorzuheben bei diesem großen Projekt ist die kooperative und enge Zusammenarbeit zwischen Experiment (oben: Lena Birkner und Zahra Harati vor einem chemischen Prüfstand) und Simulation. Primäres Ziel ist dabei ein digitales Abbild des experimentellen Aufbaus und eine Umsetzung der z.B. chemischen Prozesse durch mathematische Gleichungen. Im Erfolgsfall kann das Modell anhand von im Labor zugänglichen Parametern und Messgrößen validiert werden. Dann eröffnet sich ein großes Feld von Anwendungen: Man kann experimentell unzugängliche Messwerte ermitteln, eventuelle Degradationsmechanismen kombiniert untersuchen und theoretisch sogar neue naturwissenschaftliche Zusammenhänge erarbeiten. Dafür benötigt man selbstverständlich ein hochauflösendes – und zwar in Zeit (Millisekunden bis Stunden) und Raum (μm bis cm) – und zuverlässiges Computermodell. Daran arbeiten wir zusammen im Team von DuraFuelCell!

Transformation und Nachhaltigkeit

Prof. Dr. Verena Tiefenbeck, Professur/Lehrstuhl für Digitale Transformation, Institut für Wirtschaftsinformatik, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, FAU Erlangen-Nürnberg

Kurzvorstellung Forschungstätigkeit



Wir verwenden digitale Technologien, um menschliches Verhalten in der realen Welt – vor allem in den Bereichen Energie, Nachhaltigkeit, Mobilität und Gesundheit - zu untersuchen, und wir nutzen die Erkenntnisse aus dem Verhalten, um effektivere Informationssysteme zu entwickeln, beispielsweise

- Entscheidungsverhalten in digitalen Umgebungen
- Thermischer Komfort als Service
- Einfluss der Entscheidungsarchitektur auf Mobilitätsverhalten

Bedeutende Projekte

Nachwuchsforschungsgruppe “Digital technologies and human behaviour: transforming consumer behaviour in the energy and mobility sector”	
Projektzeitraum	10.2019 – 12.2026
Fördergeber	Bayerisches Institut für Digitale Transformation (Projektkoordination), Bayerisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst (STMWK)
ShopHero	
	Analyse von Bonuskartendaten mit Hinblick auf CO2-Emissionen und darauf basierend Entwicklung wirksamer digitaler Interventionen in Online-Supermärkten; Vergleich von Methoden zur Ermittlung von Lebensmittelabfällen
Projektzeitraum	01.2022 – 06.2025
Partner	ETH Zürich, Universität Zürich, Stanford University
Fördergeber	Schweizer Nationalfonds (SNF)
Thermal Comfort as a Service	
	Analyse von Gebäudedaten auf dem AEG-Campus mit Fokus auf einfach umsetzbare Maßnahmen zur Energieeinsparung
Projektzeitraum	06.2023 -12.2025
Partner	Univ. of Georgia, Univ. of Melbourne, Technische Hochschule Nürnberg
Fördergeber	EnCN - Förderung, Schöller-Stiftung
Hemmnisse für Senioren vor Nutzung des ÖPNV	
	Analyse der Hemmnisse für Senioren bzgl. der Nutzung des ÖPNV und Entwicklung von Konzepten zur Akzeptanzsteigerung
Partner	Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fördergeber	Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (VAG)

HIGHLIGHTS

EXIST-Forschungstransferprojekt mit Universität Bamberg

In den vergangenen Jahren konnte das Team viel Wissen aufbauen zu datengetriebenen personalisierten Verhaltensinterventionen, vor allem in den Bereichen Energie, Mobilität und Gesundheit. Aufbauend auf diesen vielfältigen Erfahrungen und Methoden konnte 2024 Verena Tiefenbeck und ein Team von Forschern der Universität Bamberg gemeinsam ein EXIST-Forschungstransferprojekt einwerben. Im Rahmen der 18-monatigen Förderphase mit dem Ziel einer Ausgründung wird eine KI-basierten Lösung entwickelt, die Vertriebsteams durch personalisierte Verhaltensinterventionen dabei unterstützt, ihre individuellen Ziele zu erreichen. Die Technologie kombiniert Erkenntnisse der Verhaltensökonomie mit erklärbarer künstlicher Intelligenz, um gezielte Feedbacks und Handlungsanweisungen zu geben, die den Erfolg im Vertrieb steigern. Der Mehrwert der Lösung wird derzeit im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Feldstudie bei einem ersten Praxispartner untersucht und soll eine solide Grundlage für einen erfolgreichen Markteintritt nach der Förderperiode schaffen.



v.l.n.r.: Prof. Dr. Verena Tiefenbeck (FAU), von System One Labs: Samuel Schöb, Felix Haag, Carlo Stingl, Prof. Dr. Thorsten Staake (Uni Bamberg)

Studien zum Entscheidungsverhalten beim Einkauf

Gemeinsam mit Forscherinnen und Forschern der ETH Zürich, der Stanford University und der Harvard University hat das Team eine Reihe von Studien in realitätsnahen Online-Supermarktumgebungen entwickelt und durchgeführt. Ziel ist es je nach Studie, entweder den Anteil gesünder oder nachhaltiger Lebensmittel im Warenkorb zu erhöhen. Dabei werden unterschiedliche Maßnahmen wie personalisiertes Echtzeitfeedback oder unterschiedliche Labels zur Nährwertkennzeichnung systematisch unter realitätsnahen Bedingungen auf ihre Wirksamkeit hin überprüft. Die Online-Einkaufsplattform bietet zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen Datenerhebungsmethoden wie Selbstberichten von Konsumentinnen und Konsumenten, die tendenziell mit systematischen Verzerrungen und Fehlern behaftet sind. Während sich die meisten Arbeitspapiere noch im Begutachtungsprozess befinden, konnten erste Studien unter der Federführung von Leonie Manzke bereits in der Zeitschrift *Appetite* (doi:10.1016/j.appet.2025.108032) und auf mehreren Konferenzen veröffentlicht werden.

