

OTH

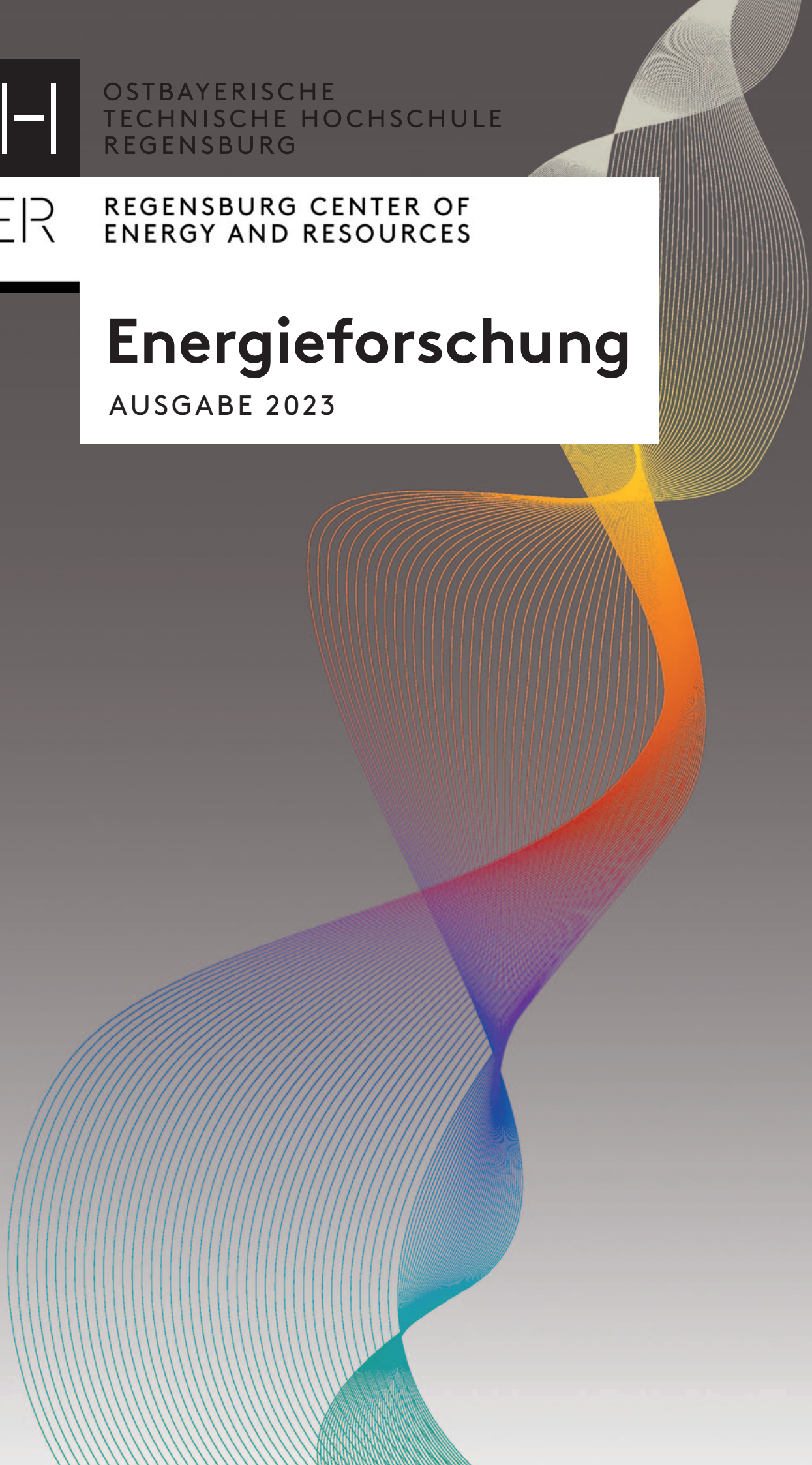
OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG

RCER

REGENSBURG CENTER OF  
ENERGY AND RESOURCES

# Energieforschung

AUSGABE 2023





# Energieforschung

GEFÖRDERTE PROJEKTE

## 2020 bis 2022

### IMPRESSUM

Redaktion/Herausgeber:

OTH Regensburg | Regensburg Center of Energy and Resources (RCER)  
Seybothstraße 2 | 93053 Regensburg | [www.rcer.de](http://www.rcer.de)

Danksagung: Das RCER dankt allen Autorinnen und Autoren  
für die Forschungsbeiträge und die ergebnisreiche Zusammenarbeit.

Aus Lesbarkeitsgründen wird in dieser Broschüre auf die verschiedenen  
Ansprechweisen, sei es divers, männlich oder weiblich verzichtet.  
Alle Formulierungen sprechen gleichermaßen alle Geschlechter an.

Nicht gekennzeichnete Fotos: OTH Regensburg

Konzept, redaktionelle Betreuung, grafische Gestaltung:  
Apostroph | Agentur für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Wiesmeierweg 8 | 93047 Regensburg

Druck: Aumüller Druck GmbH & Co.KG  
Weidener Straße 2 | 93057 Regensburg



Datenstand: Januar 2023

gefördert durch:



Bayerische Staatsregierung









**RCER – Regensburg Center of Energy and Resources**

7

Über uns 7  
 Zahlen – Daten – Fakten 8  
 Ziele und fachliche Ausrichtung 9  
 Kompetenzen unter dem Dach des RCER 10  
 Organisationsstruktur 12  
 Netzwerke – Kooperationen 13  
 Energiedatenbank des RCER 14



**Wissenstransfer**

15



**Die Projekte stellen sich vor**

27



**Gebäude und Siedlungsstrukturen**

29

MAGGIE – Energetische Modernisierung mit solaraktiven Baustoffen und hybridem Heizsystem 29  
 Verbesserungen für Gebäudesimulationen mithilfe einer vergleichenden Analyse mit der Finiten-Elemente Methode 32  
 Climate change, extreme actions and sustainability of renewable energy infrastructures 34



**Motoren und Maschinen**

37

... und er lässt sich sogar verbrennen!  
 Wasserstoff: Eigenschaften, Sicherheit und Gefahren 37  
 Namosyn – Klimaneutral mit Verbrennungsmotor 39  
 „Reinigen neue Luftfiltersysteme von urbanem Stickstoffdioxid?“ 41  
 UnoTurb-Unorthodoxe Turbinengeometrien zur optimierten dezentralen Stromerzeugung 43  
 AdWinT – Entwicklung eines neuartigen Filament-Winding-Verfahrens zur Fertigung faserverstärkter Thermoplastrohre 45  
 Optimierung trockener und überfluteter Verdampfer zur effizienten Kälteerzeugung 48  
 Emissionsabhängige Leistungsregelung für BHKWs 50



**Netze und Transformatoren**

53

Forschungsprojekt Projekts neos – NetzEntwicklungs-Offensive Strom erfolgreich abgeschlossen 53  
 INZELL – Netzstützung und Systemdienstleistungserbringung durch eine Industriezelle mit Inselnetz-fähigkeit und Erneuerbaren Energien 54  
 Flexibilitätsmaßnahmen in der Stromnetzplanung 56  
 STROM – Forschungsverbund „Energie – SekToRkOpplung und Micro-grids“ 57  
 Q-Integral: Mit einem optimierungsbasierten Blindleistungsmanagement die Spannung im Stromnetz der Zukunft stabil halten 59  
 NiEMob – Netzdienliches integrales Elektromobilitäts-Energiemanagementsystem für dezentrale Energieversorgungssysteme 61  
 EmDeNetz: Ein Energiemanagementsystem zur Regelung dezentraler Energienetze 62  
 Trafo-MOF – Entwicklung von Metal Organic Frameworks zur Dispergierung in Tintenform und anschl. Herstellung sensorischer Dünnschichten 64



**Speicher und Batteriemangement**

67

ORBIT II – Erweiterung eines hocheffizienten Rieselbett-Bioreaktors u. Optimierung der Methanisierungsanlage für den kommerziellen industriellen Einsatz 67  
 P2X – Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien 69  
 DER WASSERSTOFFATLAS – eine interaktive WebApp 71  
 Development of an innovative thermal energy storage system 72  
 Projekt: Experimentelle Untersuchung und Optimierung von Speichermassen für einen thermochemischen Eisen-Redox-Wasserstoffspeicher 74  
 H2@School: Wasserstoffwettbewerb an bayerischen Schulen 76  
 CIRC MethanoPower – Rückgewinnung von Biomasse und Nährstoffen durch eine Kreislaufführung des Prozesswassers bei der biologischen Methanisierung 77  
 Projekt Ohmic Heating – Eine Alternative für den Power-to-Heat Sektor 78



**Informations- und Managementsysteme**

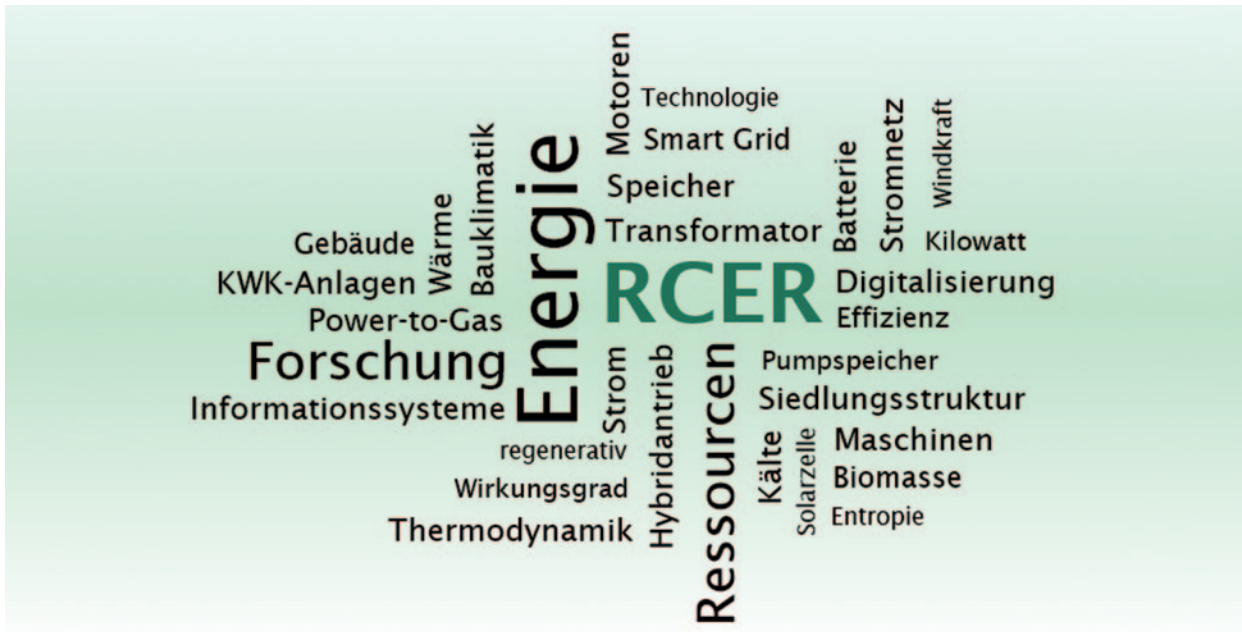
81

Social Distancing meets Low-Energy: Lokalisierung von PrüfungsteilnehmerInnen in Zeiten von Corona 81





# RCER – Regensburg Center of Energy and Resources



## Über uns

Das Regensburg Center of Energy and Resources (RCER) bündelt seit 2012 die Aktivitäten der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg (OTH Regensburg) und der regionalen Wirtschaftsunternehmen auf dem Strategiefeld „Energie und Ressourcen“.

## Mission

### Energieforschung: vernetzen, voranbringen, vermitteln

Das RCER fördert die **Vernetzung** verschiedener Disziplinen der Energieforschung innerhalb der OTH Regensburg und mit externen Partnern (Firmen, Förderträgern, Forschungsinstitutionen, öffentlichen Einrichtungen).

Das RCER ist Ihr Partner beim **Voranbringen** von Kooperationen und Forschungsvorhaben durch Unterstützung in der Antragsphase, bei der Einwerbung von Projektmitteln und Projektbegleitung im Energiebereich.

Das RCER steht für die **Vermittlung** von Know-how, Basiswissen, aktuellen Fragen und den Technologietransfer rund um das Thema Energie zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik.

## Vision

**Wir sind Ihr erster Ansprechpartner und Motor für innovative Energieforschung.**

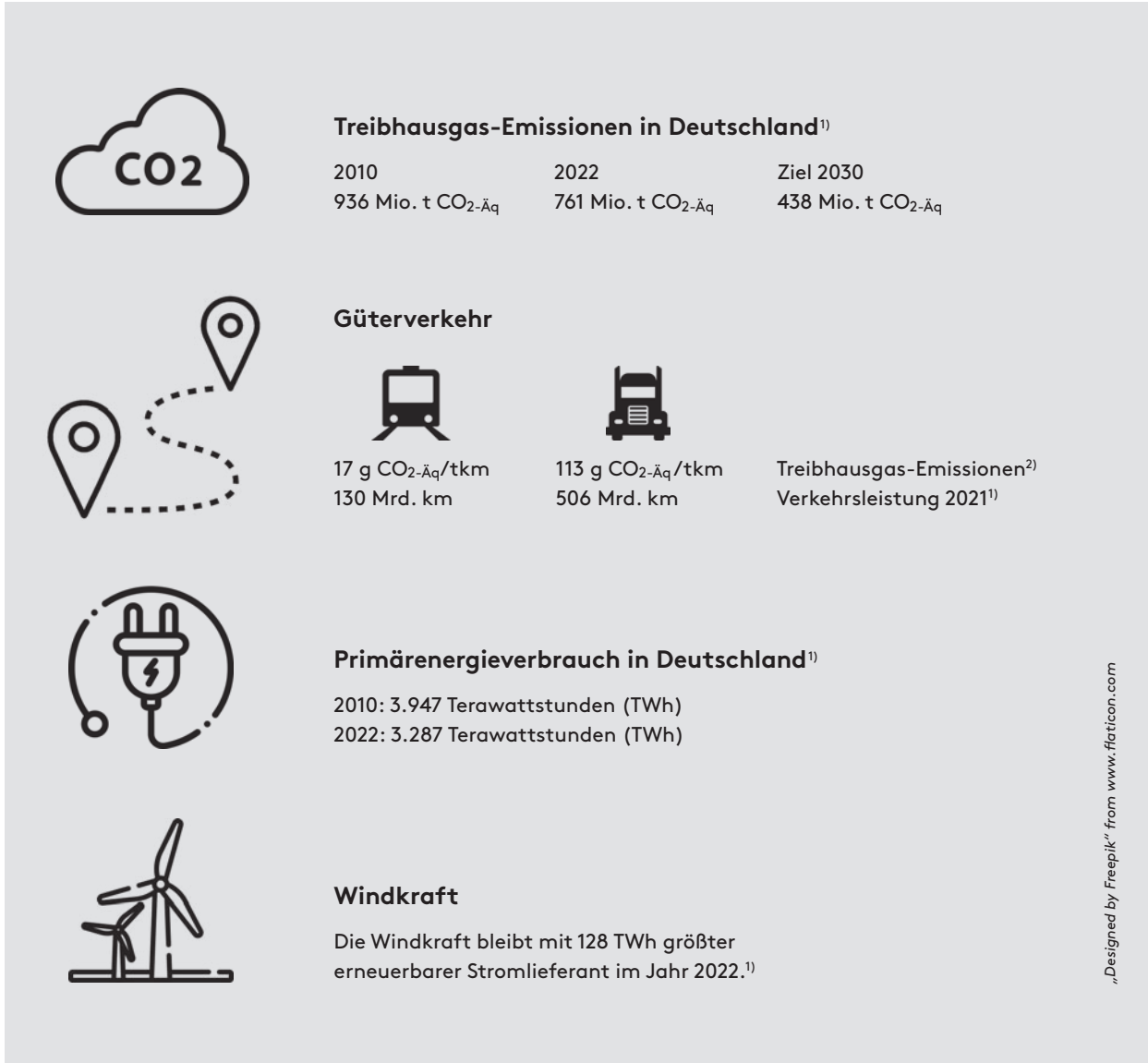
## Werte

**Verlässlichkeit, Kompetenz, Verantwortungsbewusstsein**

**Regional verwurzelt und weltoffen**



## Zahlen – Daten – Fakten



1) Agora Energiewende (2023): Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023.

2) Emissionsdaten | Umweltbundesamt, TREMOD 6.23 (05/2022); [https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich\\_personenverkehr\\_grafik](https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_personenverkehr_grafik); Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Güterverkehr in Deutschland, Bezugsjahr 2019



## Ziele und fachliche Ausrichtung

Das RCER versteht sich als Anlaufstelle für alle Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf dem Strategiefeld „Energie und Ressourcen“ und fungiert als Drehscheibe bei der Findung und Bildung interdisziplinärer Projektteams aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand. Neben der engen Kooperation zu Wirtschaftsunternehmen ist das RCER auch an regionalen Clustern und Netzwerkprojekten beteiligt.

Inhaltlicher Schwerpunkt des RCER ist die Innovationsförderung im Bereich der gesamten Prozess- und Wertschöpfungskette innerhalb der Energieversorgung und -anwendung. Diese wird durch die steigende Einspeisung erneuerbarer Energien in das Stromnetz sowie durch Energieeffizienzmaßnahmen bestimmt.

Es wird das Ziel verfolgt, wesentliche Beiträge zur Etablierung nachhaltiger, energieeffizienter und ressourcenschonender Energiesysteme von der Energiegewinnung und -erzeugung über Energietransport und -verteilung bis hin zur Energieanwendung und -nutzung unterschiedlicher Energieformen zu erbringen. Damit soll das Gebiet der Energie- und Ressourcenforschung und der Energietechnologien als Kompetenzzschwerpunkt und Forschungsnetzwerk am Standort Regensburg weiter ausgebaut werden.

Im Kontext von Forschung und Wissensvermittlung fördert das RCER die interdisziplinäre und fakultätsübergreifende Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Energie- und Ressourcenforschung und der Energietechnologien zur Beantwortung von technischen, ökologischen, wirtschaftlichen, politischen und sozialen Frage- und Problemstellungen.

## Die Leistungen des RCER umfassen:

- Förderung von Kooperationen zwischen Netzwerkmitgliedern, Drehscheibe für Wissenschaft, Wirtschaft und öffentliche Hand
- Unterstützung bei der Einwerbung von Fördermitteln auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene im Bereich der anwendungsorientierten Energie- und Ressourcenforschung
- Mitwirkung an regionalen Netzwerkprojekten und Clustern
- Förderung eigener Projekte im Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO) und Aufbau von Forschungskompetenzen
- Wissensvermittlung auf dem Gebiet der Energie- und Ressourcen durch den „Regensburger Energiekongress“ und Informationstage





# Kompetenzen unter dem Dach des RCER

Die fünf Forschungsbereiche des RCER bündeln die Expertise der Professorinnen und Professoren sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Ergänzt werden diese Schwerpunkte durch die Anwendungssektoren Verkehr, Strom und Wärme, sowie übergreifende Querschnittsthemen wie beispielsweise Sensorik und Sozialwissenschaften.



## Gebäude und Siedlungsstrukturen

Energiemonitoring und Nutzerverhalten

Wärmedämmung

Gebäudeenergieeffizienz

Nachhaltige Modernisierung

Mobilität und Infrastruktur

Regenerative Energieversorgung



## Motoren und Maschinen

Motorentchnik | Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung

Abgasnachbehandlung

Verbrennungsmotoren

Hybridantriebe

Alternative Kraftstoffe



## Informations- und Managementsysteme

Informations- und Kommunikationstechnologie

IT-Sicherheit

Smart Grid

Smart Metering | Smart Home



## Netze und Transformatoren

Netzregelung

Netzplanung

Netzintegration

Transformatoren und andere Betriebsmittel

Versorgungszuverlässigkeit

Systemsicherheit und Netzstabilität

Spannungsqualität



## Speicher und Batteriemangement

Power-to-X

Speichersimulation

Methanisierung

Wärme- und Kältespeicherung

Batterietechnik | Lade- und Speichertechnik

Energiesystemmodellierung

Wasserstofftechnologien

Ökobilanzierung

Energiekonzepte

thermochemischer (H<sub>2</sub>-)Speicher

Die acht Fakultäten der OTH Regensburg bieten durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit vielfältige Blickwinkel auf eine Fragestellung. Forschung und Entwicklung von Technologien, Modellen und Methoden des Maschinenbaus und der Elektrotechnik werden ergänzt durch Lösungsstrategien aus dem IT-Bereich sowie durch die Betrachtung von Wirtschaftlichkeit, gesellschaftlicher Akzeptanz und bautechnischen Möglichkeiten.







## Organisationsstruktur

Die inhaltlich-operative Führung des RCER erfolgt durch die Geschäftsführung zusammen mit einem wissenschaftlichen Direktorium:

### RCER-Direktorium



**Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl**  
Fakultät Elektro- und Informationstechnik  
  
Wissenschaftlicher Leiter des RCER  
Tel. 0941 943-9881  
oliver.brueckl@oth-regensburg.de



**Prof. Dr. Oliver Steffens**  
Fakultät Angewandte Natur- und Kulturwissenschaften  
  
Tel. 0941 943-9775  
oliver.steffens@oth-regensburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud**  
Fakultät Maschinenbau  
  
Tel. 0941 943-9892  
belal.dawoud@oth-regensburg.de



**Prof. Dr. Klaus Volbert**  
Fakultät Informatik und Mathematik  
  
Tel. 0941 943-1304  
klaus.volbert@oth-regensburg.de

### RCER-Geschäftsstelle



**Anna Tommek**  
Leitung  
  
Tel. 0941 943-9210  
anna.tommek@oth-regensburg.de



**Dr. Liwen Li**  
Forschungsreferentin  
Energetische Quartierskonzepte  
  
Tel. 0941 943-70274  
liwen.li@oth-regensburg.de



**Susanne Kenner**  
Datenmanagement  
  
Tel. 0941 943-1140  
susanne1.kenner@oth-regensburg.de



**Sandra Seidl**  
Organisation, Personal, Drittmittel  
  
Tel. 0941 943-70275  
sandra.seidl@oth-regensburg.de

### RCER-Lenkungsrat

Hochschulleitung, Dekane aller Fakultäten und Institut für  
Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen (IAFW) der OTH Regensburg

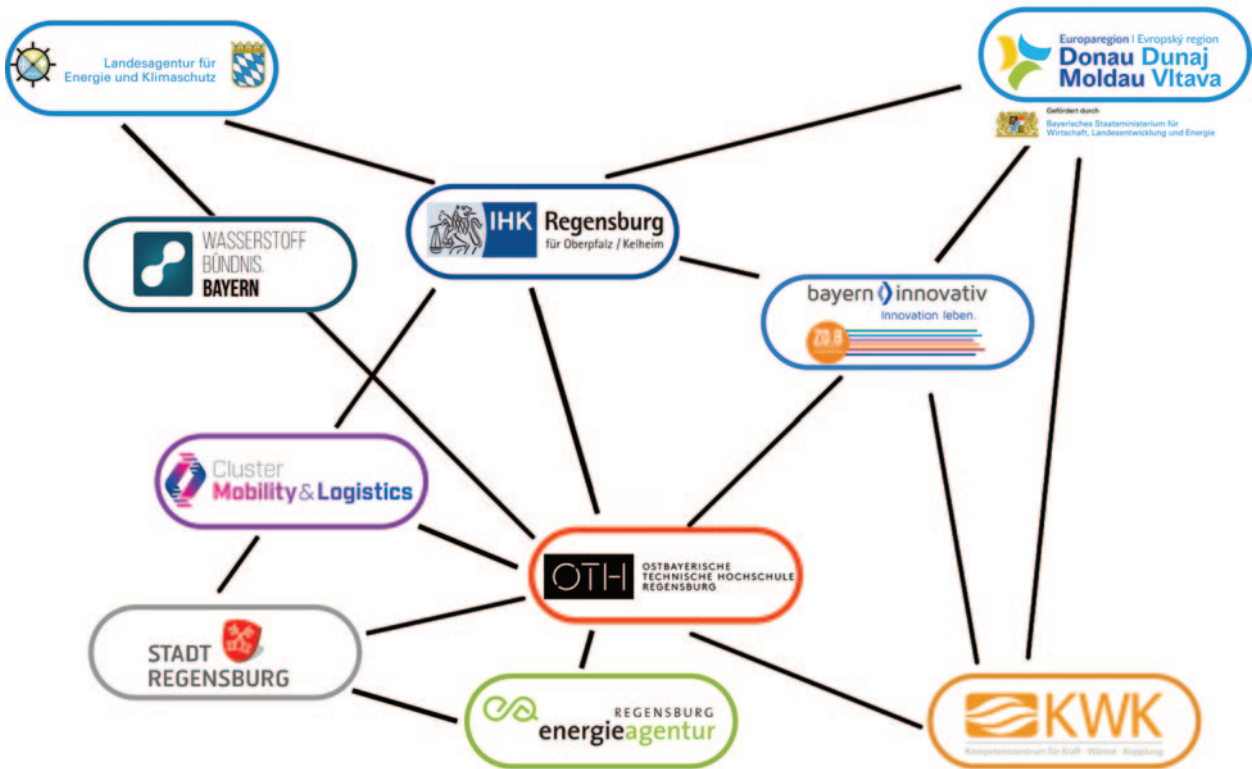
[rcer@oth-regensburg.de](mailto:rcer@oth-regensburg.de) [www.rcer.de](http://www.rcer.de)

**Besucheradresse:** in der Agentur für Arbeit | 1. Stock | Raum 1.053 | Galgenbergstraße 24 | 93053 Regensburg  
**Postanschrift:** Postfach 12 03 27 | 93025 Regensburg



## Netzwerke – Kooperationen

Durch die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen entstand ein breit gefächertes Netzwerk, wodurch ein gezielter Wissenstransfer mit gemeinsam durchgeführten Veranstaltungen, Workshops und Austauschformaten innerhalb des Verbundes sowie in die Wirtschaft und Gesellschaft erreicht werden soll.



Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Kooperationen mit Hochschulen, wissenschaftlichen Institutionen sowie Unternehmen, die insbesondere im Rahmen von gemeinsamen Forschungsprojekten intensiviert werden.

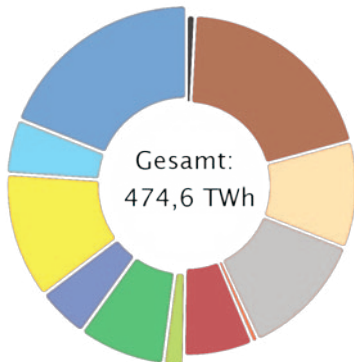


„**Ich schätze an der Community des Clusters Energietechnik das fachliche Knowhow der Experten und den Wissenstransfer auf gemeinsamen Fachforen und Kongressen.**“



# Energiedatenbank des RCER

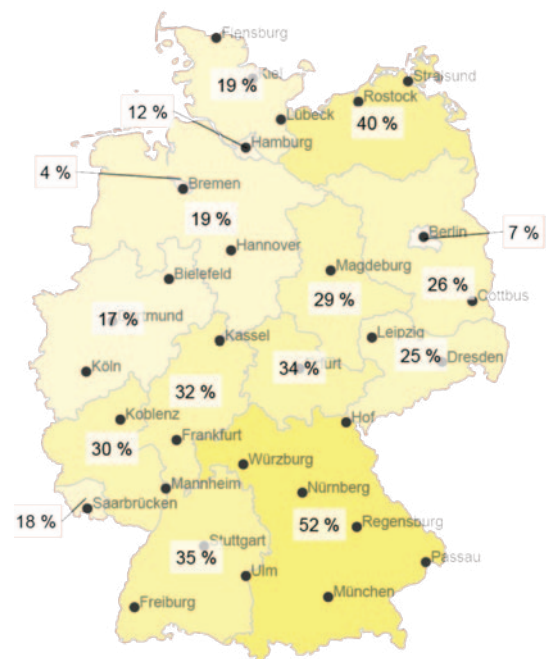
Die Energiedatenbank des Regensburg Center of Energy and Resources der OTH Regensburg bietet interaktive Diagramme, Karten und Informationen zum Energiesektor an. Daten aus unterschiedlichen Quellen werden verarbeitet, analysiert und anschließend zur Ansicht aufbereitet. Historische und stündlich aktualisierte Daten stehen in verschiedenen Formaten zum Download bereit.



## Deutschland – 2022

**50 %**  
**Nettostromerzeugung  
aus Windkraft**

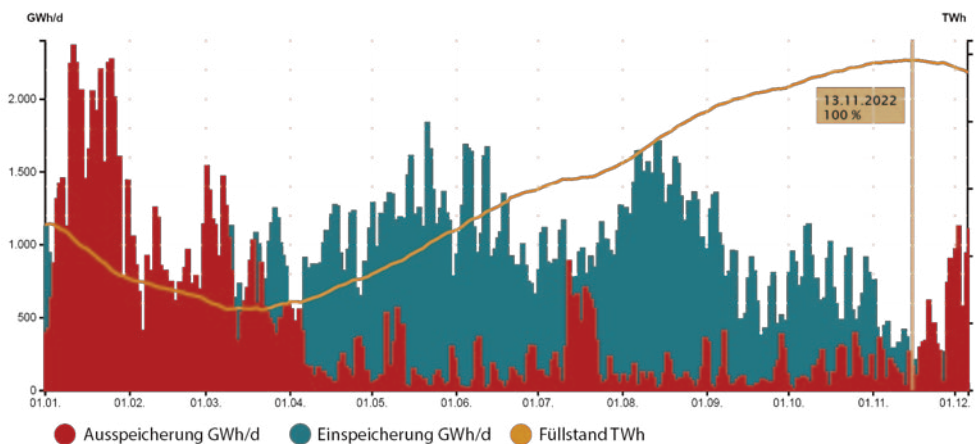
Stand: 09. Dezember 2022  
Datenquelle: Entso-E Transparency Platform



## Bayern – 2022

**52 %**  
**Installierte Erzeugungsleistung  
Erneuerbarer Energien**

Stand: November 2022  
Datenquelle: Monitoringbericht 2022  
Bundesnetzagentur



## verschiedene Zeitreihen- Diagramme

## Gas Speicher- füllstände 2022

Stand: 09. Dezember 2022  
Datenquelle: Europäische  
Transparenzplattform AGSI+

Wie entwickelt sich der Energiebedarf? Aus welchen Energieträgern wird der Bedarf gedeckt? Wie verteilt sich der Endenergieverbrauch auf einzelne Sektoren? Diese Antworten und vieles mehr finden Sie in der Energiedatenbank des RCER unter

[www.energiedaten.online](http://www.energiedaten.online)





# Wissenstransfer

Ein Schwerpunkt des RCER ist die Verbreitung von aktuellen Themen im Bereich „Energie und Ressourcen“ durch Infotage sowie die Präsentation von Forschungsergebnissen durch Tagungen, wie bspw. den Energiekongress. Ziel dabei ist neben der Generierung neuer Netzwerke auch der Transfer der Forschungsergebnisse in die Gesellschaft und Wirtschaft.

Der Regensburger Energiekongress bringt alle zwei Jahre Wissenschaft, Politik, Bürger und Unternehmen an einen Tisch. Er symbolisiert das Engagement für einen durchdachten und nachhaltigen Umbau des deutschen Energiesystems.