IM FOCUS – Projekt E|MPower

Prof. Dr. Jan Lohbreier & Fabian Gumpert, Computational Physics for Green Energy, Ohm,
Michael Schmidt, Institut ELSYS, Ohm

Ein Elektrofahrzeug fährt über die Autobahn – und der Batteriespeicher entlädt sich nicht beim Fahren, sondern lädt sich dabei sogar auf. Was nach Zukunftsmusik klingt, ist jetzt Realität. Im **Projekt E|MPower** wurde am 6. Juni 2025 ein bedeutender Feldversuch zum dynamischen Laden auf einem 1 Kilometer langen Teilstück der Autobahn A6 eröffnet. Anwesend waren unter anderem Bayerns Innenminister Joachim Herrmann und Wissenschaftsminister Markus Blume. Im Pilotprojekt wird das induktive Laden von Fahrzeugen während der Fahrt untersucht, besonders im Hinblick auf die Elektrifizierung der Autobahn für den Schwerlastverkehr. Der Fokus der Forschung liegt hierbei auf Problemstellungen in der automatisierten Fertigungstechnologien und der simulationsunterstützten Leistungsbestimmung des induktiven Übertragungssystems.

Induktive Energieübertragung als Schlüsseltechnologie

Das Geheimnis hinter dieser Entwicklung ist die induktive Energieübertragung durch elektromagnetische Wechselfelder, eine Methode, bei der elektrische Energie berührungslos, also ohne physische Kabelverbindungen, übertragen wird. Auf diesem physikalischen Prinzip beruht die Energiewandlung bei Transformatoren und auch das kabellose Laden von Smartphones. In diesem Fall ermöglicht die induktive Übertragung das Laden von Elektrofahrzeugen während der Fahrt über ein elektromagnetisches Feld.

Im Straßenkörper der Teststrecke sind Spulen eingelassen, die Wechselfelder erzeugen. Im Fahrzeugboden befinden sich Sekundärspulen, die als Empfänger fungieren. Sobald ein Fahrzeug über den aktivierten Abschnitt fährt, werden die Fahrbahn-Spulen gezielt über eine Leistungselektronik angesteuert, sodass berührungslos Energie übertragen wird.

Schnell und Effizient

Die eingesetzten Wechselfelder arbeiten mit einer Frequenz von ca. 86 kHz. Selbst bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h bewegt sich das Fahrzeug innerhalb einer

Periode des Wechselfeldes um weniger als 1 mm – genug Zeit für eine Energieübertragung mit hohem Wirkungsgrad. Dank mehrerer hintereinander geschalteter Spulen, der Steuerung der Magnetfelder und einer leistungsfähigen Regelungstechnik bleibt die Energieübertragung stabil und arbeitet selbst bei hohen Geschwindigkeiten sehr effizient.

E|MPower: die Zukunft der Elektromobilität

Der Feldversuch ist Teil des Verbundprojekts E|MPower, das von verschiedenen Institutionen und Unternehmen getragen wird. Der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg leitet das Konsortium, zu dem neben der Technischen Hochschule Nürnberg die VIA IMC GmbH, die Autobahn GmbH, die Firma Electreon, und die Risomat GmbH & Co. KG gehören. Finanziert wird das Vorhaben vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 01MV22020A im Rahmen des Programms „Elektro-Mobil“. Die Deutsche Autobahn GmbH ermöglicht die Umsetzung auf einem Streckenabschnitt auf der Autobahn A6.

Neue Perspektiven für Elektromobilität und Wirtschaft

Am Anfang steht die Electric Road System -Technologie (ERS) des israelischen Start-Ups Electreon, die einen Paradigmenwechsel für die Elektromobilität einleiten könnte. Durch die Möglichkeit des kabellosen Ladens über die Straße können in Fahrzeugen kleinere und leichtere Batterien verbaut werden, was nicht nur die Kosten senkt, sondern auch die Abhängigkeit von Rohstoffen reduziert. Für die Transportbranche, insbesondere für LKWs und Busse, bietet die ERS-Technologie eine skalierbare Lösung mit erhöhter Leistungsfähigkeit durch mehr Spulen im Fahrzeugboden. Darüber hinaus eröffnen sich neue Geschäftsmodelle rund um die „elektrifizierte Straße“ – eine Infrastruktur, die über den reinen Transport hinaus Mehrwert für Unternehmen und Verbraucher bietet.



Abbildung 1: Von dem Labor auf die Straße. Spulen werden im Labor getestet und in dem Pilotprojekt in die Autobahn eingebaut. Quelle: Seamless Energy, Jakob Schmitz

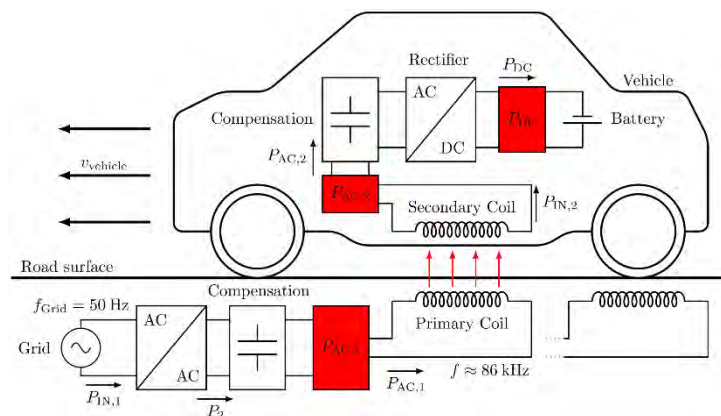


Abbildung 2: Prinzipdarstellung des induktiven Übertragungssystems. Quelle: Institut ELSYS, Tom Gaupp

Technologische Optimierung für den Massenmarkt

Das Projekt E|MPower untersucht die gesamte Wertschöpfungskette eines elektrifizierten Straßensystems. Besondere Schwerpunkte sind die Integration der Spulen in den Straßenbau und die Effizienzsteigerung der Fertigungstechnologie. Wissenschaftler aus der Ohm verantworten die simulationstechnische und messtechnische Untersuchung von Verlustmechanismen bei der kontaktlosen Leistungsübertragung. Ihre Erkenntnisse

sollen dazu beitragen, die Technologie zu optimieren und für eine breite Markteinführung vorzubereiten. Wenn sich das Konzept bewährt, könnte es langfristig maßgeblich zur flächendeckenden Elektrifizierung von Straßen beitragen und die Elektromobilität auf eine neue Stufe heben.

Autoren: Michael Schmidt (Institut ELSYS) und Fabian Gumpert (Computational Physics For Green Energy), Ohm Technische Hochschule Nürnberg

E|MPower untersuchte die Elektrifizierung der Autobahn zum Laden des Schwerlastverkehrs während der Fahrt. Hierbei wurde die automatisierte Fertigung und die simulationsunterstützte Leistungsbestimmung des induktiven Übertragungssystems bearbeitet. Das Wirkprinzip funktioniert wie beim induktiven Laden des Smartphones. Hierdurch werden neue Perspektiven für die Elektromobilität und die Wirtschaft geschaffen. Durch die Elektrifizierung der Straße wird die Reichweite der Elektrofahrzeuge deutlich gesteigert.

IM FOCUS – Projekt Kopernikus ENSURE

Dr. Gert Mehlmann, Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme, FAU

Das vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) geförderte Projekt **Kopernikus ENSURE** (2016-2026) erforscht Lösungen für die Stromnetze der Zukunft. In dem Projekt arbeiten 30 Partner als transdisziplinäres Konsortium an einem zukünftigen Energieversorgungssystem, das den Anforderungen an den Klimaschutz gerecht wird, Versorgungssicherheit gewährleistet und bezahlbar bleibt.

Eines der Hauptziele des Projekts ist die Demonstration von technischen Lösungen für die Energiewende in Zusammenspiel mit dem Stromnetz. Diese Demonstrationen zeigen in realen Umgebungen und Laboren, wie neue Technologien, Methoden und Konzepte zur Stabilisierung und Flexibilisierung des elektrischen Netzes beitragen. Hierzu wird unter Leitung des Lehrstuhls für Elektrische Energiesysteme (LEES) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg die sogenannte **Kopernikus ENSURE Co-Demonstrationsplattform** entwickelt.

Systemstabilität

Aufgrund der Größe und Kritikalität von Stromnetzen können Feldtests zur Bewertung der Systemstabilität nur sehr eingeschränkt durchgeführt werden. Hier setzt die Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulation an, bei der reale Komponenten, etwa Schutzgeräte oder Anlagenregelungen, in simulierten Netzen an Echtzeitsimulatoren getestet werden. Dies ermöglicht risikofreie Tests komplexer Systeme und deren Zusammenspiel. Bisher wurden solche Tests vor allem an kleinen, oft generischen Netzmodellen durchgeführt.

Der großflächige Versorgungsausfall auf der iberischen Halbinsel am 28. April 2025 verdeutlicht eindrucksvoll die Notwendigkeit realistischer Tests in großen, auf echten Netzdaten basierenden Modellen, die auch die Netzdynamik berücksichtigen. Hier setzt die Co-Demonstrationsplattform an, indem sie die hierfür notwendige Infrastruktur bereitstellt. Neue Technologien können an der Plattform in gemeinsamen Netzmodellen hinsichtlich Netzkonformität und Interoperabilität bewertet werden. So werden HiL-Simulationen ermöglicht, bei denen reale Komponenten direkt in die virtuelle Netzumgebung eingebunden sind. Die Plattform leistet damit einen wichtigen Beitrag zur

zentralen Frage: „Wie testet man komplexe Systeme bevor Sie ausfallen“.

Systemübergreifende Validierung

Die Co-Demonstrationsplattform ist ein Gemeinschaftsprojekt, das durch die enge Zusammenarbeit der Universitäten KIT, RWTH, FAU sowie der Unterstützung industrieller Partner wie OPAL-RT Germany GmbH, der Siemens AG, Hitachi Energy, des Übertragungsnetzbetreibers TenneT TSO und weiterer Partner realisiert wird. Ein Alleinstellungsmerkmal der Plattform ist die geografisch verteilte Echtzeitsimulation über VILLASnode der RWTH Aachen. Dadurch können Echtzeitlabore verschiedener Partner zu einem deutschlandweit einzigartigen Laborverbund gekoppelt werden. Diese kooperative Simulationsumgebung ermöglicht es den Partnern, ihre jeweilige Infrastruktur und Expertise einzubringen, ohne sensible Daten oder Modelle austauschen zu müssen. Durch Automatisierung können Netzdaten effizient aufbereitet und in die benötigten Simulationsumgebungen überführt werden, sodass selbst das kontinentaleuropäische Übertragungsnetz in Echtzeit simuliert werden kann. So können Testszenarien und stabilitätskritische Netznutzungsfälle flexibel generiert und systematisch analysiert werden. Auch zukünftige Ausbaupfade können realitätsnah analysiert werden. Die Plattform unterstützt Kopernikus ENSURE bei der Entwicklung belastbarer Handlungsempfehlungen, indem neue Technologien modellhaft getestet und übertragbare Konzepte abgeleitet werden, bis hin zur industriellen und politischen Umsetzung.