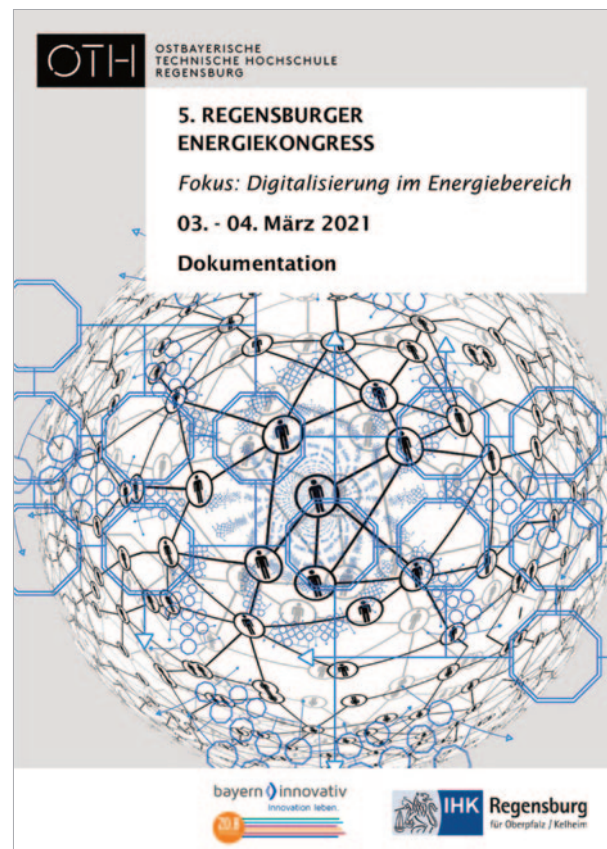
## Bisherige Kongresse

- 2013 Fokus: **Stromnetz**
- 2015 Fokus: **Energieeffizienz**
- 2017 Fokus: **Blackout**
- 2019 Fokus: **Betriebliche Eigenversorgung**
- 2021 Fokus: **Digitalisierung im Energiebereich**

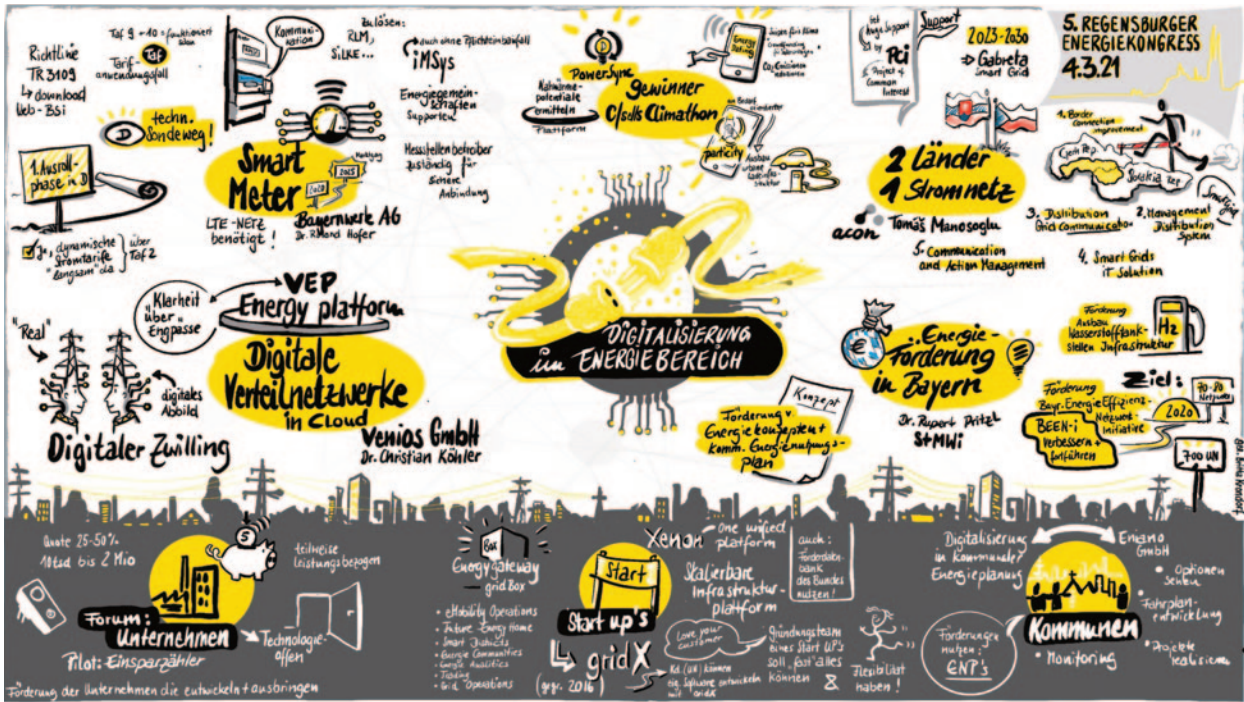
Der nächste Kongress findet am 13./14.03.2023 an der OTH Regensburg mit dem Fokus „Resiliente Energieversorgung“ statt. [www.energiekongress-regensburg.de](http://www.energiekongress-regensburg.de)

## 5. Regensburger Energiekongress auch virtuell gut besucht

Wie steht es um die Digitalisierung im Energiebereich? Mehr als 500 Teilnehmende beschäftigten sich beim 5. Regensburger Energiekongress am 03. und 04. März 2021 mit genau dieser Frage. Die Energieversorgung wandelt sich zusehends zu einem dynamischen System mehrerer kleiner Erzeuger. Die Versorgung wird komplexer. Potenziale aller Verbraucher und Erzeuger sollen ausgeschöpft und Flexibilitäten genutzt werden. Digitale Technik und intelligente Netze sollen dies steuern und überwachen, um so die Netzinfrastruktur effizient weiterzuentwickeln. Neue Konzepte und Lösungen entstehen. Der Kongress hat in zahlreichen Vorträgen und drei Fachforen aufgezeigt, was bereits umgesetzt wurde, welche Herausforderungen noch bevorstehen und von welchen Best-Practice-Beispielen wir lernen können. Mit namhaften Expert\*innen aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft wurde über den aktuellen Stand der Digitalisierung im Energiebereich diskutiert. Auch wenn die Veranstaltung diesmal nur digital stattfinden konnte, gab es Möglichkeiten für Fragen und Diskussion sowie einen regen Austausch in den Fachforen. Veranstalter waren das Regensburg Center of Energy and Resources der OTH Regensburg mit Unterstützung des Zentrums Digitalisierung.Bayern (ZD.B) und der Industrie- und Handelskammer Regensburg für Oberpfalz/Kelheim sowie der Europaregion Donau-Moldau.







Graphic Recording von Tag 2 des 5. Regensburger Energiekongress. Grafische Visualisierung: Britta Krondorf



Impressionen vom 4. Regensburger Energiekongress.



Darüber hinaus bieten wir Informationstage für verschiedene Interessensgruppen (Unternehmen, Kommunen, Versorger etc.) an, um über aktuelle Fragestellungen im Energie- und Ressourcenbereich zu informieren und zu diskutieren.

#### Bisherige Infotage

- 2013 Betriebliche Energieeffizienz
- 2016 Energie und Ressourcen im Betrieb
- 2016 EEG 2017
- 2017 Dezentrale Energieversorgung
- 2021 Energetische Sanierung im Bestand
- 2022 Spannungsqualität für stabile Produktionsprozesse

Die Infotage werden in Zusammenarbeit mit der IHK Regensburg für Oberpfalz/Kelheim sowie dem Cluster Energietechnik der Bayern Innovativ GmbH organisiert.

Partner im



## Energetische Sanierung im Gebäudebestand

Sanierungsquote, Primärenergieverbrauch – wie kann Klimaneutralität im Gebäudebestand bis 2050 erreicht werden? Rund 30 Interessierte folgten der Einladung der Bayern Innovativ GmbH und der OTH Regensburg am 6. Oktober 2021 nach Regensburg und wurden von Dr. Ulrich Buchhauser, Leiter der Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK), begrüßt.

In Deutschland entfallen etwa 35 Prozent des Endenergieverbrauchs auf den Gebäudesektor und etwa 30 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Daher ist der Gebäudebereich für das Erreichen der klimapolitischen Ziele von zentraler Bedeutung. Verschiedene Fachvorträge informierten über Best Practice Beispiele der energetischen Sanierung sowie über technische Ansätze der Energieeinsparung. Ebenso gab es Einblicke in das Forschungsprojekt „MAGGIE“ – Energetische Sanierung des Margaretenbaus. Die Begleitung dieser Sanierungsmaßnahme aus sozialwissenschaftlicher Perspektive wurde von Prof. Dr. Sonja Haug vorgestellt. Sie erläuterte die Herausforderungen der Mietkostenneutralität nach der Sanierungsmaßnahme und die Akzeptanzproblematik bei „Smart Home“ Technologien. Die vielfältigen Fördermöglichkeiten von BAFA und KfW zu Sanierungsmaßnahmen stellte Christian Winterhalter von der Energieagentur Regensburg e. V. vor. Nicht zuletzt spielt der rechtliche Rahmen eine beachtliche Rolle bei der Umsetzung der energetischen Sanierung, was Martin Speulda, BBH München, mit dem Gebäudeenergiegesetz sehr greifbar ausführte. Zum Abschluss gab es für die Teilnehmer eine Exkursion zur Margaretenau, bei der Tobias Saller, Geschäftsführer Luxgreen Climadesign, die im Projekt „MAGGIE“ durchgeführten Sanierungsarbeiten sehr anschaulich präsentierte.



Dr. Ulrich Buchhauser bei der Eröffnung des Infotages am 06.10.2021 in der TechBase Regensburg. Foto: Bayern Innovativ GmbH (Theresa Ammon)



Zuhörer beim ersten Infotag in Präsenz nach der Coronazeit.





## Treffpunkt Hochschule

In der Veranstaltung des Treffpunkt Hochschule der IHK Regensburg für Oberpfalz/Kelheim, des Kompetenz-Netzwerkes Mechatronik in Ostbayern und des RCER ging es 2022 um das Thema „Spannungsqualität für stabile Produktionsprozesse“.

Bisher weist Deutschland höchste Versorgungsqualität in der elektrischen Energieversorgung auf. Jedoch berichten einige Unternehmen in Bayern von höheren Anforderungen an die Spannungsqualität aufgrund hoch-automatisierter Produktionsprozesse und von potenziel-

len Beeinträchtigungen. Verschiedene Fachvorträge informierten über den Status Quo bei der automatischen Wiedereinschaltung und welche Gegenmaßnahmen seitens des Netzbetreibers ergriffen werden. Best-Practice-Beispiele veranschaulichten die referierten Themen. Zudem stellte das Team um das abgeschlossene Forschungsprojekt NetzEntwicklungsOffensiveStrom (neos) seine Ergebnisse, wie sich die Spannungsqualität in den letzten Jahren entwickelt hat und welche technischen Ursachen zugrunde liegen, vor.



Referent Wolfgang Tauber. Foto: Bayernwerk Netz GmbH



TeilnehmerInnen des Treffpunkt Hochschule, v.l.n.r., hinten: Johannes Eller (OTH Regensburg), Josef Bayer (Max Bögl), Klaus Schedlbauer (Kompetenz-Netzwerk Mechatronik Ostbayern), Wolfgang Tauber (Bayernwerk Netz GmbH); vorn: Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (OTH Regensburg), Andrea Bayer (IHK Regensburg), Tobias Galli (Kompetenz-Netzwerk Mechatronik Ostbayern), Thomas Genosko (IHK Regensburg)

## RCER-Preis für Energieforschung verliehen

Im Rahmen des Treffpunkt Hochschule am 31.05.2022 wurde zum ersten Mal der RCER-Preis für Energieforschung vergeben. Die Gewinner Florian Eigenstetter und Ludwig Brey freuten sich über die Anerkennung ihrer Arbeiten. Der Preis des Regensburg Centers of Energy and Resources (RCER) ist mit 500 Euro dotiert und zeichnet herausragende Ideen und Arbeiten im Bereich der Energieforschung an der OTH Regensburg aus.

Bei den Arbeiten der beiden Absolventen ging es zum einen um eine Analyse der Spannungsabhängigkeit von Netzgebieten, zum anderen um die Entwicklung einer Verfahrensweise zur vereinfachten Auswahl von Regelalgorithmen für regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT) auf Basis von Netzkennzahlen.



Gewinner des RCER-Preises für Energieforschung 2021, v.l.: Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl bei der Preisübergabe an Florian Eigenstetter und Ludwig Brey. Foto: OTH Regensburg





## WOCHE DES WASSERSTOFF SÜD 2022

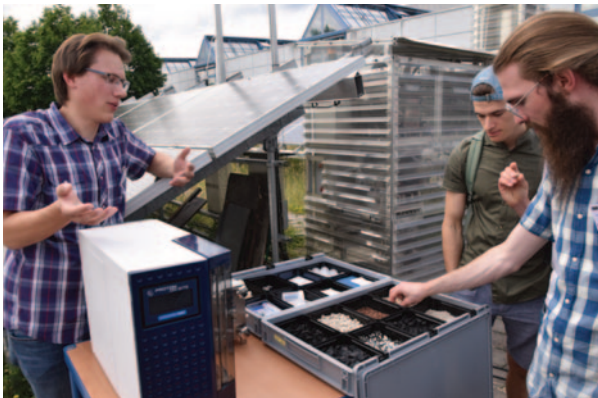
Was ist Wasserstoff und was macht ihn zur Schlüsseltechnologie für eine erfolgreiche und nachhaltige Energiewende? Am 28. und 30. Juni 2022 konnten sich interessierte BesucherInnen auf dem Campus der OTH Regensburg informieren, in welchen Bereichen Wasserstoff schon heute innovativ eingesetzt wird und auf einer Besuchermesse regionale Akteure aus dem Bereich Energie und Klimaschutz in und um Regensburg kennenlernen.

Zum vielfältigen Programm an den beiden Veranstaltungstagen zählten Vorträge zur Energiesystemmodellierung, zu H<sub>2</sub>-basierten alternativen Kraftstoffen, welchen Beitrag Wasserstoff zur Energiewende bietet sowie eine Vorführung des Wasserstoffatlas. Es gab rege Diskussionen der Teilnehmer und Teilnehmerinnen mit den ReferentInnen u. a. mit Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl. Bei den Laborführungen zum H<sub>2</sub>-Motor, zum Eisen-Redox-Wasserstoffspeicher sowie der Begehung der Methanisierungsanlage des Pro-

jektes ORBIT II wurde Forschung zum Anfassen gezeigt und zahlreiche Fragen der Teilnehmer und Teilnehmerinnen beantwortet. In seinem Vortrag über die Zukunft des Wasserstoffs in Bayern stellte Dr. Ulrich Buchhauser, Leiter der Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK), u. a. die Wasserstoff-Roadmap vor.



Laborführung zum Eisen-Redox-Wasserstoffspeicher, Lea Huber, OTH Regensburg.



Begehung der Methanisierungsanlage Projekt ORBIT II, Daniel Rank, OTH Regensburg.



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl bei seinem Vortrag H<sub>2</sub>-basierte alternative Kraftstoffe.



Aussteller der WOCHE DES WASSERSTOFF SÜD 2022, v.l.n.r.: Matthias Trauner und Magdalena Friedl (LUXGREEN Climadesign), Alexander Widmann und Hubert Maierhofer (C.A.R.M.E.N. e. V.), Thomas Eichenseher und Robin Puchert (Landesagentur für Energie und Klimaschutz – LENK), Sigrid Berger (Primus Energie GmbH), Gregor Glötzl (Stadt Regensburg), Anna Tommek und Lea Huber (OTH Regensburg). Fotos: OTH Regensburg



## Tag der offenen Hochschule

Neben den Unternehmen sind aber auch Studierende, SchülerInnen und junge Leute eine Zielgruppe für unseren Wissenstransfer.

Beim Tag der offenen Hochschule am 02. Juli 2022 wurde durch verschiedene Vorträge für Kinder versucht, das Thema Energie näher zu bringen. „Wie funktioniert ein Wasserstoff-Speicher?“ und „Wie kommt der Strom in

die Steckdose: Das Stromnetz“ waren gut besuchte Vorträge, die mit einer anschließenden kleinen Laborführung nochmal alles anschaulich zeigen konnten.

Das Energie Quiz war ein beliebter Anlaufpunkt und es war schön zu sehen, wie gerade auch jüngere Kinder bereits am Thema Energie und Klimaschutz interessiert sind.



Impressionen vom Tag der offenen Hochschule.



Führung im Labor Process Engineering, Lea Huber, OTH Regensburg.



Vortrag Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner.



Besucher am Info-Stand des RCER. Fotos: OTH Regensburg



## NachtSchafttWissen



Im Rahmen von NachtSchafttWissen wurden am 21. Oktober 2022 in verschiedenen Vorträgen die Themen der Versorgungssicherheit „Was Stromnetze alles leisten müssen“ oder „E-Autos zuhause laden – Halten unsere Stromnetze das aus?“ bis hin zu Speichern „Eisen-Redox-Wasserstoffspeicher – ein komplexer Name anschaulich erklärt“ adressiert.

Dabei wurden grundsätzliche Fragen ebenso wie Forschungsergebnisse kurzweilig und anschaulich vorgetragen und den Interessierten u. a. Einblicke in die Projekte NiEMob und INZELL gegeben. Näheres zu diesen Projekten erfahren Sie im Kapitel „Netze und Transformatoren“ in dieser Broschüre.



Impressionen von NachtSchafttWissen. Fotos: OTH Regensburg



Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl



Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud





## Science Slam – Auftakt der Regensburger Nachhaltigkeitswoche 2022

Am 27. Juni 2022 wurde die Regensburger Nachhaltigkeitswoche durch Oberbürgermeisterin Maltz-Schwarzfischer im Degginger eröffnet.

Im Science Slam „Science & Sustainability“ gaben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Region einen illustren und unterhaltsamen Einblick in ihre Forschung zum Thema Nachhaltigkeit. Organisiert vom Kulturamt der Stadt Regensburg, der Europaregion



Donau-Moldau (EDM) und dem Netzwerk Nachhaltigkeit wartete das Publikum gespannt auf die Performance-Vorträge.



Falk Birett und Leon Schumm, Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES), OTH Regensburg „Wo kommt der Wasserstoff her?“ Foto: Bilddokumentation Stadt Regensburg



Emily Cameron, Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES), „Blackout“ mit Moderator Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, OTH Regensburg. Foto: Antonia Pröls



Publikum im Degginger. Foto: Bilddokumentation Stadt Regensburg

## Kongress „Wasserstoff und Synthetische Kraftstoffe“



Am 28. September 2022 lud die IHK Regensburg für Oberpfalz/Kelheim zum Kongress „Wasserstoff und Synthetische Kraftstoffe“ ins Jahnstadion ein, der gemeinsam mit dem RCER der OTH Regensburg, der Landesagentur für Energie und Klimaschutz und dem Cluster Mobility und Logistics vorbereitet wurde.

Die Mobilität der Zukunft muss zu den Bedürfnissen der Nutzer passen, bezahlbar und klimafreundlich sein. Zur Erreichung der Klimaziele spielt dabei die Antriebsart eine entscheidende Rolle. Synthetische Kraftstoffe und Wasserstoff können einen Beitrag zur klimafreundlichen Mobilität leisten. Aktuelles zum Stand der Technik, Einsatzmöglichkeiten und Perspektiven dieser Technologien präsentierten bei der Veranstaltung verschiedene Vorträge aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Im Anschluss wurden diese Themen mit den Referenten in einer gemeinsamen Podiumsrunde diskutiert.



Beim IHK-Kongress sprachen unter anderem Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner (links) und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl, OTH Regensburg.  
Foto: OTH Regensburg





## Länderübergreifender Austausch



Im November 2022 lud Verena Nirschl von der Europa-region Donau Moldau (EDM) Akteure aus der Region zu

einem gemeinsamen Workshop nach Regensburg ein, der zusammen mit dem RCER organisiert wurde. So trafen sich bayerische und tschechische ExpertInnen beim grenzübergreifenden Workshop „Cross-border Energy Projects“, um Ideen, themenbezogene Forschungsansätze und verschiedene Möglichkeiten einer länderübergreifenden Zusammenarbeit zu diskutieren.

Die Kooperation soll auch in Form von gemeinsamen INTERREG Förderprojekten gestärkt werden.



Bilder vom Workshop „Cross-Border Energy Projects“. Fotos: Verena Nirschl, EDM



## Lehrer:innenfortbildung „Bausteine der zukünftigen Stromversorgung“ an der Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Am 10. November 2022 hat die Fakultät Elektro- und Informationstechnik der OTH Regensburg erstmalig eine vierstündige Lehrer:innenfortbildung im Bereich elektrische Energietechnik mit dem Thema „Bausteine der zukünftigen Stromversorgung“ angeboten. Die Fortbildung war über das Bildungsministerium auf dem offiziellen Portal „Fortbildungen in bayerischen Schulen (FIBS)“ für Lehrer:innen aus den Bereichen Mathematik, Physik und Informatik ausgeschrieben. Das Interesse an der Fortbildung war groß.

Die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) aus der Fakultät Elektro- und Informationstechnik hat die Inhalte der Fortbildung vorbereitet und referiert. Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl startete dabei mit einem Vortrag zur „Versorgungssicherheit mit erneuerbaren Energien“ und gab Einblicke in die heutigen Strukturen der elektrischen Energieversorgung und die bevorstehenden Herausforderungen durch die Energiewende.

Weiter ging es mit einem Besuch des Labors für regenerative Energien zum Windkanal. Dort erklärte Prof. Brückl grundlegende Fakten zum Bereich Windenergie und Windkraftanlagen. Die Lehrer:innen durften im Nachgang selbst einen Versuch am Windkanal mit Anleitung des zuständigen Laboringenieurs Harry Sigler durchführen. Sie hatten damit die Gelegenheit, die Auswirkungen der Windgeschwindigkeiten und Strömungen auf einem Windenergieanlagenmodell zu beobachten und das physikalische Prinzip der Umwandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie anschaulich zu verstehen.

Außerdem konnte bei einem Rundgang an der OTH Regensburg die Methanisierungsanlage besichtigt werden. Michael Heberl (Mitarbeiter FENES) erklärte die grundlegende Funktionsweise der Methanisierung sowie die Anlage. Die Lehrer:innen durften die Demonstrationsanlage genau inspizieren und erfuhren, wie an der Thematik weiter geforscht und welchen potenziellen Beitrag diese Technik an der Energiewende hat.

Es gab zur Durchführung und den Inhalten der Fortbildung sehr positive Rückmeldungen, so dass eine Wiederholung des Formats angedacht ist.



Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl gibt den Lehrer:innen einen Einblick auf den vor knapp 10 Jahren erbauten ersten regelbaren Ortsnetztransformator (RONT).



FENES-Mitarbeiter Michael Heberl erläutert die grundlegende Funktionsweise der Methanisierung und erklärt, wie diese an der Methanisierungsanlage umgesetzt wurde.



Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl und die Lehrer:innengruppe im Labor Regenerative Energien. Dort wurde u. a. die Funktionsweise des Windkanals erläutert.





OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG

Werde Energiewender\*in  
und gestalte unsere Zukunft  
nachhaltig mit!

Technik + Sinn = Regenerative  
Energien / Gebäudeklimatik u.v.m.

@ OTH Regensburg



# Projekte stellen sich vor



# Gebäude und Siedlungsstrukturen

## MAGGIE – Energetische Modernisierung mit solaraktiven Baustoffen und hybridem Heizsystem

Ein Projekt von Prof. Dr. Oliver Steffens et al.

Als die Erbauer der Margaretenau vor 100 Jahren im Westen Regensburgs damit begannen, eine Gartenvorstadt zu errichten, betraten sie buchstäblich Neuland. Heute tun sie es wieder – als Partner der OTH Regensburg im Forschungs- und Entwicklungsprojekt MAGGIE. An einem Mehrfamilienhaus des Ensembles aus den 1930er Jahren wurden neue Technologien erprobt und kombiniert, um das Gebäude effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Die visionäre Zielsetzung des Projekts war es, die Gebäude der Siedlung zu modernisieren, ohne die Warmmieten ansteigen zu lassen.

### Dämmen mit Glaskügelchen und solaraktiven Wandaufbauten

Gemeinsam mit der Universität Bayreuth und Franken Maxit Mauermörtel GmbH & Co entwickelte und untersuchte die OTH Regensburg in den vergangenen Jahren innovative Dämmkonzepte für Bestandsgebäude. Die



Abbildung 1: Am Demonstrationsgebäude in der Margaretenau wurde ein Solarselektives Wärmedämmssystem eingebaut. (Foto: OTH Regensburg)

**MAGGIE – Energetische Modernisierung des genossenschaftlichen Wohnquartiers Margaretenau in Regensburg**

---

**Förderzeitraum** 2017-10-01 bis 2022-06-30  
**Bewilligte Summe** 2.668.872 EUR

---

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen, Labor für Heizungs- und Klimatechnik, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

---


**Zuwendungsgeber**  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

---

**Förderprogramm**  
 Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt

---

**Verbundvorhaben**  
 9 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:  
  
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

**MAGGIE: Energetisch effiziente, nachhaltige und weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale Umstellung bzw. Sanierung der Energieversorgung eines genossenschaftlichen Wohnquartiers in Regensburg | Validierung der MAGGIE-Simulation und Optimierung der KI-Regelung | Veröffentlichung der Ergebnisse**

---

**Förderzeitraum** 2021-02-01 bis 2022-12-31  
**Bewilligte Summe** 56.500 EUR

---


**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen, Labor für Heizungs- und Klimatechnik

---

**Zuwendungsgeber**  
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

---

**Förderprogramm**  
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 

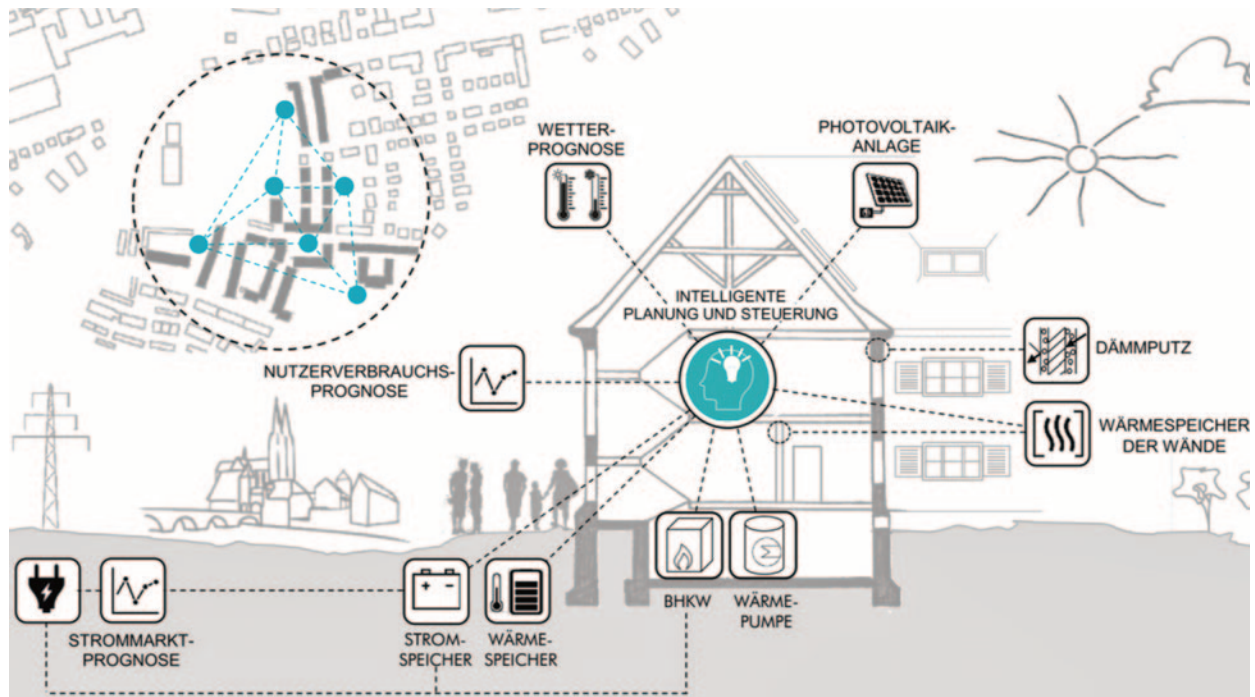


Abbildung 2: Übersichtsbild Projekt MAGGIE

Ausgangslage bot ein zementbasierter, mit Mikrohohlglaskugeln gefüllter Dämmputz. Dieser sollte die Übertragung von kurzwelliger Solarstrahlung zum Mauerwerk ermöglichen, wo die Strahlung – wie beim Fell eines Eisbären – absorbiert und als Wärme ins Mauerwerk eingespeichert wird. Ein Simulationsmodell zeigte allerdings, dass das neuartige Putzsystem ohne weitere Maßnahmen dafür ungeeignet ist. Als wirkungsvoll erwies sich die Strukturierung mit „lichtleitenden Elementen“ in Gestalt von Kapillaren, die das Licht passieren lassen, ohne die Dämmwirkung des Putzes zu reduzieren.

Neben dieser „solaraktiven Dämmung“ wurden für verschattete Fassaden Mehrschichtkonstruktionen aus Luftkammern entwickelt, die die Wärmestrahlung – ähnlich einer Rettungsdecke oder einer Thermoskanne – nach innen reflektieren, um Wärmeverluste nach außen zu verringern. Die Sanierung der Außenflächen des Demonstrationsobjekts wurde 2020 abgeschlossen.

Darüber hinaus wurde der Effekt einer speziellen strahlungsreflektierenden Farbschicht an der Wandinnenseite untersucht. Diese fördert die empfundene Behaglichkeit im Gebäudeinneren, ohne Erhöhung der Raumtemperatur. Allein dadurch lagen die Energieeinsparpotenziale bei bis zu 20 Prozent, wie Untersuchungen ergaben.



Abbildung 3: Diese Außenansicht zeigt das Demonstrationsobjekt nach der Sanierung. (Foto: OTH Regensburg)

Begleitend zu den Entwicklungsvorhaben wurde eine Sozialstudie durchgeführt. Der Fokus lag dabei in der Erfassung des Nutzerverhaltens durch Befragung, der Einbindung in die energetische Optimierung, der Auslotung der Akzeptanzgrenzen, der Zufriedenheit hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit und der Untersuchung möglicher Vorbehalte gegenüber der Energie-datenbereitstellung und der Datensicherheit.

#### **Hybridheizsystem und intelligentes Energiemanagement**

Zur Wärmeversorgung des Demonstrationsgebäudes wurde ein besonders effizientes Hybridheizsystem aus Blockheizkraftwerk und Wärmepumpe eingesetzt, in Verbindung mit einer PV-Anlage. Das skalierbare Versorgungssystem mit innovativer Wärmelogistik ermöglicht eine bedarfsgeführte, pulsierende Versorgung mit Warmwasser und Heizungswärme. Dafür wurde, bei gesicherter Wasserhygiene, ein Hydraulikkonzept mit mehreren Pufferspeichern erarbeitet. Dieses beinhaltet beispielsweise eine Absenkung der Pumpenlaufzeit und eine bessere Leitungs- und Speicherdämmung. Verschiedene Entnahmeregime, Speicherbeladezustände und Stillstandszeiten werden berücksichtigt und können an

die tatsächlichen Nutzungszustände angepasst werden. Und hier kommt das selbstlernende Energie-Optimierungssystem ins Spiel.