Multi-Domänen, Multi-Vendor Ansatz

Die technische Basis der Plattform bilden die im Projekt entwickelten Multi-Domain-Netzmodelle, die zugehörige Toollandschaft sowie die Labore der Projektpartner. Das VILLASnode Co-Simulationsgateway ermöglicht die Echtzeit-Kommunikation zwischen den Laboren und unterstützt zahlreiche Protokolle (z.B. MQTT, Modbus, IEC 61850) und Datenformate. Eine im Projekt entwickelte Schnittstelle zwischen der Offline-Simulationssoftware PowerFactory und der Echtzeitsimulation von OPAL-RT ermöglicht es, Modelle offline zu erstellen und automatisiert in Echtzeitumgebungen zu überführen. Darüber hinaus wurden zahlreiche detaillierte Netzmodelle für

die Echtzeitsimulatoren von RTDS und OPAL-RT entwickelt. Diese decken verschiedene Zeitskalen für

elektromechanische und elektromagnetische Transienten ab.



Echtzeitsimulatoren der Firma RTDS Technologies (links) und von OPAL-RT (rechts) sowie Schutzgeräte (rechts) im Echtzeitlabor des LEES am EnCN

Auf dem Weg zu Europas leistungsfähigsten Simulationsverbund für Energieinfrastrukturen

Die Kopernikus ENSURE-Plattform befindet sich in ständiger Weiterentwicklung und wird bis 2026 in vielfältigen Anwendungsfällen getestet. Die Plattform soll über das Projekt hinaus als fester Bestandteil der deutschen Energieforschung etabliert werden, wozu verschiedene Bestrebungen laufen. Ein erfolgreiches

Vorbild für einen derartigen Ansatz ist das „The National HVDC Centre“ in Großbritannien, das sich auf die Entwicklung und Prüfung von Technologien zur Integration von HGÜ-Systemen konzentriert. Das HVDC Centre ist ebenfalls aus einem Forschungsprojekt entstanden und zeigt das Potenzial solcher Plattformen, zur erfolgreichen Bewältigung der Herausforderungen moderner Energiesysteme. So soll die Plattform zukünftig als Simulationsgemeinschaft zu einem zentralen Kompetenzzentrum für die Energiebranche in Deutschland werden.

Die Kopernikus ENSURE Co-Demonstrationsplattform ist eine deutschlandweit vernetzte Testumgebung, in der neue Technologien und Konzepte für das Energiesystem der Zukunft realitätsnah simuliert und erprobt werden können, ohne Eingriffe in die kritische Infrastruktur. Sie verbindet verschiedene spezialisierte Labore über eine digitale Infrastruktur und ermöglicht so gemeinsame, praxisnahe Tests mit realer Hardware (z. B. Schutzsysteme, Anlagenregelungen) in großen Netzmodellen. Ziel ist es, innovative Lösungen für ein nachhaltiges, Energiesystem zu entwickeln, zu vergleichen und auf ihre Systemtauglichkeit hin zu überprüfen bevor sie in der Realität eingesetzt werden. Die Plattform soll einen Beitrag zur Sicherung der Systemstabilität in Deutschland leisten.

INSIGHTS

Der Einsatz von Flussbatterien als Baustein zur Versorgungssicherheit und Stabilisierung der Stromnetze.

Simon Scherer und Prof. Dr. Roswitha Zeis, Professur für Elektrische Wasserstoffsysteme, FAU

Kommentar

Im Jahr 2024 wurden in Deutschland 55% der bereitgestellten elektrischen Energie durch erneuerbare Energieträger erbracht. Tendenz steigend. Aus den Investitionen in die Energiewende, hinführend zu einer klimaneutralen Zukunft, ergeben sich auch Folgekosten. Die volatile Natur von Sonne und Wind erfordert aktuell zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität die ständige Bereitstellung flexibler, herkömmlicher Kraftwerke und den Um- und Ausbau der Stromnetze. Gleichzeitig werden zu Spitzenzeiten Anlagen abgeregelt, um die Netze zu entlasten. Diese Leistungsreduktion machte 2024 3,5% der gesamten Stromproduktion aus erneuerbaren Energien aus.

Der abschließende Erfolg der Transformation unserer Energiegewinnung hängt vom Einsatz von Energiespeichern ab. In Zeiten von Überproduktion elektrischer Energie wird diese physikalisch oder chemisch gespeichert und bei Bedarf wieder in elektrische Energie umgewandelt. Es bedarf einer breiten Palette verschiedener Speicherlösungen, technisch wie wirtschaftlich, optimiert auf das jeweilige Anwendungsgebiet.

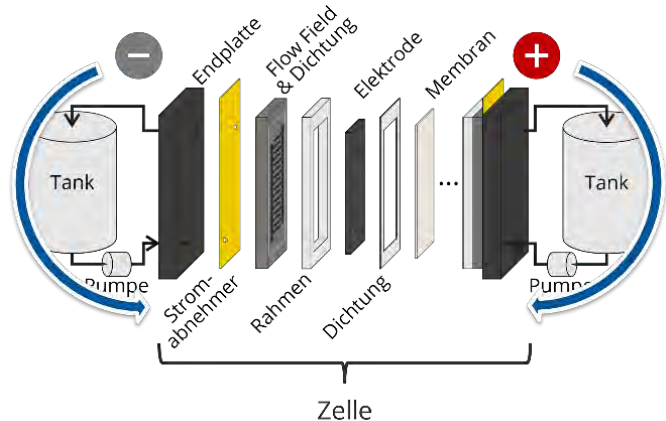


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Redox-Flussbatterie.

Eine Speichertechnologie, der großes Potential zugeschrieben wird, sind die Flussbatterien. Wobei der Begriff Batterie hier irreführend ist, haben sie technisch doch mehr Gemeinsamkeiten mit Brennstoffzellen. Die gespeicherte chemische Energie steckt im jeweiligen wässrigen Elektrolyten, der in externen Tanks gelagert wird. Dieser wird durch die katalytisch aktiven, porösen Elektroden zweier voneinander elektronisch getrennter Halbzellen gepumpt. Die Kombination aus chemischer Reduktions- und Oxidationsreaktion (Redox) sorgt für einen Elektronentransfer, dessen Energie man sich zu Nutze macht. Der Vorteil von Flussbatterien gegenüber anderen Batteriesystemen ist, dass Leistung und Kapazität unabhängig voneinander skaliert werden können. Forschung und Industrie konzentrieren sich auf verschiedene chemische Redoxpaare, die zur Speicherung genutzt werden. In manchen kommt Eisen als aktive Spezies vor, da es den Vorteil hoher Verfügbarkeit und geringer Kosten hat. Allerdings mit dem Nachteil effizienzmindernder Nebenreaktionen. Große Hoffnung liegt auf redoxaktiven, organischen Verbindungen, die einstellbare, höhere Energiedichten ermöglichen. Herausfordernd ist hierbei vor allem fehlende Zyklenstabilität. Auch die Erforschung und Optimierung der Elektroden ist von großer Bedeutung. Sie müssen nicht nur eine hohe katalytische Aktivität aufweisen, sondern auch für geringe Pumpverluste sorgen. Somit haben sie einen großen Einfluss auf die Effizienz der Batterie.



Abb. 2: Flussbatterie Speicherprojekt Alfeld, Niedersachsen. ©Kyon Energy

Ein System, das bereits erfolgreich am Markt etabliert ist, ist die Vanadium-Redox-Flussbatterie (VRFB), die in beiden Halbzellen den gleichen Elektrolyten verwenden kann und dabei vier Oxidationsstufen von Vanadium ausnutzt. Dadurch lassen sich effizienzmindernde Kreuzkontaminationen durch die Membran leicht ausgleichen, ohne dass Gefahr durch Schäden an Komponenten durch die Verunreinigungen entsteht. Als Elektroden kommen günstige Kohlenstoffhilz zum Einsatz, die bereits in anderen technischen Anwendungen verbaut werden. Bei der Handhabung des

Vanadiumelektrolyten besteht keine Brandgefahr, was auch den Einsatz in kritischen Bereichen wie Krankenhäusern erlaubt. Der modulare Aufbau mit anpassbarer Leistung und Kapazität und langer Lebensdauer befähigt Vanadium-Flussbatterien zum Einsatz in vielen Situationen, von der Netzstabilisierung bis zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit. Diese entstehen im Zusammenspiel mit einem Solar- oder Windpark oder als Heimspeicher. Die geringe Energiedichte des Elektrolyten schränkt allerdings die Verwendung auf Szenarien ein, in denen Platz kein limitierender Faktor ist.

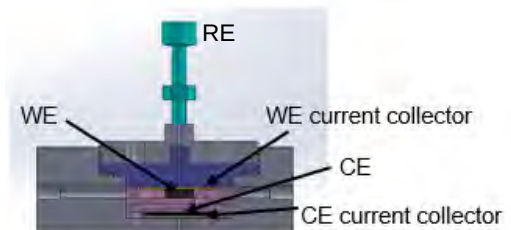
In den 1980er Jahren in Australien entwickelt, ist nun China durch seinen intensiven Ausbau erneuerbarer Energien Vorreiter dieser Technik. Allerdings holen andere Nationen auf und neue Vanadiumvorkommen werden erschlossen sowie die Systeme werden weiter optimiert. In Deutschland ist im Forschungsprojekt „RedoxWind“ auf dem Gelände des Fraunhofer ICT in Pfinztal ein Flussspeicher mit einer Kapazität von 2 MWh entwickelt und in Betrieb genommen worden. Ein Großspeicher mit 275 MWh ist derzeit in Niedersachsen in Bau.

Mit dem Spatenstich für das Technologiezentrum Laufenburg im schweizerischen Kanton Aargau hat die Bauphase für die derzeit weltweit größte Redox-Flussbatterie begonnen. Bis 2028 soll eine Speicherkapazität von 1,6 GWh bei einer Leistung von über 800 MW erreicht werden. Der Standort Laufenburg ist eine mitteleuropäische Stromdrehscheibe, wodurch sich der Wirkungsgrad der Anlage maximiert. Damit stellt sie eine Superlative im Bereich der Speichertechnologien dar.

Unser Forschungsbeitrag zu Vanadium-Redox-Flussbatterien

Unsere Arbeitsgruppe verfügt über die Expertise in den Bereichen Elektrochemie und Röntgenbildgebung mit Synchrotronstrahlung. Der Fokus liegt dabei vor allem auf der Optimierung von Elektroden und für VRFBs, Hochtemperatur-Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen, elektrochemische Wasserstoffpumpe und Aluminium-Luft-Batterie. Mithilfe der Techniken Zyklovoltammetrie und elektrochemische Impedanzspektroskopie untersuchen wir die Leistung verschiedener Elektrodenmaterialien und leiten unter Anwendung der „Distribution of Relaxation Times“-Analyse Eigenschaften und Optimierungsmöglichkeiten ab. Dank unseres eigenen, anpassbaren Messzellendesigns genügen kleine Mengen des Aktivmaterials für dessen elektrochemische Charakterisierung hinsichtlich der Reaktionseigenschaften und des Massentransports.