Sozusagen als „Gehirn“ von MAGGIE wird eine intelligente Planungs-, Steuerungs- und Energiemanagementsoftware eingesetzt, um Betriebszeiten, Verbrauchsdaten, Wetterprognosen und Energiepreise zu berücksichtigen und selbstlernend größtmögliche Kosten- und Ressourceneffizienz zu erreichen.

Energieerzeugung, -verteilung und -speicherung werden in Echtzeit auf den energetischen Bedarf des Ensembles abgestimmt. Das Optimierungsverfahren basiert dabei zum Teil auf sogenannten evolutionären Algorithmen. Das heißt, dass deren Funktionsweise an die Evolution natürlichen Lebens angelehnt ist. Das Tool, also die Maschine, soll damit Wissen aus Erfahrung generieren, Muster erkennen und im Optimalfall auch mit unbekanntem Daten zurechtkommen (Maschinelles Lernen).

MAGGIE endete im Sommer 2022. Die Ergebnisse spielen jedoch auch in den kommenden Jahren, bei der Sanierung der gesamten Margaretenau, eine wichtige Rolle.





# Verbesserungen für Gebäudesimulationen mithilfe einer vergleichenden Analyse mit der Finiten-Elemente Methode

Ein Projekt von Prof. Dr. Oliver Steffens

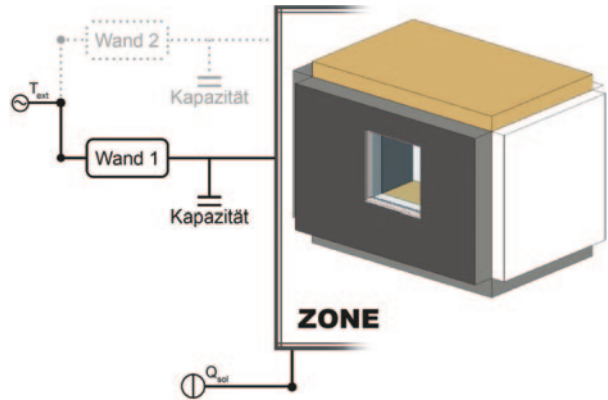
Das Forschungsprojekt EddA (Energetischer digitaler Zwilling für das dynamische Energiemanagement auf AI-Basis in Quartieren und Siedlungsstrukturen) bemüht sich um die Reduzierung der CO<sub>2</sub> und Energie Emissionen. Drei Partner sind an diesem Projekt beteiligt: Consolinno Energy GmbH, Luxgreen Climadesign und die OTH Regensburg.

Es wird angestrebt folgende Probleme zu lösen:

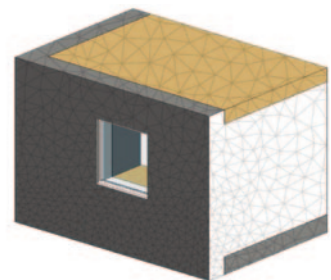
- Zeit- und kostenintensive Sanierungsarbeiten
- Optimierung des Strom- und Energieverbrauchs von Gebäuden

Diese Herausforderungen können mithilfe von einer Künstlichen Intelligenz (KI oder engl. AI) angegangen werden. Indem der Energieverbrauch des Gebäudes vorhergesagt wird, kann dessen Effizienz verbessert werden.

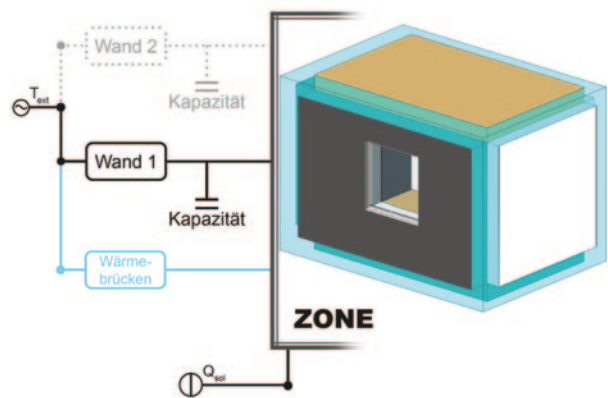
Um wertvolle Simulationsdaten für die KI zu erhalten, wird ein genaues digitales Simulationsmodell des Gebäudes benötigt. Das Modell wird mithilfe von IDA ICE (Lumped-Parameter Methode, LPM) erstellt. Um ein



Lumped-Parameter Simulation



Finite-Elemente Simulation



kombiniertes Simulationsmodell

SmartQ – EddA: Energetischer digitaler Zwilling für das dynamische Energiemanagement auf AI-Basis in Quartieren und Siedlungsstrukturen

Förderzeitraum 2020-06-01 bis 2022-09-30  
Bewilligte Summe 190.000 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen

Zuwendungsgeber  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderprogramm  
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK – Kooperationsnetzwerke

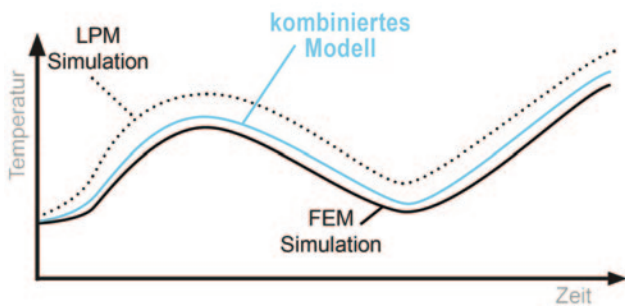
Verbundvorhaben  
3 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





Vergleich der durchschnittlichen Oberflächentemperatur innerhalb der Gebäudezone

noch präziseres Modell zu erhalten, wird dies mithilfe einer Multiphysik Software (Finite-Elemente Methode, FEM) verbessert. Anschließend werden die Ergebnisse mithilfe eines Plug-In-Modules in IDA ICE implementiert.

### Ergebnisse

Das Modell wird hierbei mit pauschalen Parametern und nicht mit mathematischen Modellen verbessert. Diese werden anhand einer Datenanalyse aus der FEM-Simulation erstellt. Dadurch ist es möglich, die Simulationszeit

niedrig zu halten und gleichzeitig genauere Simulationsergebnisse zu erhalten. Ein Nachteil der FEM Simulation ist der wesentlich höhere Rechenaufwand. Im kombinierten Modell kann die Genauigkeit der FEM und die kurze Rechenzeit der LPM-Simulationen in einem vereint werden.

### Fazit

Eine detaillierte Finite-Elemente Modellierung von Konvektion und Wärmebrücken innerhalb des kombinierten Modells reduziert die Temperaturabweichungen von bis zu 1 K auf weniger als 0,2 K im Vergleich zum Modell mit der Lumped-Parameter Methode. Bei der Wärmestrahlung und Transmission sind jedoch nur geringe Unterschiede zwischen den betrachteten Modellen festzustellen.

# Climate change, extreme actions and sustainability of renewable energy infrastructures

Project of Prof. Dr.-Ing. Dimitris Diamantidis (OTH Regensburg) and Assoc. Prof. Dr. Miroslav Sykora (CVUT Prague)

## Background

Climate change is a global issue that will and has already impacted the frequency and intensity of natural hazards in many regions throughout the world. Consequently, the actions on structures are changing and present design practices will need to be adapted to provide for reliable structures over the desired lifetime. The included review of present environmental and climate change information is focused on the climatic conditions of Central Europe. An outline of the basis of structural design accounting for extreme wind, snow and water actions has been analysed and recommendations for future risk-based design procedures have been proposed. Issues to consider include: a) use of extreme value models; b) implementation of changes in distribution parameters to obtain extremes with long return periods; c) consideration of the rate of the change. Additionally design strategies seem to be substantially affected by expected growth of failure consequences, resulting from ever increasing interdependencies amongst infrastructures.

## Literature review

Relevant data related to the climate change in Germany and Czech Republic such as temperature increase, precipitation intensities and periods of drought have been studied. The influence of such events to extreme loading conditions has been reviewed. It appears difficult to relate climate change to environmental load changing parameters. However statistical models are available

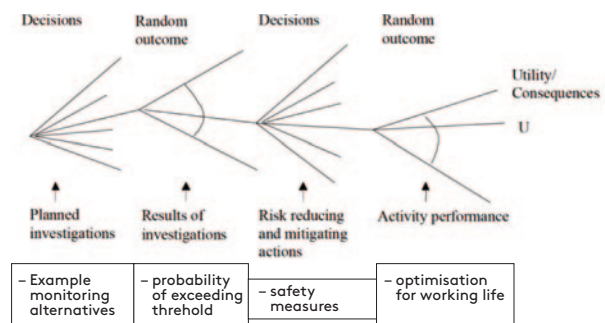


Figure 1: Decision tree for monitoring optimisation (generic example, see Diamantidis and Sykora, 2019).

and have been discussed. The strategy adopted by the Federal government of Germany, in order to deal with the influence on extreme events due to possibly climate change has been summarized.

## Methodology

The basics of risk assessment have been reviewed; the risk combined with a hazard is a combination of the probability of occurrence of this hazard and the consequences in case that it occurs. The simplest function relating the two constituents of risk  $R$  is therefore used by multiplying the probability of failure (of the structure)  $p_F$  by the consequences of failure  $C_F$  and represents the expected value  $E$  of the failure consequences:

$$R = p_F \times C_F = E[C_F]$$

The failure probability is calculated based on data and computation techniques. Three major types of potential consequences are considered: a) direct and indirect economic losses reflecting the resilience of the wider system, b) environmental impacts due to pollution, c) human consequences. The consequences can be monetized by assigning values to the various types of losses. By applying a cost-benefit approach, risk acceptability criteria have been implemented in industrial domains and related projects by evaluating the costs and benefits of each possible investment into safety. The implementation of Structural Health Monitoring has been also investigated for updating the failure probability on the basis of additional information (see Figure 1). SHM can be indeed effectively used to assess the condition/performance of renewable energy infrastructures and to provide data for infrastructure management and decision making.

**Klimawandel und extreme Belastungen auf die Energie-gewinnungskonstruktionen | Risikobasierte statische Anforderungen an Pelletlagerkonstruktionen**

---

**Förderzeitraum** 2020-01-01 bis 2022-12-31  
**Bewilligte Summe** 16.000 EUR

---

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Fakultät Bauingenieurwesen

---

**Zuwendungsgeber**  
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

**Förderprogramm**  
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

  
 Bayerisches Staatsministerium für  
 Wissenschaft und Kunst



Potential benefits by using SHM include for example reduction of uncertainties regarding critical parameters related to the condition/performance of the structures, updated and more accurate risk assessment related to the operational status of the structure along its lifetime or improvement and efficiency in the inspection and maintenance strategies.

#### Case studies

The methodology has been implemented in renewable energy infrastructures such as photovoltaic constructions shown in Figure 2. Thereby typical limit state scenarios of structural members have been analysed by considering a random structural resistance and maximum two action effects: permanent and variable such as wind related affected by climate change. Other case studies were dealing with:

- Damage identification after natural hazards based on UAV surveys and optimisation of rehabilitation decisions;
- Decision making about safety measures and protection of built infrastructure against fluvial floods
- Monitoring of a long-span roof exposed to extreme snow loads

#### Outcomes

Project results have been used in international research organisations such as the International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE Task Group 6.1, Joint Committee on Structural Safety JCSS, COST TU1402 and fib COM3 TG 3.1, have been presented in international conferences and also published in scientific respective articles. Representative publications are:

Diamantidis, D. and Sykora, M. Implementing Information Gained through Structural Health Monitoring – Proposal for Standards. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP13*, Seoul, South Korea, 26-30 May 2019. ISBN: 979-119671250195530, <http://s-space.snu.ac.kr/handle/10371/142934>, doi: 10.22725/ICASP13.271

Sýkora, M. and Diamantidis, D. Implementing Snow Load Monitoring to Control Reliability of a Stadium Roof; In: *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, 19/1, 2019, VŠB–Technical University of Ostrava, Ostrava, pp. 35–40, ISSN (Online) 1804-4824, ISSN (Print) 1213-1962, DOI:10.35181/tces-2019-0006

Diamantidis, D. and Sykora, M., 2019. "Reliability Differentiation and Uniform Risk in Standards: a Critical Review and a Practical Appraisal", *Future Trends in Civil Engineering*, Zagreb, Croatia.



Figure 2: Structural system of photovoltaic structures affected by extreme wind actions.

Croce, V., Diamantidis, D. and Sykora, M., 2021. "Seismic Damage Evaluation and Decisions on Interventions Supported by UAV-Based Surveys", In *Proceedings of PROHIT-TECH 2020 – 4th International Conference on Protection of Historical Constructions*, 25-27 October 2021, Athens, Greece. DOI: 10.1007/978-3-030-90788-4\_20.

Orcesi A. et.al. 2021. "Investigating the effects of climate change on structural resistance and actions", IABSE Congress, Ghent 2021: Structural Engineering for Future Societal Needs.

Orcesi A. et.al. 2022. "Investigating the Effects of Climate Change on Structural Actions", *Structural Engineering International* 32(2), pp. 1.14.

Sykora, M., Botte, W., Caspeelee, R., Diamantidis, D., Muttoni, A., Steenbergen, R.D.J.M. Probabilistic Models for Resistance Variables in fib Model Code 2020 for Design and Assessment. *Proceedings of International Probabilistic Workshop IPW 2022, Stellenbosch, South Africa, 8-9 September 2022*. Czech Technical University in Prague, ISSN 2336-5382 (online), p. 206-215

Sykora, M., Nadolski, V., Novak, L., Novak, D., Diamantidis, D. Pilot Comparison of Semi-Probabilistic Methods Applied to RC Structures with Multiple Failure Modes. *Proceedings of fib International Congress 2022 Oslo, 12-16 June 2022, Oslo*. Lausanne: fib, 2022, ISSN 2617-4820, ISBN 978-2-940643-15-8 (Online), p. 1890-1899





# Motoren und Maschinen

## ... und er lässt sich sogar verbrennen! Wasserstoff: Eigenschaften, Sicherheit und Gefahren

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl

Auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-freien Mobilität spielt der Energieträger Wasserstoff eine Schlüsselrolle, da sich hiermit sukzessive fossile Energieträger substituieren lassen und so die ambitionierten Klimaziele überhaupt erst erreichbar werden. Die fortwährende Weiterentwicklung von Wasserstofftechnologien sowie die steigenden Preise für fossile Kraftstoffe führen dazu, dass die direkte Verwertung von Wasserstoff in Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren zunehmend wirtschaftlicher wird. Neben diesen beiden zentralen Technologien zur Umwandlung der chemisch gebundenen Energie in elektrische oder mechanische Energie, spielt die Gewinnung, Speicherung und Verteilung des Wasserstoffs eine ebenso wichtige Rolle in einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft.

Im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes FEsMo-Tec wurde eine Forschungs- und Entwicklungsplattform entwickelt und aufgebaut, die es ermöglicht, chemische Energiewandlungstechnologien in einer sicheren und kontrollierten Umgebung untersuchen zu können. Hierzu zählt unter anderem eine Anlage, die es ermöglicht, die Verbrennung von Wasserstoff unter präzise kontrollierbaren Bedingungen (Druck, Temperatur, Gaszusammensetzung) zu untersuchen (siehe Abbildung 1).

Während für fossile Kraftstoffe wie Diesel und Benzin aufgrund jahrzehntelanger Forschung ein umfangreicher und detaillierter Kenntnisstand über das Brennverhalten erreicht wurde, zeigt sich für Wasserstoff und auch andere wasserstoffbasierte Kraftstoffe wie Ammoniak (NH<sub>3</sub>) ein erheblicher Forschungsbedarf. Eine Kernaufgabe ist es dabei, charakteristische Verbrennungsparameter wie die Zündgrenzen, Brenngeschwindigkeiten, Zündverzug, Verbrennungsstabilität und Wärmefreisetzungsraten experimentell zu ermitteln.

Die ermittelten Kenngrößen können dann für die Modellbildung und Simulation genutzt werden und ermöglichen einen sicheren, stabilen und effizienten Energiewand-

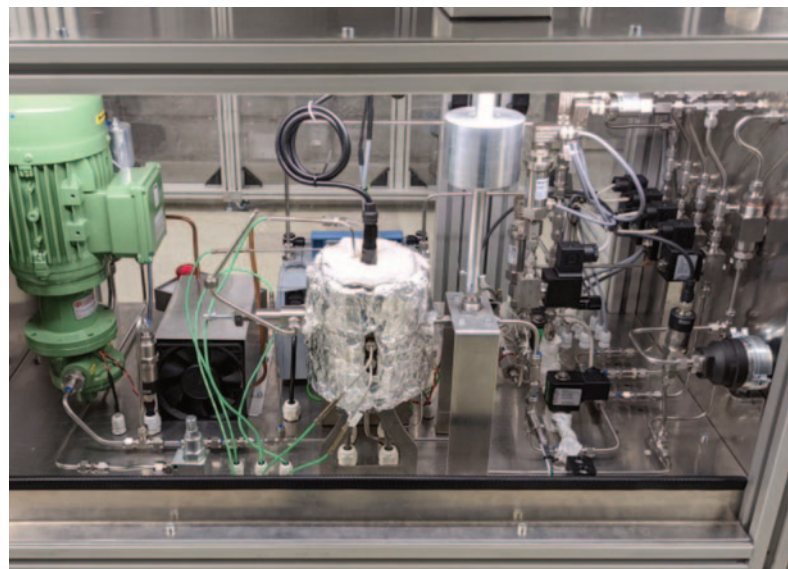


Abbildung 1: Prüfstands Aufbau der Constant Volume Combustion Chamber (CVCC).

### FEsMo-Tec: Forschungsanlage zur Entwicklung alternativer Energiespeicher- und Mobilitätstechnologien

Förderzeitraum 2020-07-01 bis 2021-03-31  
Bewilligte Summe 584.081 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

Zuwendungsgeber  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Förderprogramm  
FH-Invest 2020

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

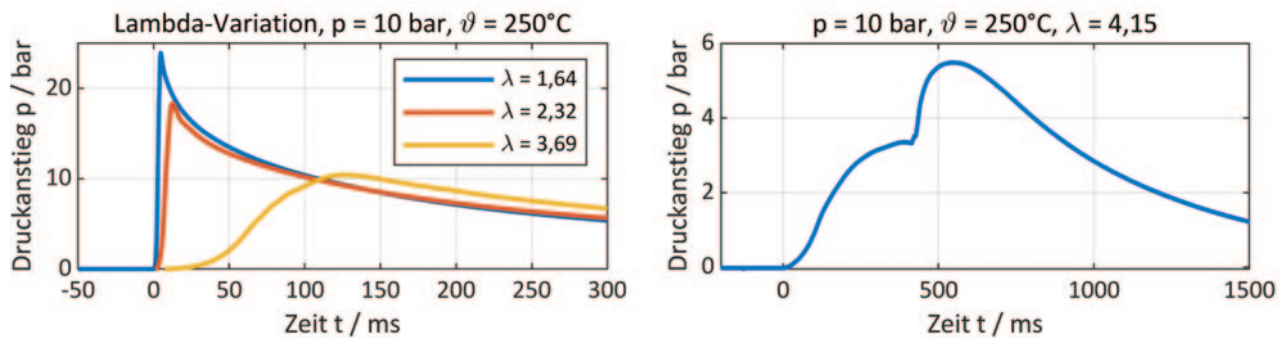


Abbildung 2: Links: Einfluss des Luft/Kraftstoff-Verhältnis  $\lambda$  auf den Druckverlauf. Rechts: Druckverlauf einer zweistufigen Verbrennung.

lungsprozess in Verbrennungsmotoren. Neben der Relevanz für den gewollten Verbrennungsprozess spielen diese Verbrennungsparameter insbesondere auch aus sicherheitstechnischer Sicht bei der Vermeidung von Verbrennungen und Explosionen eine wichtige Rolle.

Bei der entwickelten Anlage handelt es sich um eine Constant Volume Combustion Chamber (CVCC), in der Gasmische u. a. aus  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  und Ar bei erhöhten Drücken (bis zu 60 bar) und erhöhten Temperaturen (bis zu  $450^\circ\text{C}$ ) hergestellt und entzündet werden können. In der Brennkammer können damit die Zustände, die in einem Verbrennungsmotor herrschen, kontrollierbar nachgebildet werden. Gegenüber Untersuchungen an einem Vollmotor bestehen hier mehrere Vorteile:

- Nachbilden unterschiedlicher Verdichtungsverhältnisse oder Aufladesysteme ohne das Erfordernis mechanischer Modifikationen.
- Untersuchungen bis in die Grenzbereiche ohne im Fall von Schäden hohe Kosten zu verursachen.
- Präzise kontrollierbare Bedingungen.
- Geringere Komplexität.

Die Bestimmung der Verbrennungsparameter erfolgt dabei weitestgehend über die Analyse des Druckverlaufs

in der Brennkammer. In Abbildung 2 sind beispielhaft Druckverläufe unterschiedlicher Verbrennungen dargestellt, aus denen sich mehrere Phänomene ableiten lassen. So können unter anderem grundlegende Einflüsse der Gaszusammensetzung auf die Reaktionsgeschwindigkeit (Abbildung links) oder auch mehrstufige Verbrennungen im Grenzbereich der Zündfähigkeit (Abbildung rechts) festgestellt und analysiert werden.

Neben der Analyse der Verbrennung über den Druckverlauf können die entstehenden Verbrennungsprodukte mittels Massenspektrometrie analysiert werden. Somit wird das Analysespektrum auch im Bereich der Emissionbildung ergänzt.

Während die Gasmische in der Brennkammer primär durch einen Zündfunken entzündet werden, können durch einen Glühstab zudem auch Oberflächenentzündungen untersucht werden. Letzteres spielt insbesondere bei allen Anwendungen eine Rolle, bei denen zum einen eine wasserstoffhaltige Atmosphäre vorliegt und zum anderen entweder im Betrieb oder im Fehlerfall heiße Oberflächen entstehen und somit potenzielle Zündquellen darstellen. Durch die experimentelle Ermittlung der Zündgrenzen können so beispielsweise Empfehlungen abgeleitet werden, durch die ein sicherer Betrieb gewährleistet wird.



## Namosyn – Klimaneutral mit Verbrennungsmotor

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl et al.

### Das Projekt Namosyn

Ziel des Verbundprojektes „Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe“ (NAMOSYN) ist es, synthetische Kraftstoffe für Diesel- und Ottomotoren zu entwickeln und zu testen, die nachhaltig produziert und genutzt werden können. Das bedeutet, dass das bei der Nutzung emittierte Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) zuvor aus anderen Quellen entnommen wurde, so dass in Summe wesentlich weniger Treibhausgase durch die Nutzung des Kraftstoffs freigesetzt werden und sich ein geschlossener  $\text{CO}_2$ -Kreislauf bildet. Neben der Klimaneutralität weisen die synthetischen Kraftstoffe aufgrund ihrer günstigeren chemischen Struktur vorteilhafte Verbrennungseigenschaften auf. Aufgrund des hohen Sauerstoffanteils in der Molekülstruktur und der fehlenden Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen (C-C) verbrennen diese Kraftstoffe (auch als C1-Oxygenate bezeichnet) nahezu rußfrei (siehe Abbildung 1).

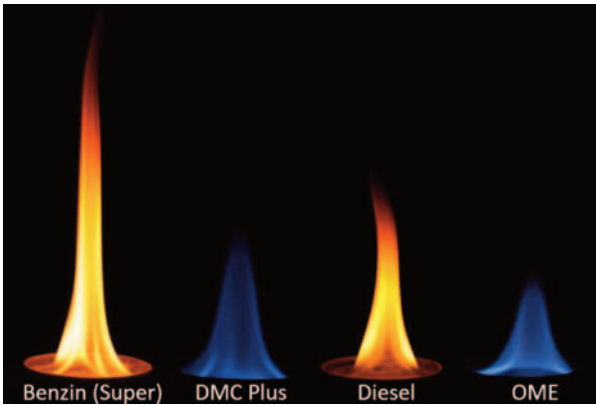


Abbildung 1: Flammenbildung bei der Verbrennung verschiedener Kraftstoffe. Kein Rußleuchten bei den synthetischen Kraftstoffen.

### Untersuchungen an der OTH Regensburg

Im Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung der OTH-Regensburg werden im Zuge des NAMOSYN Projektes zwei Vertreter klimaneutraler Kraftstoffe untersucht. Synthetische Kraftstoffe aus der Gruppe der Oxymethylenether (OME) stellen eine  $\text{CO}_2$ -neutrale Alternative zu fossilem Dieseldieselkraftstoff dar. Für Ottomotoren soll im Rahmen des NAMOSYN Projektes untersucht werden, ob der synthetische Kraftstoff DMC+ (Dimethylcarbonat & Methylformiat) einen Ersatz für Ottokraftstoff darstellen kann.

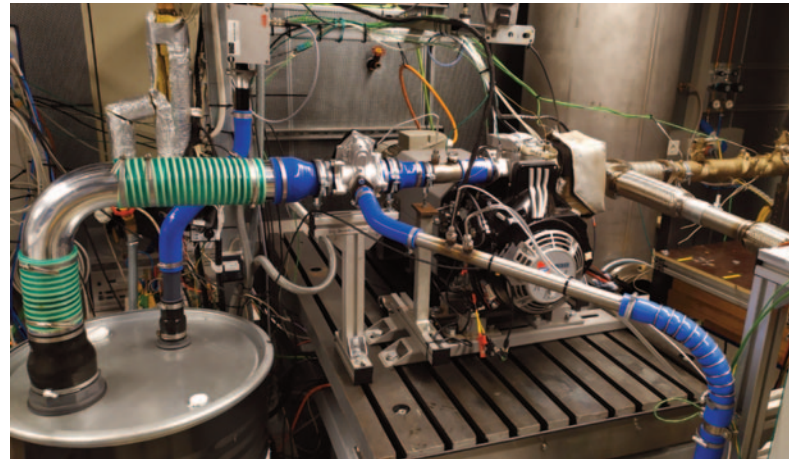


Abbildung 2: Motorprüfstand 6 der OTH Regensburg zur Erprobung von Oxymethylenether an einem Einzylinder Heavy-Duty Motor.

Damit diese Kraftstoffe in heutigen Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können, ist eine Anpassung der Einspritzkomponenten und der Motorsteuerung notwendig. Im Rahmen des Projektes werden diese Kraftstoffe an der OTH Regensburg an Motorprüfständen (siehe Abbildung 2) untersucht und die Messergebnisse mit den Leistungs- und Emissionsdaten konventioneller Dieseldiesel- oder Ottokraftstoffe verglichen.

#### NAMOSYN – Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe

Förderzeitraum 2019-04-01 bis 2022-09-30

Bewilligte Summe 1.280.794 EUR

#### Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

#### Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung

#### Förderprogramm

Grundlagenforschung Energie

#### Verbundvorhaben

36 Projektpartner aus Forschung und Industrie

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

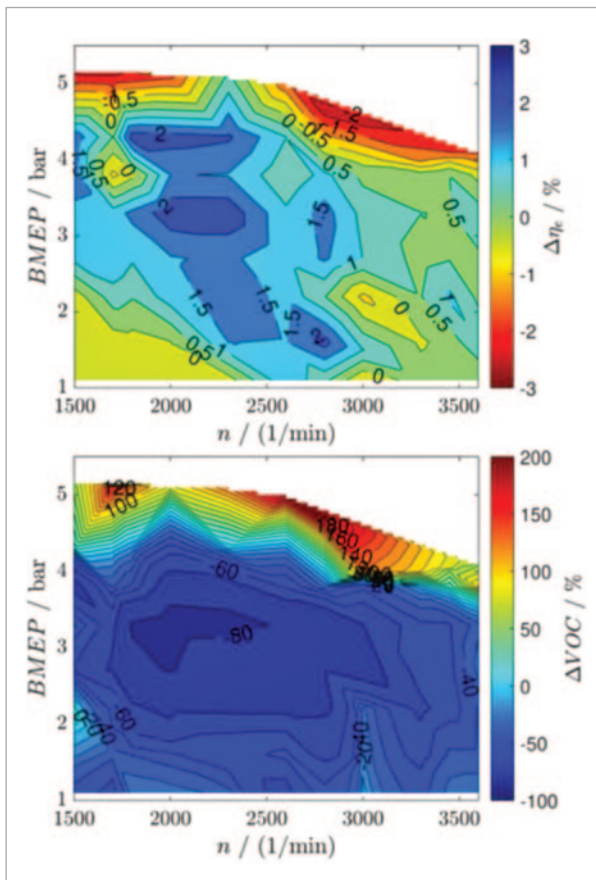


Abbildung 3: Differenzkennfelder (Diesel vs. OME) für den effektiven Wirkungsgrad und VOC-Emissionen über den gesamten Betriebsbereich bei gleichem Verbrennungsschwerpunkt.

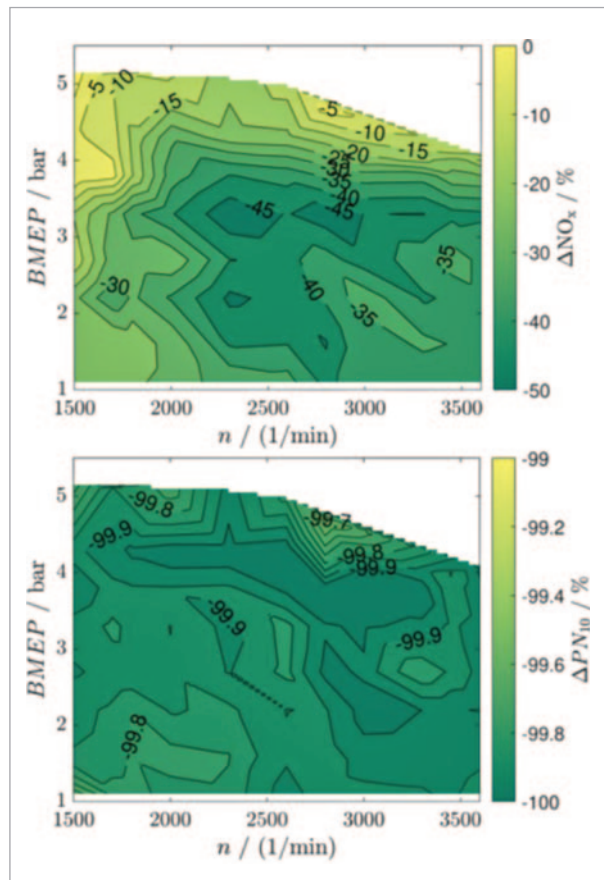


Abbildung 4: Differenzkennfelder (Diesel vs. OME) für  $\text{NO}_x$ -Emissionen und Partikelanzahl  $\text{PN}_{10}$  über den gesamten Betriebsbereich bei gleichem Verbrennungsschwerpunkt.

Darüber hinaus werden die Einspritzkomponenten an einem Systemprüfstand mit Hilfe eines Einspritzratenanalysators vermessen und mit Hilfe der Messdaten für die synthetischen Kraftstoffe optimiert.

Zusätzlich zu den Versuchen werden Simulationsgestützte Entwicklungsmethoden (0D-/1D-Simulation) angewendet, um die Motor- und Einspritzsystemoptimierung für die Oxygenat-Kraftstoffe zu beschleunigen und effizienter zu gestalten.

### Ergebnisse

Durch die Nutzung von OME konnte beim untersuchten Prüfling eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Dieselbetrieb im Emissionsverhalten sowie eine teilweise Steigerung der Effizienz beobachtet werden (siehe Abbildung 3).