Mithilfe der Röntgenbildgebung können wir die Elektrolytverteilung und das Flussverhalten innerhalb der Elektroden aufklären. Auch parasitäre, gasbildende Nebenreaktionen, wie die Wasserstoffentwicklung, lassen sich visualisieren. Dadurch werden aktive Zentren detektiert und mögliche Ursachen eliminiert.



Messzelle. RE Referenzelektrode, WE Arbeits-elektrode, CE Gegenelektrode

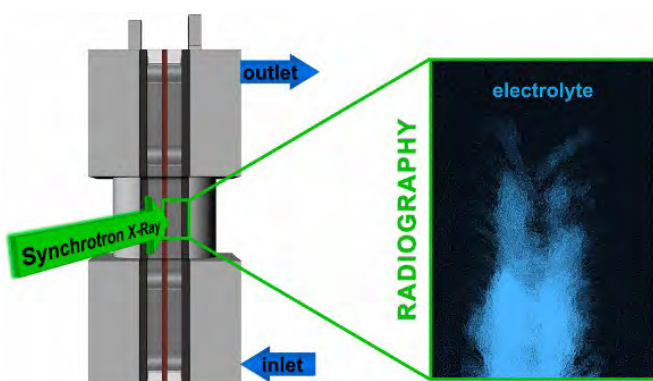


Abb. 4: In-house Design einer Messzelle zur Untersuchung der Elektrolytinjektion in eine 3-dimensionale Elektrode und Gasentwicklung durch Nebenreaktionen.

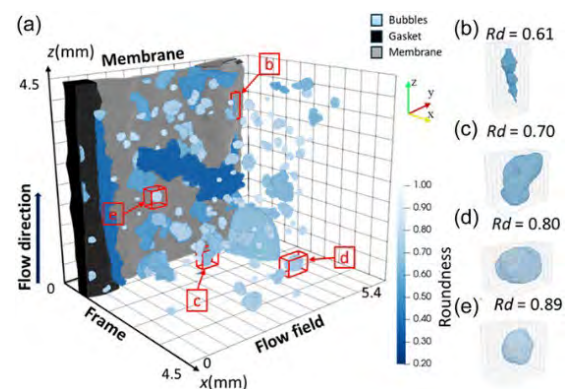


Abb. 5: Beispiel der Blasenverteilung innerhalb einer dreidimensionalen Elektrode, farblich klassifiziert nach der Blasenform.

Duan et al., ChemSusChem **2025**, 18, e202500282

INSIGHTS

Welche Rolle kann Biogas im Energiemix der Zukunft übernehmen – Nischenlösung oder Schlüsseltechnologie?

Dr.-Ing. Peter Treiber, Nora Elhaus, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl, Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, FAU

Kommentar

Um diese Frage zu beantworten wurde 2024 am Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik der FAU im Auftrag des Fachverbands Biogas eine Studie durchgeführt. Die Energiewende in Deutschland führt zu einem massiv steigenden Strombedarf, insbesondere durch Sektorkopplung (Elektromobilität, Wärmepumpen, Power-to-Heat) und den Ausbau von Elektrolyseuren für die inländische Wasserstoffproduktion. Während Wind- und Photovoltaikanlagen den größten Teil dieses Bedarfs decken sollen, entsteht ein zentrales Problem: die Dunkelflaute – längere Zeiträume, meist im Winter, in denen Wind und Sonne kaum Energie liefern. Analysen historischer Daten zeigen, dass solche Flauten bis zu 280 Stunden dauern können. Batteriespeicher sind üblicherweise für die Besicherung von tageszeitlichen Schwankungen ausgelegt und können diese Phasen nicht überbrücken.

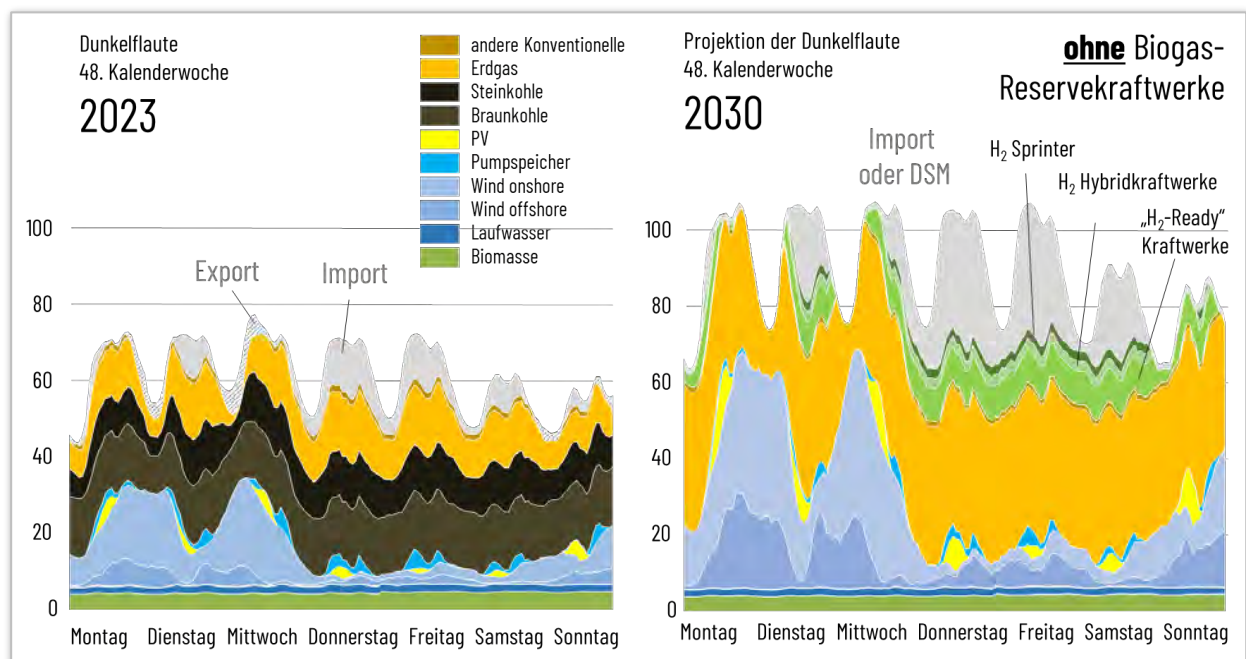


Abbildung 1: Stromezeugung während der Dunkelflaute in der 48. Kalenderwoche des Jahres 2023 (links) und Projektion der Stromezeugung bei einer vergleichbaren Dunkelflaute im Jahr 2030 mit den Annahmen des Netzentwicklungsplans (rechts). Durch die Zunahme des Strombedarfs kann der Strombedarf auch bei Aktivierung aller wasserstoffbetriebenen Reservekraftwerke bei weitem nicht gedeckt werden.

Aktuelle Planungen, z. B. im Netzentwicklungsplan 2037/2045 (2024) oder in der Fraunhofer-Studie zum Strommarktdesign (2021), unterstellen, dass fehlender Strom zu jeder Zeit in großen Mengen importiert werden kann. Diese Annahme ist riskant, da gleichzeitig auch die Nachbarländer mit Versorgungsengpässen konfrontiert sein können. Deshalb wird eine inländische gesicherte Reserveleistung zwingend notwendig.

Eine beispielhafte Projektion der Stromerzeugungs- und -verbrauchsdaten der Kalenderwoche 48 von 2023 auf das Jahr 2030 lässt nach Abschaltung der Stromerzeugung aus Kohle eine Erzeugungslücke von 49 GW vermuten. D.h., dass nach dem Kohleausstieg ohne neue Reservekraftwerke knapp die Hälfte des verbrauchten Stroms entweder importiert oder durch Demand-Side-Management-Maßnahmen (Abschaltungen) eingespart werden müssten.

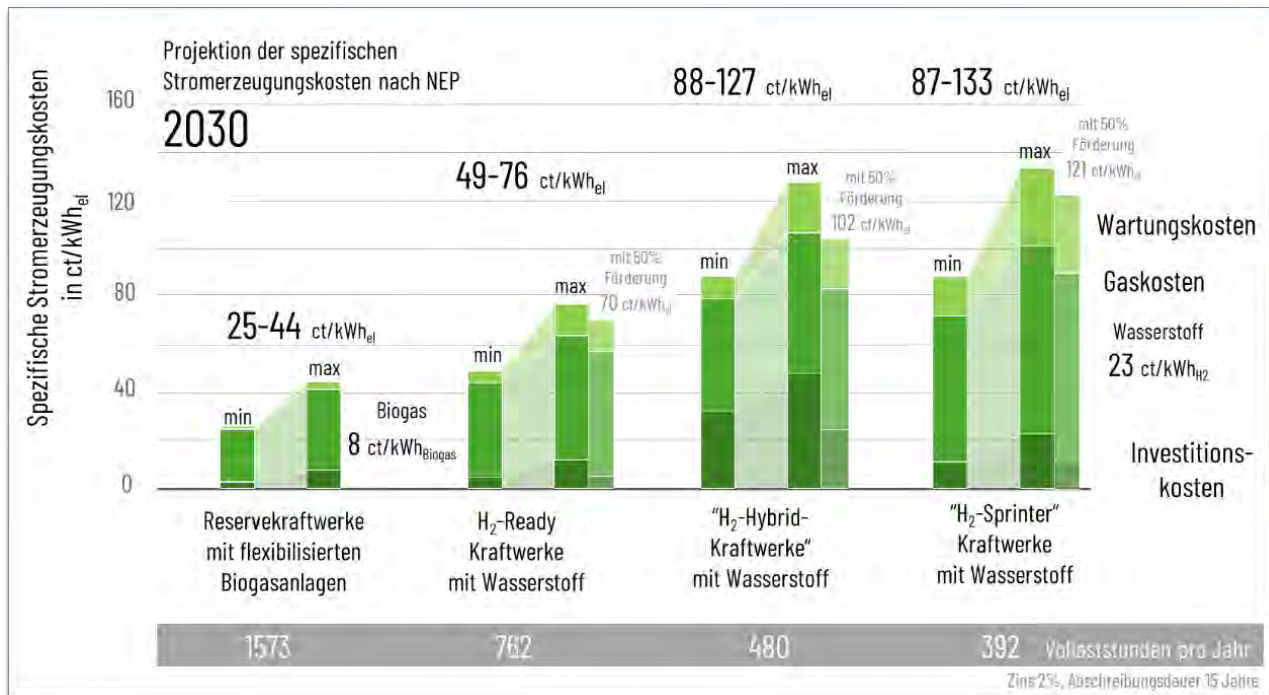


Abbildung 2: Projektion der Stromerzeugungskosten nach Nachentwicklungsplan (NEP) für verschiedene Reservekraftwerksarten

Die Bundesregierung plant bis 2035 den Bau von rund 24 GW H₂-Kraftwerken („H₂-Ready“, Hybrid- und Sprinterkraftwerke). Diese erfordern jedoch Investitionen von bis zu 120 Mrd. €. Demgegenüber könnte die Flexibilisierung von Biogasanlagen auf ca. 12 GW mit nur etwa 22 Mrd. € umgesetzt werden. Auch die Stromgestehungskosten (LCOE) unterscheiden sich deutlich, wie in Abbildung 2 dargestellt. Darüber hinaus fällt die CO₂-Bilanz ins Gewicht: Während die Wasserstoffnutzung durch Umwandlungsverluste hohe Emissionen verursacht, können Biogasanlagen – insbesondere bei Nutzung von Gülle und Bioabfällen – sogar negative Emissionen erzielen.