Besonders hervorzuheben ist hierbei eine deutliche Verringerung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen um bis zu 45% sowie der Partikelanzahl  $\text{PN}_{10}$  um bis zu 99.9% (siehe Abbildung 4).

Zudem konnte bei weiteren Untersuchungen ein Rückgang der Partikelmasse um mehr als 99% gegenüber dem Dieselbetrieb beobachtet werden. Ebenso verschiebt sich die Partikelgrößenverteilung im OME-Betrieb gegenüber Diesel zu deutlich kleineren Durchmessern.

Darüber hinaus konnten aus den erfolgten Untersuchungen am Einspritzprüfstand sowie den daraus entwickelten Simulationsmodellen Handlungsempfehlungen zur Umrüstung des Einspritzsystems erarbeitet werden.





## „Reinigen neue Luftfiltersysteme von urbanem Stickstoffdioxid?“

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl

Die Verbrennung von fossilen und erneuerbaren Kraftstoffen in der Mobilität lässt sich mit bereits heute verfügbaren Technologien nahezu schadstofffrei umsetzen. Komplexe Abgasnachbehandlungssysteme ermöglichen es, das Motorabgas von Schadstoffen wie beispielsweise Stickstoffoxiden, Kohlenwasserstoffen, Rußpartikeln oder Kohlenstoffmonoxid nahezu vollständig zu reinigen. Vor allem bei älteren Dieselfahrzeugen sind es jedoch großenteils die sogenannten Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), welche mit dem Motorabgas in die Umwelt gelangen und deshalb in der Kritik stehen. Um eine hohe Qualität der Umgebungsluft im ländlichen und urbanen Raum zu gewährleisten, werden die Schadstoffkonzentrationen streng überwacht. Gerade an stark verkehrsbelasteten Streckenabschnitten kann es jedoch vorkommen, dass die Grenzwerte für einzelne Schadstoffe teilweise überschritten werden. Um diese Konzentrationen nun weiter zu senken, lassen sich Luftreinigungssysteme zur Abscheidung der Schadstoffe einsetzen, deren Wirkmechanismen im Projekt „Reinigen neue Luftfiltersysteme von urbanem Stickstoffdioxid?“ an der Landshuter Allee in München genau untersucht werden. Im Rahmen des Teilprojektes „Adsorption & Katalyse“ an der OTH Regensburg werden die eingesetzten Filtermaterialien im Labor und im realen Umfeld umfassend getestet.

Hierbei sollen beispielsweise die Filtrationseffizienz und die Wirkungsweise unter den ständig variierenden Umgebungsbedingungen zur Beantwortung folgender Forschungsfragen aufgezeigt werden:

1. Wie groß ist die  $\text{NO}_2$ -Abscheidewirkung der Filterelemente?
2. Wie wirken sich dabei Umgebungsbedingungen aus?
3. Wie ist der Einfluss der Alterung der Filterelemente?
4. Wie ist der detaillierte  $\text{NO}_2$ -Reaktionsmechanismus aus Adsorption, Chemisorption und Katalyse?
5. Falls bei 4. unerwünschte Reaktionen (Desorptionen) identifiziert werden, wie können diese vermieden werden?

Mit dem Ziel, unterschiedliche Filtermaterialien – beispielsweise auf Basis von Aktivkohle – vermessen zu können, wurde ein Laborprüfstand aufgebaut. Der Vorteil der Vermessung von kleinen Filterproben (bis zu  $180 \text{ cm}^2$ ) im Labormaßstab liegt darin, dass der Reaktionsmechanismus zur  $\text{NO}_2$ -Abscheidung und die möglichen Nebenreaktionen unter Berücksichtigung der variierenden Bedingungen am Aufstellort exakt identifiziert werden

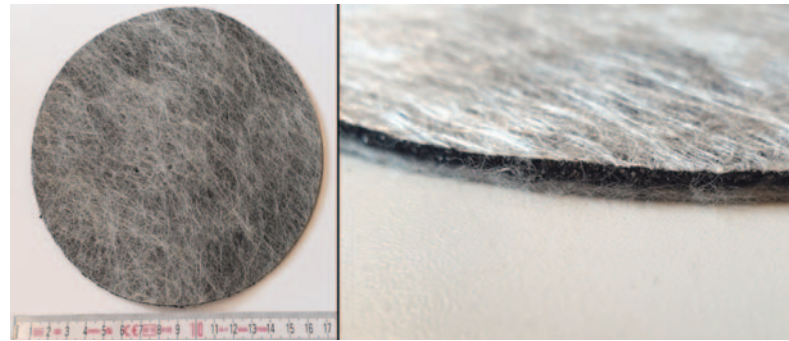


Abbildung 1: Probenvlies mit eingebetteter Aktivkohleschicht.

können. Gezielt verändert werden die Randbedingungen Anströmgeschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchte, kondensierendes Wasser und Spezieskonzentration. Als Ergebnis stehen somit belastbare Größen zur Abscheidewirkung von neuen und insbesondere auch von gealterten, also am Aufstellort real beladenen Filterproben zur Verfügung.

Der Prüfaufbau ermöglicht es, Filterproben mit einem definierten Probegasvolumenstrom von bis zu  $50 \text{ l}_n/\text{min}$  zu durchströmen. Der Volumenstrom wurde auf Basis der realen Strömungsgeschwindigkeiten an den Filterelementen in den Luftfiltersystemen definiert.

### „Reinigen neue Luftfiltersysteme von urbanem Stickstoffdioxid?“

Förderzeitraum 2020-10-01 bis 2023-09-30  
Bewilligte Summe 377.717 EUR

#### Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung (CEEC)

#### Zuwendungsgeber

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)

#### Verbundvorhaben

4 Projektpartner aus Forschung



gefördert durch  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz



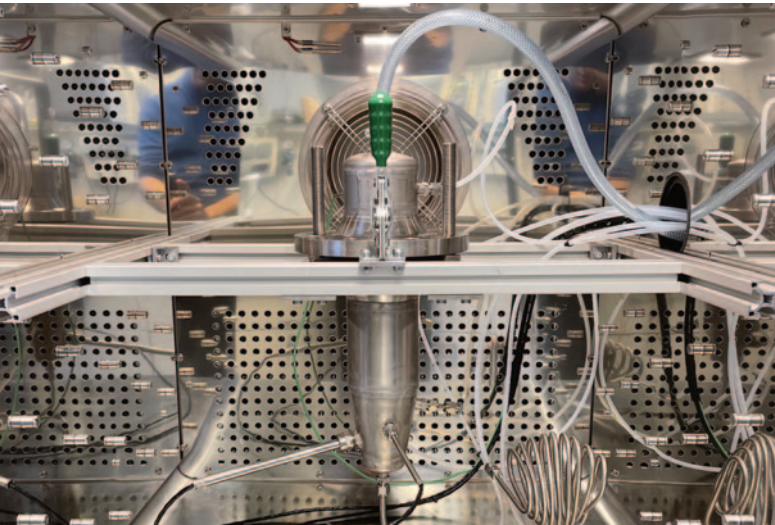


Abbildung 2: Probenaufnahme im inneren des Klimaschranks.



Abbildung 3: Laborprüfstand mit Klimakammer (links) und Messtechnik (rechts).

Als Trägergas dient am Prüfstand gereinigte Druckluft, die je nach Anforderung auf eine präzise relative Luftfeuchte befeuchtet werden kann. Die Regelung des Trägergasvolumenstroms erfolgt über einen Massendurchflussregler (MFC), während auch die gewünschten  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen über weitere MFC variabel von wenigen ppb (parts per billion) bis zu mehreren zehntausend ppb eingestellt werden können. Die Probenaufnahme befindet sich im inneren einer Klimakammer und ist damit konstanten Temperaturbedingungen ausgesetzt.

Die Erfassung der  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}$ -Konzentration erfolgt mit einem Chemilumineszenzdetektor (nCLD 855 Y) der Firma ECO PHYSICS. Mit einer eigens dafür aufgebauten Umschaltvorrichtung kann dem CLD das Probengas vor

und nach der Filterprobe, sowie an der Mischstelle (als Referenz zu den MFC-berechneten Konzentrationen) zyklisch zur Analyse bereitgestellt werden. Hierdurch wird aufgrund der differentiellen Messung sichergestellt, dass die vom Filter adsorbierte  $\text{NO}_2$ -Masse korrekt ermittelt wird.

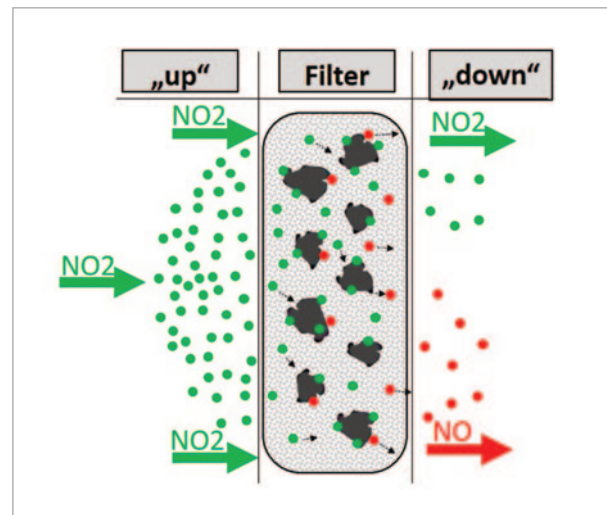


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung von adsorbiertem  $\text{NO}_2$  auf der Aktivkohlenoberfläche. Die katalytische Aktivität der Aktivkohle kann zu einer partiellen Umwandlung zu Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) führen.

Nach erfolgter Vermessung und damit einer „ $\text{NO}_2$ -Beladung“ der Filterprobe erfolgt die Ermittlung des Beladungszustandes (zu jedem Zeitpunkt) auf Basis der gemessenen  $\text{NO}_x$ -Werte vor und nach der Filterprobe, wobei eine katalytische Konvertierung von  $\text{NO}_2$  zu  $\text{NO}$  (also keine Einspeicherung!) an der Aktivkohleschicht berücksichtigt wird. Da neben den eingestellten Randbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte,  $\text{NO}_2$ -Konzentration) der Beladungszustand der Filterproben als Eingangsgröße für die anschließende Modellbildung zur Verfügung steht, kann schließlich die Filtrationseffizienz hinsichtlich  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  präzise bestimmt werden. Die ermittelte Filtrationseffizienz für  $\text{NO}_2$  wird nach erster Einschätzung demnach bei Verwendung geeigneter Materialien über 80% betragen.

Ergänzt werden die Labormessungen schließlich durch Messungen am Aufstellort der Luftreinigungssysteme. Diese Untersuchungen liefern die Stickstoffdioxid-Abscheidewirkung unter realen Umgebungsbedingungen und dienen zur Überprüfung der erstellten Modelle auf Basis der Labordaten. Daraus sollen sich Empfehlungen für den Einsatz der Luftreinigungssysteme ableiten lassen und damit zu einer Verbesserung der Luft- und Lebensqualität (exemplarisch am Standort der Stadt München) beitragen.



## UnoTurb-Unorthodoxe Turbinengeometrien zur optimierten dezentralen Stromerzeugung

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr.-Ing. Andreas Lesser (OTH Regensburg) und Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß (OTH Amberg-Weiden)

### Hintergrund

Im Bereich regenerativer, thermischer, dezentraler Stromerzeugung (z. B. Abwärmenutzung oder Solarthermie) steht man vielfach vor dem Problem, dass das zur Verfügung stehende Temperaturniveau wesentlich geringer ist als bei konventionellen Anlagen üblich. Das niedrige Temperaturniveau und die bei dezentralen Anlagen meist geringe Anlagenleistung führt dazu, dass konventionelle, hocheffiziente Turbinenarchitekturen (wie mehrstufige Reaktionsturbinen) aus technologischen Gründen nicht effizient und wirtschaftlich eingesetzt werden können. Aus diesem Grund hat sich das Projekt UnoTurb auf die Fahne geschrieben, das Potential kleiner, innovativer, unkonventioneller Turbinen (<100kW) zur dezentralen Stromerzeugung zu untersuchen und voranzutreiben.

### Elektra-Turbine

Eine potenzielle Turbinenarchitektur für dezentrale Kleinturbinen ist die sogenannte Elektra-Turbine. Die Elektra-Turbine ist eine sogenannte Wiedereintrittsturbine, d. h. der Fluidstrom passiert zweimal das Turbinenlaufrad und wurde bereits 1905 erstmals gebaut. Vorteile dieses Turbinendesigns ist zum einen die Fähigkeit, sehr geringe Fluidmassenströme verarbeiten zu können und zum anderen eine bei gleichem Druckgefälle um den Faktor 8 geringere Drehzahl. Beides prädestiniert dieses Turbinendesign für den Einsatz im Bereich kleiner Leistungen. Kleine Leistungen haben einerseits kleine Massenströme zur Folge, andererseits ist durch die Reduktion der Drehzahl der Einsatz von konventionellen, kostengünstigen Generatoren möglich. Ein großer Nachteil der Elektra-Turbine ist der bis dato schlechte Wirkungsgrad, der sich aus sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten in Verbindung mit starker Umlenkung ergibt. Um die Wirkungsgrade auf ein konkurrenzfähiges Niveau zu heben, wurde eine in Amberg neu ausgelegte Elektra-Turbine in Regensburg numerisch simuliert und dazu begleitend in Amberg experimentell verifiziert. Nach erfolgreicher Validierung der simulierten Ergebnisse wurden erste Optimierungsstudien durchgeführt.

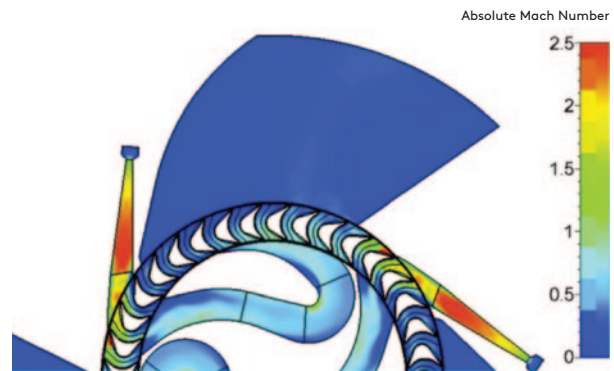


Abbildung 1: Machzahlverteilung in der simulierten Elektra-Turbine

Die Simulation einer teilbeaufschlagten Wiedereintrittsturbine mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) stellt eine außerordentliche Herausforderung dar. So erfordern die hohen Strömungsgeschwindigkeiten (bis 2,5 fache Schallgeschwindigkeiten) in Verbindung mit dem sich zeitlich stark ändernden Strömungsfeld ein hohes Maß an Rechenkapazität und eine sehr komplexe Modellierung. In Abbildung 1 ist die simulierte, instantane Machzahlverteilung im Mittelschnitt dargestellt. Sowohl die hohen Strömungsgeschwindigkeiten als auch die Inhomogenität der Strömung sind gut zu erkennen.

Analytische, numerische und experimentelle Auslegung und Untersuchung unorthodoxer Turbinenarchitekturen für die kleinskalige, dezentrale Stromerzeugung und -speicherung | Analytische, numerische und experimentelle Auslegung und Untersuchung eines neuartigen Gleichraumdamfmotors für die Abwärmeverstromung im kW-Bereich

Förderzeitraum 2021-01-01 bis 2022-06-30  
Bewilligte Summe 53.000 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Labor für Strömungsmaschinen

Zuwendungsgeber  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft und Kunst





Zur experimentellen Verifikation wurde die Turbinengeometrie auf dem Amberger Druckluftturbinenprüfstand vermessen. Neben den integralen Leistungsbeiwerten wurde auch der statische Druck an mehreren Positionen entlang des Strömungskanals gemessen. In Abbildung 2 ist der experimentelle Aufbau dargestellt.

Im Anschluss an die erfolgreiche Verifikation und Validierung des ersten Elektradesigns wurden erste Optimierungen der strömungsführenden Komponenten durchgeführt, wodurch der Wirkungsgrad um 8 % verbessert werden konnte.

Die Untersuchungen zeigen zum einen das große Potential unkonventioneller Turbinengeometrien, wie der Elektra, im Bereich kleiner, dezentraler Anlagen. Zum anderen zeigt sich, dass dieses Potential aufgrund der sehr komplexen Strömung nur mithilfe modernster Simulations- und experimentellen Methoden realisiert werden kann.

Die Ergebnisse des Projektes wurden auf der PSE 2022 in Pilsen publiziert: Janischowsky F., Stümpfl D., Streit P., Weiß A. P., Lesser A., 2022, „CFD Simulation and Flow Study of a Velocity Compounded Radial Re-Entry Turbine – Elektra“, Conference on Power System Engineering, Pilsen

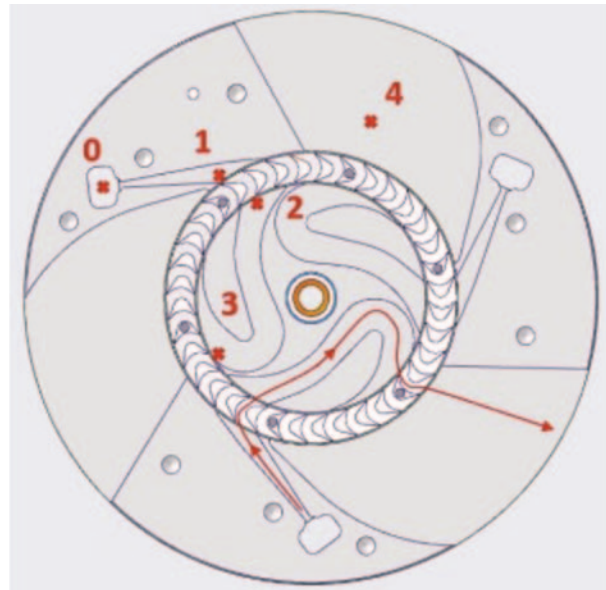


Abbildung 2: Experimenteller Aufbau mit Position der Druckmessbohrungen





## AdWinT – Entwicklung eines neuartigen Filament-Winding-Verfahrens zur Fertigung faserverstärkter Thermoplastrohre

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich

Bei der Forschungsarbeit im Projekt "AdWinT – Advanced Winding of Thermoplastic Composites" handelt es sich um einen neuartigen Fertigungsprozess – beginnend mit den Ausgangsmaterialien Verstärkungsfaser und Thermoplastgranulat über die Erzeugung von Thermoplasttapes mittels neuentwickelter Imprägniertechnik bis hin zur Konsolidierung von faserverstärkten Thermoplaststrukturen im Filament-Winding-Verfahren mit verschiedenen Wickelwinkeln.

Diese Leichtbaustrukturen können als Walzen für die Kunststofffolien-, Papier- und Druckindustrie oder als Antriebswelle bei Windenergieanlagen und Generatoren für die Energiegewinnung zur Steigerung der Energieeffizienz der Maschinen eingesetzt werden.

Derzeit werden, meist aufgrund der einfachen Verarbeitbarkeit, duroplastische Kunststoffe als Grundmaterial zur Erzeugung von Leichtbaustrukturen im Filament-Winding-Verfahren verwendet. Im Sinne der Nachhaltigkeit zeigen diese Nachteile, und zwar vor allem mit Blick auf die fehlende Recyclingfähigkeit und die langen Ausfälle- und damit Prozesszeiten.

Zur Behebung dieser Schwächen macht sich in den letzten Jahren ein wachsender Trend in der Forschung und Entwicklung von Fertigungsprozessen mit thermoplastischer Kunststoffmatrix und Endlosfaserhalbzeugen bemerkbar. In Industrieanwendungen wird bereits auf voll imprägnierte sowie fertig konsolidierte Faser-Thermoplast-Halbzeuge (sog. Tapes oder Organobleche) zur Weiterverarbeitung im Wickelverfahren zurückgegriffen. Die über einen gesonderten Pressprozess hergestellten Halbzeuge sind vom Rohrhersteller zu beziehen und werden meist mit sogenannten Tape-Lege-Maschinen verarbeitet. Bei einer Verwendung von Organoblechen im Wickelverfahren liegen die Kosten jedoch bei vergleichbaren Bauteileigenschaften um den Faktor drei bis vier höher als bei duroplastischen Werkstoffen. Da die Grundmaterialien des thermoplastischen Kunststoffgranulats und der Verstärkungsfaser im Vergleich zu den zugekauften faserverstärkten Halbzeugen mit Thermoplastmatrix wesentlich günstiger sind, ist es neben den technologischen Faktoren auch auf wirtschaftlicher Seite erstrebenswert, eine direkte Verarbeitung im Wickelprozess zu realisieren.

### AdWinT – Advanced Winding of Thermoplastic Composites

**Förderzeitraum** 2020-09-01 bis 2022-08-31  
**Bewilligte Summe** 185.624 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Labor für Faserverbundtechnik

**Zuwendungsgeber**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)  
des BMWK – Kooperationsprojekt

**Verbundvorhaben**  
2 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



### Thermoplastisches Wickelverfahren zur Herstellung energieeffizienter Maschinen- und Antriebsselemente

**Förderzeitraum** 2020-01-01 bis 2020-04-30  
**Bewilligte Summe** 12.630 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Labor für Faserverbundtechnik

**Zuwendungsgeber**  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

**Förderprogramm**  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft und Kunst





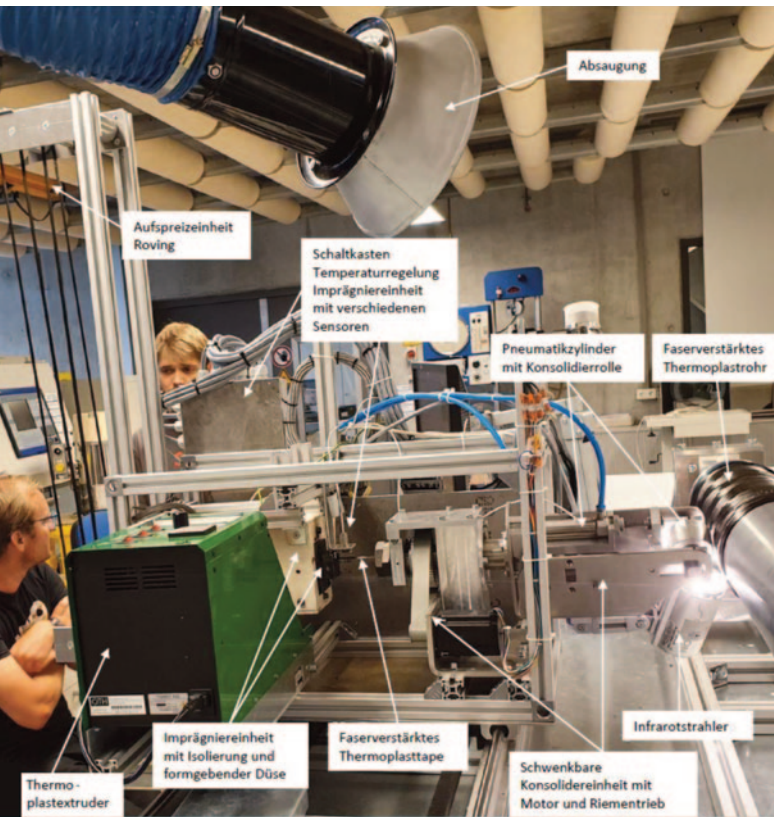


Abbildung 1: Thermoplast-Wickelanlage des Labors Faserverbundtechnik mit Komponenten im Fertigungsprozess. (Foto: Marco Siegl, M.Sc.)

Gründe für den nicht vorhandenen Einsatz einer direkten Verarbeitung der Rohmaterialien zur Herstellung von faserverstärkten Thermoplasten sind die aufwändige Imprägnierbarkeit von Fasermaterialien mit thermoplastischen Kunststoffen hinsichtlich ihrer hohen Schmelzviskosität und der damit verbundenen komplexen Prozess- und Temperaturführung mit notwendiger vorhergehender Parameteridentifizierung. Diese Herausforderungen technisch, wissenschaftlich fundiert und industriennah anzugehen, machten sich die Projektpartner des Projekts, das Labor Faserverbundtechnik (LFT) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich und die HÄHL GmbH, zum Ziel.

Ergebnis des Projektes AdWinT ist die Entwicklung eines auf dem Filament-Winding-Verfahren basierenden Herstellungsverfahrens für thermoplastische, endlosfaserverstärkte Kunststoffe, das die Vorteile des duroplastischen Wickelverfahrens mit jenen des thermoplastischen Verfahrens verbindet. Im Kern bedeutet dies die Verwendung der beiden Ausgangsmaterialien in der ersten Erzeugnisstufe mit Direktimprägnierung zur Erzeugung von Organotapes in einer eigens ausgelegten Imprägniereinheit inkl. Temperaturregelung und Konsolidierung mittels Infrarotstrahler in einer Anlage. Als Grundmaterialien wurde ein Kohlenstofffaser-Roving und Granulat aus niedrigviskosem Polyamid 6 (PA6), welche sich wiederum vorteilhaft bei der Imprägnierung der Kohlenstofffasern auswirkt, ausgewählt. Die Rovings werden dazu mit einer definierten Vorspannkraft abgespult und über mehrere bewegliche Rollen aufgespreizt, sodass diese möglichst breit in die mit Thermoplastschmelze gefüllte Imprägniereinheit gefördert werden (vgl. Abbildung 1). Dort werden die Fasern mittels Umlenkung in einer Siphon-Imprägnierstrecke (vgl. Abbildung 2) mit dem über Heizpatronen über Schmelz-

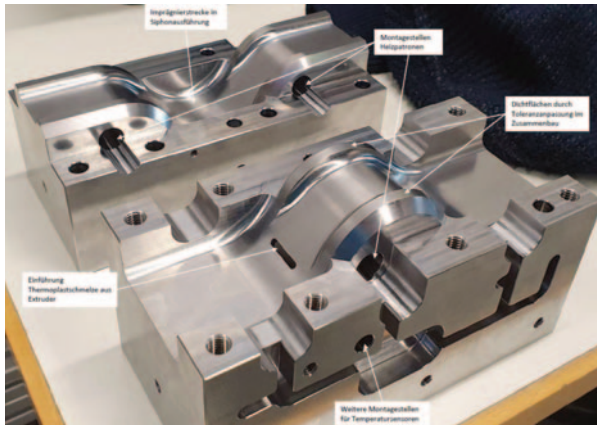


Abbildung 2: Imprägniereinheit mit Imprägnierstrecke in Siphonausführung im demontierten Zustand. (Foto: Jakob Gebhardt, M.Sc.)

temperatur gehaltenen Kunststoff durchtränkt und kommen als faserverstärktes Tape über die formgebende Düse in den nächsten Prozessabschnitt (vgl. Abbildung 1). Für die Realisierung der benötigten Wickelwinkel (vgl. Abbildung 3), die die mechanischen Eigenschaften der Rohrstruktur am Ende bestimmen, ist eine drehbare Achse mit integrierter Tafelführung, Infrarotstrahlerhalterung und Konsolidierkrafteinbringung mittels Pneumatikzylinder und Rolle als Modul konstruiert und im Prozess integriert worden (vgl. Abbildung 1). Der Wickelprozess läuft dabei nach Programmierung des benötigten Wickelprogramms mittels G-Code bei konstanter Geschwindigkeit vollkommen automatisiert. Ein besonderer Neuheitsgrad liegt vor allem in der entwickelten und programmierten Bahnkurve im Rohrendbereich, wodurch die Herausforderung des Faltenwurfs aufgrund der abrupten seitlichen Biegung des bereits ausgehärteten Tapes gelöst wird. An der entwickelten Thermoplastwickelanlage zeigte sich durch zahlreiche experimentelle

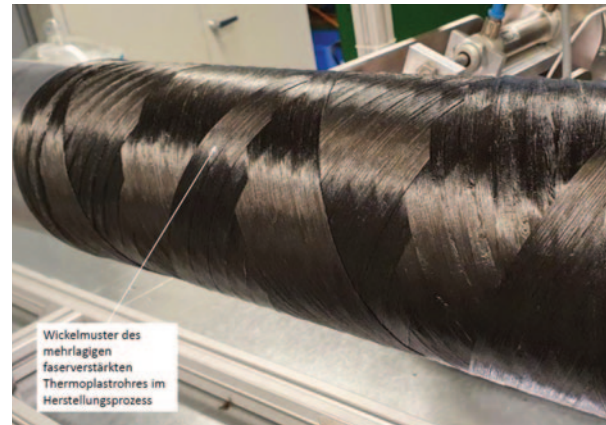


Abbildung 3: Faserverstärktes Thermoplastrohr im Fertigungsprozess mit Wickelmuster. (Foto: Marco Siegl, M.Sc.)

Durchläufe und Materialuntersuchungen, dass der Herstellungsprozess eines Thermoplastrohres mit Prozessgeschwindigkeiten bis zu ca. 470 mm/min sicher läuft. Für die ursprünglich geplanten industrienahen Prozessgeschwindigkeiten sind das vorhandene Equipment eines Laborextruders mit einer maximalen Fördermenge im Dauerbetrieb bei 0,5 kg/h und Infrarotspot mit 150 W Leistung die limitierenden Geschwindigkeitsfaktoren und diese können nicht ohne größere Neuanschaffungen (z. B. Hochleistungsextruder und Lasersystem) umgesetzt werden. Die wissenschaftlich fundiert ausgelegte Imprägnierstrecke, die die Roving- und Thermoplastschmelzeigenschaften hinsichtlich des temperatur- und geschwindigkeitsabhängigen Verhaltens in dessen Konzipierung berücksichtigt, kann eine Geschwindigkeit bis zu 1 m/s prozesssicher abbilden, solange die Kraftentstehung in der formgebenden Düse bei diesen Geschwindigkeiten keine Einflüsse auf die Anlagenkomponenten haben.

# Optimierung trockener und überfluteter Verdampfer zur effizienten Kälteerzeugung

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Thomas Lex

## Einleitung

Die Kühlung von Luft in Temperaturbereichen von kleiner 0°C, wie sie z. B. in industriellen Betrieben der Lebensmittelverarbeitung oder in Tiefkühlslagern benötigt wird, erfolgt im Allgemeinen mittels Ammoniak-Kompressionskältemaschinen. Die zur Luftkühlung benötigte Kälte wird durch die Verdampfung von flüssigem Kältemittel zur Verfügung gestellt. Man unterscheidet nach sog. trockenen Verdampfern, bei denen das Kältemittel vollständig verdampft und anschließend geringfügig überhitzt wird, und nach sog. überfluteten Verdampfern, bei denen das Kältemittel nicht vollständig verdampft, sondern als ein Gemisch aus Dampf und Flüssigkeit den

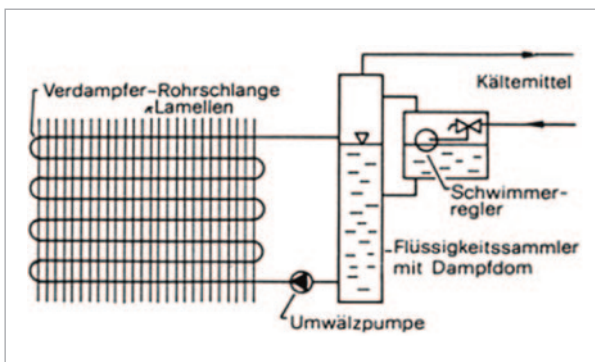


Abbildung 1: Lamellen-Wärmeübertrager mit mäanderndem Verdampferrohr eines überfluteten Verdampfers [1]

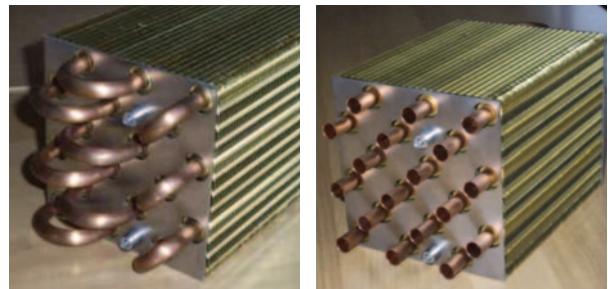


Abbildung 2: Beispiel für einen kleinen Lamellen-Wärmetauscher mit mehreren Rohrreihen, die miteinander durch Bögen verschaltet sind. [2]

Wärmetauscher verlässt. Der Einsatz des jeweiligen Verdampfertyps ist abhängig von der Konzeption der Kälteanlage. Beide Apparate sind sog. lamellierte Wärmeübertrager. Kennzeichnend für diesen Typus ist das durch den Lamellen-Block mäandernde Rohr (Abbildung 1) in dem Kältemittel verdampft, während die Luft beim Durchströmen der Lamellen im Kreuzstrom (senkrecht zur Rohrachse) abkühlt. Die Lamellen wirken hierbei als vergrößerte Oberfläche.

Gemäß der Abbildung 2 besteht ein lamellierter Wärmetauscher-Block aus mehreren Rohrreihen, die in geeigneter Weise mittels Rohrbögen miteinander verschaltet sind. Die Verschaltung muss idealerweise so durchgeführt werden, dass die für die Wärmeübertragung zur Verfügung stehende treibende Temperaturdifferenz im Lamellen-Block optimal genutzt wird.

## Problem und Fragestellung

Luftkühler bzw. lamellierte Wärmeübertrager in kälte-technischen Anlagen werden primär aufgrund geometrischer Gegebenheiten des Gehäuses und unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeiten der Luft innerhalb des Geräts mit einer ungleich verteilten Wärmelast auf die einzelnen Kältemittelrohre beaufschlagt. Dieser Effekt führt unweigerlich zu einer Fehlverteilung des gesamten Kältemittelmassenstroms durch unterschiedlich stark fortgeschrittene Verdampfungsprozesse, respektive vorliegenden Dampfgehalten in den Rohrsträngen. Je größer die Wärmelast der zu kühlenden Luft auf die jeweiligen, parallel verschalteten Stränge ist, umso größer

### Circuiting of Direct Expansion and Liquid Overfeed Ammonia Evaporators

Förderzeitraum 2020-05-01 bis 2021-04-30  
 Bewilligte Summe 15.000 EUR

Ausführende Stelle  
 OTH Regensburg, Labor für Kraft-Wärme-Kälte

Zuwendungsgeber  
 Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm  
 Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

in Kooperation mit



Bayerisches Staatsministerium für  
 Wissenschaft und Kunst





wird der Strömungswiderstand für das durchströmende Kältemittel. Somit reduziert sich der Kältemittelmassenstrom in Rohren mit größeren Temperaturdifferenzen zur umströmenden Luft, wohingegen Rohrstränge mit kleineren Temperaturdifferenzen stärker durchströmt werden. Damit läuft die Gefahr, dass das Kältemittel in den hoch beaufschlagten Rohren nach der Aufnahme der latenten Wärmelast weit überproportional überhitzen und dadurch insgesamt Kälteleistungseinbußen zu verzeichnen sind.

- Überflutete Verdampfersysteme weisen hohe Wärmeübertragungsleistungen insbesondere dann auf, wenn der Dampfgehalt am Austritt bei 30% ... 40% liegt. Die Forderung nach Verringerung der Kältemittelmassen im Kreislauf erlauben jedoch solche hohen Flüssigkeitsanteile im Wärmetauscher nicht. Angestrebt wird daher, dass das Kältemittel nahezu vollständig verdampft und mit Massendampfgehalten oberhalb von 80% austritt. Hierbei ist festzustellen, dass bei ungeeigneter Rohrverschaltung – also die Kombination der Rohre im Wärmetauscherblock untereinander – sich die Leistung des Wärmetauschers signifikant verringert. Aus diesem Grund müssen geeignete Verschaltungen der Verdampferrohre untersucht werden.
- In trockenen Verdampfersystemen wird der thermisch bedingten Fehlverteilung unter anderem durch Drosselorgane wie z. B. Blenden oder Kapillarrohren begegnet. Speziell für den Einsatz mit natürlichen Kältemitteln, wie Ammoniak, Kohlendioxid und Propan, ist das Druckverlustverhalten zu analysieren

### Forschung

Technikumsversuche, bei denen die genannten Problemstellungen studiert werden könnten, sind äußerst zeitaufwändig und kostspielig. Numerische Experimente dienen daher der Analyse der Problemstellungen. Mittels Systemcodes wie CoilDesigner® und selbst entwickelten Computer-Programmen wurde der Einfluss unterschiedlicher Verschaltungen und Drosselorgane auf das Verhalten der Luftkühler untersucht, modelliert, simuliert und analysiert.

### Ergebnisse

Abb. 3 zeigt beispielhaft neben vielen anderen Erkenntnissen zwei unterschiedliche Verschaltungen der Verdampferrohre sowie die durch Simulation mit CoilDesigner® ermittelte Verteilung der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Kältemittel. Ersichtlich durch Pfeile sind Ein- und Austritt sowohl der Luft als auch des Kältemittels.

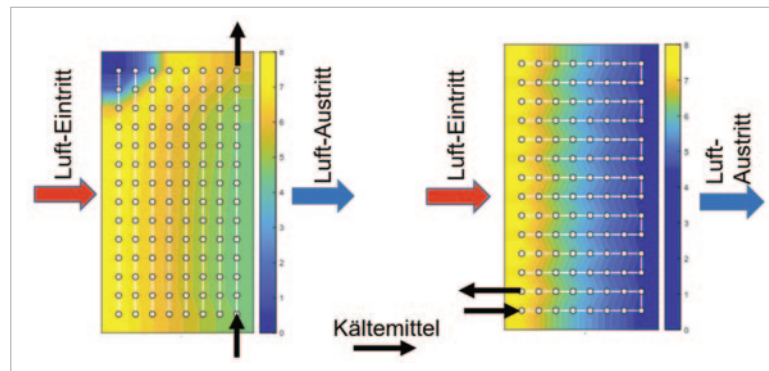


Abbildung 3: Verschaltungsabhängige Temperaturdifferenz im Wärmetauscher

Die Darstellungen zeigen die Seitenansicht eines lamellierten Wärmetauscherblocks. Die Kreise repräsentieren dabei die im Block verbauten und über Bögen mäandernd (Striche zwischen den Kreisen) verbundenen Verdampferrohre. In beiden Systemen strömt Luft von links ein und nach rechts ab, wobei sie sich abkühlt. In der linken Abbildung ist zu erkennen, dass das Kältemittel gemäß einem Kreuzstrom unten ein- und oben abströmt. In der rechten Abbildung strömt das Kältemittel zunächst im Gleich- und nach dem Wenden im Gegenstrom.

Durch Massenfehlverteilungseffekte ist in der Kreuzstromanordnung links oben insbesondere und im Allgemeinen zu erkennen, dass die Wärmeübertragerfläche durch lokale Pinch-Effekte ( $\Delta T=0\text{K}$ ) nicht optimal genutzt wird; die Luftkühlung ist vermindert. Im Gegensatz dazu ist im rechten Bild eine homogene Nutzung der zur Verfügung stehenden Temperaturdifferenz zu erkennen. Die Luft kühlt sich gleichmäßig ab und erreicht nahezu vollständig die Temperatur des verdampfenden Kältemittels.

### Quellen

- [1] Pohlmann: Taschenbuch der Kältetechnik, IKET (Hrsg.), 20. Auflage; 2010, VDE-Verlag  
 [2] Güntner GmbH & Co. KG: Bildmaterial



## Emissionsabhängige Leistungsregelung für BHKWs

Ein gemeinsames Projekt von Prof. Dr. Hermann Ketterl (OTH Regensburg) und Prof. Dr. Marco Taschek (OTH Amberg-Weiden, Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung)

Gegenwärtig ist es immer wichtiger, Primärenergie optimal auszunutzen. Interessant ist es hierbei, Blockheizkraftwerke, kurz BHKW, im kleinen Maßstab für Ein- oder Mehrfamilienhäuser nutzbar zu machen. Der Vorteil besteht in einer guten Energieausnutzung, da diese dezentral, direkt beim Endverbraucher, umgewandelt wird. Um eine Überschreitung des Emissionsgrenzwerte zu verhindern, ist der Serienbetriebspunkt mit Alterungsvorhalt unterhalb dieser Obergrenze angesiedelt. Die Einhaltung der Grenzwerte trotz Störeinflüssen wie Verschleiß der Motorbauteile, schlechte Ansaugluftbedingungen oder Brennstoffqualität, ist so dennoch möglich.

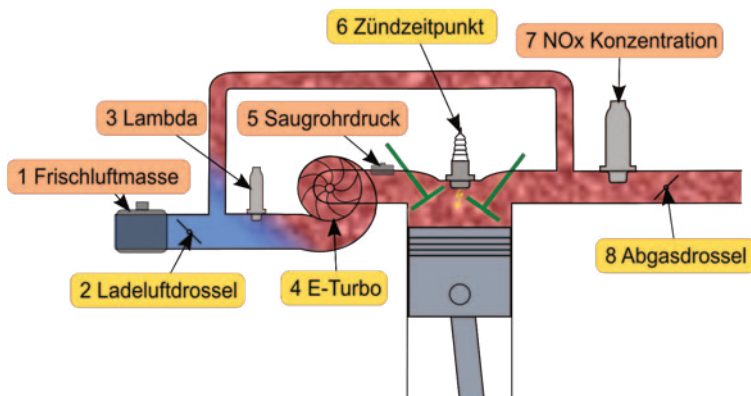


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit reglerrelevanten Komponenten (Grün: Output, Gelb: Input)

Im Projekt wurde daher eine Maximierung des Wirkungsgrads angestrebt durch Entwicklung einer entsprechenden Regelung, die Betriebspunkte über dynamische Kennfelder anpasst. Diese Anpassung muss unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte erfolgen.

Um die emissionsbasierte Leistungsregelung umzusetzen, wurden drei Ansätze gewählt. Die dazu passenden Komponenten sind in Abbildung 1 zu finden. Beim betrachteten BHKW handelt es sich um ein Mikro-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 5,5 kW.

### 1. Beeinflussung des Zündzeitpunktes

Regelgröße: Stickoxidkonzentration (7) / Stellgröße: Zündimpuls (6)

### 2. Geregelte Abgasrückführung

Regelgröße: Ladeluftmassenstrom (1), Abgasmassenstrom (8), Position AGR-Ventil (5), Position Ladeluftdrossel (2) / Stellgröße: Position AGR-Ventil (5), Position Ladeluftdrossel (2)

### 3. Aufladung der Ladeluft

Regelgröße: Ladeluftdruck (3), Drehmoment, Drehzahl / Stellgröße: Elektrolader (4)

Für eine Nutzung verschiedener Sensoren und Aktoren bedarf es eines einheitlichen Kommunikationsprotokolls. Aufgrund bestehender Komponenten aus der Automobil-elektronik wird ein CAN-Bussystem verwendet. Um den aktuellen Stickoxidgehalt zu bestimmen, wird ein modifizierter  $\text{NO}_x$ -Sensor verwendet. Zur Beeinflussung der Motorleistung kann der Saugrohrdruck durch einen elektrischen Turbolader angepasst werden. Drehmoment und Drehzahl repräsentieren die Regelgröße. Analoge Ausgänge einer bestehenden Drehmoment- und Drehzahlmesswelle werden digitalisiert und als CAN-Botschaft zur Verfügung gestellt. Die Berechnung der Stellgröße und das Ansteuern des Turboladers übernimmt wiederum die Elektronik, welche auch die Drosselklappen ansteuert.

Im Laufe des Projekts wurde Elektronik entwickelt, deren Aufgabe es ist, Messsignale zu verarbeiten, Stellgrößen zu errechnen und entsprechende Aktorik anzusteuern. Abbildung 2 zeigt die entwickelte Elektronik deren Herzstück ein Mikrocontroller der Produktfamilie dsPIC33CH darstellt. Dieser Chip eignet sich zum einen aufgrund dessen umfangreicher Schnittstellenausstattung, zum anderen aufgrund der zweikernigen Architektur, welche

#### Entwicklung einer emissionsabhängigen Wirkungsgrad-Regelung für BHKWs

Förderzeitraum 2019-04-01 bis 2020-07-31  
Bewilligte Summe 55.000 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Labor für Mess- und Steuerungstechnik

Zuwendungsgeber  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



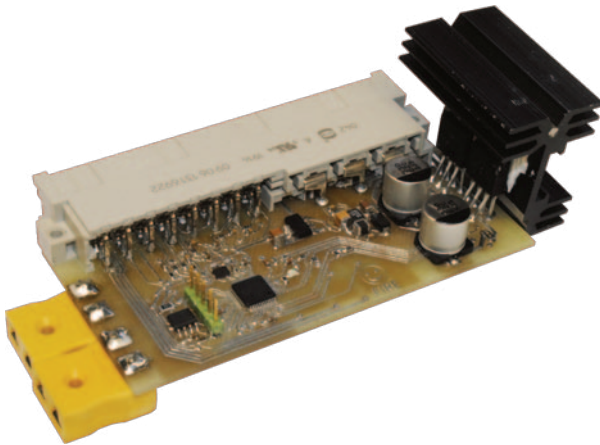


Abbildung 2: Steuergerät zur Aufnahme von Messsignalen, Umsetzung der digitalen Regelung und Ansteuerung von beschriebener Aktorik.

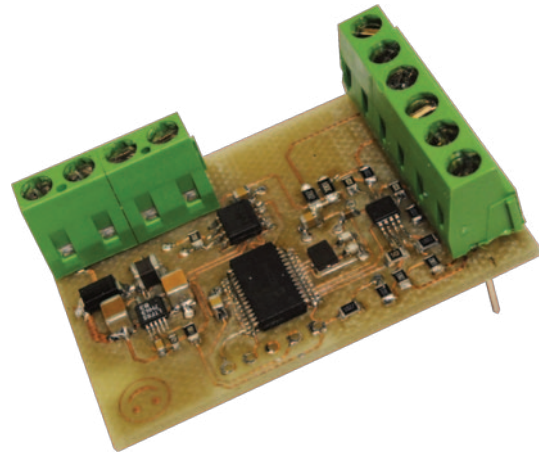


Abbildung 3: Elektronik zur Analog-Digital-Wandlung von Messwellensignalen und übersetzen auf das CAN-Bussystem.

es ermöglicht, rechenintensive Aufgaben vom Master an den Slave-Core auszulagern. Zur Aufnahme und Weiterverarbeitung der Drehmoment- bzw. Drehzahl-signale ist eine Elektronik zum Auslesen einer bestehenden Leistungsmesswelle entwickelt worden (Abbildung 3). Diese kommuniziert über den CAN-Bus mit der Regelungseinheit.

begründet sich die Wirkungsgradoptimierung bei konstanter Stickoxidemission über Beeinflussung des Zündzeitpunktes.

Das derzeitige Regelungskonzept sowie die Schnittstellen stellt Abbildung 4 dar. Um eine möglichst kraftstoff-sparende Verbrennung realisieren zu können, wird der zu untersuchende Motor im mageren Lambdabereich betrieben. Dies bedeutet, dass der Quotient aus tatsächlich eingebrachter Luftmenge und der stöchiometrisch für die Verbrennung benötigten Luftmenge größer als eins ist. Die Entstehung von Stickoxiden ist bei der motorischen Verbrennung in erster Linie von der Temperatur abhängig, welche wiederum über den Zündzeitpunkt (ZZP) beeinflusst werden kann. In diesem Zusammenhang

Es wurde ein Modul zum Einlesen und Ansteuern von Motorperipherie entworfen und aufgebaut. Damit können Stickoxid, Lambda, Frischluftmassenstrom, Ansaugdruck, Abgastemperaturen und Drosselklappenstellung eingelesen sowie Zündzeitpunkt, E-Turbo und Drosselklappe angesteuert werden. Die Struktur eines Regelalgorithmus wurde festgelegt. Alle Schnittstellen wurden im Labor Mess- und Steuerungstechnik vorab getestet. Die Implementierung des Reglers erfolgte problemlos und zeigte gute Ergebnisse. Bei wechselnden Leistungsanforderungen konnte der Stickoxidsollwert eingehalten werden. Zur Verifizierung der Messmethode wurde eine Chemilumineszenz-Analyse parallel zur laufenden Regelung durchgeführt, welche eine gute Korrelation der Messwerte bestätigte.

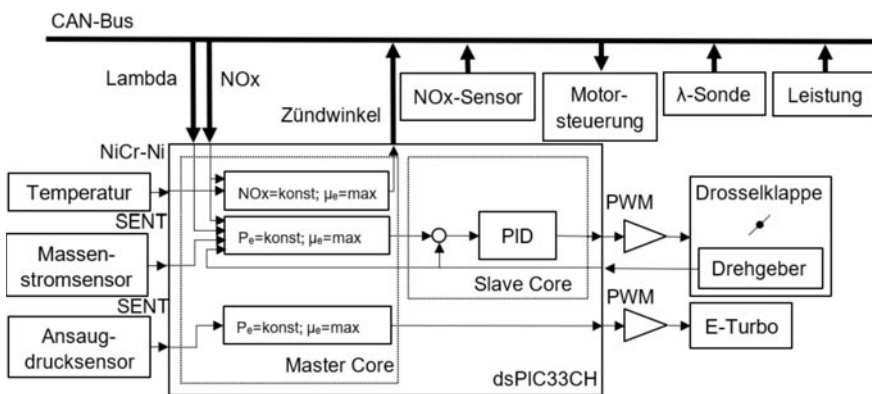


Abbildung 4: Schnittstellenkonzept der Regelung bezogen auf die Regelreinheit.



# Netze und Transformatoren

## Forschungsprojekt Projekts neos – NetzEntwicklungsOffensive Strom erfolgreich abgeschlossen

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

15 Millionen Elektrofahrzeuge sollen nach dem Willen der Bundesregierung bis 2030 neu zugelassen werden. Für die Stromnetzbetreiber ist das eine gewaltige Herausforderung. Wie diese bewältigt werden kann, haben Forscher\*innen der Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze der OTH Regensburg unter Leitung von Prof. Oliver Brückl zusammen mit namhaften Kooperationspartnern vier Jahre lang im Projekt neos (NetzEntwicklungsOffensive Strom) unter die Lupe genommen. Entwickelt wurde u. a. ein Tool, das das Ladeverhalten zu Hause, am Arbeitsplatz und im öffentlichen Raum in der Netzplanung abbildet.

Beteiligt an dem Projekt waren das ZAE Bayern, die Bayernwerk Netz GmbH, die Regensburger Energie- und Wasserversorgung (REWAG), die Maschinenfabrik Reinhausen und die Starkstrom-Gerätebau GmbH Regensburg.

Im Projekt neos stand aber nicht nur die Elektromobilität im Fokus. Die Forschenden haben es sich zur Aufgabe gemacht, vielfältigste Fragestellungen rund um das Stromnetz der Zukunft zu diskutieren, zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten.

Zur Integration der neuen Verbraucher und Erzeuger in die Stromnetze – Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung, Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen eingeschlossen – stehen Netzbetreibern verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die Untersuchungen in neos verfolgten dabei vor allem intelligente Ansätze, die trotzdem auf ein geringes Maß an Kommunikationsinfrastruktur angewiesen und somit kostengünstig sind.

Neben der Transformation der Netze im Rahmen der Energiewende ist es auch wichtig, eine weiterhin hohe Qualität der Stromversorgung sicherzustellen. Unabhängig von der Energiewende traten und treten immer wieder kaum wahrnehmbare Störungen im Stromnetz auf. Empfindliche Verbraucher in der Industrie reagieren aber auf selbst geringe und temporäre Beeinträchtigungen der Spannungsqualität. Daher wurden Möglichkeiten zur Reduktion des Einflusses solcher Ereignisse erarbeitet. In diesem Zuge konnte ein in Bayern bisher einmaliges Netz von hochgenauen Spannungsqualitätsmessstellen installiert werden, die solche Störungen erfassen.



REWAG Kick off NEOS. Foto: Tino Lex

Im Projekt neos stand immer der intensive Austausch mit den beteiligten Projektpartnern, sowohl auf fachlicher als auch auf Leitungsebene, im Vordergrund. Dieses Netzwerk wird auch über das Projektende hinaus weiter mit Leben gefüllt, dazu bemühen sich die Projektpartner derzeit um Fördergelder für neue gemeinsame Projekte.

### neos – NetzEntwicklungsOffensive Strom

**Förderzeitraum** 2017-09-01 bis 2020-10-31  
**F&E Vertrag** 445.895 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

**Zuwendungsgeber**  
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie/ZAE Bayern

**Verbundvorhaben**  
6 Projektpartner aus Forschung und Industrie



Gefördert durch

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



## INZELL – Netzstützung und Systemdienstleistungserbringung durch eine Industriezelle mit Inselnetzfähigkeit und Erneuerbaren Energien

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Auf Seiten der deutschen Industriebetriebe erfordern die zunehmend kostensensitiven Fertigungsprozesse eine hohe Zuverlässigkeit der Stromversorgung. Hingegen entstehen durch die Verdrängung von Großkraftwerken offene Flanken im Bereich der Systemsicherheit, insbesondere bei der Blindleistung im Übertragungsnetz, wo trotz Zunahme der Vorhaltung steigende Defizite im Blindleistungshaushalt für die Zukunft vorhergesagt werden, der Momentanreserve, die nicht mehr systemimmanent in vielen Erzeugungs- und Bezugsanlagen vorhanden ist und dem Netzwiederaufbau, der bislang mittels Großkraftwerken geplant ist. Viele Betriebe verfügen bereits über eine Eigenerzeugung, um unabhängiger von Strombezugskosten zu sein. Bedeutender wird auch der Aspekt der Eigenabsicherung bzw. der höheren Versorgungsqualität werden, da sowohl länger andauernde Versorgungsausfälle als auch Spannungseinbrüche des öffentlichen Versorgungsnetzes zu hohen Kosten durch Produktionsstillstand und Schäden führen können.

Das Bundesforschungsprojekt INZELL adressiert deshalb das Feld der Erneuerbaren Energien und verbindet Fragestellungen aus dem Bereich der Versorgungszuverlässigkeit aus Sicht von Industriebetrieben sowie der Systemsicherheit aus Sicht der Netzbetreiber.

**INZELL – Netzstützung und Systemdienstleistungserbringung durch eine Industriezelle mit Inselnetzfähigkeit und Erneuerbaren Energien**

**Förderzeitraum** 2020-06-01 bis 2023-12-31  
**Bewilligte Summe** 697.957 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

**Zuwendungsgeber**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Verbundvorhaben**  
10 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die übergeordneten Ziele des Vorhabens sind die Entwicklung einer automatisierten Anlageneinsatzplanung sowie eines Netzmanagers, die zusammen einerseits die Möglichkeiten zur Systemdienstleistungserbringung und damit zur Netzstützung durch die Industriezelle von Max Bögl identifizieren und andererseits einen Inselnetzbetrieb erproben sollen.

Als Projektkoordinator leitet die Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg zusammen mit der Max Bögl Wind AG das Bundesforschungsprojekt. Als Verbundpartner aus der Forschung unterstützen die Technische Universität München und die Technische Universität Clausthal. Weitere Industriepartner sind die Firma INTILION GmbH, die Bayernwerk Netz GmbH, die Bredenoord BV, die OMICRON electronics Deutschland GmbH und die Siemens Gamesa Renewable Energy GmbH & Co. KG. Das Forschungsvorhaben hat eine Projektlaufzeit von 3 Jahren und wird mit einem Gesamtvolumen von 1,65 Mio. Euro durch das BMWi gefördert.

Der Industriebetrieb Max Bögl in Sengenthal weist eine Maximallast von 6,3 MW auf. Im Industrienetz sind Photovoltaik-Dachanlagen mit insgesamt 2,5 MW, eine schwimmende PV-Anlage mit 1,5 MW sowie drei Windenergieanlagen, eine davon von Siemens Gamesa, mit insgesamt 9,6 MW angeschlossen. Zur Sicherstellung der Inselnetzfähigkeit dient ein Batteriespeicher mit insgesamt 2,5 MW. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Leitsystem der Fa. Max Bögl.

In mehreren Feldversuchen wird im Rahmen des Projekts erprobt, wie die Energieversorgung nach einem Stromausfall wieder aufgebaut und der stabile Betrieb des Inselnetzes sichergestellt werden kann. Dazu wird das Zusammenspiel von im Industrienetz angeschlossenen Wind- und Photovoltaik-Anlagen der beteiligten Industrieunternehmen mit den Batteriespeichern untersucht. Eine Besonderheit liegt darin, dass hier die Verbrauchslast deutlich die Batteriespeicherleistung übersteigt und die Versorgung hauptsächlich direkt über die Wind- und Photovoltaik-Anlagen erfolgt. Bisherige Inselnetzbetriebskonzepte basieren auf einem Kraftwerk (z. B. Wasserkraftwerk) oder einem Batteriespeicher mit ausreichend großer gesicherter Leistung. „Dies ist hier nicht der Fall, weshalb das neue Konzept unseres Wissens weltweit einmalig ist“, erklärt Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl von der OTH Regensburg. „Nach unserer Recherche dürfte es zudem weltweit das erste Mal sein, dass sich ein



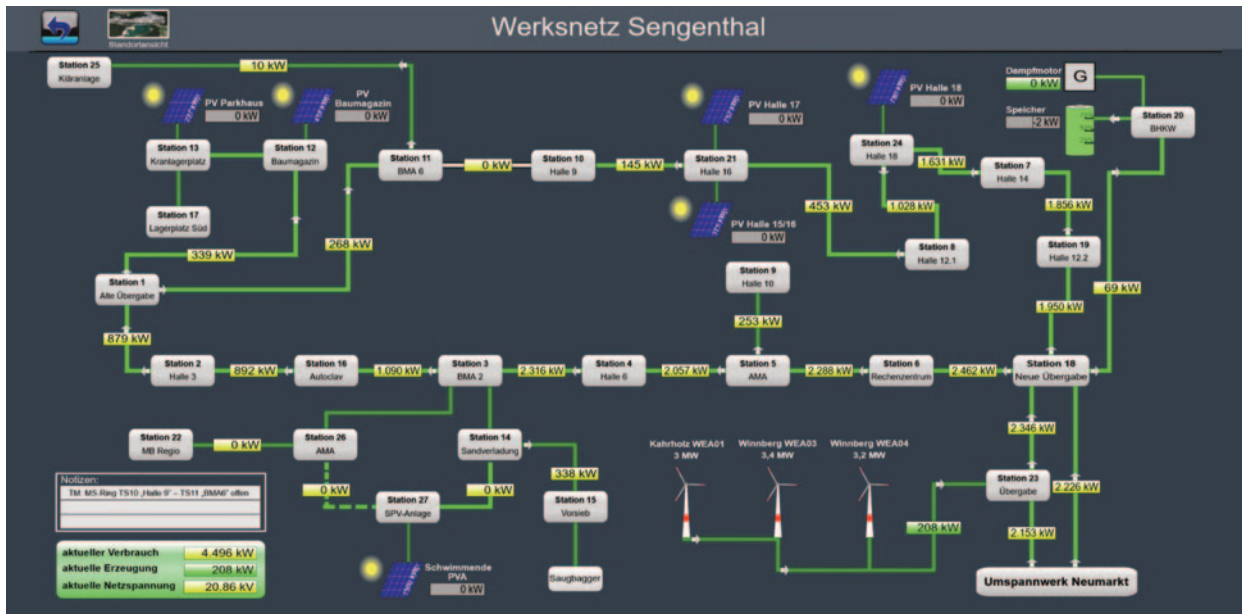


Abbildung 1: Aufnahme aus dem Leitsystem des Industriebetriebs der Firma Max Bögl. Foto: Firmengruppe Max Bögl

Industriebetrieb dieser Größenordnung ausschließlich mit fluktuierenden erneuerbaren Energien im Inselnetz-betrieb selbst versorgen kann. Ziel ist es jedoch nicht, dass sich Industriebetriebe grundsätzlich im Alltag ohne das öffentliche Netz selbst versorgen, sondern nur im Notfall sich weiterversorgen oder Fertigungsprozesse im Falle eines Versorgungsausfalls kontrolliert herunterfahren können. Vielmehr sollen derartige Managementsysteme dazu dienen, um weitere Potenziale zur Energiekostensenkung und Vermarktung von Dienstleistungen zur Netzstabilisierung zu identifizieren und zu nutzen“, so Prof. Brückl weiter. „Deshalb ist es wichtig, dieses Problem sowohl von Netzbetreiber- als auch von Industriebetreiberseite anzugehen, um effiziente und erfolgsversprechende Lösungen zu finden.“ Industriebetriebe können einen essenziellen Beitrag zur Energiewende leisten und als Stabilitätsanker für ein zukünftiges zelluläres und dezentrales Energiesystem dienen. Um die Energiewende kostengünstig gestalten zu können, werden Industriebetriebe zunehmend als Schlüsselbaustein erkannt.

Weitere Informationen zum Projekt INZELL unter: [www.forschungsprojekt-industriezelle.de](http://www.forschungsprojekt-industriezelle.de)



Panoramaaufnahme des gesamten Industriegeländes der Firma Max Bögl mit Blick auf Sengenthal (Vordergrund), Neumarkt in der Oberpfalz (Hintergrund) und den Windenergieanlagen in nordöstlicher Richtung. Foto: Firmengruppe Max Bögl





## Flexibilitätsmaßnahmen in der Stromnetzplanung

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl et al.

### Projektabschluss im Forschungsprojekt C/sells

Schwerpunkt der Projekthalte an der OTH Regensburg war die Abbildung von zeitlichen Verlagerungen von Einspeisungen und Verbrauchslasten in der Mittelspannungsebene. Diese sogenannten Flexibilitätsmaßnahmen sollen im Zuge der Energiewende zukünftig neben bereits etablierten Lösungen einen Beitrag zur weiteren Integration von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen und E-Mobilität liefern.

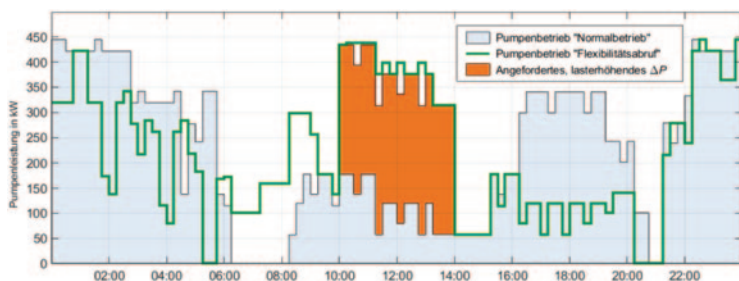


Abbildung 1: Beispiel für eine Flexibilitätsanforderung im Zeitraum 10 bis 14 Uhr

Die Untersuchung von mehreren städtischen und ländlichen Netzgebieten zeigte einen sehr individuellen prognostizierten Flexibilitätsbedarf – sowohl in der Leistungshöhe als auch in der zeitlichen Verteilung. Zur Be-

schreibung der netzseitigen Flexibilitätsanforderungen wurde deshalb eine auf alle Netzgebiete übertragbare Charakterisierung eingeführt. Dadurch lässt sich analysieren, welche Leistung von einem Flexibilitätsanbieter (z. B. Power-to-Heat-Anlage oder Trinkwasserpumpen) gefordert wird sowie wann und wie lange er in Betrieb sein muss. Folglich kann einem Einspeise- bzw. Verbrauchsüberschuss vor Ort im Verteilungsnetz entgegen gewirkt und die Spannung somit in den zulässigen Grenzen gehalten werden. Abhängig von der örtlichen und zeitlichen Flexibilitätsverfügbarkeit wurde im weiteren Verlauf auch eine vereinfachte wirtschaftliche Bewertung ermittelt.

Um die technische Umsetzbarkeit in der Praxis aufzuzeigen, wurde im Trinkwasserversorgungssystem der Kreiswerke Cham ein Feldversuch installiert. Dabei konnte die Pumpensteuerung mit geringem Mehraufwand so angepasst werden, dass die vorrangig nächtliche Befüllung der Hochbehälter bei Bedarf in die Mittagsstunden mit hoher Photovoltaik-Einspeisung verlagert wird, was zu einer Entlastung des Stromnetzes führt (s. Abbildung 1).

#### C/sells – Das Energiesystem der Zukunft im Sonnenbogen Süddeutschlands

Förderzeitraum 2017-01-01 bis 2021-03-31  
Bewilligte Summe 567.987 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderprogramm  
Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende" (SINTEG)

Verbundvorhaben  
60 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

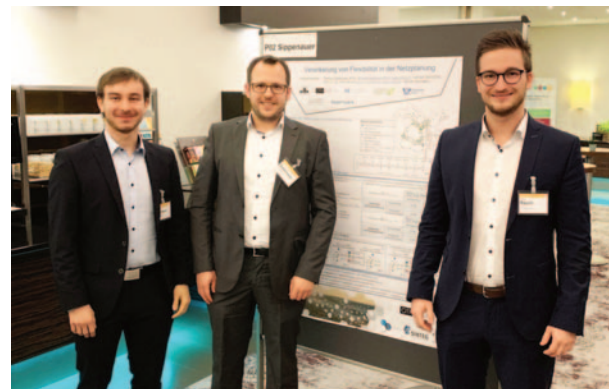


Abbildung 2: Die OTH-Mitarbeiter Matthias Wildfeuer, Thomas Sippenauer und Johannes Rauch bei der Vorstellung von Projektergebnissen auf der Konferenz ScienceLab im Januar 2020 in Berlin (Foto: Thomas Sippenauer, OTH Regensburg)

Das Projektteam von C/sells, der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES), bedankt sich bei allen Partnern für die sehr engagierte und erfolgreiche Zusammenarbeit in den vier Jahren. Die bisherigen Erkenntnisse zur Verankerung von Flexibilitätsmaßnahmen in der Netzplanung werden aktuell von Thomas Sippenauer im Rahmen eines Promotionsvorhabens in Kooperation mit der TU München noch detaillierter untersucht.



## STROM – Forschungsverbund „Energie – SekToRkOpplung und Micro-grids“

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Der Wandel der elektrischen Energieversorgung in Deutschland weg von konventionellen Kraftwerken hin zu erneuerbaren Energieanlagen und der damit steigenden Komplexität in den elektrischen Energiesystemen treibt die elektrischen Energieversorger an, neue Möglichkeiten zur Planung und zum Betrieb des deutschen Stromnetzes zu ergründen und zu validieren. Dabei sind mit der stetigen Erhöhung dezentraler Energieanlagen und der zunehmenden, politisch angetriebenen Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors die Veränderungen in den regionalen und lokalen Verteilnetzen am größten. Dies trifft unter anderem auf die Netzgebiete vieler Stadtwerke zu.

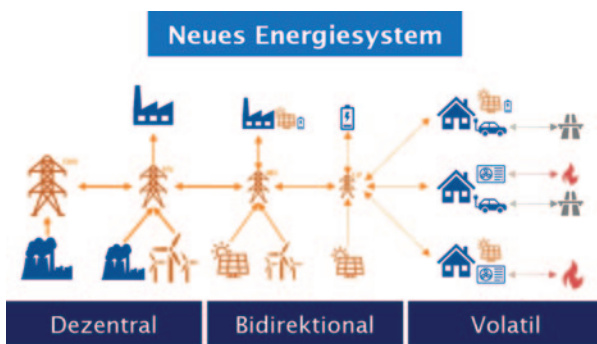


Abbildung 1: Qualitative Nachbildung des veränderten elektrischen Energiesystems mit Bezug auf die voranschreitende Energiewende (Grafik: Projektverbund STROM)

Als Teil des bayerischen Forschungsverbunds „Energie – SekToRkOpplung und Micro-grids“ (kurz: STROM) hat sich die OTH Regensburg zusammen mit den Stadtwerken Forchheim und Waldmünchen das Ziel gesetzt, eine technisch und ökonomisch nachhaltige Netzplanung für städtische Verteilnetzstrukturen zu erarbeiten. Dabei sollen Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Bezugs- und Erzeugungsanlagen, der E-Mobilität und der KWK-Anlagen im Netzgebiet der Stadtwerke berücksichtigt werden. Die Kopplung der Sektoren Strom, Verkehr und Wärme spielt im Forschungsverbund eine zentrale Rolle und Untersuchungen sollen zeigen, welche Auswirkungen diese Kopplung auf das Stromnetz hat und welche Änderungen sich in der Netztopologie als auch im Verhalten der angeschlossenen Kunden ergeben. Schlussendlich sollen aus den Projektergebnissen Handlungsempfehlungen abgeleitet und ein Leitfaden für Verteilnetzbetreiber entwickelt werden.

Nach der Digitalisierung und Validierung der städtischen Netzgebiete sollen Lastflusssimulationen aufzeigen, ob strom- oder spannungsbedingte Probleme bei Betrachtung der Netzentwicklungsszenarien auftreten und wie diese mittels konventionellen und innovativen Netzplanungsmaßnahmen technoökonomisch nachhaltig gelöst werden können. Der entwickelte Zielnetzplanungsprozess soll mit einem hohen Automatisierungsgrad versehen werden, um verschiedene Szenarien effizient berechnen zu können und auch Aussagen über die Robustheit von Netzplanungslösungen bei Berücksichtigung von szenarischen Unsicherheiten treffen zu können.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeit der OTH Regensburg ist die Integration und Anlageneinsatzplanung von elektrischen Großspeichern in städtischen Verteilnetzen. Es sollen einerseits die ökonomischen Potentiale für Stromeinkaufsoptimierungen in Bezug auf mögliche Zusammensetzungen der Stromhandelsprodukte untersucht und vor allem im Hinblick auf die aktuell fluktuierenden Strompreise bewertet werden. Andererseits sollen mit Berücksichtigung der gegenwärtigen Netzentgeltsystematik die Auswirkungen auf die Höhe der Netzentgelte und daraus resultierende Optimierungspotentiale aufgezeigt werden.

### STROM – Sektorkopplung und Micro-Grids

**Förderzeitraum** 2021-04-01 bis 2024-03-31  
**Bewilligte Summe** 242.700 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

**Zuwendungsgeber**  
Bayerische Forschungstiftung

**Förderprogramm**  
Forschungsverbund Energie

**Verbundvorhaben**  
30 Projektpartner aus Forschung und Industrie

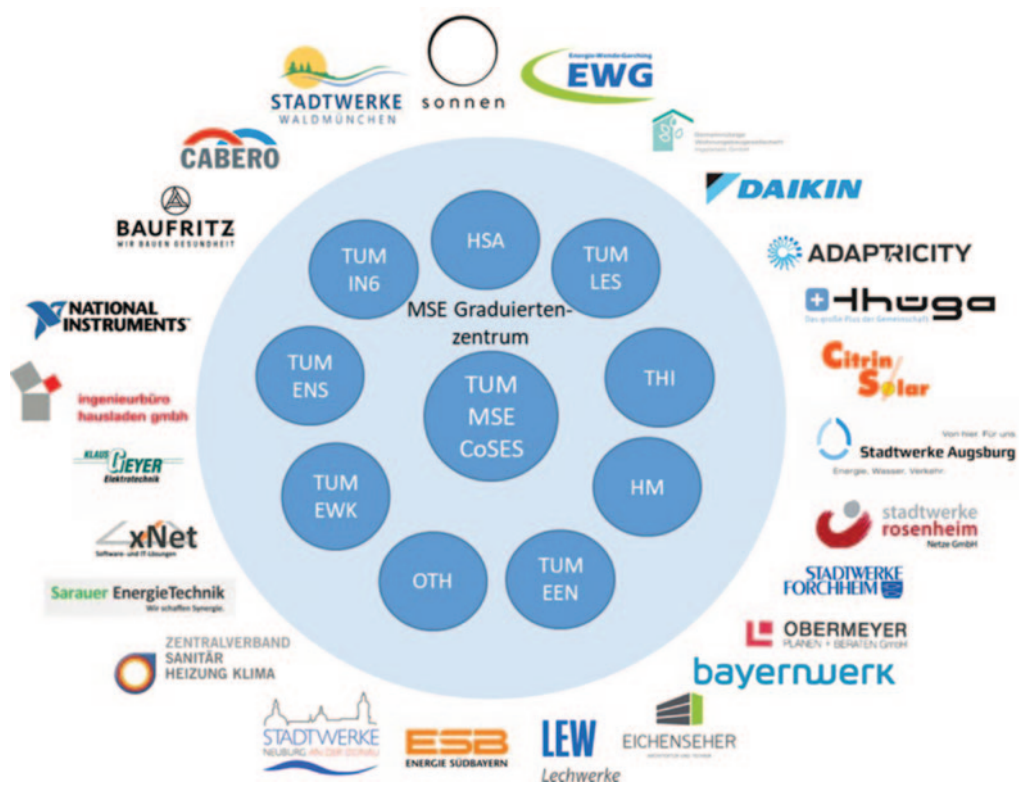


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Vernetzung von Industrie und Hochschulen sowie Integration in das Graduiertenzentrum der MSE (Grafik: MSE, TU München)

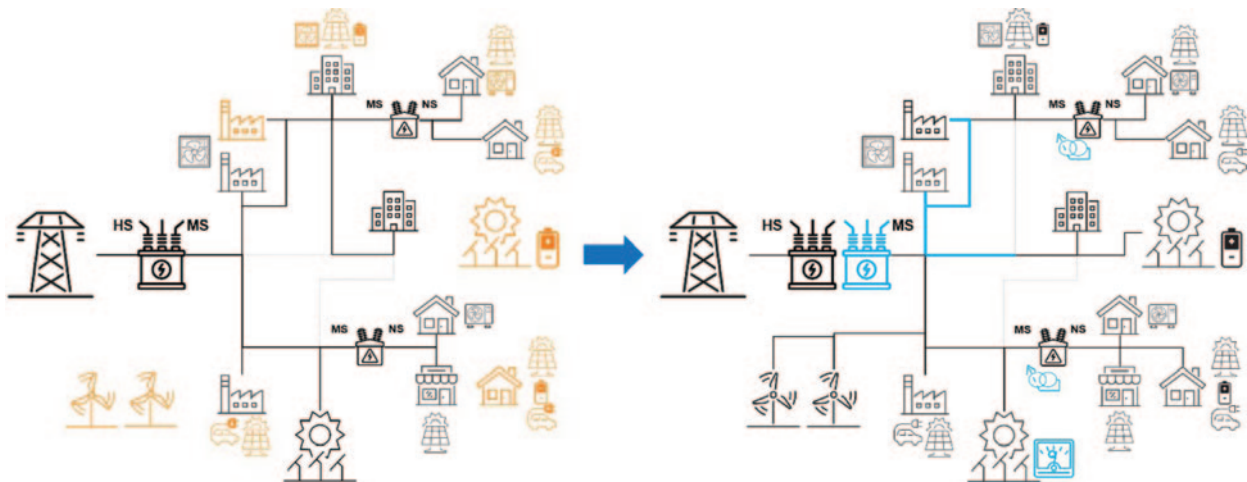


Abbildung 3: Qualitative Darstellung des Zielnetzplanungsprozesses – Entwicklungsszenario (links) und resultierende Netzplanungsmaßnahmen für das Zielnetz (rechts)



## Q-Integral: Mit einem optimierungsbasierten Blindleistungsmanagement die Spannung im Stromnetz der Zukunft stabil halten

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Die Erzeugungs- und Verbrauchslandschaft verändert sich. Stromnetze werden vor neue Herausforderungen gestellt. Woher kommt in Zukunft nach dem Wegfall der Großkraftwerke die Blindleistung, die zur Spannungshaltung im Netz benötigt wird? Können erneuerbare Energien hier einen Beitrag leisten? Wie können Betreiber von Stromnetzen die schwankenden Potenziale dieser Anlagen einplanen? Diesen und weiteren Fragestellungen widmet sich ein Team um Doktorand Johannes Rauch unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl im Projekt Q-Integral.

Für ein sicheres und zuverlässiges Stromsystem muss die Spannung im Normalbetrieb als auch in kritischeren Ausfallsituationen allzeit gehalten werden. Hierfür wird bisher Blindleistung (Q) hauptsächlich aus Blindleistungskompensationsanlagen und konventionellen Großkraftwerken eingesetzt. Zukünftig wird von der EU eine marktgestützte Beschaffung dieser Dienstleistung zur Spannungsregelung vorgeschrieben. Es bedarf somit angepasster Netzbetriebs- und Netzplanungskonzepte für ein technisch effizientes und wirtschaftlich günstiges Blindleistungsmanagement. Die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) an der OTH Regensburg forscht unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl zu diesem Thema in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig und dem Fraunhofer ISE im Rahmen des Projektes Q-Integral.

Dabei wird verstärkt der Blick auf die Netzplanung gelegt. Es wurden Prozesskonzepte und -ansätze entworfen, um vorhandene Blindleistungsquellen bedarfs-optimal einzusetzen (in Abbildung 1 hellblau markiert) und neue, zusätzlich erforderliche Blindleistungskapazitäten im Netz technisch und wirtschaftlich optimal zu platzieren und zu dimensionieren (in Abbildung 1 orange markiert). Durch Lastfluss- und Ausfallsimulationen werden Stromflüsse in Netzmodellen nachgebildet, während die Knotenspannungen mittels Optimierungsalgorithmen innerhalb definierter Auslegungsgrenzen gehalten werden. So können rechnergestützte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die dabei helfen sollen, Investitions- oder Einsatzentscheidungen bezüglich der erforderlichen Blindleistungskapazitäten zu treffen. Zusammen mit den projektbeteiligten ostdeutschen Übertragungs- und Verteilungsnetzbetreibern 50Hertz Transmission GmbH, E.DIS Netz GmbH, WEMAG Netz GmbH und TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG

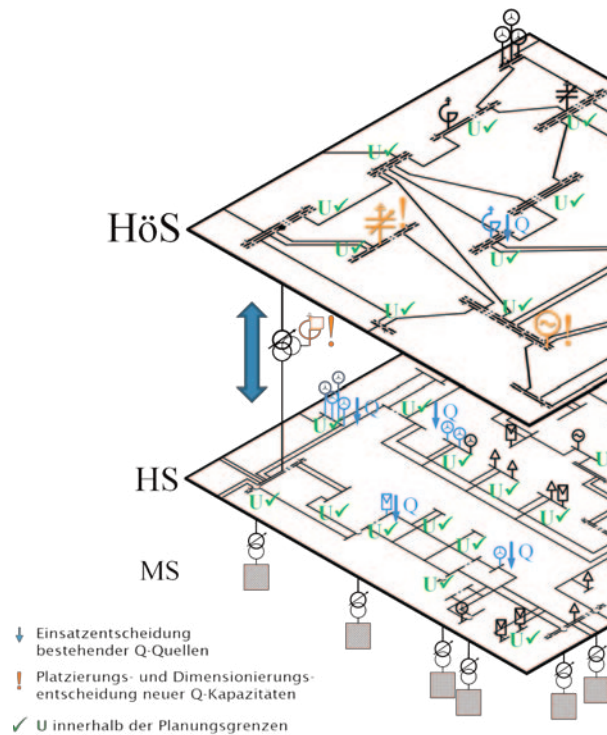


Abbildung 1: Schematische Darstellung der netzplanerischen Problemstellung eines spannungsebenenübergreifenden Blindleistungsmanagements

### Q-Integral – Aktives Blindleistungsmanagement mit dynamischen Blindleistungsquellen an der Schnittstelle Verteilungsnetz und Übertragungsnetz

Förderzeitraum 2019-04-01 bis 2022-09-30  
Bewilligte Summe 369.151 EUR

#### Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

#### Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

#### Förderprogramm

6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

#### Verbundvorhaben

8 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages





wurden die Konzepte praxisorientiert und netzbetreiberübergreifend entwickelt sowie in deren Netzregion angewendet.

Die Prozessansätze sind modular aufgebaut und bestehen aus drei Teilprozessen (siehe Abbildung 2). Die Entscheidungsfindung beruht dabei auf zwei Säulen: die Analyse der sog. Spannungsänderungsbedarfe und die Analyse der Blindleistungspotenziale, bei der verschiedene Blindleistungsbereitstellungsoptionen hinsichtlich ihrer Bedarfsdeckungsseignung bewertet werden. Im Projekt wurden dazu auch Blindleistungspotenziale von erneuerbaren Energieanlagen und Industriebetrieben untersucht und berücksichtigt. Für Letztere führt die OTH Regensburg gemeinsam mit der KBR Kompensationsanlagenbau GmbH Messungen bei Industriebetrieben durch und erarbeitet ein internes Blindleistungsmanagement. Im letzten Prozessschritt werden die Blindleistungssenken mit den Q-Quellen mithilfe eines Optimierungsverfahrens verknüpft und zusätzlich erforderliche Blindleistungskapazitäten identifiziert. Das Verfahren verfolgt dabei das Ziel einer volkswirtschaftlich günstigen Blindleistungsplanung und berücksichtigt zugleich (durch sog. Lastflusssensitivitäten) die technische Effizienz der verschiedenen Blindleistungsbereitstellungsoptionen im Netz.

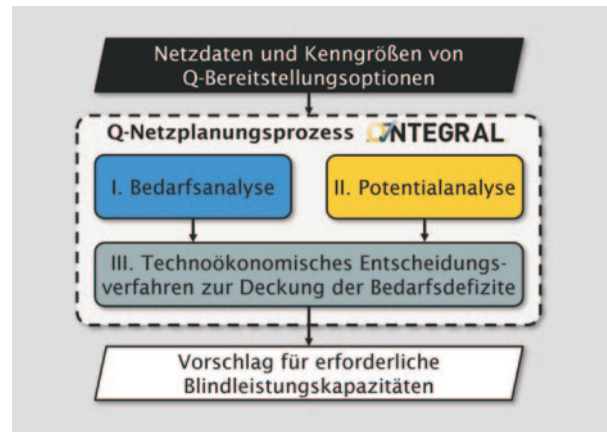


Abbildung 2: Modularer Q-Netzplanungsprozess

Eine Herausforderung bei der Entwicklung eines ersten Prozessprototyps bestand darin, eine Lösung des komplexen Planungsproblems für eine relevante Anzahl an Netznutzungsfällen herbeizuführen. Durch die Entwicklung geeigneter Berechnungsstrategien gelang es dem Projektteam an der FENES, die Optimierungsmodelle erster Anwendungsfälle in einer adäquaten Rechenlaufzeit zu lösen.



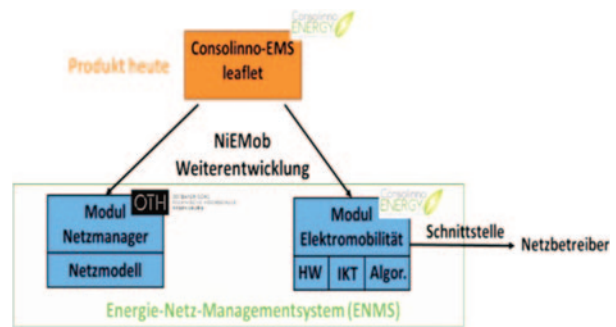
# NiEMob – Netzdienliches integrales Elektromobilitäts-Energiemanagementsystem für dezentrale Energieversorgungssysteme

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Mit der Energiewende ändert sich das Energiesystem in Deutschland und weltweit grundlegend. Zunehmend kommen in Wohnquartieren eigene Erzeugungsanlagen wie Blockheizkraftwerke und Photovoltaikanlagen zum Einsatz. Gleichzeitig entsteht mit dem Ausbau der Elektromobilität und den damit verbundenen Ladepunkten ein neuartiges Verbrauchsverhalten. Um diese Lasten und Erzeuger intelligent und wirtschaftlich in das Stromnetz einbinden zu können, und gleichzeitig den Marktteilnehmern den effizienten Betrieb ihrer Anlagen und die Vermarktung ihres Stroms zu ermöglichen, sind innovative Lösungen nötig.

In Zusammenarbeit mit der Consolinno Energy GmbH wird an der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher hierfür im Projekt NiEMob eine passende Anwendung entwickelt. Der Kern des Projektes ist die Weiterentwicklung des bisherigen Energiemanagementsystems „leafflet“ des Projektpartners Consolinno Energy GmbH, das um verschiedene Funktionalitäten erweitert wird. Dabei entsteht ein Werkzeug, welches gleichzeitig eine netz- und systemdienliche als auch eine ertragsoptimierte Steuerung von Blockheizkraftwerken und Ladesäulen ermöglicht. Gleichzeitig kann die Leistung von volatilen Lasten und Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz gesteigert werden, ohne einen kostenintensiven Netzausbau durchführen zu müssen. Somit entsteht sowohl für Ladesäulenhersteller, Contractoren, Stromhändler und Netzbetreiber als auch für Wohnbaugesellschaften und Infrastrukturplaner eine attraktive Möglichkeit, ihre Projekte im Zuge der Energiewende wirtschaftlich umzusetzen und zu betreiben.

Für die OTH Regensburg liegt ein besonderes Augenmerk auf der Entwicklung eines Netzmanagers, der auf Basis umfassender Lastflusssimulationen Freiheitsgrade (Spannungs- und Leistungssensitivitäten) im Betrieb des Verteilnetzes ermitteln soll. Hierzu wird zunächst eine umfassende Nachbildung des Netzes sowie des Verhaltens aller Netzteilnehmer vorgenommen. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der Nachbildung der Verbrauchsprofile von Elektrofahrzeugen sowie Privathaushalten. Durch den Einsatz generierter Verbrauchsprofile kann eine zeitreihenbasierte Abschätzung der Netzbelastungen erfolgen. Dadurch wird der zukünftige Bedarf



Schematische Darstellung der Weiterentwicklung des Energie-Management-Systems „leafflet“ von Consolinno durch die Zusatzmodule Netzmanager und Elektromobilität

für eine intelligente Steuerung sichtbar. Darauf aufbauend wird außerdem untersucht, welche Netz- und Systemdienstleistungen, wie beispielsweise die Verbesserung der Spannungsqualität oder die Bereitstellung von Blindleistung aus E-Ladesäulen und Quartiersanlagen, generiert werden können und welche Auswirkungen daraus auf die Ladestrategien der Elektrofahrzeuge zu erwarten sind. Anhand von Zukunftsszenarien soll zudem auch der Umgang mit einem zu erwartenden weiteren Zubau von Erzeugungsanlagen und Ladepunkten untersucht und bewertet werden.

**IntelliZell – NiEMob: Netzdienliches integrales Elektromobilitäts-Energiemanagementsystem für dezentrale Energieversorgungssysteme**

---

**Förderzeitraum** 2020-01-01 bis 2022-12-31  
**Bewilligte Summe** 190.000 EUR

---

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

---

**Zuwendungsgeber**  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
 Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK – Kooperationsnetzwerke

**Verbundvorhaben**  
 2 Projektpartner aus Forschung und Industrie



**ZIM**  
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



## EmDeNetz: Ein Energiemanagementsystem zur Regelung dezentraler Energienetze

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl

Im Zuge der Energiewende und dem damit verbundenen Ausbau von z. B. PV, E-Mobilität oder Wärmepumpen nehmen Haushalte im Stromnetz der Zukunft eine völlig neue Rolle ein, indem sie von klassischen Verbrauchern zu sogenannten Flexumern werden. Darunter versteht man Einheiten die zu manchen Zeiten als Verbraucher zu

anderen Zeiten als Erzeuger wirken können. Weiterhin entsteht durch den Betrieb von Anlagen wie Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerken eine Kopplung von Strom- und Wärmeenergieerzeugung und schafft damit die Notwendigkeit, diese mit dem Ziel eines hohen Eigenverbrauchs aufeinander abzustimmen. Im Rahmen des Projektes EmDeNetz soll

daher ein Energiemanagementsystem zur Einsatzplanung und Steuerung einer Vielzahl von Komponenten entwickelt werden, wobei das Interesse des Anlagenbetreibers nach kostenoptimaler Betriebsweise als auch das Interesse des Netzbetreibers nach einem netzdienlichen Betrieb der geregelten Komponenten miteinander verbunden werden. Zu diesem Zweck wird ein

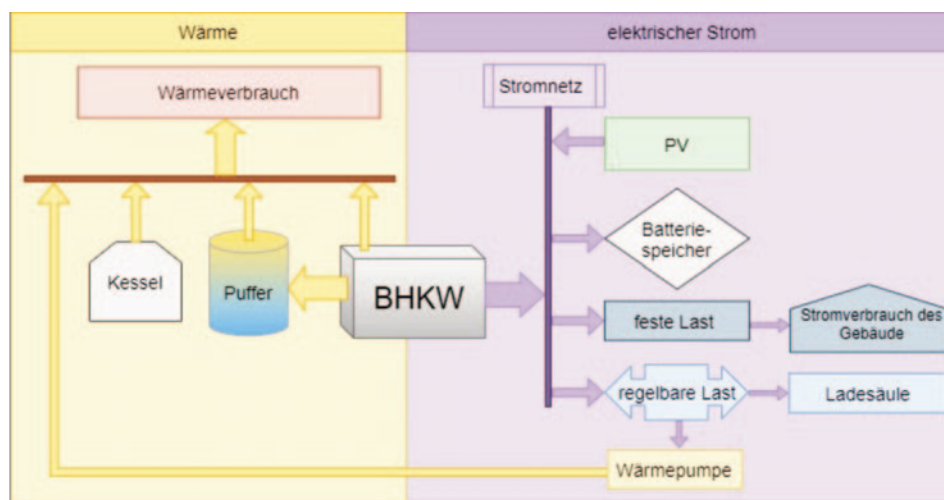


Abbildung 1: Komponenten des Energiemanagementsystems

Algorithmus zur Einsatzplanung für die verschiedenen Komponenten entworfen.

### IntelliZell – EmDeNetz: Energiemanagementsystem zur Regelung Dezentraler Energienetze

Förderzeitraum 2020-04-01 bis 2023-03-31  
Bewilligte Summe 190.000 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

Zuwendungsgeber  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Förderprogramm  
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWK – Kooperationsnetzwerke

Verbundvorhaben  
5 Projektpartner aus Forschung und Industrie





### Die Komponenten

In das Energiemanagement werden verschiedene Komponenten der Strom- und Wärmeversorgung einbezogen. Dabei wird sowohl eine Steuerung der Erzeuger als auch der Verbraucher vorgenommen. Folglich müssen sowohl der Strom als auch der Wärmebedarf des von den Komponenten versorgten Gebäudes berücksichtigt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass einige Elemente wie Blockheizkraftwerke oder Wärmepumpen sowohl bei der Planung der Stromversorgung als auch der Wärmeversorgung berücksichtigt werden müssen. In Abbildung 1 ist ein Überblick über mögliche Komponenten zu sehen.

### Der Energiemanager

Die Steuerung der Komponenten wird von einem Energiemanager übernommen, welcher aus einem Mikrocontroller und verschiedenen Hardwareschnittstellen besteht und von den Projektpartnern AGF Energiesysteme GmbH und SCH.E.I.D.L GmbH entwickelt wird. Dieser erstellt auf Basis der im Rahmen des Projektes entwickelten Algorithmen Fahrpläne für die verschiedenen Komponenten und übernimmt die Kommunikation mit den Komponenten, d. h. das Auslesen von Eingangsdaten wie z. B. den Ladezustand eines Batteriespeichers sowie das Einstellen eines Fahrplans z. B. in Form eines definierten Leistungswerts an einem Blockheizkraftwerk.

### Das virtuelle Kraftwerk

Weiterhin werden im Rahmen des Projektes EmDeNetz mehrere Energiemanager zu einem sogenannten virtuellen Kraftwerk zusammengefasst, indem sie über das

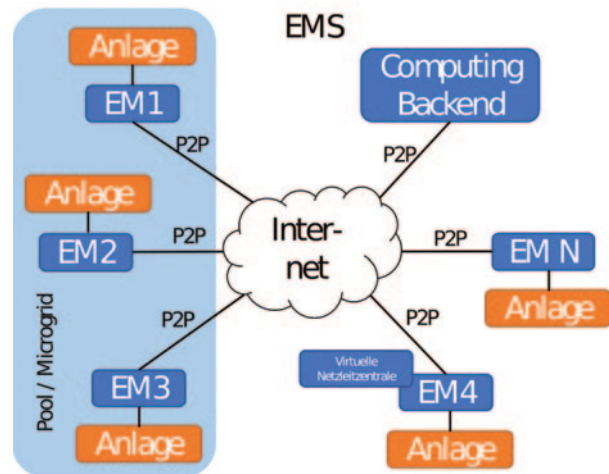


Abbildung 2: Aufbau des Energiemanagementsystems

Internet ihre aktuellen Daten miteinander austauschen, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.

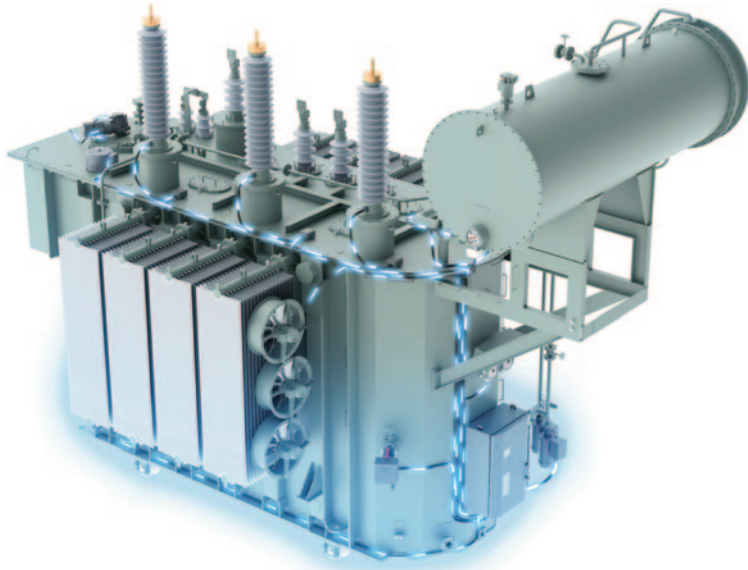
Dabei nimmt einer der Energiemanager zusätzlich die Aufgabe als virtuelle Netzeitzentrale wahr, indem er den Zusammenfluss der Daten der einzelnen Energiemanager koordiniert und überwacht. Durch den Zusammenschluss der Energiemanager ist zusätzlich eine Abstimmung der Fahrpläne zwischen den Komponenten verschiedener Energiemanager möglich, womit gezielt eine konkrete elektrische Leistung aus einer Vielzahl von Erzeugungsanlagen aggregiert aber auch gezielt in den Betrieb des Stromnetzes eingegriffen werden kann.





## Trafo-MOF – Entwicklung von Metal Organic Frameworks zur Dispergierung in Tintenform und anschließenden Herstellung sensorischer Dünnschichten

Ein Projekt von Prof. Dr. Martin Kammler



Stromfluss – blaues Licht. Grafik: Maschinenfabrik Reinhausen GmbH

Im Zuge der Energiewende findet ein Übergang von wenigen Kraftwerken mit gleichmäßiger Energieerzeugung hin zu zahlreichen Kraftwerken mit variabler Energieerzeugung statt. Dieser Wandel stellt neue Herausforderungen an die Netzregulierung und -überwachung.

Im Verbundvorhaben „TrafoMOF“ wird aus diesem Grund ein faseroptischer Gassensor auf Basis von Metal Organic Frameworks (kurz: MOFs) entwickelt. Zielanwendung für diesen Sensor ist die „Dissolved Gas Analysis“ (kurz: DGA) in Isoliermedien von Hochspannungsanlagen. Die Alterung der Isoliermedien ist die Hauptursache für Ausfälle von Hochspannungsanlagen. Durch die Detektion von Zersetzungsprodukten der Isoliermedien kann eine Aussage über den Fortschritt der Alterung getroffen und damit die Betriebsfähigkeit der Hochspannungsanlage beurteilt werden. Im Fokus der Analysen stehen die Zersetzungsprodukte Methan, Ethan, Ethen, Ethin, Wasserstoff, Methanol, Kohlendioxid und die Stoffgruppe der Furane. Durch den Einsatz MOFs ist es möglich, sensorische Dünnschichten zu erzeugen, die hochgradig selektiv

**TrafoMOF – Faseroptischer Gassensor auf Basis von Metal Organic Frameworks zum Einsatz in Transformatorenöl für predictive Maintenance in Hochspannungsanlagen**

**Förderzeitraum** 2022-09-01 bis 2025-08-31  
**Bewilligte Summe** 546.830 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nanochem

**Zuwendungsgeber**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

**Verbundvorhaben**  
3 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**TrafoMOF – Entwicklung eines Gassensors auf Basis von Metal Organic Frameworks und Glasfasertechnik für Öl-Transformatoren**

**Förderzeitraum** 2021-05-01 bis 2021-10-31  
**Bewilligte Summe** 17.770 EUR

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Kompetenzzentrum Nanochem

**Zuwendungsgeber**  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

**Förderprogramm**  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft und Kunst





auf jeweils eines der zu analysierenden Zersetzungsprodukte ansprechen. Bei den MOFs handelt es sich um eine vielfältige Gruppe mikroporöser Stoffe, die andere Moleküle in ihre Mikroporen einlagern. Hierdurch ändern sich die Stoffeigenschaften der MOFs, was genutzt wird, um die Lichtführungseigenschaften von Glasfasern zu

modulieren. Diese Sensortechnik erreicht einen neuen Stand der Technik im Feld der Sensorik für Hochspannungsanlagen. Durch die generierten Messergebnisse werden neue Möglichkeiten für Netzregulierung und -überwachung geschaffen.



*Trainings-Center Regensburg. Foto: Maschinenfabrik Reinhausen GmbH*



# Speicher und Batteriemanagement

## ORBIT II – Erweiterung eines hocheffizienten Rieselsbett-Bioreaktors und Optimierung der Methanisierungsanlage für den kommerziellen industriellen Einsatz

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

Der Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger ist europaweit längst beschlossen. Durch den damit einhergehenden Ausbau von fluktuierenden, erneuerbaren Erzeugern tritt die Frage nach der Speicherung von erneuerbarem Strom immer weiter in den Vordergrund. Die Power-to-Gas (PtG) Technologie stellt in diesem Kontext eine der wenigen Optionen für die Langzeitspeicherung von Strom dar.

Im bereits abgeschlossenen Projekt ORBIT konnten die OTH Regensburg und ihre Partner\*innen einen innovativen Rieselsbett-Reaktor zur biologischen Methanisierung bauen und erfolgreich testen. Bei der biologischen Methanisierung übernehmen Mikroorganismen, sogenannte Archaeen, die Umwandlung von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> in nachhaltiges Methan. Diese Forschungsarbeit wird im Projekt ORBIT II fortgesetzt und die Speichertechnologie



Abbildung 2: Die ORBIT-Anlage an ihrem Standort in Regensburg.  
Foto: Michael Heberl

**ORBIT II – Erweiterung eines hocheffizienten Rieselsbett-Bioreaktors und Optimierung der Methanisierungsanlage für den kommerziellen industriellen Einsatz**

---

**Förderzeitraum** 2021-12-01 bis 2024-11-30  
**Bewilligte Summe** 871.827 EUR

---

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)


---

**Zuwendungsgeber**  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“

**Verbundvorhaben**  
10 Projektpartner aus Forschung, Industrie und kommunalem Bereich

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

**Erweiterung eines hocheffizienten Rieselsbett-Bioreaktors und Optimierung der Methanisierungsanlage für den kommerziellen industriellen Einsatz – ORBIT 2**

---

**Förderzeitraum** 2021-01-01 bis 2021-09-30  
**Bewilligte Summe** 28.100 EUR


---

**Ausführende Stelle**  
OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

---

**Zuwendungsgeber**  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

**Förderprogramm**  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst



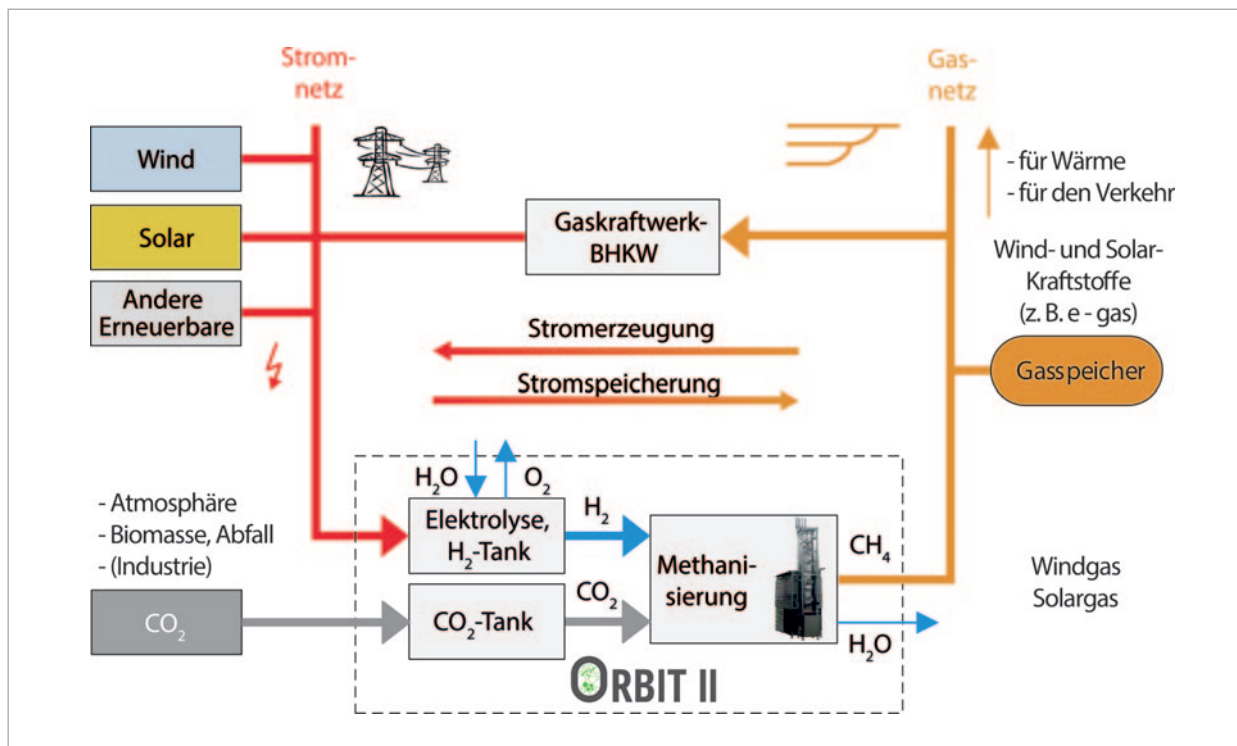


Abbildung 1: Das Power-to-Gas Konzept und die Einordnung des Rieselbett-Reaktors aus ORBIT in dieses. Foto: Michael Sterner

für einen kommerziellen, industriellen Einsatz vorbereitet. Zusammen mit Partner\*innen aus Forschung und Industrie arbeitet die FENES der OTH Regensburg unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner an der Weiterentwicklung des Rieselbett-Bioreaktors. Ziel des Vorhabens ist die Erweiterung des Reaktors um Elektrolyseur, Gasaufbereitung und Gasspeicherung inkl. notwendiger Peripherie. Ein Elektrolyseur mit Protonenaustauschmembran des Projektpartners Ostermeier H<sub>2</sub>hydrogen Solutions GmbH wird hierfür speziell angepasst und umfangreich untersucht. Zusätzlich werden die Systemintegration und Kostensenkung von PtG-Anlagen sowie die Nutzung von verschiedenen Bio- oder Abgasen aus Industrieprozessen als CO<sub>2</sub>-Quelle für die Methanisierung als übergeordnete Ziele an der OTH Regensburg verfolgt.

Die Universität Regensburg und SCHOTT AG entwickeln und untersuchen im Rahmen des Projekts neue Füllkörper auf Basis von Glas, die als Aufwuchsfläche für die eingesetzten Archaeen dienen. Parallel zu den Untersuchungen am bereits vorhandenen Reaktor wird beim Projektpartner FAU Erlangen-Nürnberg ein Zwilling im 5 L-Maßstab aufgebaut, an dem weitere Versuche stattfinden. In Zusammenarbeit identifiziert das Konsortium methanogene Kulturen, welche für die ausgewählten Bio- bzw. Industriegase geeignet sind und hohe Umsatzraten erzielen.

Abschließend wird die Anlage für einen Feldtest in das Klärwerk in Pfaffenhofen a. d. Ilm integriert und dort betrieben. Um dabei möglichst lokal erzeugten erneuerbaren Strom zu nutzen, kann die Bürger-Energie-Genossenschaft im Landkreis Pfaffenhofen an der Ilm als assoziierter Partner unterstützen. Know-how aus dem industriellen Bereich bringen die drei assoziierten Partner Hitachi Zosen Inova Schmack GmbH, MicroPyros BioEnerTec GmbH und Electrochaea GmbH in das Projekt ein, die bereits im größeren Maßstab Anlagen zur biologischen Methanisierung betreiben. Basierend auf den Ergebnissen aus den Versuchsanlagen wird ein industrieller Upscale der Anlage geplant.

ORBIT II soll aber nicht nur die PtG-Technologie weiterentwickeln, sondern auch die Verbreitung dieser erhöhen. Über die Projektlaufzeit hinweg werden beispielsweise drei Workshops bei den Forschungspartnern durchgeführt, wodurch einem breiten Publikum aktuelle Entwicklungen sowie Vor- und Nachteile des Konzeptes nahegebracht werden. Weiterhin werden potenzielle Standorte für PtG-Anlagen mit biologischer Methanisierung in Deutschland identifiziert und veröffentlicht.



## P2X – Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing Michael Sterner

Für die Kopernikus Forschungsinitiative P2X wurde ein Energiesystemmodell erstellt, das als Basis für die ökologischen und technoökonomischen Bewertungen verschiedener Power-to-X-Technologiepfade im Roadmapping-Prozess des Projektes diente. Dies ermöglichte eine konsistente Analyse der untersuchten PtX-Wertschöpfungsketten im Kontext des zukünftigen deutschen Energiesystems.

Im Energiemodell erfolgt eine Optimierung in allen Sektoren der Erzeugung und des Verbrauchs in Deutschland hinsichtlich minimaler volkswirtschaftlicher Kosten unter Berücksichtigung von exogen vorgegebenen Randbedingungen. Hierzu zählt unter anderem die Einhaltung der Klimaziele nach dem novellierten deutschen Klimaschutzgesetz. In diesem wird eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 65 % im Jahr 2030 und um 88 % im Jahr 2040 gegenüber dem Jahr 1990 sowie eine Klimaneutralität im Jahr 2045 festgelegt.

Für die erforderliche starke Reduktion der Treibhausgasemissionen (s. Abbildung 1) ist eine grundlegende Transformation des Energiesystems in allen Bereichen notwendig. Neben Effizienzsteigerungen, dem Einsatz erneuerbarer Energien, der verstärkten Nutzung von Sekundärrohstoffen (Recycling) oder der direkten Elektrifizierung sind hierfür PtX-Technologien in einigen Sektoren essenziell. Im Jahr 2050 beträgt der berechnete Wasserstoffbedarf in Deutschland insgesamt 649 TWh. Davon werden etwas mehr als die Hälfte (347 TWh) national produziert und der Rest importiert. Der Wasserstoff wird entweder direkt im Industriesektor zur Herstellung von Stahl, Methanol, Ammoniak und hochveredelten Chemikalien (HVC) oder im Verkehrssektor in Lkw und

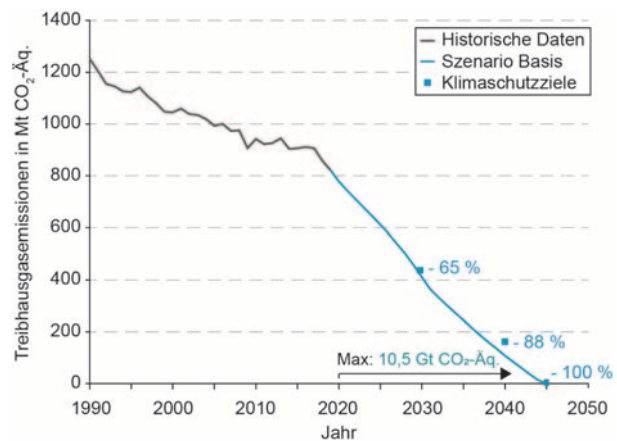


Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen und deutsche Klimaschutzziele

Zügen sowie Bussen eingesetzt (s. Abbildung 2). Ein Teil des Wasserstoffs wird über die Fischer-Tropsch-Synthese (Power-to-Liquid) zu e-Fuels und synthetischem Naphtha umgewandelt und als Energieträger im Luft- und Schiffsverkehr sowie stofflich in der chemischen Industrie verbraucht. Darüber hinaus erfolgt eine Methanisierung von Wasserstoff in Power-to-Gas-Anlagen und die nach-

### P2X-2: Erforschung, Validierung und Implementierung von 'Power-to-X' Konzepten

**Förderzeitraum** 2019-09-01 bis 2022-12-31  
**Bewilligte Summe** 305.480 EUR

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

**Zuwendungsgeber**  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
 Kopernikus-Projekte für die Energiewende

**Verbundvorhaben**  
 35 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



**KOPERNIKUS**  
**P2X PROJEKTE**  
 Die Zukunft unserer Energie

aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

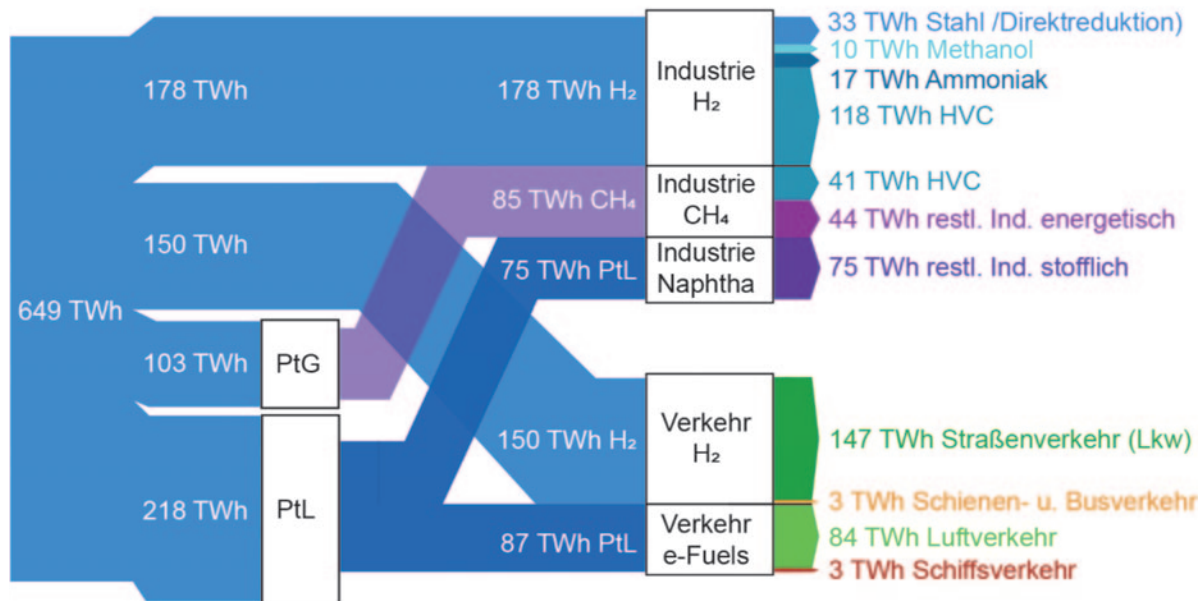


Abbildung 2: Power-to-X-Nutzungspfade im Jahr 2050 des Basisszenarios.

folgende Nutzung für die Herstellung von Grundstoffchemikalien und die Erzeugung von Hochtemperaturprozesswärme im Industriesektor.

Anhand der Ergebnisse der Energiesystemmodellierung zeigt sich, dass PtX nur in Bereichen eingesetzt wird, in denen keine effizienteren oder kostengünstigeren Technologien zur Verfügung stehen. Für andere Anwendungen wie die Wärmebereitstellung in Haushalten oder dem

motorisierten Individualverkehr findet überwiegend eine direkte Nutzung von Strom in Wärmepumpen bzw. in batterieelektrischen Pkw statt. Ferner wird deutlich, dass PtX ein unverzichtbarer Bestandteil für die Defossilisierung des Energiesystems ist, da einige Sektoren auch in Zukunft auf kohlenstoffbasierte Rohstoffe und Energieträger mit hoher Energiedichte angewiesen sind. Diese können in einem klimaneutralen Energiesystem voraussichtlich nur mittels PtX hergestellt werden.



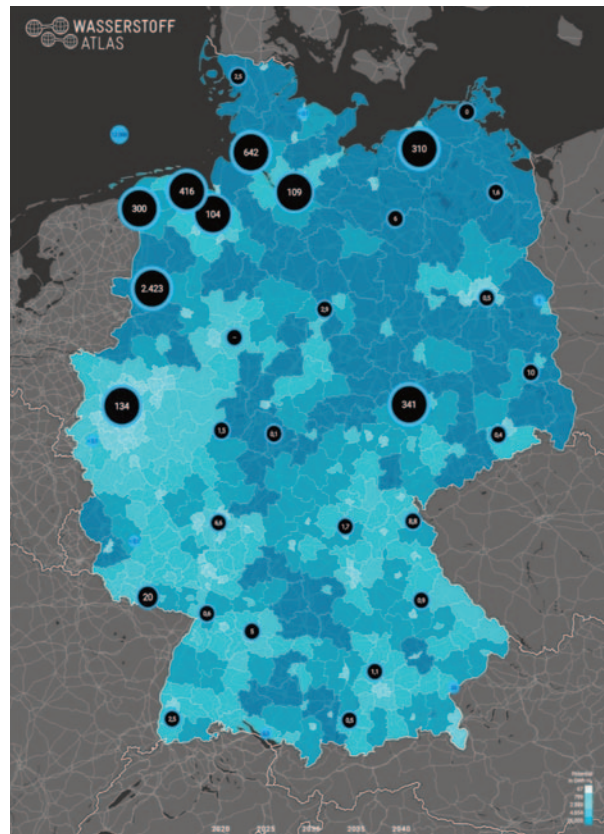
## DER WASSERSTOFFATLAS – eine interaktive WebApp

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner



Der Wasserstoffatlas ist eine interaktive WebApp zur deutschlandweiten Darstellung von Wasserstoffpotentialen, aktuellen Erzeugern und Verbrauchern. Eigene Potentialanalysen wurden durch Open Data Quellen, wie dem Marktstammdatenregister, ergänzt. Die räumliche Differenzierung verdeutlicht die hohen Ausbaumöglichkeiten für grünen Wasserstoff in jedem Landkreis. Die WebApp bietet eine Unterscheidung sowohl verschiedener Berechnungsgrundlagen als auch zwischen den Elektrolysetechnologien AEL und PEM. Dabei dient ausschließlich erneuerbarer Strom aus Windkraft, Photovoltaik, Biomasse und Wasserkraft zur Berechnung der potentiellen Elektrolyseleistung, wobei das Potential von Wasserkraft und Biomasse zunächst auf den heutigen Ausbauzustand begrenzt wird. Dadurch soll eine Flächen- oder Nutzungskonkurrenz ausgeschlossen werden. Bevor Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird, sollten zunächst der für 2050 prognostizierte Stromverbrauch in der entsprechenden Region gedeckt werden, um Umwandlungsverluste und lange Transportwege zu vermeiden. Durch die Stromverbrauchsprognose soll über Sektorenkopplung dem in Zukunft höheren Strombedarf von Verkehr und Wärme durch Elektrifizierung Rechnung getragen werden. Eine stundengenaue Analyse des Verbrauchs sowie der Erzeugung ermöglicht es, Überschüsse zu identifizieren, die in Form von Wasserstoff gespeichert und genutzt werden können.

Darüber hinaus wird eine seit 2012 geführte Datenbank visualisiert, bei der Power-to-X-Anlagen räumlich differenziert aufgeführt sind. Die Darstellung von Wasserstoffverbrauchern und Kohlenstoffdioxid-Erzeugern ermöglicht eine Verlinkung von Potentialen und passenden Rahmenbedingungen für den direkten Verbrauch von Wasserstoff sowie besonders geeignete Standorte für Methanisierungsanlagen. Der Wasserstoffatlas stellt ein einfaches Tool für Interessierte in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft dar, das öffentlich in Deutsch und Englisch zugänglich ist. In Zukunft sollen Wasserstoffderivate, Kostenanalysen und ein Benchmark mit aufgenommen werden, um die Funktionalität weiter zu erhöhen. Dadurch soll es den Einstieg in eine konkrete technische Planung erleichtern. Das Projekt wird in der ersten Phase bis Ende 2023 laufen und wird durch den Projektverbund und in Austausch mit den Zielgruppen stetig weiterentwickelt.



Die frei nutzbare und interaktive Web-App stellt das Wasserstoffpotenzial anschaulich dar.

### Wasserstoffatlas-D: Wasserstoff- und PtX-Wertschöpfungsketten in Deutschland

**Förderzeitraum** 2021-01-01 bis 2023-12-31  
**Bewilligte Summe** 735.420 EUR

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

**Zuwendungsgeber**  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

**Förderprogramm**  
 BMBF Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“  
 Modul 2: Grundlagenforschung Grüner Wasserstoff

**Verbundvorhaben**  
 3 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages





## Development of an innovative thermal energy storage system

A project of Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud

The SWS-HEATING project aims at developing a thermal energy storage (TES) system working with the concept of charging a molecular sieve (sorberent material) with environmentally friendly substance (such as water) and utilizing the process heat release for covering a large fraction of heating demand in buildings. For cyclic operation, the applied sorberent material must be dischargeable. The discharge is an exothermic process. Utilization of such concept for developing solar energy storage system is possible if the sorberent material is stable, durable, dischargeable by applying simple solar collector, affordable, and has a high water charge capacity.

In the framework of the SWS-HEATING project an innovative sorption TES unit with a novel storage material and creative configuration, i. e. a sorberent material embedded in a compact multi-modular sorption TES unit, is to be developed (see Figure 1). This will allow to store and shift the harvested solar energy available abundantly in sunny summer days to the less sunny and colder winter days thus covering a large fraction of heating demand in buildings. The targeted benefit of this next generation solar heating technology is to reach and overcome a solar fraction of 60% in central/north Europe, reaching

80% in the sunnier south of Europe, with a compact and high-performing STES system at low cost, realising solar active houses throughout EU.

The novel sorberent material belongs to the Selective Water Sorberents (SWS) family, which is characterised by superior heat storage density compared to the state of the art, making it possible to drastically decrease the storage volume with negligible thermal losses. Because of the poor heat and mass transfers in all known SWS materials, the development of efficient, compact and durable heat and mass exchangers, in which the sorberent material is employed, is crucial for obtaining high charge and discharge rates of the TES system.

The solar heat will be provided to the system by highly efficient evacuated tube solar thermal collectors to supply domestic hot water (DHW) up to 60 °C. Higher temperature solar heat (at temperatures above 90 °C) will be used mainly to charge the storage unit during sunny days. During the cold days, the stored heat will preferentially be used for space heating, and a backup heater will operate only when all stored heat has been fully discharged to cover the heat demand (see Figure 2).

The adsorber/desorber HEX with the SWS-material embedded inside is the core component of the SWS-TES sorption module. Until now, HEXs used in adsorption machines have been developed mainly for other applications (e.g. automobile, air-conditioning). Dedicated plate HEXs will be developed in order to outperform the standard finned flat tube HEX, widely employed in adsorption appliances so far (see Figure 3). The most effective configuration will be developed in terms of achievable specific heating power, coefficient of Performance (COP) value, dynamic behaviour and maximised lifetime. The overall aim is to reach high TES density, as well as to improve heat and mass transfer effectiveness leading to high power density as well as reduced component volume and cost.

The evaporator and condenser HEXs are the other two key components of the SWS-STES configuration, having a crucial role for reaching high performance and decrease its volume. As for the adsorber, the use of plate HEXs for these components is anticipated to enhance the performance of adsorption heat utilization appliances.

**SWS Heating – Development and Validation of an Innovative Solar Compact Selective-Water-Sorberent-Based Heating System**

---

**Förderzeitraum** 2018-06-01 bis 2023-11-30  
**Bewilligte Summe** 499.945 EUR

---

**Ausführende Stelle**  
 OTH Regensburg, Labor für Sorptionsprozesse

---

**Zuwendungsgeber**  
 Europäische Union

**Förderprogramm**  
 H2020-EU.3.3.- SOCIETAL CHALLENGES – Secure, clean and efficient energy

**Verbundvorhaben**  
 15 Projektpartner aus Forschung und Industrie

Funded by



European Union's H2020 research and innovation programme under grant agreement No 764025

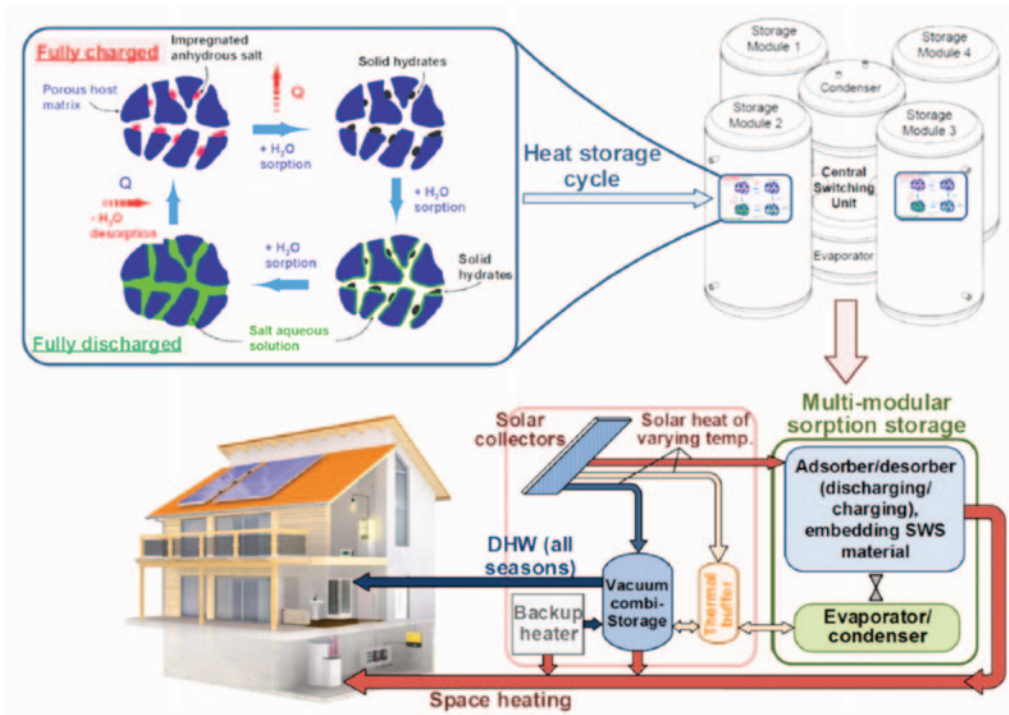


Fig. 1. Charging/discharging processes of SWS-material in a heat storage cycle (top left), embedded inside the storage modules of the innovative multi-modular SWS- TES configuration (top right), resulting to the SWS-heating system (bottom)

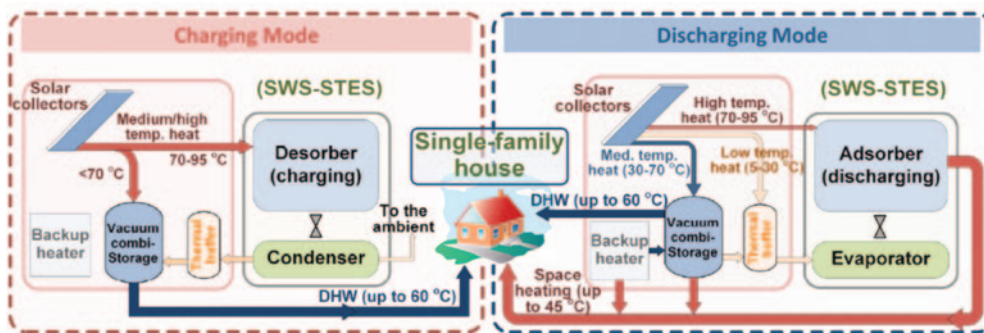


Fig. 2. SWS-heating concept and operating modes (charging and discharging)



Fig. 3. Left: standard adsorber finned flat tube HEX. Right: compact plate HEX made of stainless steel and brazed with nickel



# Experimentelle Untersuchung und Optimierung von Speichermassen für einen thermochemischen Eisen-Redox-Wasserstoffspeicher

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud

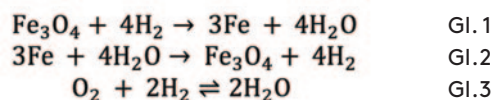
## Einleitung

Im Hinblick auf die Energiewende wird der Anteil regenerativer Energien stetig steigen. Mit einer auf regenerativen Energien basierenden Energieerzeugung gehen jedoch starke wetterbedingte Fluktuationen einher. Zur Gewährleistung einer stetigen, unterbrechungsfreien Versorgung können Energiespeicher dienen, die einen zeitlichen Ausgleich zwischen Energieproduktion und -nutzung schaffen. Einen weiteren Aspekt der zukünftigen Energieversorgung stellt zudem die sektorenübergreifende Versorgung dar. Wasserstoff als Energieträger besitzt hierfür ideale Voraussetzungen. Dieser kann über Elektrolyse aus erneuerbaren Energieüberschüssen erzeugt und bei steigendem Energiebedarf wieder rückverstromt werden. Des Weiteren kann Wasserstoff direkt als Kraftstoff für die Sektoren Verkehr und Wärme eingesetzt werden. [1]

## Eisen-Redox-Speicherprinzip

Eine vielversprechende Möglichkeit zur Speicherung von Wasserstoff stellt das Eisen-Redox-System dar. Das Speicherprinzip basiert auf der wiederholten Reduktion und Oxidation (Redox) von Eisenoxid/Eisen-Speichermassen

bei einer Temperatur im Bereich von 500°C bis 800°C unter atmosphärischen Druckbedingungen. Bei der Einspeicherung wird Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in den Eisen-Redox-Speicher eingeleitet, wodurch das Eisenoxid (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) zu Eisen (Fe) reduziert wird. Um den Wasserstoff wieder freizusetzen, wird im Ausspeichervorgang Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) eingeleitet. Dies führt dazu, dass das Eisen oxidiert und der Wasserstoff wieder freigesetzt wird. Die Aus- und Einlagerung von Sauerstoff bei der Reduktion zu Eisen (Gl.1) bzw. Oxidation zu Eisenoxid (Gl.2) kann über die Gewichtsänderung der Probe ermittelt werden. Basierend auf Gleichung 3 liefert die Massenänderung somit Aufschluss über die Wasserstoff-Speicherkapazität.



## Vorteile des Eisen-Redox-Systems

Aufgrund der atmosphärischen Prozessbedingungen kann der Wasserstoff ohne eine zusätzliche, verlustbehaftete Kompression eingespeichert werden. Zudem befindet sich während der Speicherphase kein Wasserstoff im System, sondern lediglich das Speichermaterial (Eisen). Dies ermöglicht eine sichere Speicherung von Wasserstoff, besonders für den Einsatz in Quartieren.

## Ziel der Forschungsarbeit

Ziel der Arbeit ist zunächst die Erforschung und Identifizierung von Alterungsmechanismen, die verstärkt bei reinen Eisen/Eisenoxid-Massen durch die wiederholte Redox-Reaktion (Lade- und Entladevorgang) einsetzen. Darauf aufbauend sollen die identifizierten Alterungseffekte verringert werden, um eine deutliche Steigerung der Zyklen-Stabilität zu realisieren. Hierfür ist die Untersuchung und die Optimierung der Zusammensetzung sowie der Struktur der Eisen-Redox-Speichermassen vorgesehen.

## Bisherige Ergebnisse

Durch die finanzielle Förderung des Regensburg Center of Energy and Resources (RCER) und der Nagelschneider Stiftung konnten bereits essenzielle Grundlagen in den Bereichen der Materialauswahl und -weiterverarbeitung der Reaktionsmassen erarbeitet werden [2].

Entwicklung reaktionsfreudiger und stabiler Reaktionsmassen für den Betrieb des thermochemischen Wasserstoffspeichers basierend auf dem Eisen-Redox-Prinzip

Förderzeitraum 2020-04-01 bis 2022-05-31  
Bewilligte Summe 37.700 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Labor für Process Engineering

Zuwendungsgeber  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“



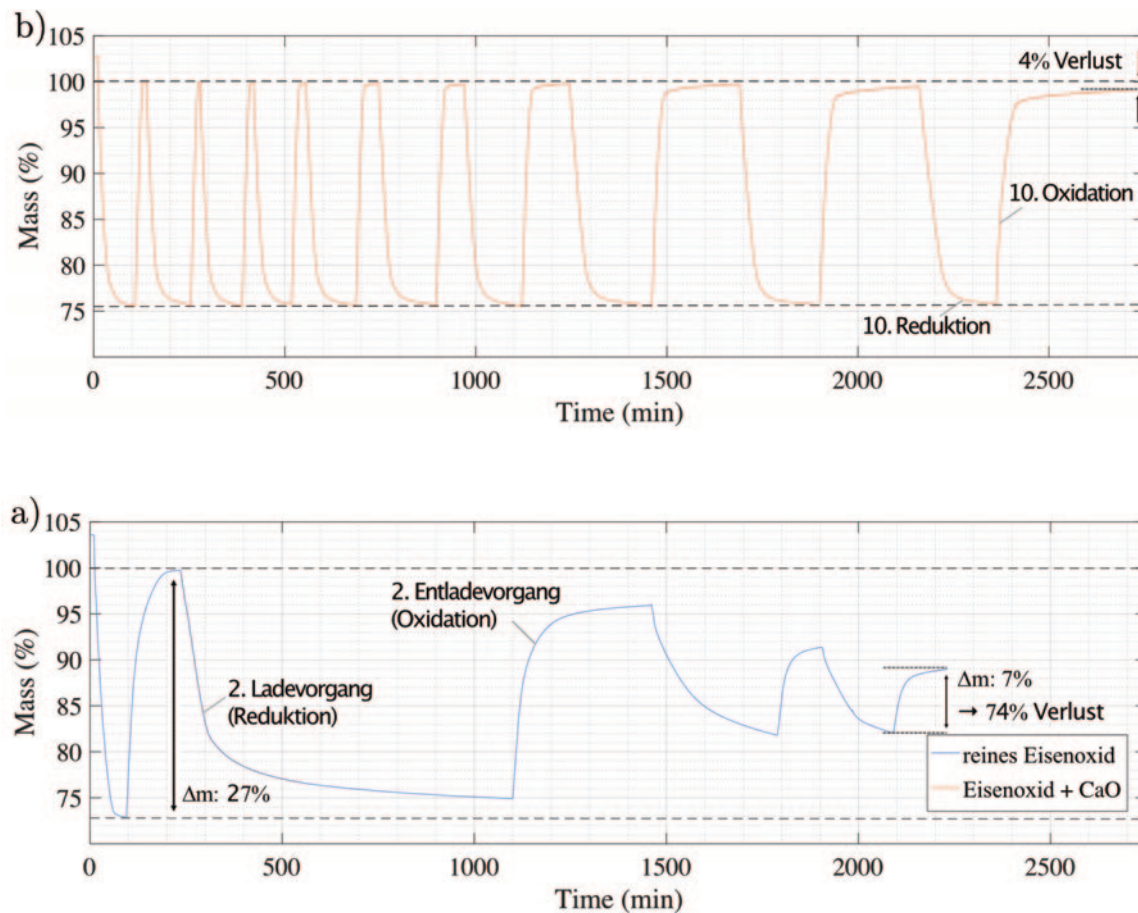


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Massenänderung während der Reduktion und Oxidation zweier Proben bei 700°C.  
a) Probe aus reinem Eisenoxid; b) aus Eisenoxid mit 10 Gew.% Kalziumoxid (CaO)

Im Zuge dessen konnte eine Pelletierteller-Versuchsanlage aufgebaut werden. Mit dieser Versuchsanlage wurde der Einfluss unterschiedlicher Herstellungsparameter auf die Zyklen-Stabilität der Speichermassen untersucht. Ein weiterer Aspekt war die Steigerung der Zyklen-Stabilität durch die gezielte Zugabe von Stützmaterialien. Hierfür wurden Speichermassen hergestellt, bei denen zum Eisenoxid ( $H_2$ -Speichermaterial) verschiedene Stützmaterialien beigemischt wurden. Erste Untersuchungen der hergestellten Proben liefern bereits vielversprechende Ergebnisse [2]. In Abbildung 1 ist die zeitliche Massenänderung während des Redox-Prozesses (Lade- und Entladeverhalten) bei 700°C für eine reine Eisenoxid-Probe und einer Speicherprobe mit 10 Gew % Kalziumoxid (CaO) gegenübergestellt. Bei der reinen Eisenoxid-Probe kann nach bereits vier Redox-Zyklen eine deutliche Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit sowie ein Verlust an aktiver Speicherkapazität von 74 % beobachtet werden (Abbildung 1a). Im Vergleich dazu erzielte die Probe mit Kalziumoxid eine höhere Zyklen-Lebensdauer und einen weitaus geringeren Kapazitätsverlust von etwa 4 %

nach zehn Zyklen (Abbildung 1b). Somit zeigt sich, dass die Zyklen-Stabilität sowie die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Zugabe von Stützmaterialien verbessert werden können.

#### Ausblick

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen soll die Zyklen-Stabilität der Speichermassen weiter verbessert werden. Zusätzlich zu den Kinetik-Versuchen sollen hierfür die chemischen sowie die strukturellen Gegebenheiten der Speichermassen untersucht werden.

#### Quelle

- [1] Sterner, M.; Stadler, I. *Energiespeicher: Bedarf, Technologie, Integration*; Springer-Verlag Berlin, 2014.
- [2] Huber, L.; Gamisch, B.; Dawoud, B. *Experimental Investigation of the Cycle Stability of different Iron Oxide Composites for a Redox Hydrogen Storage Process*. Atlantis Press, Proceedings of the International Renewable Energy Storage Conference 2021, 2022. doi:<https://doi.org/10.2991/ahe.k.220301.013>.





## H2@School: Wasserstoffwettbewerb an bayerischen Schulen

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner



Abbildung 1: Als Vorbereitung für den Wettbewerb gibt es für die Schüler\*innen ein Video von Prof. Dr.-Ing. Sterner zu den Themen Klimawandel, erneuerbare Energien und Wasserstoff.  
Foto: Torsten Pajonk

<b>H2@School: Wasserstoffwettbewerb an bayerischen Schulen</b>	
<b>Projektlaufzeit</b>	2022-12-15 bis 2025-07-31
<b>Ausführende Stelle</b>	OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)
<b>Auftraggeber</b>	Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK)

Wie können aktuelle Inhalte aus Forschung und Lehre der OTH Regensburg auch zu Schüler\*innen getragen werden? Eine Möglichkeit hierzu liefert die Zusammenarbeit mit der Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK) beim Projekt H2@School. Die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) unterstützt die LENK bei der Planung, Gestaltung und Durchführung eines Wettbewerbes für Schüler\*innen zum Thema erneuerbare Energien und Wasserstoff.

Ziel von H2@School ist es, Schüler\*innen für die Themen erneuerbare Energien und Wasserstoff zu sensibilisieren und somit das Interesse der Energiewender\*innen von Morgen zu wecken. Alle bayerischen Schulen können bei dem jährlich stattfindenden Wettbewerb teilnehmen. Der Wettbewerb ist zweistufig aufgebaut. Für die erste Runde hat die FENES eine Reihe von theoretischen Aufgaben zu den Themen Klimawandel, erneuerbare Energien und Wasserstoff vorbereitet, die von den Schüler\*innen bearbeitet werden. Neben der Recherche und Diskussion von neuen Technologien, gilt es Zusammenhänge zu erkennen und zu diskutieren sowie die ein oder andere Rechenaufgabe zu lösen.

Highlight und gleichzeitig Hauptaufgabe der ersten Runde: die Schüler\*innen sollen ein Konzept für die Energieversorgung ihrer Schule basierend auf Wasserstoff-Technologien aufstellen und kritisch hinterfragen. Die Ergebnisse können der Schulleitung, aber auch lokalen Politiker\*innen, vorgestellt werden, um so Bonuspunkte zu erhalten.

Die zehn besten Teams erhalten in der zweiten Runde eine praktische Aufgabenstellung. Dafür bekommen die entsprechenden Schulen von der FENES vorbereitete Versuchsbboxen zur Verfügung gestellt, mit Hilfe derer das theoretisch erarbeitete Wissen in die Praxis überführt werden soll.



## CIRCMethanoPower – Rückgewinnung von Biomasse und Nährstoffen durch eine Kreislaufführung des Prozesswassers bei der biologischen Methanisierung

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

Durch den zunehmenden Speicherbedarf von Strom aus erneuerbaren Energien und die nicht erst seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine aktuelle Frage nach der zukünftigen Versorgungssicherheit der Bundesrepublik Deutschland mit Gas gewinnt die Weiterentwicklung der Power-to-Gas Technologie immer mehr an Bedeutung. Im Projekt CIRCMethanoPower soll die biologische Methanisierung nach dem BioCat-Verfahren der Electrochaea GmbH um eine Kreislaufführung des anfallenden Prozesswassers erweitert werden und so noch mehr dem Gedanken der Kreislaufwirtschaft folgen.

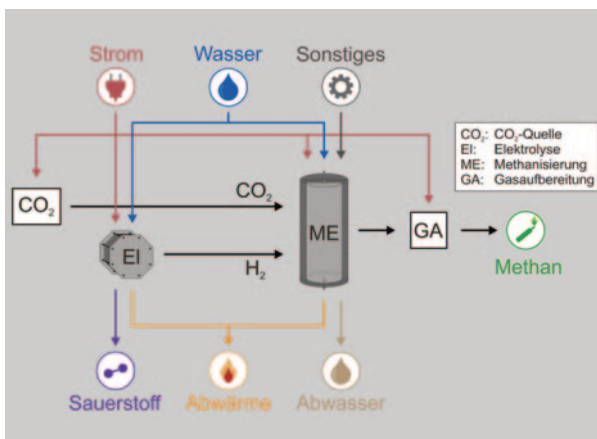


Abbildung 1: Schematische Darstellung des in CIRCMethanoPower untersuchten Systems. Grafik: Michael Heberl

Im Projekt wird eine bestehende Power-to-Gas Anlage mit biologischer Methanisierung der Electrochaea GmbH an der Kläranlage des Projektpartners Stadtwerke Pfaffenhofen a. d. Ilm installiert und um eine Wasser-

aufbereitung erweitert. Durch diese kann das in der Methanisierung anfallende metabolische Wasser in die Elektrolyse rückgeführt werden. Zusätzlich können die mit dem Wasser ausgespülten Mikroorganismen und Nährstoffe erneut dem Methanisierungsreaktor zugeführt werden, was einen weiteren Baustein der Materialeffizienz darstellt. Dies soll zu einem wirtschaftlicheren und ökologischeren Betrieb der Anlage führen.

Die FENES der OTH Regensburg übernimmt unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner in CIRCMethanoPower die wissenschaftliche Begleitung der Entwicklung und Umsetzung des Kreislaufprozesses. Besonderer Fokus liegt hierbei zum einen auf der ökologischen Bewertung des neu erarbeiteten Konzepts durch eine detaillierte Ökobilanzierung. Hier wird ein Vergleich zu etablierten Technologien angefertigt, der die Vor- und Nachteile der Kreislaufführung aufzeigen soll. Zum anderen wird die Gesamtanlage inklusive des Klärwerkes simulativ abgebildet. Dadurch können vorteilhafte Konfigurationen der Anlagenteile sowie verschiedene Betriebskonzepte für Power-to-Gas in Verbindung mit Klärwerken identifiziert und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht werden.

### CIRCMethanoPower – Rückgewinnung von Biomasse und Nährstoffen durch eine Kreislaufführung des Prozesswassers bei der biologischen Methanisierung

Förderzeitraum 2021-01-01 bis 2023-10-31  
Bewilligte Summe 358.200 EUR

#### Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Forschungsstelle für Energiespeicher und Energienetze (FENES)

#### Zuwendungsgeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

#### Förderprogramm

Verbundforschungsprogramm Förderlinie Lifescience  
BayVFP LifeScience Biotechnologie – Hochschule

#### Verbundvorhaben

3 Projektpartner aus Forschung, Industrie und kommunalem Bereich

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



## Ohmic Heating – Eine Alternative für den Power-to-Heat Sektor

Ein Projekt von Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud

Mit dem zunehmenden Ausbau der Erneuerbaren Energien, allem voran Windkraft und Photovoltaik, wird es in den kommenden Jahren zu stetig größer werdenden Stromüberschüssen kommen. Infolgedessen wird sich der elektrische Strom als Primärenergiequelle für die Sektoren Wärme und Verkehr etablieren. Die Sektorenkopplung Power-to-Heat, also die Umwandlung elektrischer zu thermischer Energie, wird dabei im Wärmesektor den entscheidenden Beitrag zur Integration erneuerbarer Energieressourcen leisten.

### Ziel der Forschungsarbeit

Neben den bisher hauptsächlich eingesetzten Wärmepumpen und Widerstandsheizungen, soll im Rahmen dieses Projekts eine Alternative für den Power-to-Heat Markt entwickelt werden. Geforscht wird an einem Durchflusserhitzer nach dem Ohmic-Heating Prinzip. Dieser soll dazu in der Lage sein, den Heiz- und Warmwasserbedarf eines Einfamilienhauses zu decken. Anhand eines neuen Laborteststands, welcher den Ohmic-Heating Reaktor beinhaltet, soll die Funktions- und Einsatzfähigkeit für den Feldversuch getestet werden. Die Aufgabe besteht darin, überschüssigen grünen Strom mit einer Leistung von 1-3 kW im Reaktor der Anlage effizient und effektiv in thermische Energie umzuwandeln, um diese durch einen Plattenwärmetauscher

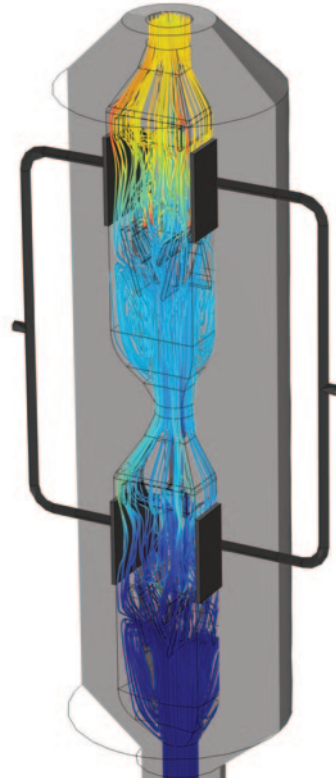


Abbildung 1: Simulationsmodell Ohmic-Heating Reaktor

Entwicklung und Untersuchung eines dynamischen Power-to-Heat Speichersystems auf Basis der Ohmic-Heating- und der Latentwärmespeicher-Technologien

Förderzeitraum 2021-03-15 bis 2022-09-30  
Bewilligte Summe 40.800 EUR

Ausführende Stelle  
OTH Regensburg, Labor für Sorptionsprozesse

Zuwendungsgeber  
Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

Förderprogramm  
Aktionsplan „Demographischer Wandel, ländlicher Raum“

Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft und Kunst



an das Heizungssystem des Hauses oder einer Latentwärmespeichereinheit abzugeben.

### Ohmic-Heating als Alternative

Ohmic Heating ist auch bekannt als Joule Heating. Anlagen, welche dieses Konzept beinhalten, nutzen den elektrischen Widerstand eines leitfähigen Fluids, um elektrische Energie in thermische umzuwandeln. Verglichen mit den Widerstandsheizern, welche die Wärme



über Konvektion übertragen, generiert dieses Prinzip die Wärme im Wärmeträgermedium selbst. Das wird durch das Anlegen eines Wechselstroms über eine leitfähige Elektrolytlösung mit einem bestimmten elektrischen Widerstand realisiert. Dies resultiert in einem Temperaturanstieg durch die direkte Umwandlung elektrischer zu thermischer Energie durch den sogenannten Joule Effekt.

#### Herausforderungen

Die technische Implementierung des Ohmic-Heating Prinzips ist auch mit Herausforderungen verbunden.

Einer von zwei wesentlichen Punkten ist die Vermeidung elektrochemischer Reaktionen. Die Konfiguration der Heizkammer aus Elektroden und Elektrolytlösung ist nichts anderes als eine elektrochemische Zelle, in der Oxidations- und Reduktionsreaktionen besonders während der Betriebsphase an den Elektrodenoberflächen stattfinden können, welche die Alterung beschleunigen und den sicheren Betrieb des geschlossenen Systems gefährden.

Die zweite Herausforderung besteht in der Vermeidung lokaler thermischer Hotspots mit deutlich erhöhten Temperaturen im Vergleich zur durchschnittlichen Austrittstemperatur aus der Heizkammer, da diese zu Verdampfung und somit einem unkontrollierten Druckanstieg im System führen können.

#### Lösungen durch das Forschungsprojekt

Zur Vermeidung elektrochemischer Reaktionen wurden platinbeschichtete Inert-Elektroden eingesetzt, welche bei Anliegen einer Wechselspannung das Einsetzen der faradayschen Reaktionen vermeiden. Darüber hinaus besteht der hauptsächliche Lösungsansatz dieser Forschung, bei der Vermeidung erhöhter Temperaturen, in einer komplexen inneren Struktur des Ohmic-Heating Reaktors, welche über numerische Simulationen in COMSOL schrittweise optimiert wurde. Sie zielt darauf ab, das elektrische Feld sowie das Geschwindigkeitsprofil der Strömung in den Heizkammern, so zu konditionieren, dass die elektrische Energie möglichst gleichmäßig in der Heizkammer umgewandelt wird.

#### Innovatives Design des Reaktors

Die Elektrolytlösung durchströmt den Prototypen (Abb. 1) von unten nach oben und passiert dabei zwei Heizkammern. Eine Heizkammer besteht aus zwei parallelen Plattenelektroden, welche an das Stromnetz angeschlossen sind. Durch den Joule-Effekt kommt es im Fluid zum Temperaturanstieg, wobei die Elektroden nicht erwärmt werden.

#### Ergebnisse

- Durch die innovative Kanalstruktur aus dem 3D-Drucker wird Überhitzung im System vermieden.
- Der Wirkungsgrad der Umwandlung elektrischer zu thermischer Energie beträgt 97,5%.
- Der Hauptvorteil des Ohmic-Heating Reaktors ist die hohe dynamische Antwort des Systems. Für hohe Versorgungstemperaturen bis 60°C können 100% der stationären thermischen Leistung in weniger als 20 Sekunden bereitgestellt werden. Für geringere Temperaturen bereits unter 11 Sekunden.

#### Ausblick

Die simulierten und experimentellen Ergebnisse haben ein großes Potenzial für eine Erweiterung des Leistungsbereichs und die Bereitstellung höherer Temperaturen deutlich über 100°C aufgezeigt. Im Zuge dessen wird in Zukunft an neuen Elektrolytlösungen geforscht, um höhere Temperaturen für beispielsweise Industrieprozesse bereitzustellen zu können.





# Informations- und Managementsysteme

## Social Distancing meets Low-Energy: Lokalisierung von PrüfungsteilnehmerInnen in Zeiten von Corona

Ein Projekt von Prof. Dr. Klaus Volbert

Die Covid19-Pandemie hat ab Sommersemester 2020 das Hochschulleben auf den Kopf gestellt. Während sich durch Programme wie Zoom viele Vorlesungen relativ unkompliziert auf die neue Situation einstellen konnten, sah die Lage bei den Prüfungen anders aus. Da sich eine faire und kontrollierte Prüfungssituation aus verschiedenen Gründen vor Ort leichter herstellen lässt als zu Hause, wurde ein Großteil der Prüfungen in der Pandemie weiterhin in Präsenz abgehalten. Zur Minimierung der Kontakte wurde ein Sicherheitskonzept angewendet, bestehend aus großen Abständen von mindestens 1,5 Metern zwischen den Tischen und Kontrollen der Immunisierungsnachweise der Studierenden (geimpft, genesen). Außerdem wurden die Tische, an denen sich die Studierenden befinden, für eine eventuelle Kontaktnachverfolgung protokolliert (siehe Abbildung 1).

Dieses Sicherheitskonzept stellte sich in der Praxis jedoch als alles andere als perfekt heraus: Durch die Kontrollen am Eingang bildeten sich häufig Menschentrauben, was dem Ziel der Kontaktminimierung eher entgegen wirkte. Wir stellten uns die Frage: Wie kann man die Kontrolle von Anwesenheit und Immunisierungsnachweisen automatisieren, um so Kontakte zu reduzieren? Gleichzeitig sollte ein solches breit eingesetztes System möglichst wenig Energie verbrauchen, weshalb Ansätze, die auf aufwendiger Bilderkennung und maschinellem Lernen basieren, nicht in Frage kommen.

Als Proof-of-Concept entwickelten wir daher ein System, basierend auf Bluetooth-Low-Energy-Beacons (BLE-Beacons) sowie einer App, welche PrüfungsteilnehmerInnen vor der Prüfung auf ihrem Handy installieren müssen. Wir



Abbildung 1: Prüfungsszenario an der OTH Regensburg

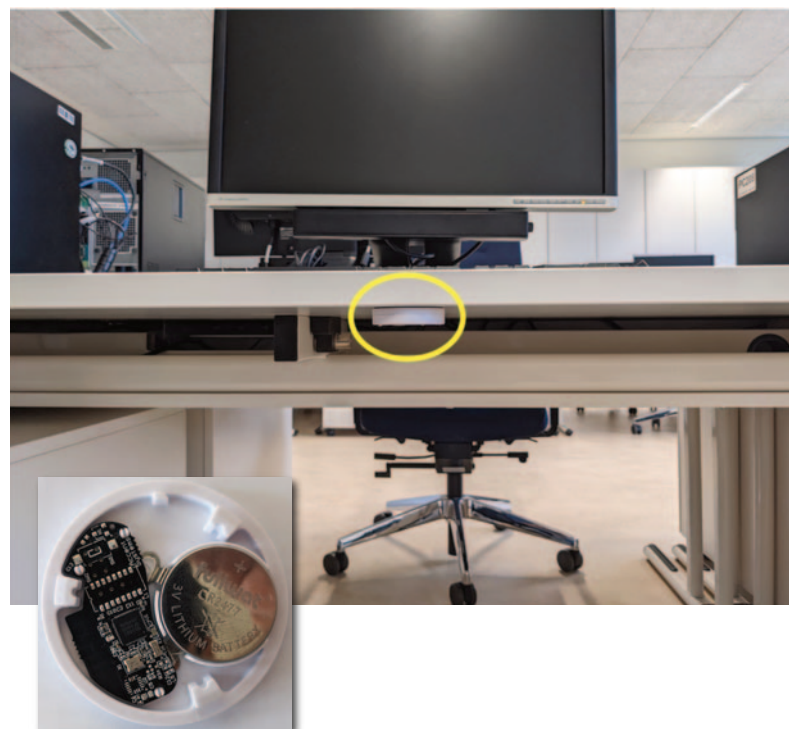


Abbildung 2: Ein BLE Beacon unter einem Schreibtisch platziert und die Innenansicht des BLE Becons

### Social Distancing meets Low-Energy

Projektlaufzeit 2020 bis 2021

#### Ausführende Stelle

OTH Regensburg, Labor für Intelligente und vernetzte Systeme



entschieden uns für den Einsatz von BLE-Beacons, da diese kompakt und kabellos installiert werden können und aufgrund des extrem niedrigen Strombedarfs wenig Wartung in Form von Batteriewechseln benötigen. Durch den Erfolg der Corona-Warn-App, gerade unter Studierenden, ist die BLE-Funktionalität bei den meisten Handys sowieso bereits aktiviert.

Die Beacons werden unter den Tischplatten angebracht (siehe Abbildung 2). Die Handy-App erkennt via Bluetooth automatisch, an welchem Tisch sich die Studentin oder der Student befindet. In Experimenten konnten wir verifizieren, dass diese Lokalisierung mit einhundertprozentiger Genauigkeit klappt, solange der Student/die Studentin einen Abstand von maximal 45 Zentimetern zum Tisch hat. Dies bedeutet, dass unser System auch für „normale“ Prüfungsszenarien mit geringeren Abständen zwischen den Tischen funktioniert. Über die Handy-App können Studierende außerdem ihren Immunisierungsstatus nachweisen, indem sie vor der Prüfung den entsprechenden, offiziellen Nachweis in Form eines QR-Codes scannen. Die Prüfungsaufsicht erhält über eine separate App eine Übersicht darüber, welcher Student oder welche Studentin an welchem Tisch sitzt und ob die Person die nötigen Prüfungsvoraussetzungen erfüllt. Der Prüfer beziehungsweise die Prüferin kann überprüfen, ob an jedem Tisch tatsächlich die richtige Person sitzt und im Falle eines Fehlers die Tischzuweisung manuell anpassen. Abbildung 3 stellt die Architektur des implementierten Systems in vereinfachter Form dar.

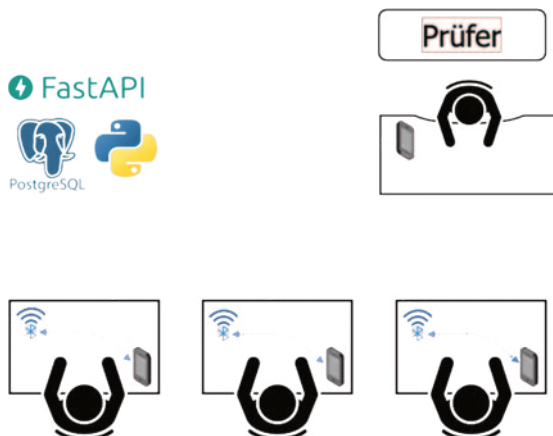


Abb. 3: Schematische Darstellung des Systems

Die Vorteile unseres Systems liegen auf der Hand: Nicht nur fallen so die Kontrollen am Einlass und die daraus resultierenden Kontakte weg. Darüber hinaus wird die Anwesenheit sowie die Prüfungszulassung der Studierenden automatisch erfasst. Prüferinnen und Prüfer müssen

nur noch die Identität der Studierenden sicherstellen, etwa über ein Foto. Dass die Positionen der Studierenden erfasst werden, erleichtert zudem die Kontaktnachverfolgung: Im Falle einer Infektion können gezielt nur die Studierenden in der näheren Umgebung der betroffenen Person informiert werden.

Die Ergebnisse dieses Projektes wurden auf der 2022 International Conference on Sensors Networks (SENSORNETS) veröffentlicht [1] und in einer erweiterten Version zur Veröffentlichung für ein Springer-Nature-Journal eingereicht [2].

Unsere neueste Arbeit ist ein Survey-Paper über aktuelle Forschungsthemen, die sich mit der Themenüberschneidung von Algorithmik und drahtlosen Energiesystemen befassen. Algorithmen stellen eine der Kernsäulen der Informatik dar und bieten unserer Meinung nach enormes Potential für die Entwicklung zukünftiger Energiesysteme. Bei unserer Recherche im weiten Themengebiet der Energieinformatik stellten wir jedoch fest, dass in den letzten Jahren zwar sowohl zum Thema „Energiesysteme“ als auch in der Algorithmik unzählige Arbeiten veröffentlicht wurden, dass sich jedoch nur vergleichsweise wenige Veröffentlichungen mit der Schnittmenge dieser beiden Themen beschäftigen. In unserem Survey fokussieren wir uns auf Paper aus dem Gebiet der drahtlosen Sensornetze. Wir geben einen Überblick darüber, mit welchen algorithmischen Fragestellungen sich Forschende in diesem Gebiet zurzeit beschäftigen, inwiefern durch algorithmische Fortschritte Netzarchitekturen, Paketübertragung, Latenzen oder Energieeffizienz verbessert werden können, und welche offenen Fragen interessante Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen. Dieses Survey wurde für die Konferenz SENSORNETS 2023 eingereicht [3].

#### Quellen

[1] D. Nunes and K. Volbert, “A Wireless Low-power System for Digital Identification of Examinees (Including Covid-19 Checks)”, SENSORNETS 2022 – Proceedings 11th International Conference on Sensor Networks, volume 2022, pages 51–59, 2022.

[2] D. Nunes and K. Volbert, “A generic framework for wireless low-power digital localization and identification”, submitted for publication in Wireless Networks, the Journal of Mobile Communication, Computation and Information, 2022

[3] S. Thelen, D. Nunes and K. Volbert, “A Survey on Algorithmic Problems in Wireless Systems”, submitted for publication in SENSORNETS 2023 – Proceedings 12th International Conference on Sensor Networks