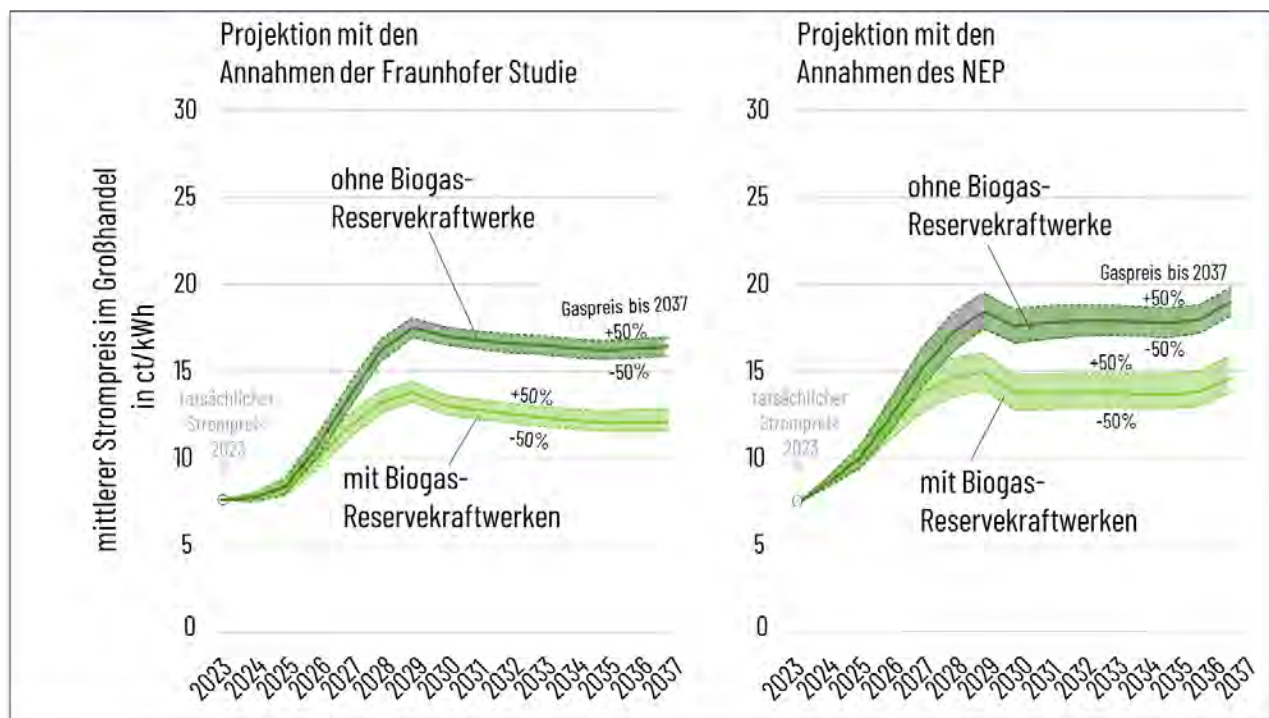


Abbildung 3: Projektion der Stromkosten nach Netzentwicklungsplan und Fraunhoferstudie mit und ohne Biogas-basierte Reservekraftwerke

Das Merit-Order-Prinzip bestimmt die Großhandelsstrompreise: Das letzte zur Deckung des Strombedarfs benötigte (und teuerste) Kraftwerk setzt den Börsenpreis. Durch die zusätzliche Nachfrage für Elektrolyse steigt der Preis ohnehin; noch deutlicher wird der Effekt, wenn teure Wasserstoff-Reservekraftwerke in der Merit Order stehen.

Die durchgeführten Projektionen zeigen, dass...

- ohne inländische Reservekapazitäten, mit ausreichenden Importen, die Strompreise sinken könnten,
- mit H₂-Reservekraftwerken die Strompreise bis 2030 auf ca. 18 ct/kWh steigen könnten und
- sich der Einsatz von flexibilisierten Biogasanlagen dagegen preisdämpfend auswirken kann und künftige Anstiege des Strompreises bremsen kann (siehe Abbildung 3).

Fazit

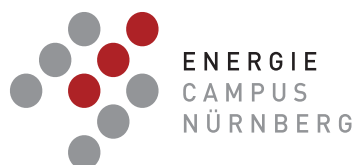
1. Importannahmen sind unsicher: Verfügbarkeit von Strom aus dem Ausland bei Dunkelflaute ist nicht garantiert.
2. Biogas bietet Vorteile: geringere Kosten, bessere CO₂-Bilanz, höhere Versorgungssicherheit, lokale Wertschöpfung.
3. Ohne Biogas drohen Preissteigerungen: Wasserstofflösungen sind deutlich teurer und erhöhen die Großhandelspreise.
4. Empfehlung: Biogas sollte als strategische Kraftwerksreserve im Energiesystem verankert werden, um Versorgungssicherheit und Preisstabilität zu gewährleisten.

Deutschland braucht Biogas nicht nur für Klimaschutz, sondern auch als verlässliche und kosteneffiziente Säule in der Stromversorgung.

Die Details zur Studie finden Sie unter: https://www.evt.tf.fau.de/faustudie_biogasimenergiesystem2024/



Abbildung 4: Beispiel für eine Biogasanlage



ENERGIE
CAMPUS
NÜRNBERG

Fürther Str. 250
90429 Nürnberg

Tel.: +49 911 56854 99120

[www.@encn.de](http://www.encn.de)

Partner:



Gefördert durch:



Bayerische Staatsregierung

Unterstützt durch:

