



HAW  
HAMBURG

CC4E

2022

2022

2023

# Jahresbericht

Competence Center für Erneuerbare Energien  
und EnergieEffizienz

# Inhalt

---

<b>Grußwort</b>	<b>2</b>
<b>Keyfacts</b>	<b>2</b>
<b>Editorial: Gemeinsam für eine nachhaltige Energiezukunft</b>	<b>3</b>
<b>Das CC4E: Innovationsmotor für die Energiewende</b>	<b>5</b>
<b>Forschung und Entwicklung</b>	<b>7</b>
Team Wind	8
Team Wärme	11
Team Sektorkopplung und Wasserstoff	13
Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz	17
<b>Das Norddeutsche Reallabor (NRL)</b>	<b>21</b>
Neue Leitung und Organisationsänderungen im NRL	21
Großes Konsortialtreffen im NRL	22
Studienreihe im NRL gestartet: Wo liegen Grenzen und Potenziale von grünem Wasserstoff?	23
<b>Interview: Wasserstoff und mögliche Innovationen in der Zukunft</b>	<b>25</b>
<b>Gemeinsam Forschen</b>	<b>31</b>
Innovative Forschung und interdisziplinärer Austausch: Das CC4E in der Energie- und Nachhaltigkeitswende	32
Nachwuchswissenschaftler*innen bauen Kleinwindenergieanlage	33
Die Forschungsreise: Entwicklung einer Methode zur Verbesserung von Wärmebedarfsprognosen in Hamburg	34
CC4E stärkt Erfolgskurs: Eigenständiges Promotionsrecht für HAW Hamburg vom Wissenschaftsrat befürwortet	35
Gemeinschaftliche Lösungen für die Energiewende: Forschende als Wegbereiter auf der OPEN-Stage des CC4E	35
German Renewables Award 2023: Zwei Auszeichnungen für das CC4E	36
<b>Aufbruch zu neuen Dimensionen</b>	<b>37</b>
Wärmewerk GmbH: Innovativ für eine nachhaltige Wärmeversorgung	38
Hamburg hat das Potenzial zur Solarstadt	41
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>43</b>



Bild: Jan-Timo Schaubel/  
Gute Unternehmensfotos

**Prof. Dr. Daniela Jacob** Meteorologin und  
Direktorin des Climate Service Center Germany  
(GERICS)

Der Klimawandel und seine Folgen werden immer spürbarer, auch hier in Deutschland. Es wird deutlich, dass die Transformation der Gesellschaft zu einem nachhaltigen, gerechten und klimaneutralen Leben unumgänglich ist. Dies betrifft alle Sektoren und Bereiche des gesellschaftlichen Handelns. Forschung kann und muss dabei helfen, Transformationspfade aufzuzeigen und die Gesellschaft befähigen, den Transformationsprozess als ein Gemeinschaftswerk zu begreifen und ein gegenseitiges Verständnis dafür zu schaffen, wo Perspektiven und Chancen für die Umsetzung transformativer Prozesse liegen.

Das interdisziplinäre Team des „Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz“ der HAW Hamburg leistet große Beiträge für die Energiewende in zahlreichen Projekten mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Ihr Ziel ist es, neue innovative Klimaschutztechnologien mit zu entwickeln, das große Potenzial erneuerbarer Energien, moderner Speichertechnologien und innovativer Methoden aufzuzeigen, sie in die Anwendung zu bringen sowie zur fachlichen Aufklärung und Akzeptanz innerhalb der Gesellschaft beizutragen. Damit ist das CC4E ein wichtiger Impulsgeber für die Schaffung eines funktionierenden klimaneutralen Energiesystems.

Ich wünsche dem gesamten Team des CC4E für die Zukunft weiterhin viel Erfolg bei der Erforschung drängender Fragen und vor allem bei der Umsetzung innovativer Lösungen.

## Im CC4E der HAW Hamburg werden innovative Lösungen entwickelt, um die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu verringern. Unser Ziel: CO<sub>2</sub>-Neutralität für die Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft.

**41** betreute Abschluss-  
arbeiten in den  
Jahren 2022-23

**150** Kooperationspartner  
aus Wissenschaft,  
Wirtschaft und Politik

**Vier** Kompetenzteams bilden den Schwerpunkt des CC4E:  
Team Sektorkopplung und Wasserstoff, Team Wärme,  
Team Windenergie sowie das Team Gesellschaftliche  
Transformation und Akzeptanz.

Seit September 2023  
hat das CC4E ein neues  
Leitungsteam.

**60:20:20**  
Mitarbeiter\*innen /  
Professor\*innen /  
Studierende

**76**  
Publikationen wurden in  
den Jahren 2022 und 2023  
veröffentlicht.

**5**  
Windenergieanlagen liefern  
Energie im Forschungs-  
windpark Curslack.

**Drei** Standorte  
Am Schleusengraben  
Berliner Tor  
Steindamm

**39**  
Millionen Euro  
Fördermittel

**26**  
(Teil-)Projekte

**21**  
laufende  
Promotionen

**15**  
Jahre CC4E:  
Happy Birthday!

**64** vom CC4E organisierte nationale und internationale  
Veranstaltungen, um alle Beteiligten auf dem Weg zur  
Energiewende mitzunehmen und gemeinsam an nach-  
haltigen Lösungen zu arbeiten.

Die Wärmewerk GmbH  
wurde 2023 offiziell  
ausgegründet.

# Gemeinsam für eine nachhaltige Energiezukunft



**Unsere Mission ist es, die Energieversorgung unserer Gesellschaft nachhaltiger und unabhängiger von fossilen Energieträgern zu gestalten.“**

Bild: CC4E

Liebe Leser\*innen,

2023 war ein Jahr, das uns mit seinen Temperaturrekorden und Extremwetterereignissen wie kaum ein anderes Jahr deutlich gemacht hat, wie vulnerabel unsere Gesellschaft für die Folgen der Klimakatastrophe ist und wie dringend wir eine beherrschte Energiewende brauchen. Gleichzeitig haben wir in Deutschland in einem neuen Rekordumfang Anlagen für die Stromgewinnung aus Wind und Sonne aufgebaut. Fast 20 Gigawatt Erzeugungskapazität werden bis Jahresende neu entstanden sein. Ist das schon das neue „Deutschlandtempo“? Fast, aber noch nicht ganz. Wir müssen weiter an der Energiewende bauen und dabei das Tempo eher noch anziehen. Neben dem Ausbau der Stromerzeugungskapazität aus Erneuerbaren brauchen wir vor allem eine deutliche Beschleunigung beim Stromnetzausbau und der Wärmewende. Und auch der Umstieg zur Elektromobilität und der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft gehen noch nicht schnell genug voran. Gut also, wenn wir am CC4E diese Themen tatkräftig unterstützen und uns weiter mit vollem Einsatz für ein Gelingen der Energiewende einsetzen.

Unsere Mission ist es, die Energieversorgung unserer Gesellschaft nachhaltiger und unabhängiger von fossilen Energieträgern zu gestalten. 2023 war aber auch für unser Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E) als Organisation ein schweres Jahr. Mit dem plötzlichen Verlust unseres langjährigen Leiters und Mitgründers, Prof. Dr. Werner Beba, mussten wir unsere tiefe Trauer überwinden und dem CC4E eine neue Leitung und kreative Impulse verleihen, um unsere Arbeit mit neuer Energie fortsetzen zu können.

Als neuer Leiter des CC4E der HAW Hamburg darf ich mich nun hier zum ersten Mal in diesem Editorial unseres Jahresberichts an Sie wenden und eine Bilanz unseres Teams präsentieren. Auf diese Bilanz sind wir stolz und sie motiviert uns, auch in den kommenden Jahren, um mit Werner Bebas Worten zu sprechen, „unseren Beitrag zur Jahrhundertaufgabe Energiewende“ zu leisten.



Bild: Pieter-Pan

Ich bin sehr zuversichtlich, dass wir die anstehenden Herausforderungen meistern werden. Die neue Leitung des CC4E hat sich dafür gut aufgestellt. Ich werde dabei unterstützt vom stellv. Leiter Prof. Peter Dalhoff, unserem Experten für Windkraftanlagen sowie unserem neuen stellv. Leiter Prof. Torsten Birth-Reichert – Experte im Bereich industrieller Wasserstoffanwendungen und dem wissenschaftlichen Teamleiter Mike Blicker. Das neue Leitungsteam wird vervollständigt durch unsere Geschäftsführerin, Frau Jenny Capel, die vorübergehend diese Aufgabe von Frau Janine Becker übernommen hat.

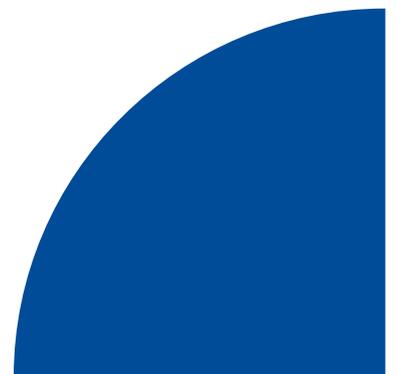
Doch das eigentliche Team des CC4E besteht aus den inzwischen rund 100 Mitarbeitenden, die durch ihre Beteiligung in zahlreichen Projekten zum Gelingen der Energiewende, hier bei uns in Norddeutschland, beitragen.

Ich freue mich, Ihnen in diesem Jahresbericht aufzeigen zu dürfen, was dieses engagierte Team aus Professorinnen und Professoren, wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Studierenden gemeinsam mit unseren Forschungspartnern leistet.

Das CC4E besteht mittlerweile seit 15 Jahren, ein Jubiläum, das wir in diesem Jahr gebührend gefeiert haben. Wir freuen uns auf die nächsten 15 Jahre! Es gibt noch viel zu tun.



Ihr Hans Schäfers



# Das CC4E

---

## Innovationsmotor für die Energiewende

In einer Welt, die mit den dringenden Herausforderungen der Energiewende konfrontiert ist, nimmt das Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E) eine führende Rolle ein. Als zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) arbeiten wir interdisziplinär und leidenschaftlich an den gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen der Energiewende.

Unsere Forschung geht weit über theoretische Konzepte hinaus – wir entwickeln praxisorientierte Lösungen, die eine breite Palette technologischer, gesellschaftlicher, politischer und wirtschaftlicher Fragen abdecken. Unser übergeordnetes Ziel ist es, aktiv zum Klima- und Umweltschutz beizutragen. Unsere Motivation ist von Leidenschaft und Entschlossenheit geprägt, eine nachhaltige Energieversorgung zu schaffen, die das Fundament für eine lebenswerte Welt bildet.

Als Brücke zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft setzen wir auf Forschung, Wissensvermittlung und Vernetzung, um Synergien

zu schaffen und die Energiewende voranzutreiben. In enger Kooperation mit Industrie- und Forschungspartnern sehen wir es als unsere Aufgabe an, die Gesellschaft intensiv in den Dialog über die Zukunft der Energieversorgung einzubeziehen und sie durch unsere Forschungsarbeit für die Energiewende zu begeistern.

Die globale Energiewende ist unumgänglich, um den Klimawandel zu bewältigen. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe ist die Hauptursache für den Klimawandel, und eine klimaneutrale Energieversorgung ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen Zukunft. Die Energiebranche steht vor der doppelten Herausforderung, den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen zu realisieren und gleichzeitig eine zuverlässige und erschwingliche Energieversorgung für alle sicherzustellen. Wir sind der Überzeugung, dass Innovation, technologische Lösungen und eine intensive Zusammenarbeit mit allen Stakeholdern notwendig sind, um diesen Wandel zu bewältigen.

„Unsere Motivation ist die Leidenschaft, Lösungen für eine nachhaltige und gesellschaftlich akzeptierte Energieversorgung zu entwickeln – zur Erhaltung einer lebenswerten Welt, auch für zukünftige Generationen.“

## Unsere Forschungsprojekte

### X-Energy

04/2017 – 12/2025

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

11.600.000 € Projektbudget

X-Energy ist eine strategische Partnerschaftsinitiative der HAW Hamburg, um diese als führendes Innovationszentrum für die Entwicklung zukunftsfähiger klimaneutraler Energiesysteme in der Metropolregion Hamburg zu positionieren. Das Vorhaben umfasst rund 24 Teilprojekte.

### Norddeutsches Reallabor (NRL)

04/2021 – 03/2026

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

7.489.000 € Projektbudget

Das Norddeutsche Reallabor ist ein innovatives Verbundprojekt bestehend aus mehreren Einzelvorhaben, das neue Wege zur Klimaneutralität erprobt: eine Energiewende-Allianz mit 50 Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik und einem Investitionsvolumen von rund 300 Mio. Euro.

### Plasma2X

09/2023 – 08/2027

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

2.012.000 € Projektbudget

Das Ziel von Plasma2X ist die Entwicklung und Demonstration eines neuen Verfahrens zur Herstellung von nachhaltigen, flüssigen Kraftstoffen aus Rohbiogas, Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf mittels der Mikrowellen-Niedertemperatur-Plasmacracking-Technologie.

### IW<sup>3</sup>

08/2020 – 07/2024

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

1.729.000 € Projektbudget

Das Reallabor IW<sup>3</sup> ist ein integratives Konzept, das die zugrundeliegende Idee der Transformation eines urbanen Wärmesystems gesamtheitlich betrachtet.

### Energieforschungsverband Hamburg

01/2013 – 12/2024

Freie und Hansestadt Hamburg

966.000 € Projektbudget

Der Energieforschungsverband Hamburg (EFH) ist ein Zusammenschluss der fünf großen Hochschulen Hamburgs, der als zentrale Forschungs- und Vernetzungsplattform die unterschiedlichen Kompetenzen im Bereich der Energieforschung bündelt.

### CTRL-Peaks

04/2022 – 09/2025

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

944.000 € Projektbudget

CTRL-Peaks will die Spitzenlastreduktion im Fernwärmesystem Hamburg durch Anpassung der kundenseitigen Regelung erreichen – mittels intelligenter Wärmeabnehmer.

### ASAP

04/2022 – 03/2025

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

396.000 € Projektbudget

ASAP erschließt die Potentiale in der Schifffahrt zur Reduktion der Umweltbelastungen mittels des Einsatzes von Superkondensatoren bei elektrisch betriebenen Fähren- und Arbeitsschiffen.

### BELLE

03/2023 – 02/2026

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)

336.000 € Projektbudget

BELLE nimmt Herausforderungen bei der Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge in den Fokus und implementiert eine entsprechende Ladeinfrastruktur für elektrische Antriebe in einen Betriebshof der Stadtreinigung Hamburg.

### AblaPyro

01/2022 – 12/2023

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

115.000 € Projektbudget

AblaPyro umfasst die Planung für eine Demonstrationsanlage im industriellen Maßstab zur thermochemischen Umwandlung von biogenen Reststoffen zu Biowasserstoff.

# Forschung und Entwicklung

---

## Innovationen für eine nachhaltige Zukunft: Forschungsprojekte und Erfolge am CC4E

Forschung und Innovation im Bereich erneuerbarer Energien sind entscheidend für die globale Energiewende. Das CC4E der HAW Hamburg ist ein bedeutender Akteur auf diesem Gebiet. Im Folgenden werfen wir einen Blick auf die jüngsten Entwicklungen und Veranstaltungen, die in den vergangenen Jahren 2022 und 2023 am CC4E stattgefunden haben.

Mit seinen innovativen Projekten für nachhaltige Energie, Wissenschafts- und Netzwerkveranstaltungen, bietet das CC4E eine Vielzahl an Aktivitäten. Diese Bemühungen fördern nicht nur

die Entwicklung erneuerbarer Energietechnologien, sondern liefern auch Lösungen für Nachhaltigkeits- und Umweltprobleme sowie einen intensiven Austausch mit allen Stakeholdern.

Die folgenden Abschnitte werfen einen Blick auf spannende Entwicklungen und Projekte, die in Zusammenarbeit mit Industrie- und Wissenschaftspartnern am CC4E realisiert wurden. Von klimaneutraler Erzeugung über Strom-, Gas- und Wärmeverteilung sowie Energieversorgung – all diese Initiativen zeigen das Engagement des CC4E für eine nachhaltige Zukunft.

# TEAM WIND

Ein wesentlicher Aspekt der Energiewende ist der Stromsektor. Am CC4E wird auf Seiten der Energieerzeuger insbesondere die Windenergie beforscht. Hierzu gehört einerseits die Forschung zu innovativen Ansätzen wie Konzeptdesigns für Multirotor- und schwimmende Zweiblattanlagen, und andererseits die Optimierung von Anlagenkomponenten oder die technische Betriebsführung einzelner Anlagen sowie die des Windparks. Diese Arbeiten werden in unserem Forschungswindpark Curslack durchgeführt, der unter anderem auch der Erforschung der Fledermausdetektion und der Bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung (BNK) von Windenergieanlagen dient. Damit wird eine wichtige Schnittstelle zum Natur- und Artenschutz sowie zur Akzeptanz in der Bevölkerung geschaffen.

## Internationales Seminar zur Multirotor-Windenergie: Forscher\*innen aus aller Welt im Austausch

Im Februar 2023 wurde am CC4E ein bedeutendes internationales Seminar zum Thema Multirotor-Windenergieanlagen abgehalten. In einer Vielzahl spannender Vorträge und Podiumsdiskussionen teilten Branchenexperten ihr Wissen zu aktuellen Forschungsthemen und Innovationen. Das Seminar zog über 60 Wissenschaftler\*innen und Fachleute aus aller Welt an.

Die Veranstaltung wurde in enger Zusammenarbeit mit der University of Strathclyde in Schottland organisiert und von Peter Jamieson und Andrew Garrad, zwei international geschätzten Experten für Windtechnologie, unterstützt. Von Seiten des CC4E wurde das Seminar vom Wind-Team rund um Prof. Peter Dalhoff und dem Team für Öffentlichkeitsarbeit getragen.

Die Teilnehmenden des Seminars reisten aus über zehn verschiedenen Ländern an, darunter aus Japan und den USA: Das Publikum setzte sich aus diversen Branchenexperten zusammen, darunter Forscher\*innen, Vertreter\*innen von Herstellerfirmen, Windparkbetreiber\*innen, aus dem Bereich Zertifizierung und anderen Interessierten, welche die zweitägige Konferenz intensiv nutzten, um Fachwissen auszutauschen und neue Kontakte zu knüpfen.

Die Fachvorträge deckten eine Vielzahl innovativer Themen ab. In sieben verschiedenen Sitzungen und insgesamt 26 Vorträgen wurden faszinierende Einblicke in die unterschiedlichen Aspekte der aktuellen Multirotor-Forschung geboten, darunter vielversprechende,

geplante Prototypen und schwimmende Systeme sowie relevante aerodynamische Effekte und vieles mehr. Auch Designvarianten, wie die Anzahl und Anordnung der Rotoren, standen im Fokus der Diskussionen. Darüber hinaus wurden Werkzeuge und Methoden zur Abschätzung von Betriebs- und Wartungskosten vorgestellt und erörtert. In den Paneldiskussionen gaben Expert\*innen aus Forschung und Industrie ihre Einschätzungen zur Entwicklung der Zukunft der Windenergiebranche ab.

Die Veranstaltung zeigte deutlich, dass das Thema Multirotor-Windenergieanlagen nicht nur von großer Bedeutung innerhalb des Forschungsfeldes geprägt ist, sondern auch durch konkrete Entwicklungsarbeiten und geplante Prototypen der Industrie untermauert wird. Die Kombination von Multirotoren und schwimmenden Fundamenten kann einen bedeutenden Fortschritt darstellen und erhebliche Effizienzsteigerungen in der Betriebslogistik bieten, wie Prof. Peter Dalhoff, stellvertretender Leiter des CC4E, betonte.



Bild: CC4E

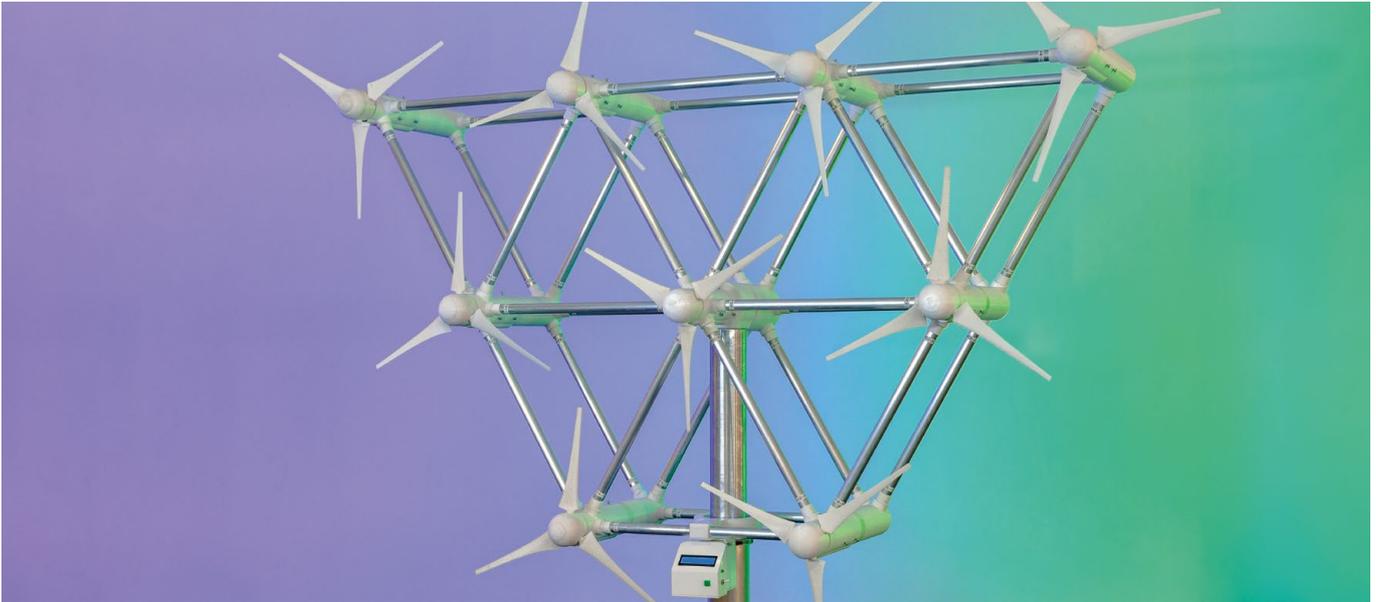


Bild: Nina Laskowski/CC4E

## Multirotor-Prototypen und grüne Wasserstofftechnologien auf der WindEnergy Messe 2022

Im September 2022 fand erneut die international renommierte WindEnergy Messe in Hamburg statt und inmitten des großen Branchentreffens war das Wind-Team des CC4E mit einem beeindruckenden Stand vertreten.

Der Höhepunkt war zweifellos das funktionsfähige Multirotor-Labormodell, das die Aufmerksamkeit der Messebesucher\*innen auf sich zog. Diese innovative Technologie besteht aus mehreren Einzelrotoren, die auf verschiedenen Ebenen angeordnet und über eine Trägerstruktur miteinander verbunden sind. Im Vergleich zur letzten WindEnergy Messe im Jahr 2018 war das diesjährige Labormodell beeindruckend größer und stand stolze zwei Meter hoch. Dieser Fortschritt resultierte aus der Forschungsinitiative X-Energy, die sich mit Projekten rund um Windenergie, Systemintegration, Energiespeicherung und der Akzeptanz der Bevölkerung befasst. Das Multirotor-Konzept wurde im Teilprojekt X-Multirotor entwickelt, während wichtige Erkenntnisse aus dieser ersten Phase zur Gestaltung, Leistung und Kosten im Rahmen der Intensivierungsphase im Teilprojekt Multirotor DfM (Design for Maintenance) durch Abdullah Khisraw, der Teil des CC4E Wind-Teams ist, angewendet werden.

Multirotor-Windenergieanlagen zeigen großes Potenzial: Einsparungen an Material durch Skalierungsgesetze,

Kostenersparnis durch Skaleneffekte und weitere physikalische Effekte verdeutlichen, dass Windenergieanlagen potenziell besser aus mehreren kleinen Rotoren statt eines sehr großen Einzelrotors gebaut werden könnten. Besucher\*innen der Messe waren begeistert vom futuristischen Design des Labormodells. So war es dem CC4E möglich, der Branche und breiten Öffentlichkeit greifbare Einblicke in zukunftsfähige Forschungsaspekte zu geben. Denn ob die Energiewende gelingt, steht und fällt mit der Akzeptanz aller Maßnahmen in der Bevölkerung. Am Messestand kamen zahlreiche Fragen zur Leistung und Marktreife auf und so entstand ein intensiver und fruchtbarer Austausch.

Die WindEnergy 2022 wurde erstmalig um die „H<sub>2</sub> EXPO & CONFERENCE“ erweitert. Auf der zusätzlichen Messefläche war das Norddeutsche Reallabor (NRL) vertreten – ein länderübergreifendes Verbundprojekt, für das das CC4E das zentrale Projektmanagement innehat. Dort konnten Interessierte alles über den aktuellen Stand des Projekts im Zusammenhang mit innovativen und umweltfreundlichen wasserstoffbasierten Verfahren zur erfolgreichen Energiewende erfahren.

Der Messeauftritt von CC4E und NRL fand gemeinsam mit der Clusteragentur Erneuerbare Energien Hamburg GmbH (EEHH) statt.

# Ringvorlesung der Partnerschaftsinitiative X-Energy im Wintersemester 2022/23: Innovationen für die Energiewende im Fokus



Für einen Einblick in den aktuellen Stand der regenerativen Energieforschung bot das CC4E im Wintersemester 2022/23 erstmals eine Ringvorlesungsreihe mit dem Titel „Innovationen für die Energiewende“ an. Die Ringvorlesung zog seine Themen aus der Partnerschaftsinitiative X-Energy, die sich mit den Forschungsbereichen Windenergie, Systemintegration und Energiespeicherung befasst und zugleich interdisziplinäre Umwelt- und Akzeptanzfragen beleuchtet. Die Initiative ist ein Zusammenschluss von Partnern aus Industrie und Wissenschaft, die intensiv daran forschen, wie ein zukunftsfähiges Energiesystem gestaltet und umgesetzt werden kann – ein System, das CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant reduziert und gleichzeitig Energiesicherheit und -unabhängigkeit gewährleistet. Die anwendungsnahe Forschung in den Projekten ermöglicht eine rasche Umsetzung der entwickelten Lösungen in praktisch nutzbare Anwendungen.

Die Ringvorlesung bestand aus 13 Forschungsbeiträgen von gesetzlichen Rahmenbedingungen über Herausforderungen der Sektorkopplung, innovative Windenergieanlagenkonzepte bis hin zum Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft oder zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Technologien und Innovation in der Energiewende (s. Bedarfsgesteuerte Nachtkenzeichnung, S.18). Besonders spannend: Die innovativen Forschungsfragen fließen direkt in die Lehre mit ein. Für Studierende war die Ringvorlesung Bestandteil ihrer Prüfungsleistung, da sie für dessen Teilnahme Credit Points erhielten.

Um unser Wissen nachhaltig zu teilen, wurden alle Forschungsbeiträge aufgezeichnet und stehen der interessierten Öffentlichkeit über den [CC4E-YouTube-Kanal](#) zur Verfügung (siehe auch QR-Code-Link).



Bild: CC4E

# TEAM WÄRME

Die Energiewende hat bisher den Fokus auf den Stromsektor gelegt, doch es ist ebenso entscheidend, auch die Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen. Etwa die Hälfte des deutschen Energiebedarfs entfällt auf den Wärmebereich, was Ansätze für eine großflächige Umstellung auf erneuerbare Wärmequellen erforderlich macht.

Das CC4E konzentriert sich auf die Transformation von Wärmenetzen, indem es intelligente Wärmenetze und Strategien für eine vollständig erneuerbare Fernwärmeversorgung entwickelt. Forschungsschwerpunkte umfassen die Anpassung bestehender Wärmenetze an die Anforderungen von erneuerbaren Wärmeerzeugern, die Integration von Wärmespeichern im städtischen Raum und das intelligente Zusammenspiel aller Komponenten im Gesamtsystem. Die Forschung zielt außerdem darauf ab, den Wärmenetzbetrieb durch geeignete Maßnahmen auf der Kundenseite effizienter zu gestalten.

## Green Tech Innovators Club: Nachhaltige Innovationen und Forschungsk Kooperationen in Klagenfurt

Im Oktober 2022 fand in Klagenfurt am Wörthersee der Green Tech Innovators Club statt, eine Veranstaltung, die sich auf nachhaltige Innovationen konzentrierte. Nina Kicherer und Ina Herrmann aus dem CC4E Wärme-Team präsentierten dort die Forschungsthemen des CC4E und im Speziellen des Kompetenzteams Wärme.

Die Veranstaltung wurde von verschiedenen Gastgeber\*innen, darunter dem Green Tech Cluster, der Industriellenvereinigung (IV) Kärnten und Steiermark sowie der TU Graz organisiert. Hier trafen Expert\*innen aus verschiedenen Forschungseinrichtungen und Unternehmen zusammen, um ihre Projekte in kurzen Impulsvorträgen vorzustellen und sich beim Networking auszutauschen.



Bild: CC4E

## Ressourcenschonend und kosteneffizient auf CO<sub>2</sub>-freie Fernwärme umstellen

Dr. Peter Lorenzen, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt Integrierte WärmeWende Wilhelmsburg (IW<sup>3</sup>), hat einen wegweisenden Ansatz entwickelt, um den Übergang zu grünen Fernwärmesystemen kosteneffizient zu gestalten. IW<sup>3</sup> ist ein Projekt, dass (genau wie das NRL) im Rahmen der Initiative „Reallabore der Energiewende“ gefördert wird. Geleitet wird IW<sup>3</sup> von den Hamburger Energiewerken, in denen der städtische Energieversorger Hamburg Energie aufging. Das Team Wärme des CC4E ist hierbei maßgeblich an der Entwicklung eines neuartigen Wärmemarktplatzes auf Basis von kaskadierten und smarten Märkten beteiligt.

Die Herausforderung besteht darin, bestehende Fernwärmesysteme, die auf hohe Temperaturen (bis zu 130°C) durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe ausgerichtet sind, in Richtung erneuerbarer Technologien umzustellen. Diese erneuerbaren Technologien erzeugen Wärme in der Regel effizienter bei niedrigen Temperaturen, was eine Hürde für die Transformation darstellt.

In seinem Artikel „Boosting Green District Heating Transition“, veröffentlicht im „Hot|Cool International

Magazine on District Heating and Cooling“, präsentiert Dr. Peter Lorenzen eine innovative Methodik zur kosteneffizienten Umstellung der Wärmewende im Fernwärmesektor. Zentraler Bestandteil dieser Methodik ist die Einführung eines Wettbewerbsmodells, das als „Single-Buyer-Modell“ bezeichnet wird. Dieses Modell integriert auch unabhängige Wärmeproduzenten und schafft wirtschaftliche Anreize zur Diversifizierung der Wärmequellen. Die Einführung von Wettbewerb in Fernwärmenetzen stellt jedoch auch die bisherigen Betreiber vor neue Herausforderungen.

Um diesen zu begegnen, wurde ein umfassendes Rahmenwerk entwickelt. Das Rahmenwerk umfasst mehrere Elemente, darunter die Möglichkeit für langfristige Verträge im Kapazitätsmarkt, wodurch das Risiko für neue Produzenten minimiert wird. Kontinuierliche Bewertungen und Anpassungen der Wärmequellen gewährleisten einen effizienten Betrieb des Fernwärmenetzes. Dieses Rahmenwerk soll als Leitfaden für politische Entscheidungsträger, Gemeinden und Fernwärmegesellschaften dienen, die den Übergang zu nachhaltigen Fernwärmesystemen fördern möchten.



Bild: Pieter-Pan

# TEAM SEKTORKOPPLUNG UND WASSERSTOFF

*Die Sektorkopplung ist zentraler und notwendiger Bestandteil einer ganzheitlichen Energiewende, also einer Energiewende, die erneuerbare Energien aus Wind, Sonne und Biomasse als einzige Quellen zur Stromerzeugung nutzt und diesen erneuerbaren Strom dann in den Sektoren Industrie, Mobilität und Wärme verfügbar macht. Im Sektor Wärme betrifft das sowohl den Bereich der Gebäudewärme (Niedertemperaturwärme) als auch den Bereich der Hochtemperaturwärme für industrielle Produktionsprozesse. Das CC4E forscht intensiv an den notwendigen technischen Anpassungen und Schnittstellen zwischen den Sektoren, um ein flächendeckendes, intelligentes Energiesystem zu etablieren. Dabei sind Power-to-Gas Technologien, grüner Wasserstoff aus Elektrolyseanlagen und aus Biomethan-Pyrolyse zentrale Schwerpunkte.*

*Unsere Forschung nutzt dafür die technische Infrastruktur am Technologiezentrum Energie-Campus, inklusive netzdienlicher Nutzung von erneuerbarem Strom, Energiespeicherung und intelligentem Lademanagement. Das CC4E betreibt zudem eine CO<sub>2</sub>-Abscheidungsanlage (CO<sub>2</sub> Direct Air Capture) und eine biologische Methanisierung.*

## Neues Forschungsprojekt für E-Mobilität im Schwerlastbereich

Ein neues Forschungsprojekt namens BELLE hat im Frühjahr 2023 seinen Startschuss erhalten. Der Name BELLE steht für „Betriebshofelektrifizierung – Ladeinfrastruktur und Lastmanagement in der praktischen Erprobung“. Das Projekt, bei dem das CC4E als Projektpartner beteiligt ist, wird geleitet durch hySolutions. Weitere Projektbeteiligte sind die Stadtreinigung Hamburg, Stromnetz Hamburg, ABB sowie das Logistikunternehmen Dachser.

Die offizielle Übergabe des Förderbescheids fand auf der Elektromobilitätskonferenz des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) im Frühjahr dieses Jahres in Hamburg statt, bei der Bundesverkehrsminister Dr. Volker Wissing den Förderbescheid an das Konsortium übergab.

Das gemeinsame Ziel besteht darin, als Vorreiter Blaupausen für eine weitere energiewendedenliche Integration der Elektromobilität im Schwerlastverkehr zu entwickeln. Hierbei handelt es sich um eine entscheidende Komponente zur Erreichung klimaneutraler und nachhaltiger Mobilität, ohne auf fossile Brennstoffe zurückzugreifen. Elektrisch betriebene schwere Nutzfahrzeuge, wie Lastkraftwagen, benötigen jedoch aufgrund ihrer

großen Batteriekapazität längere Ladezeiten und setzen eine erhebliche Last auf das Stromnetz. Zudem sind sie aufgrund ihrer begrenzten Reichweite auf eine effiziente Ladeinfrastruktur angewiesen. Hierfür werden in BELLE wirtschaftliche und effiziente Lösungen für die erfolgreiche Umsetzung der Elektromobilität im Schwerlastbereich durch die Projektbeteiligten entwickelt. Dies umfasst die Integration einer leistungsstarken Ladeinfrastruktur in Betriebshöfe der Stadtreinigung Hamburg.

Simon Decher, wissenschaftlicher Mitarbeiter am CC4E, untersucht hierbei mit Hilfe von Simulationen, welche strombezogenen Flexibilitäten sich aus dem Nutzungsprofil der Fahrzeuge ergeben und wie diese systemdienlich innerhalb des Stromnetzes genutzt werden können. Das zentrale Ziel von BELLE besteht darin, Lösungsansätze zu entwickeln, die Ladevorgänge zu günstigen Zeiten ermöglichen, die Gesamtladeleistung anpassen und branchenübergreifende Empfehlungen für Betriebshöfe im Schwerlastbereich sowie Stromnetzbetreiber bereitstellen.

Mit diesen Lösungen soll die Elektromobilität im Schwerlastbereich gefördert werden.

## Durchbruch bei der Gewinnung nachhaltiger Kraftstoffe: Pilotanlage für klimaneutralen Erdölersatz eröffnet

Gemeinsam mit Hamburgs Zweiter Bürgermeisterin, Katharina Fegebank, und Oliver Grundmann als Mitglied des Bundestages sowie des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz des Bundestages wurde im Februar 2023 am Campus Life Sciences der HAW Hamburg in Bergedorf eine innovative Pilotanlage im Rahmen des READi™-PtL-Forschungsprojekts eröffnet.

Die READi™-PtL-Pilotanlage, kurz für „Reactive Distillation“, ist ein wegweisendes Forschungsprojekt im Rahmen der Forschungsinitiative X-Energy am CC4E. Mit Hilfe der Anlage können Abfallstoffe wie Altfette und Plastikabfälle in klimaneutralen Erdölersatz umgewandelt werden. Dieser Erdölersatz kann zur Herstellung von flüssigen Kraft- und Brennstoffen sowie Kunststoffen verwendet werden. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Partnerfirma Nexxoil GmbH und unter Beteiligung von Krebs Brüggen Sekundärrohstoffe GmbH & Co. KG (KBS) entwickelt.

Prof. Dr. Thomas Willner und Prof. Dr. Annika Sievers leisten gemeinsam mit ihrem Forschungsteam einen wichtigen Beitrag zur klimaneutralen Mobilität als Teil der Energiewende. Die Ergebnisse des Projekts sind beeindruckend: Der Bedarf an Wasserstoff und damit der Bedarf an Strom für die Herstellung der alternativen, abfallbasierten, Kraftstoffe wurde deutlich reduziert. Durch den optimierten READi™-Prozess wurde der Strombedarf auf weniger als die Hälfte im Vergleich zu Wettbewerbsverfahren reduziert und liegt bei nur einer Kilowattstunde pro Liter des abfallbasierten Kraftstoffs.

Nach erfolgreichen Tests im Labor- und Technikumsmaßstab wurde das READi™-Verfahren in einer Pilotanlage mit einem erhöhten Reaktorvolumen von 200 Litern erprobt. Diese Pilotanlage soll entscheidende Daten liefern, um den Prozess auf die industrielle Produktion zu übertragen. Damit markiert das Projekt einen bedeutenden Schritt auf dem Weg zur Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen und zur Erreichung der Klimaschutzziele.



Bild: Louis Fraser/CC4E



Bild: Pieter-Pan

## Forschung mit Großgerät – MUST ermöglicht Untersuchung von Gasströmungen

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat 2022 eine Ausschreibung zum strukturellen Ausbau einer Geräteinfrastruktur im Hinblick auf erkenntnisorientierte Forschung ins Leben gerufen. Es werden ausschließlich Hochschulen für Angewandte Wissenschaften gefördert und so auch die HAW Hamburg mit dem Großgerät MUST. Das Akronym steht für „Mobile Multianalyseeinheit für Strömungen im Kontext von Power-to-X-Technologien und Wasserstoffanwendungen“ und bietet neue Möglichkeiten zur Erforschung von Gasströmungen und -zusammensetzungen.

Mit den in MUST verwendeten Komponenten wie Hochgeschwindigkeitskameras, photoakustischen Spektroskopien, Gaschromatographen und einem Beugungsspektrometer können Forschende die Strömung und Zusammensetzung von Gasen und Partikel in energie-technischen Prozessen detailliert untersuchen. Das Projekt ist an der Fakultät Technik und Informatik bei Prof. Alexandra von Kameke angesiedelt und eng mit den Forschungsschwerpunkten des CC4E verknüpft. In den Forschungsprojekten ClosedCarbonLoop (CCL) und MEDEA, die beide aus der Forschungsinitiative X-Energy

hervorgehen, stellt das technische Gerät eine neue Möglichkeit zur Untersuchung der komplexen chemisch-physikalischen Prozesse dar. Bei dem Teilprojekt CCL geht es um ein „Direct-Air-Capture-Verfahren“, bei dem  $\text{CO}_2$  aus der Luft gewonnen wird; bei MEDEA hingegen steht das „Plasmacracking“ im Fokus, bei welchem Methan in Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegt wird. Durch die Sichtbarmachung der Prozesse und detaillierte Analyse der Gaszusammensetzung in den Prozessgasen soll die Optimierung von CDR-Prozessen (Carbon dioxide removal) oder zur Herstellung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Ressourcen erzielt werden – umweltfreundlicher und effizienter. Einen ähnlichen Forschungsansatz verfolgt das Projekt Plasma2X, bei dem das Großgerät MUST ebenfalls eingesetzt werden soll. Diese Forschung könnte entscheidend zur Umsetzung der Energiewende beitragen.



Bild: CC4E/Adobe Stock

## CC4E-Projekt mySMARTLife gewinnt den Eurocities Award 2023

Der Eurocities Award zeichnet herausragende Bemühungen von Städten zur Verbesserung der Lebensqualität der Menschen vor Ort aus und würdigt die Bewältigung besonderer Herausforderungen auf allen Ebenen des kommunalen Geschehens. 2023 gewann die Stadt Hamburg in der Kategorie „Managing the energy crisis sustainably“ mit dem Projekt mySMARTLife.

Das Projekt erprobte über sechs Jahre einen klugen („smarten“) und nachhaltigen Einsatz von Energie im urbanen Lebensraum, um den Energieverbrauch und ökologischen Fußabdruck zu reduzieren. Die drei Leuchtturm-Städte des Projekts, Nantes, Helsinki und Hamburg, widmeten sich den Kernthemen Energie und Infrastruktur, Kommunikation, Mobilität und Bürgerbeteiligung durch einen verbesserten Einsatz von Kommunikations- und Informationstechnologien.

Der Bezirk Bergedorf bildete die Modellregion des Projekts in Hamburg: Im Wohngebiet „Am Schilfpark“, welches sich nahe dem Technologiezentrum Energie-Campus (TEC) des CC4E befindet, wurde in einem Teilvorhaben und unter CC4E-Beteiligung die Rückverstromung von grünem Wasserstoff in Kraft-Wärme-Kopplung

erprobt. Die Rückverstromung bezeichnet den Prozess, bei dem Wasserstoff wieder zur Gewinnung elektrischer Energie dient. Im Fokus des Teilprojekts stand die sogenannte Wasserstoffkette: In Zeiten einer hohen Energieproduktion soll aus erneuerbaren Energien überschüssiger Strom als Wasserstoff gespeichert und transportfähig gemacht werden. Dieser kann dann, wenn wenig Sonnen- oder Windenergie zur Verfügung stehen, rückverstromt werden. Bei der Erprobung kamen Blockheizkraftwerke (BHKW) zum Einsatz, mit denen neben Erdgas auch beigemischter Wasserstoff verstromt werden kann. Als Neben- bzw. Abfallprodukt dieser Wasserstoffkette entsteht Wärme, die wiederum zum Heizen von Gebäuden dienen kann.

Von Interesse waren unter anderem technische Herausforderungen bei der Nutzung variabler Wasserstoffanteile im Brenngas. Ein Ergebnis des CC4E-Teilvorhabens: Die Rückverstromung von (beigemischtem) Wasserstoff funktioniert während des Transformationsprozesses auch mit Bestandsanlagen. Mittelfristig sind allerdings Anpassungen der Anlagen in Technik und Betriebsweise notwendig.

# TEAM GESELLSCHAFTLICHE TRANSFORMATION UND AKZEPTANZ

*Das CC4E befasst sich im Rahmen der Energiewende nicht nur mit technologischer Forschung, sondern auch mit Umweltauswirkungen, gesellschaftlicher Akzeptanz und Transformationsprozessen. Ziel ist es, die Vielschichtigkeit der Energiewende als gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu begreifen und marktwirtschaftlich realisierbare sowie sozial nachhaltige Ansätze zu entwickeln. Die interdisziplinäre Expertise ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von ökologischen, sozialwissenschaftlichen, didaktischen und ökonomischen Perspektiven.*

## Open Citizen Soundwalks: Digitale Innovation des CC4E ermöglicht virtuelle Erlebnisse von geplanten Windparks

Das CC4E setzt auf digitale Innovation, um der Öffentlichkeit die Möglichkeit zu bieten, geplante Windparks virtuell zu erleben und besser zu verstehen. Unter dem Namen „Open Citizen Soundwalks“ (OCSW) hat die HAW Hamburg um das Projektteam mit Prof. Dr. Birgit Wendholt, Prof. Dr. Dagmar Rokita, Prof. Dr. Friedrich Ueberle, Sebastian Köper und Iwer Petersen ein Digitalisierungsprojekt gestartet, das die bewährte Methode der realen Soundwalks, also Hörsparziergänge, in den virtuellen Raum überträgt. Das Projekt basiert auf den Vorarbeiten der X-Energy Teilprojekte X-Eptance-Impuls und X-Eptance Explore. Ziel dieses Projektes ist es, den Menschen die Gelegenheit zu geben, akustische Eigenschaften von Windenergieanlagen realitätsnah zu erleben, noch bevor sie tatsächlich errichtet werden.

Durch die Schaffung von Verständnis und Akzeptanz für Windparks in der Bevölkerung möchte man den notwendigen Ausbau der Windenergie für die Energiewende vorantreiben. Bei der Planung und Umsetzung neuer Windparks, aber auch beim Repowering bestehender Anlagen, gibt es oft Bedenken hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf die Gesundheit und das tägliche Leben der Anwohner\*innen, wie etwa

Lärmbelästigung und Verschattung. Die neuen digitalen Technologien und ihre breite Verfügbarkeit bieten hier die Chance, Windparks bereits vor ihrer physischen Realisierung visuell und auditiv erfahrbar zu machen.

Das Projekt ist ein herausragendes Beispiel für die Anwendung digitaler Innovationen, um die Gesellschaft aktiv in den Planungs- und Entscheidungsprozess einzubeziehen und gleichzeitig die Energiewende voranzutreiben.



Bild: Pieter-Pan



Bild: Nina Laskowski/CC4E

## Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung: Innovativer Schritt zur Förderung der Akzeptanz von Windenergie

Windenergieanlagen müssen in der Dunkelheit über sogenannte „Leuchfeuer“ verfügen, um für den Flugverkehr sichtbar zu sein. Jedoch empfinden manche Anwohner\*innen das kontinuierliche Blinken als störend. Aus diesem Grund wurde der Forschungswindpark Curslack im Dezember 2022 mit einem System zur bedarfsgesteuerten Nachtkennzeichnung („BNK“) ausgestattet. Seither werden die Signalleuchten nur noch aktiviert, wenn sich tatsächlich ein Flugobjekt nähert.

Die Windenergieanlagen im Forschungswindpark Curslack folgten bisher einem festgelegten nächtlichen Blinkmuster: eine Sekunde an, eine halbe Sekunde aus, eine Sekunde an, anderthalb Sekunden aus – und das kontinuierlich. Eine gesetzliche Vorgabe, da Windenergieanlagen als potenzielle Hindernisse für den Luftverkehr gelten. Neue gesetzliche Vorgaben und innovative Technologien haben diese dauerhafte Beleuchtung beendet. Auch im Forschungswindpark Curslack bleiben die roten Lichter seit Dezember 2022 aus, außer es befindet sich ein Flugobjekt in der Nähe des Windparks. In diesem Fall werden die auf den Gondeln montierten Blinklichter als Hinderniskennzeichnung aktiviert und bleiben aktiv, bis das Flugobjekt sich vom Windpark entfernt hat. Somit wird die nächtliche Beleuchtung von Windenergieanlagen um mehr als 90 Prozent reduziert.

Diese sogenannte „bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung“ (BNK) wurde Ende letzten Jahres erstmals in der Region Hamburg eingesetzt. Die Einweihung in Hamburg-Bergedorf wurde vom Hamburger Senator für Umwelt und Energie, Jens Kerstan, begleitet und auch

der Hersteller der BNK-Technologie, die Lanthan Safe Sky GmbH, war anwesend. Für den Anlass der Inbetriebnahme öffnete das TEC seine Türen für interessierte Bürger\*innen. Infostände und Führungen boten Einblicke in die Forschung rund um erneuerbare Energien. Insgesamt wurde die BNK-Technologie im Rahmen des vom CC4E initiierten Projekts in der Region in fünf Windparks mit 29 Windenergieanlagen installiert.

### Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung steigert Akzeptanz von Windenergieanlagen

Durch die Einführung der BNK-Technologie trägt das CC4E aktiv dazu bei, Lichtemissionen im nächtlichen Landschaftsbild zu vermeiden. Aus dem X-Energy Teilprojekt X-Radar, begleitet von Nikolai Drews und Petrit Vuthi, geht hervor, dass diese innovative Maßnahme einen Beitrag zur Steigerung der Akzeptanz von Windenergieanlagen stellt. Konkret geht aus der quantitativen Befragung im gesellschaftswissenschaftlichen Bereich eine hohe Zustimmung zur Windenergie hervor. Gleichzeitig wird die Beeinträchtigung durch die Befuerung als gering empfunden. Darüber hinaus ist das Wissen über die BNK-Technologie noch ausbaufähig. Die Wahrnehmung der Befuerung variiert je nach Kontext und erfordert zusätzliche Analysen in einigen Aspekten. Die wechselnde Gesetzeslage und der sich verändernde Regulierungsrahmen während des Einführungsprozesses hatten nach Meinung der Expert\*innen im Feld oft negative Auswirkungen auf die Erwartungssicherheit von Betreiber\*innen und Unternehmen.

## Tag der deutschen Einheit 2023: CC4E und Norddeutsches Reallabor (NRL) setzen auf Interaktion

Im Rahmen des Bundesratsvorsitzes Hamburgs fand unter dem Motto „Horizonte öffnen“ in der Hamburger Innenstadt ein zweitägiges Bürgerfest statt, an dem verschiedene Institutionen teilnahmen. Energieumstellung hautnah erleben – das ermöglichte das CC4E gemeinsam mit dem Norddeutschen Reallabor (NRL). Es wurde ein interaktives Energiewende-Modell im Eventbereich „Young Future Lab“ präsentiert und das CC4E-Team beantwortete in anschaulichen Texten, Bildern sowie mittels Augmented Reality-Technik auf den Bildschirmen des Exponates spielerisch Fragen zum Klimawandel.

Das CC4E leistete zudem einen Beitrag zum Bühnenprogramm, bei dem Prof. Dr. Hans Schäfers (Leiter des CC4E) die Veränderungen im Energiesystem seit der deutschen Wiedervereinigung und die Herausforderungen der zukünftigen Energieversorgung erläuterte. Eine Podiumsdiskussion mit dem Hamburger Umweltsenator Jens Kerstan, dem Geschäftsführer von TÜV NORD Silvio Konrad, dem Wissenschaftskommunikator Tom Böttcher, Krisenreporter Konstantin Flemig und Anika Rittmann (Pressesprecherin Fridays for Future) folgte.



Bild: CC4E

## 15 Jahre CC4E: Forschung für die Energiewende in Norddeutschland

Seit nunmehr 15 Jahren forscht das CC4E in vielfältigen Projekten, um die Energiewende erfolgreich voranzubringen. Dieses Engagement wurde im September 2023 gebührend gefeiert: Im Rahmen eines Energiewendekongresses unter der Schirmherrschaft von Jens Kerstan – Senator der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft in Hamburg – wurden gemeinsam mit Forschungspartnern, Kolleg\*innen aus der Wissenschaft und der HAW Hamburg notwendige Schritte und Innovationen in Richtung einer klimaneutralen Zukunft diskutiert.

Am darauffolgenden Tag wurde das Jubiläum mit allen Wegbegleiter\*innen des CC4E im Rahmen einer festlichen Jubiläumsfeier zelebriert, die von zahlreichen Vorträgen geprägt war. Die Feier bot einen Rückblick auf die Gründungszeit des CC4E unter Prof. Dr. Werner Beba und blickte auf vergangene Forschungsjahre. Vor Ort gratulierte auch die Zweite Bürgermeisterin der Freien und Hansestadt Hamburg und Senatorin für Wissenschaft, Forschung und Gleichstellung, Katharina Fegebank.



Bild: Nina Laskowski/CC4E



Bild: CC4E

## **Gesellschaftstudie zur Machbarkeit der Energiewende und Perspektiven der Akteure zum Markthochlauf von Wasserstoff – Studien des Norddeutschen Reallabors (NRL) veröffentlicht**

Das Gelingen der Transformation unseres Energiesystems erfordert nicht nur umfassende technologische Veränderungen und Innovationen, es braucht auch die gesamtgesellschaftliche Zustimmung zu den notwendigen Veränderungen. Insbesondere Wasserstoff wird als eine Schlüsseltechnologie der Transformation diskutiert. Doch wie ist das aktuelle Stimmungsbild der Bevölkerung im Hinblick auf die Realisierbarkeit der Energiewende? Und welche Chancen oder Risiken werden in der Nutzung von Wasserstoff gesehen? Diesen Fragen ging die Untersuchung der Studienautorin Pia Arndt unter dem Titel „Transformation & Gesellschaft: Ein Stimmungsbild – Studie zur Energiewende und der Akzeptanz von Wasserstoff“ in zwei für die Modellregion des NRL repräsentativen Befragungswellen nach. Die Studie wurde im ersten Halbjahr 2022, zu Beginn des Krieges in der Ukraine, durchgeführt und die Ergebnisse zeigen ein ambivalentes Bild: Einerseits besteht ein hohes Bewusstsein für Umwelt- und Energiethemen, andererseits wird die Machbarkeit der Energiewende skeptisch beurteilt. Seit Anbahnung des russisch-ukrainischen Krieges werden Versorgungssicherheit und reduzierte Energiekosten und somit Ziele, welche eher den Einzelnen betreffen, als wichtiger empfunden als das Gemeinwohl betreffende Ziele wie der Klimaschutz. Zudem empfindet die Mehrheit der Befragten die derzeitige Verteilung der Kosten der Energiewende als nicht gerecht.

Wie schätzen nun norddeutsche Akteur\*innen die durch den russischen Angriffskrieg veränderte Situation ein? Wo liegen die Treiber oder Barrieren für die industrielle

Transformation? Und welche Rolle kommt grünem Wasserstoff dabei zu? Diese Fragen standen im Fokus der qualitativen Interviews mit über 30 Expert\*innen des NRL aus den Bereichen Industrie, Wärme, Mobilität, der Wissenschaft und Energieversorgung sowie der Politik. Die Ende 2022 veröffentlichte Untersuchung der Studienautor\*innen Pia Arndt und Astrid Saidi entstand im NRL-Teilvorhaben „Industrielle Transformation und gesellschaftliche Teilhabe“. Für die Befragten sind sowohl die notwendigen Technologien als auch die allgemeine Handlungsbereitschaft relevanter Akteur\*innen generell vorhanden – geschmälert wird dies allerdings dadurch, dass gesetzte Ziele der Bundesregierung als zeitlich zu ambitioniert empfunden werden. Zudem werden eine mangelnde Technologieoffenheit und fehlende Verlässlichkeit für Investitionsentscheidungen kritisiert. Für die Beschleunigung der Transformation und des Markthochlaufs von Wasserstoff wird ein Dreiklang aus regulatorischen Rahmenbedingungen, Wirtschaftlichkeit und finanzieller Förderung als zentrale Einflussgröße erachtet.

Die Ergebnisse der beiden beschriebenen Studien bilden die Basis für die weiteren Forschungsaktivitäten des NRL zur industriellen Transformation. Dabei ist das übergeordnete Ziel die Unterstützung eines Markthochlaufs der im NRL zu erprobenden Sektorkopplungstechnologien.

Für die Forschung im NRL und am CC4E sind diese und künftige Forschungsergebnisse ein weiterer Ansporn, die Bürger\*innen für die Machbarkeit der Energietransformation zu sensibilisieren und zu begeistern.

# Das Norddeutsche Reallabor

Ein bedeutendes Verbundprojekt am CC4E ist das Norddeutsche Reallabor (NRL): In der Energiewende-Allianz mit über 50 Projektpartner\*innen aus Wissenschaft, Industrie und Politik werden Erprobungs- und Forschungsvorhaben zum Aufbau einer wasserstoffbasierten Defossilisierung des Energiesystems durchgeführt. Diese werden zu einem norddeutschen Gesamtkonzept für den norddeutschen Raum zusammengeführt. Neben der technischen und marktwirtschaftlichen Anwendungsforschung, werden unter der Konsortialführerschaft des CC4E zudem regelmäßige Austauschformate mit den Partner\*innen sowie der breiten Bevölkerung sowie gesellschaftliche Studien zur Akzeptanzforschung durchgeführt.

## Neue Leitung und Organisationsänderungen im Norddeutschen Reallabor (NRL)

Nach dem traurigen Verlust von Prof. Dr. Werner Beba im Februar dieses Jahres musste sich das Projektmanagement des Norddeutschen Reallabors (NRL) neu aufstellen. Im Sommer hat Mike Blicker (strategische Projektentwicklung und wissenschaftliche Teamleitung des CC4E sowie Mitglied des CC4E Leitungsteams, siehe Bild rechts) offiziell die Position des Projektkoordinators übernommen und leitet das Projektmanagement Office.

Das NRL besteht aus über 50 Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert. Das Projekt zielt darauf ab, den

Transformationspfad zu einem klimaneutralen Energiesystem mit grünem Wasserstoff zu erproben.

Prof. Dr. Hans Schäfers (Leiter des CC4E, siehe Bild links) wurde zum Mitglied der sechsköpfigen Projektsteuerungsgruppe ernannt, die eine Aufsichtsfunktion für das Verbundprojekt ausübt. Die enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Politik und Wissenschaft ist eine Stärke des NRL, in das Prof. Hans Schäfers seine umfassende Erfahrung als Umwelttechniker und Professor für Intelligente Energiesysteme und Energieeffizienz einbringt.



Bild: CC4E



Bild: Daniel Reinhardt/NRL

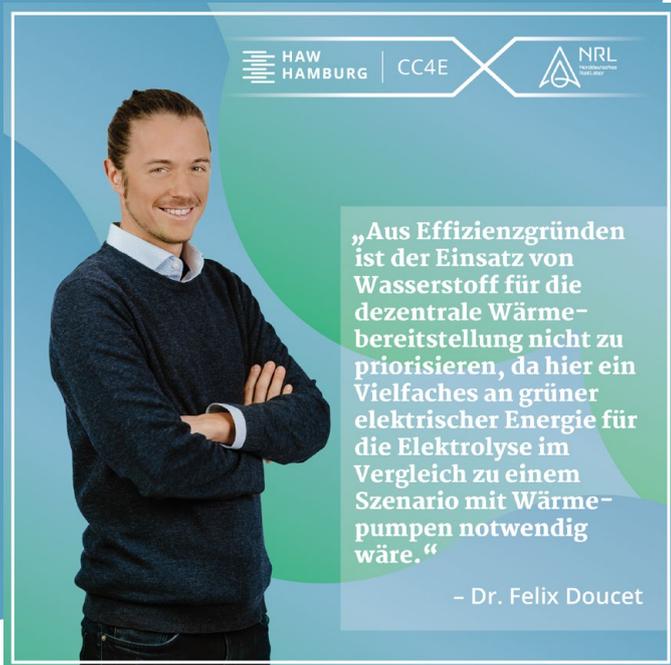
## Großes Konsortialtreffen im Norddeutschen Reallabor (NRL)

Eine sichere und nachhaltige Energieversorgung ist insbesondere nach dem Angriffskrieg gegen die Ukraine ein viel diskutiertes und auch am CC4E bedeutendes Thema. Das Norddeutsche Reallabor (NRL) widmete sich diesen und weiteren Themen im Rahmen eines großen Konsortialtreffens im August 2022. Rund 300 Teilnehmer\*innen, darunter Projektpartner sowie weitere Gäste aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, kamen im Albert-Schäfer-Saal in der Hamburger Handelskammer zusammen.

Im Rahmen der Veranstaltung fand ein energiepolitischer Spitzendialog mit dem deutschen Vizkanzler und Bundeswirtschaftsminister Dr. Robert Habeck, dem Ersten Bürgermeister der Freien- und Hansestadt Hamburg, Dr. Peter Tschentscher, Schleswig-Holsteins Energiewendeminister Tobias Goldschmidt und Ines Jesse, Mecklenburg-Vorpommerns Staatssekretärin im Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit, statt. Nach Impulsvorträgen zur Bedeutung von Reallaboren für die Energiewende, zu industriellen Perspektiven für die Metropolregion Hamburg, zum Ausbau

von Windenergie und Wasserstoff oder zu wirtschaftlichen Potentialen kamen die Politiker\*innen für eine anschließende Podiumsdiskussion mit Vertreter\*innen des NRL zusammen. Themen der regen Diskussion waren die möglichen Folgen der aktuell herrschenden Energieknappheit, ihre Auswirkungen auf Bürger\*innen und die Industrie sowie den Norden Deutschlands.

Im Verlauf der Veranstaltung präsentierten NRL-Vertreter\*innen den aktuellen Stand zahlreicher Vorhaben zur Defossilierung in den CO<sub>2</sub>-intensiven Bereichen der Industrie, Wärmeversorgung und Mobilität, welche mit Referenzanlagen wie Elektrolyseuren oder wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen im norddeutschen Raum erprobt werden. Ein weiteres Konsortialtreffen im Dezember 2023 hat eine Halbzeitbilanz zu bisher erreichten Erfolgen und künftigen Herausforderungen für das NRL gegeben. Das Projekt wird bis 2026 alle Referenzanlagen in Betrieb nehmen und setzt damit wichtige Impulse für den Aufbau einer norddeutschen Wasserstoffwirtschaft.



„Aus Effizienzgründen ist der Einsatz von Wasserstoff für die dezentrale Wärmebereitstellung nicht zu priorisieren, da hier ein Vielfaches an grüner elektrischer Energie für die Elektrolyse im Vergleich zu einem Szenario mit Wärmepumpen notwendig wäre.“

– Dr. Felix Doucet



„Solange grüner Strom eine knappe Ressource ist, müssen wir in der Antriebswende im Sinne einer ganzheitlichen Energiewende auf Batterie-Fahrzeuge setzen. Auf der Straße sind Brennstoffzellen-Fahrzeuge eher als ergänzende Nutzfahrzeuge in Nischenanwendungen interessant.“

– Jonas Bannert

Bilder: NRL

## Studienreihe im Norddeutschen Reallabor (NRL) gestartet: Wo liegen Grenzen und Potentiale von grünem Wasserstoff?

Wenn es um ein zukunftsfähiges Energiesystem geht, spielt grüner Wasserstoff eine wichtige Rolle und bildet auch ein Schwerpunktthema in einem der vier Kompetenz- und Forschungsfelder am CC4E. Die aktuell noch geringe Verfügbarkeit von nachhaltig hergestelltem Wasserstoff macht die Analyse eines gezielten Einsatzes in den verschiedenen Verbrauchssektoren notwendig. Mit der Frage nach Grenzen und Potentialen von grünem Wasserstoff beschäftigen sich derzeit einige Forschende im partnerstarken Verbundprojekt des CC4E, dem Norddeutschen Reallabor (NRL), darunter Prof. Dr. Jens-Eric von Düsterlho, Prof. Dr. Hans Schäfers, Dr. Felix Doucet, Jonas Bannert, Lucas Jürgens, Hagen Barkow, Carsten Schütte, Nicolas Neubauer, Britta Heybrock und Lia Maria Lichtenberg. Sie wirken an der mehrteiligen Studienreihe unter dem Titel „Potentiale, Grenzen und Prioritäten. Grüner Wasserstoff für die Energiewende“ mit. Bis November 2023 wurden bereits vier Studien veröffentlicht.

Der erste Teil der Reihe führt allgemein in das Thema „Wasserstoff als Zukunftsmarkt für die Energiewende“ ein. Grüner Wasserstoff ist ein essentieller Baustein der Energiewende. Gleichzeitig ist das Potential zur

Herstellung von grünem Wasserstoff in Deutschland bisher gering und die Importmöglichkeiten sind noch unklar.

Im **zweiten Teil** der Reihe beschäftigt sich **Dr. Felix Doucet**, wissenschaftlicher Mitarbeiter am CC4E, mit der **dezentralen Wärmeversorgung im Gebäudesektor mittels Wasserstoffs**. Der Gebäudesektor ist von zentraler Bedeutung, da von diesem Sektor 41 Prozent der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen in Deutschland, sprich CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase, ausgehen. Die Untersuchung zeigt, dass auf Wasserstoff basierende Brennwärthemen nicht wirtschaftlich und wenig sinnvoll sind. Denn hierbei wird um den Faktor 5- bis 6-mal mehr grüner Strom zur Wasserstoffherstellung benötigt als im Vergleich zu einem Szenario mit Wärmepumpen; der Faktor erhöht sich bei modernisierten oder neuen Gebäuden. Für die Wärmenetze der Zukunft kann grüner Wasserstoff dagegen von Vorteil sein: Nach Empfehlung der Studienautor\*innen kann durch grünen Wasserstoff produzierende Elektrolyseure und für die Rückverstromung genutzte Brennstoffzellen entstehende Abwärme in Wärmenetze eingespeist werden und dadurch zur Effizienzsteigerung beitragen. Auch für

Spitzenlasten im Wärmenetz ist der Einsatz von grünem Wasserstoff eine Option, um die Versorgungssicherheit mit grüner Energie in Zeiten einer kalten Dunkelflaute zu gewährleisten.

Im **dritten Teil der Studienreihe** beleuchtet der CC4E-Forscher **Jonas Bannert** die **Rolle von grünem Wasserstoff im straßenbasierten Verkehrssektor**. Die Untersuchung legt einen wirtschaftlichen Vorteil von rein batterie-elektrischen Fahrzeugen gegenüber Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeugen im Bereich von PKW und leichten Nutzfahrzeugen nahe. Denn Wasserstoff verfügt über eine vergleichsweise niedrige Energieeffizienz und zu hohe Preise, um konkurrenzfähig zu sein. Damit liegt das Marktpotential von Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeugen eher in Anwendungen, in denen Batterien an ihre Grenzen stoßen, beispielsweise im Nutz- und Schwerlastbereich, denn hier stellt unter anderem die geringe Reichweite bis zum nächsten Ladeprozess eine Herausforderung dar. Aufgrund der noch knappen Ressource des grünen Wasserstoffs und der energieeffizienteren Alternative „Batterie“ im Verkehrssektor sollte sich der Einsatz von grünem Wasserstoff laut Jonas Bannert aktuell auf alternativlose Einsatzfelder beschränken. Ein potentieller „Game-Changer“ für die Wirtschaftlichkeit von erneuerbarer Energie im

Verkehrssektor und damit auch grünem Wasserstoff stellt die Treibhausgas (THG)-Minderungsquote dar.

Die **aktuelle Studie** des NRL geht auf die **Rolle von grünem Wasserstoff im Industriesektor** ein und untersucht den Einsatz in sieben energieintensiven Industriebereichen. Die Studienautor\*innen um **Dr. Felix Doucet** und **Lucas Jürgens** vom CC4E kommen zu dem Schluss, dass grüner Wasserstoff in fünf dieser Industriezweige alternativlos ist: zur Herstellung von Kupfer und Roh-eisen als Reduktionsmittel sowie zur Herstellung von Ammoniak, Methanol, E-Fuels und anderen Chemikalien. Keinen bedeutenden Einsatz sowie keine bekannte Strategie zum Wasserstoffeinsatz gibt es im Bereich der Aluminium- und der Zementproduktion. Hindernisse auf dem Weg zu einem künftig breiten Einsatz liegen unter anderem in der noch geringen Konkurrenzfähigkeit von grünem Wasserstoff im Vergleich zu fossilen Energieträgern. Die Studie unter CC4E-Beteiligung legt gleichzeitig nahe: Die künftige Wettbewerbsfähigkeit kann sich potentiell auch durch technischen Fortschritt und Skaleneffekte verbessern, da Wasserstoff hierdurch günstiger und CO<sub>2</sub>-Emissionen und -Zertifikate zugleich höherpreisig werden. Unabhängig davon plädieren die Studienautor\*innen für eine Förderung einer lokalen und günstigeren Wasserstoffproduktion in Deutschland – nicht zuletzt, um die alleinige Abhängigkeit von Wasserstoff-Importen aus dem Ausland und somit den möglichen Konkurrenzdruck für die chemische Industrie in Deutschland zu verhindern sowie um die Vorreiterrolle Norddeutschlands im Bereich Sektorkopplung zu stärken. Auch zu diesem Zweck forscht das CC4E weiter intensiv im Bereich wasserstoffbasierter Verfahren.



Bild: NRL

# Interview

## Wasserstoff und mögliche Innovationen in der Zukunft

*Ein Energieträger der Zukunft? Der Einsatz von (grünem) Wasserstoff wird innerhalb Deutschlands und weltweit heiß diskutiert. Am CC4E forschen auch unsere Projektteams zu möglichen Einsatzgebieten. Wir haben den neuen stellvertretenden Leiter des CC4E, Prof. Dr.-Ing. Torsten Birth-Reichert und Prof. Dr.-Ing. Sebastian Timmerberg vom Department Umwelttechnik um ihre Einschätzung rund um den Hoffnungsträger Wasserstoff befragt.*



Prof. Dr.-Ing. Sebastian Timmerberg ist seit 2021 an der HAW Hamburg am Department Umwelttechnik als Professor für Umweltverfahrenstechnik, Erneuerbare Kraftstoffe und Energiewirtschaft tätig.

**Grünem Wasserstoff wird eine bedeutende Rolle zum Gelingen der Energiewende zugesprochen. Seine Anwendungsfelder (z.B. zur Speicherung, in der Industrie, Mobilität, im Wärmesektor...) werden vielfach und teils kontrovers diskutiert. Welche Einsatzgebiete sind aus Ihrer Sicht am sinnvollsten?**

▀ **Prof. Dr. Sebastian Timmerberg:** Erst einmal finde ich es richtig, dass wir uns über die Anwendungsfelder von Wasserstoff viele Gedanken machen. Einsatzorte von Wasserstoff müssen wir mit Bedacht auswählen, denn Wasserstoff wird auf längere Zeit ein begrenzt verfügbarer Energieträger bleiben. Und noch viel wichtiger ist, Wasserstoff wird aus erneuerbarem Strom mit einem Wirkungsgrad von ca. 70 Prozent erzeugt und somit treten unweigerlich Energieverluste auf. Wenn technisch, organisatorisch und ökonomisch vertretbar, sollten wir den direkten Einsatz von Strom bevorzugen.

Wenn wir Anwendungsfelder für Wasserstoff suchen, können wir dort beginnen, wo Wasserstoff schon heute eingesetzt wird. Mit dem Einsatz von grünem Wasserstoff in Raffinerien haben wir bereits einen guten ersten Anwendungsfall gefunden. Denn hier wird Wasserstoff als Stoff und nicht als Energieträger benötigt. Das heißt, das Molekül Wasserstoff wird benötigt, und nicht nur seine Eigenschaft, ein Energieträger zu sein. Von solchen Anwendungsfeldern gibt es weitere, wie zum Beispiel die

Produktion von Ammoniak und daraus produzierten Düngemitteln oder in der Produktion von Methanol.

Wasserstoff ist auch in der Produktion von Kupfer gut aufgehoben. Denn um aus Erzen das Produkt Kupfer zu erzeugen, benötigen wir ein Reduktionsmittel. Hierfür wird heute unter anderem Erdgas und Kohle eingesetzt. Wir arbeiten in einem Forschungsprojekt mit Aurubis daran, anstelle von Erdgas Wasserstoff einzu-

**„Einsatzorte von Wasserstoff müssen wir mit Bedacht auswählen, denn Wasserstoff wird auf längere Zeit ein begrenzt verfügbarer Energieträger bleiben.“**

setzen und so die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Und Kupfer werden wir auch in Zukunft benötigen – und das vielleicht sogar mehr als heute. Denn die Energiewende ist angewiesen auf zum Beispiel Windkraftanlagen und Batterien, für die große Mengen Kupfer benötigt werden.

Trotz der Gefahr, jemanden auf die Füße zu treten, möchte ich auch noch sagen, für welche Anwendungsfelder ich Wasserstoff derzeit nicht sehe. Wasserstoff für



Prof. Dr. Thorsten BIRTH-Reichert ist Dozent und Professor für Anlagenbau und Prozesssimulation in der Energietechnik an der HAW Hamburg.

die Wärmebereitstellung in Gebäuden scheint mir kein sinnvoller Einsatzort zu sein. Es gibt zwar immer Ausnahmen und Nischen, aber im Regelfall ist die Energieeffizienz von Wasserstoff für die Wärmebereitstellung im Vergleich zu Wärmepumpen so gering, dass Wasserstoff ökologisch und insbesondere kosten-seitig keinen Sinn ergibt. Auch der Einsatz von Wasserstoff in PKW scheint mir kein Weg zu sein, der eine lange Zukunft hat. Auch hier schneidet die Alternative – batterieelektrische Fahrzeuge – vom Wirkungsgrad und den Kosten viel besser ab.

▀ **Prof. Dr. Thorsten BIRTH-Reichert:** Ob Wasserstoff bzw. grüner Wasserstoff künftig eine bedeutende Rolle spielen wird, wie aktuell in der Diskussion, ist mir tatsächlich nicht ganz klar. Für mich als „Gewächs“ der Fraunhofer Gesellschaft ist der neutrale Blick auf die

**„Die Frage, die sich primär stellt, ist eine der Nutzbarkeit. Ist diese schon gegeben oder wann wird diese gegeben sein?“**

Situation – auf Technologien, auf Standorte und auf Anforderungen der Systemintegration – enorm wichtig. Und vor dem Hintergrund ist es gut, dass wir über grünen Wasserstoff diskutieren und dort agieren, wo es wirklich sinnvoll ist, ihn entsprechend einzusetzen. Wobei vorher endgültig geklärt sein müsste, was genau grüner Wasserstoff eigentlich ist oder sein sollte.

Die Frage, die sich primär stellt, ist eine der Nutzbarkeit. Ist diese schon gegeben oder wann wird diese gegeben sein? Ansonsten machen ökonomische Entscheidungen oft gar keinen Sinn bzw. können nicht auf einer sinnvollen Datenbasis getroffen werden.

Aktuell ist der Einsatz von grünem Wasserstoff in der Mobilität in aller Munde. Die Infrastruktur wird sukzessive aufgebaut und vom Individualverkehr-basierten PKW auch auf den Schwerlastbereich erweitert, wie aktuell in meiner Heimat in Magdeburg. Und das ist natürlich etwas, wo ein genauer Blick hingeworfen werden muss: Ist das sinnvoll? Es gibt viele Studien, die die Sinnhaftigkeit der Elektromobilität auf Basis von Batterien belegen und ich würde auch gerade im Individualbereich auf kurzen Strecken nicht an Wasserstoff als Kraftstoff denken, aber unter dem Aspekt der Nutzbarkeit und der Infrastrukturfolge, muss genau geprüft werden, ob ein nachfüllbarer Kraftstoff nicht die einzige Option ist – bspw. im Schwerlastverkehr oder in der Forst- und Landwirtschaft. Gerade im letztgenannten Fall ist eine reine Volllaststunden-Betrachtung positiv für Batterie-basierte Fahrzeuge, aber wenn der Weizen vom Acker muss, dann gibt es kein Warten auf die nächste Akkuladung, dann muss am Feld getankt werden. Der Kraftstoff kann dann gerne Wasserstoff sein. – Vielleicht aus der Biogasreformierung der eigenen Anlage?

Gerade auf Basis der Projekte, die mein Team und ich in den letzten Jahren im Fraunhofer IFF in Magdeburg bearbeitet haben, stehen Themen der Umrüstung klassischer Erdgas-basierter Infrastrukturen im Vordergrund. Sind vielleicht auch Biogas, Biomethan oder Holzgas eine Option? Meistens wird direkt über Wasserstoff nachgedacht, unabhängig davon, wo dieser aktuell oder perspektivisch herkommen wird. Die Produktion kann nicht nur durch Elektrolyse, sondern auch durch Biogasreformierung, Dunkelfermentation, thermochemische Vergasung usw. erfolgen und dementsprechend groß sind die Anwendungsbreite und Vielzahl der Orte, an denen ein Einsatz von Wasserstoff möglich ist. Überall dort, wo ein Erdgasbrenner drinsteckt, ist es möglich über Wasserstoff nachzudenken. Hier reden wir in erster Linie über Trocknungsprozesse in Lackierereien, Backprozesse in Großbäckereien oder Umrüstungen von Metallbearbeitungen, statt über die Wärmeversorgung

der Endkunden – allerdings darf man dann nicht vergessen, dass bereits jetzt 10 Prozent Wasserstoff im Erdgas enthalten sein dürfen und bis zu 20 Prozent, wenn alle Abnehmer überprüft wurden.

Schlussendlich ist auch die Frage, ob der Neubau einer Anlage zur Produktion und nachfolgenden Nutzung auf der grünen Wiese geplant wird, oder ob es um die Integration von bestehenden Infrastrukturen geht. Dies wiederum ist am Ende eine Frage von dezentralem und zentralem Denken, von Versorgungsinfrastrukturen, die zur Verfügung stehen oder die benötigt werden und wie die jeweilige Gesetzgebung und der jeweilige Wunsch der Regionen zusammenkommen.

### **Was ist und wird künftig notwendig sein, um die Herstellung von grünem Wasserstoff deutlich auszuweiten?**

▀ **Prof. Dr. Sebastian Timmerberg:** Auf die Frage gibt es mehrere Sichtweisen. Zum einen müssen die technischen Voraussetzungen geschaffen werden. Das bedeutet, dass insbesondere Elektrolyseure in ausreichendem Maßstab produziert werden und für die grüne Wasserstofferzeugung zur Verfügung stehen. Der Ausbau der Kapazitäten zur Produktion von Elektrolyseuren ist angekündigt und im Aufbau. Wir müssen aufpassen, dass diese Entwicklung ungehindert weitergeht. Zum anderen ist es aus ökologischer Perspektive wichtig, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien dem Ausbau der Elektrolyseure folgt, sodass tatsächlich grüner Wasserstoff erzeugt wird und nicht Graustrom zum Einsatz kommt. Denn Wasserstoff aus Graustrom ist deutlich klimaschädlicher, als wenn wir einfach Wasserstoff aus Erdgas einsetzen würden oder direkt Erdgas. Dann ist dem Klima nicht geholfen.

Um das beides zu erreichen, muss die Politik den regulatorischen Rahmen so ausgestalten, dass der Ausbau der grünen Wasserstofferzeugung in Teilbereichen der Wirtschaft ökonomisch sinnvoll wird; gleichzeitig müssen die Rahmenbedingungen so gestellt sein, dass tatsächlich grüner Wasserstoff erzeugt wird. Da besteht aus meiner Sicht noch Handlungsbedarf. Grünen Wasserstoff für die Kupfererzeugung einzusetzen, wie wir es untersuchen und für sinnvoll erachten, ist unter den gegebenen Rahmenbedingungen ökonomisch nicht umsetzbar. Das wäre für das Unternehmen ein finanzielles Fiasko.

▀ **Prof. Dr. Thorsten Birth-Reichert:** Für all jene Betriebe und Kommunen, die von Null beginnend Wasserstoff per Elektrolyse produzieren wollen, ist der Ausbau von Kapazitäten enorm wichtig und damit die Planung

von Fabriken, die genug Kapazität zur Verfügung stellen, um ausreichend Elektrolyseure zu produzieren.

Für alle anderen ist es deutlich komplexer. Wenn ich in einer Bestandsinfrastruktur agieren möchte, dann ist vielleicht die Elektrolyse nicht immer die beste Lösung. Es wird ein regulatorischer Rahmen benötigt, der bestmöglich neutral formuliert ist und nicht auf einzelne Technologien und einzelne Stunden im Jahr restriktiv

**„Für all jene Betriebe und Kommunen, die von Null beginnend Wasserstoff per Elektrolyse produzieren wollen, ist der Ausbau von Kapazitäten enorm wichtig [...].“**

agiert. Ein Zusammenspiel der technologischen Offenheit, der technologischen Weiterentwicklung und der regulatorischen Rahmenbedingungen ist hier maßgeblich.

Allerdings sollte auch die Frage gestellt werden, ob der x-te Prozent Effizienz teuer erkaufte werden muss, wenn nachhaltige, Reststoff-basierte, ressourcenschonende Lösungen ebenfalls einen Beitrag leisten können.

### **Welche Herausforderungen sind bei der Integration von (grünem) Wasserstoff ins Energiesystem zu erwarten und besonders problematisch (beispielsweise bei der Integration in bestehende Leitungen sowie aus wirtschaftlicher Sicht)?**

▀ Unser Energiesystem ist nicht darauf ausgelegt, dass Wasserstoff erzeugt oder transportiert wird. Wir befinden uns in einem Transformationsprozess in dem eine Vielzahl an Stellschrauben zu bewegen sind. Ich denke, dass uns besonders der Transport von Wasserstoff und der Aufbau der dafür benötigten Infrastruktur noch über viele Jahre begleiten wird. Es sind viele gute Konzepte erarbeitet worden und für den Transport großer Mengen von Wasserstoff innerhalb Deutschlands – dem Wasserstoff-Kernnetz – wurden bereits viele

Schritte vorgedacht. Die reale Umsetzung wird aber erst noch Herausforderungen aufzeigen. Für den Import von Wasserstoff von außerhalb der EU konkurrieren hingegen eine Vielzahl an Optionen miteinander und hier

## „Wir befinden uns in einem Transformationsprozess in dem eine Vielzahl an Stellschrauben zu bewegen sind.“

werden wir erst in einigen Jahren sehen, welche Optionen einen Beitrag leisten, dass Wasserstoff aus anderen Ländern nach Deutschland transportiert wird.

■ Die momentan vorherrschende Realität ist, dass die Wasserstoffwirtschaft nur in einem Mikrokosmos existiert. In einem solchen herrschen abgesteckte Bedingungen für die Produktion, Speicherung, Verteilung und Nutzung, die Sicherheit, die Zulassung und Genehmigung.

Unser gesamtes Energiesystem ist aktuell noch nicht für Wasserstoff ausgelegt. Die Akteure aus Politik und Industrie sind hoch aktiv dabei, ein Pipeline-Netz zu bauen, aktuelle Bestandsinfrastrukturen regulatorisch und technisch auszustatten, sowie Importe und Exporte zu ermöglichen. Kurzum: Aus dem klassischen Henne-Ei-Problem heraus, wird sukzessive an der Etablierung eines Marktes gearbeitet.

Hierbei vermisste ich teilweise jedoch eine Offenheit für zentrale und dezentrale Lösungen. Wir haben in Deutschland mit unseren Pipelines ein riesiges Bestandsgut im Boden und werden dieses erweitern und ergänzen. Allerdings ist gar nicht geplant, in einem absehbaren Zeithorizont alles und jeden an dieses Netz anzuschließen. Man muss natürlich auch andere Infrastrukturlösungen nutzen, wie zum Beispiel dezentrale Hubs, die dort produzieren, wo Wasserstoff gebraucht wird – also Energie aus der Region für die Region.

Das ist ein Ansatz, der gerade auch im ländlichen Raum eine große Rolle spielt. Vor dem Hintergrund wird besonders entscheidend sein, wie die übergeordnete Gesamtstrategie des Landes so offen gestaltet wird,

dass jede Region eine eigene, die für sich passende, Lösung verfolgen kann und die individuellen Ziele erreicht werden, ohne eine einzelne Region dabei durch übergeordnete regulatorische Maßnahmen oder Festlegungen abzuhängen.

**Mit Blick auf die Zukunft: Vermehrt werden, neben Wasserstoff, weitere potentielle Energieträger wie z.B. Ammoniak oder grünes Methanol als erfolgsversprechend diskutiert. Wie ist dies im Hinblick auf mögliche Vor- und Nachteile einzuschätzen?**

■ Zuerst einmal stellt sich die Frage warum bzw. für welchen Einsatzzweck wir diese Substanzen wie Ammoniak oder Methanol betrachten. Denn Ammoniak und Methanol sind klassischerweise keine Energieträger, sondern chemische Zwischenprodukte. Sie werden also in chemischen Anlagen hergestellt – in neuen Verfahren aus grünem Wasserstoff. Ihre Produktion geht mit einem Verlust nutzbarer Energie einher. Sofern wir nicht Ammoniak oder Methanol als Zwischenprodukte für die chemische Industrie oder die Landwirtschaft nutzen wollen, sondern sie als Energieträger verwenden möchten, stellt sich die Frage, ob wir nicht direkt gasförmigen Wasserstoff einsetzen können. Dann sparen wir uns den Produktionsprozess und den Energieverlust. Somit konkurrieren diese neu diskutierten Energieträger mit dem Import von gasförmigem Wasserstoff. Gasförmiger Wasserstoff kann über Pipelines auch über weite Strecken effizient transportiert werden. Länder wie Spanien planen, große Mengen Wasserstoff zu erzeugen und auch für Europa und somit Deutschland zur Verfügung zu stellen.

Gleichzeitig ermöglicht Ammoniak oder Methanol den Import von Wasserstoff über den Seeweg. Ein großer Vorteil ist, dass Ammoniak und Methanol in der bestehenden Infrastruktur wie Tanklagern und auch Schiffen gelagert und transportiert werden können. Anders als bei den noch nicht vorhandenen Wasserstoff-Pipelines aus Spanien, Italien oder Nordafrika, ist der Transport schon heute möglich und wird für graues Ammoniak und Methanol auch praktiziert. Außerdem spielen die Kosten des Transports über den Seeweg eine untergeordnete Rolle, sodass selbst aus weit entfernten Ländern ein Import wirtschaftlich sein kann. Ausschlaggebend ist insbesondere, ob günstige Bedingungen für die Nutzung erneuerbarer Energien vorhanden sind.

Wenn ich Ammoniak und Methanol miteinander vergleiche, dann hat Ammoniak einen bedeutenden, systemischen Vorteil vor Methanol. Stellen wir uns vor, Methanol wird als Energieträger eingesetzt, das heißt verbrannt. Es entsteht Wasser und CO<sub>2</sub> und das CO<sub>2</sub> wird emittiert. Methanol ist nur dann eine Klimaschutzoption, wenn dieses entstandene und emittierte CO<sub>2</sub> nicht zum Klimawandel beiträgt. Und das ist nur möglich, wenn der Kohlenstoffkreislauf geschlossen ist. Anders ausgedrückt: Es braucht für die Methanolproduktion eine regenerative Kohlenstoff- bzw. CO<sub>2</sub>-Quelle. Regeneratives CO<sub>2</sub> kann man zum Beispiel direkt aus der Atmosphäre gewinnen mit sogenannten Direct Air Capture Anlagen. Das ist jedoch aufwändig, da nur eins aus 2.500 Molekülen in der Luft ein CO<sub>2</sub>-Molekül ist. Trotz technischer Entwicklungen wird sich an der grundsätzlichen Schwierigkeit nichts ändern. Kurzum, die regenerative Kohlenstoffquelle für die Methanolproduktion ist die Achillesferse des Methanols. Bei Ammoniak stehen wir nicht vor dem Problem, denn Ammoniak besteht neben Wasserstoff aus Stickstoff und mehr als jedes zweite Molekül in der Luft ist Stickstoff.

▀ **Prof. Dr. Thorsten BIRTH-Reichert:** Methanol und Ammoniak sind in der chemischen Industrie bekannte Größen, werden aktuell aber nicht als klassische Energieträger betrachtet. Es wird zurzeit viel darüber gesprochen, dass für die künftige Wasserstoffversorgung große Mengen über weite Strecken, insbesondere über den Seeweg, transportiert werden müssen. Das ist ein vergleichsweise großer Aufwand und teuer. Es gibt bekannte Möglichkeiten sowohl Methanol als auch Ammoniak basierend auf grünem Wasserstoff zu produzieren bzw. sie als Energieträger für Wasserstoff und mit günstigeren Transportkosten für lange Distanzen zu nutzen. Somit bieten Sie die Möglichkeit als künftige Träger und für den Import zur Deckung des Bedarfes in Deutschland genutzt zu werden.

Welches Molekül schlussendlich das geeignetere ist, wird maßgeblich davon abhängen, wofür es eingesetzt wird; bzw. entscheidet sich vielmehr aus Aspekten der Systemintegration heraus: Wo kann das Molekül zusätzlich genutzt werden, um vom reinen Energieträger abzuweichen? Um nur mal ein Beispiel zu nennen: Beide Moleküle sind auch natürliche Kältemittel. Das bedeutet, dass sie für den Phase-Down – also die strukturierte

Reduzierung fossiler Energien – im Bereich von betroffenen GWP<sup>[1]</sup>-lastigen Kältemitteln eingesetzt werden könnten.

Wenn die Moleküle hingegen als Kraftstoff oder allgemein als Energieträger eingesetzt werden würden – und der Wasserstoff nicht versucht wird, wieder aus der Molekülstruktur durch Rückreaktion zurückzugewinnen – muss sich die Frage gestellt werden, ob das freigesetzte Kohlenstoffdioxid aus dem Methanol oder die freigesetzten Stickoxide aus dem Ammoniak nicht sogar belastender für die Umwelt sind.

Ein weiterer Aspekt, den es hier zu beachten gilt, ist, dass für die Produktion nachhaltigen Methanols neben Wasserstoff auch eine saubere, bswp. biogene Kohlenstoffdioxidquelle benötigt wird; wohingegen Stickstoff zu ausreichenden Mengen in der Atmosphäre vorliegt.

Abschließend ist es eine Frage der Sicherheit in Abhängigkeit des Nutzens und des Kontaktes mit in der Umgebung agierenden Maschinen und Menschen bzw. Infrastrukturen und Lebewesen im Allgemeinen.

**Auch die Wasserstoffgewinnung an sich entwickelt sich zunehmend weiter. Mittlerweile werden Entwicklungen bekannt, mithilfe derer z.B. aus ungereinigtem und ungefiltertem Meerwasser, Wasserstoff mit ähnlich hoher Effizienz hergestellt werden kann. Gibt es Innovationen, die aus Ihrer Sicht weiterverfolgt werden sollten?**

▀ **Prof. Dr. Sebastian Timmerberg:** Für mich sind besonders die Innovationen relevant, die das Potenzial haben, die ökologische Nachhaltigkeit zu erhöhen. Insbesondere sehe ich hier die Forschungsansätze, die eine deutliche Effizienzsteigerung der Wasserelektrolyse als Ziel haben. Im Labor wurden mittlerweile Wirkungsgrade von über 90 Prozent der Wasserelektrolyse gemessen. Ein so hoher Wirkungsgrad würde die Umweltbelastungen deutlich reduzieren. Wir bräuchten somit weniger Windkraft- und PV-Anlagen, um unseren Wasserstoffbedarf zu decken. Auch die Ansätze, bei denen der Gesamtprozess der separaten Wasserelektrolyse eingespart wird und solare Strahlung direkt für die Wasserspaltung eingesetzt wird, halte ich für sehr

[1] GWP ist die Abkürzung für „Global Warming Potential“, steht also für das Erderwärmungs- bzw. Treibhauspotenzial einer Substanz. Der GWP-Wert eines Kältemittels definiert dessen relatives Treibhauspotenzial in Bezug auf CO<sub>2</sub> (auch als CO<sub>2</sub>-Äquivalent bezeichnet).

zukunftsträchtig. Sie bergen das Potenzial, Ressourcen zu sparen.

Mit Skepsis schaue ich auf die Forschungsansätze, die Wasserstoff aus Biomasse erzeugen wollen. Es gibt immer Ausnahmen und Nischen, aber im Regelfall werden wir auch ohne die Wasserstoffherzeugung bereits

Biogasanlagen bieten eine Perspektive für Biogasreformierung oder additive Dunkelfermentation und Reststoffpotentiale, die weder einer stofflichen, noch einer fermentativen Verwertung zugeführt werden können; dies bietet die Chance für Biomassevergasungsprozesse.

Am Ende ist es auch eine Frage der Quelle. Welches Wasser habe ich vor Ort? Kann ich eine Elektrolyse aufbauen? Muss auf andere Technologien für minderwertiges Wasser zurückgegriffen werden?

Wenn wir Energie „aus der Region für die Region“ leben wollen um sowohl dezentralen, als auch zentralen Lösungen eine Chance zu bieten, dann kommen wir um eine Vielfalt an Technologien nicht herum.

**Vielen Dank für Ihre Zeit, Herr Timmerberg – vielen Dank, Herr Birth-Reichert.**

**„Für mich sind besonders die Innovationen relevant, die das Potenzial haben, die ökologische Nachhaltigkeit zu erhöhen.“**

eine hohe Nachfrage nach Biomasse haben. Und darüber hinaus – wie wir im Beispiel Methanol bereits besprochen haben – brauchen wir zukünftig regenerative Kohlenstoffquellen. Nicht nur Methanol, sondern zum Beispiel auch die Erzeugung von Kunststoffen ist auf regenerative Kohlenstoffquellen angewiesen. Und Biomasse ist eine regenerative Kohlenstoffquelle, die wir insbesondere für die chemische Industrie benötigen werden. Hier wird sie nicht als Energieträger (wie bei der Wasserstoffherzeugung), sondern als Stoff benötigt.

■ Ich sehe in diesem Feld durch neutrales Herangehen an Technologien die Chance für unterschiedlichste Ansätze.

Man kann natürlich nicht von der Hand weisen, dass Wind- und PV-basierte Elektrolyse höchste Wirkungsgrade und Flächennutzungszahlen erreichen, aber aus systemintegrativer Sicht, dürfen wir andere ortsspezifisch agierende Systeme nicht vernachlässigen. Über 9.000

**„Wenn wir Energie ‚aus der Region für die Region‘ leben wollen, [...] dann kommen wir um eine Vielfalt an Technologien nicht herum.“**

# Gemeinsam Forschen

---

Die Synergien zwischen  
Forschung und Lehre

## Innovative Forschung und interdisziplinärer Austausch: Das CC4E in der Energie- und Nachhaltigkeitswende

In einer Zeit, in der die Herausforderungen der Energiewende und die nachhaltige Gestaltung unserer Zukunft von zentraler Bedeutung sind, nimmt das CC4E eine herausragende und wegweisende Rolle ein. Dabei engagieren sich nicht nur etablierte Wissenschaftler\*innen, sondern auch aufstrebende Nachwuchsforscher\*innen, die an inspirierenden Projekten arbeiten oder ihre Forschungsarbeit am CC4E schreiben.

Doch die Bedeutung des CC4E erstreckt sich weit über die bloße Forschung hinaus. Als Bildungseinrichtung eröffnet es Studierenden die Möglichkeit, sich intensiv mit den zentralen Themen der Energiewende und Nachhaltigkeit auseinanderzusetzen. Dabei steht nicht nur die Vermittlung von Wissen im Vordergrund, sondern auch die Förderung von kritischem Denken und die Anregung zu innovativem Handeln.

Darüber hinaus erfüllt das CC4E eine essenzielle Funktion als Plattform für den interdisziplinären Austausch unter Forschenden. Hier treffen unterschiedliche Fachrichtungen aufeinander, um gemeinsam an ganzheitlichen Lösungen für die Herausforderungen des Klimawandels und der nachhaltigen Energieentwicklung zu arbeiten. Der regelmäßige Dialog und die Zusammenarbeit über fachliche Grenzen hinweg tragen dazu bei, innovative Ideen zu generieren und den Fortschritt in der Forschungslandschaft zu beschleunigen.

Fakultät	BA/MA	Studiengang
Life Sciences	B.Sc.	Umwelttechnik
		Verfahrenstechnik
	M.Sc.	Process Engineering
		Renewable Energy Systems – Environmental and Process Engineering
Technik und Informatik	B.Sc.	Maschinenbau und Produktion
	M.Sc.	Nachhaltige Energiesysteme im Maschinenbau
Wirtschaft und Soziales	B.Sc.	Marketing/Technische BWL
	M.Sc.	Marketing und Vertrieb



## Nachwuchswissenschaftler\*innen bauen Kleinwindenergieanlage: Praxisorientiertes Studienprojekt für eine nachhaltige Zukunft

Die Energiewende ist eines der wichtigsten Themen unserer Zeit, und das CC4E trägt aktiv zur Forschung und Bildung in diesem Bereich bei. Ein bemerkenswertes Beispiel hierfür ist das Bachelorprojekt, bei dem Studierende des Departments Maschinenbau und Produktion sowie Mechatronik unter der fachkundigen Leitung von Prof. Peter Dalhoff und Sven Störtenbecker eine Kleinwindenergieanlage bauen.

Das Besondere an diesem Projekt ist, dass es eine einzigartige Kombination aus praktischer Arbeit und theoretischem Wissen bietet. Die Studierenden lernen nicht nur, wie man eine Kleinwindenergieanlage baut, sondern erwerben auch grundlegende Kenntnisse über elektrische Inselsysteme und Windenergieanlagen in einer interdisziplinären Umgebung. Darüber hinaus werden sie in den Grundlagen des Projektmanagements geschult und setzen dieses Wissen direkt in die Praxis um.

Die praktischen Arbeiten im Rahmen des Studierendenprojekts umfassen die Herstellung von Holz-Rotorblättern mit einem aerodynamischen Profil, den Zusammenbau des Rotors sowie die Fertigung der Baugruppen Triebstrang, Maschine, Generator und Leistungselektrik, ebenso wie des Turms und des Fundaments. Ein großer Meilenstein wurde

bereits im Wintersemester 2021/2022 erreicht, als zwei Studierendengruppen die Rotorblätter und die Maschine erfolgreich abgeschlossen haben. Im letzten Sommersemester standen zwei neue Teams bereit, um die Baugruppen Generator und Leistungselektrik sowie Turm und Fundament zu fertigen. Das Ziel dieses aufregenden Projekts ist es, 2024 alle Komponenten zu einer voll funktionsfähigen Kleinwindenergieanlage zusammenzuführen und diese erst einmal als Batterielader in Betrieb zu nehmen.

Ein Blick auf die technischen Daten dieser Windenergieanlage nach der Konstruktion von Hugh Piggott zeigt, dass es sich um einen dreiblättrigen Horizontalläufer mit einem direkt angetriebenen Axialfluss-Permanentmagnet-Generator handelt. Mit einem Rotordurchmesser von 1,2 Metern und einer Gesamthöhe von 10 Metern erwartet man eine Nennleistung von 200 Watt.

Dieses spannende Projekt ist nicht nur ein Beweis für das Engagement der HAW Hamburg für die Energiewende, sondern auch ein Beispiel für die interdisziplinäre Zusammenarbeit und das Engagement der Studierenden. Es zeigt, wie akademische Bildung und praktische Erfahrung kombiniert werden können, um die nächsten Generationen von Ingenieuren und Wissenschaftlern auf die Herausforderungen der nachhaltigen Energieerzeugung vorzubereiten.



## Die Forschungsreise: Entwicklung einer Methode zur Verbesserung von Wärmebedarfsprognosen in Hamburg



Justus Börms hat an der HAW Hamburg „Nachhaltige Energiesysteme im Maschinenbau“ studiert und arbeitet seit seinem erfolgreichen Masterabschluss als Berater bei Hamburg Institut Consulting GmbH.

Das Forschungsthema meiner Masterarbeit, dem ich mich intensiv gewidmet habe, lautet: „Entwicklung einer Methodik zur Integration von Fensterflächen und Baujahren in das 3D-Stadtmodell von Hamburg zur Verbesserung der Wärmebedarfsprognosen.“ In diesem Zusammenhang habe ich zwei wesentliche Forschungsfragen bearbeitet:

- Wie ist es möglich, das Verhältnis von Fenster- zu Wandflächen in Wohngebäuden in Hamburg mithilfe öffentlich verfügbarer Daten zu bestimmen?
- Auf welchem Weg lässt sich die Baujahresklasse von Wohngebäuden in Hamburg anhand allgemein zugänglicher Informationen ermitteln?

Meine Motivation, dieses spezielle Thema zu wählen, basierte auf meiner Teilnahme an einer Vorlesung über Fernwärmenetze bei Peter Lorenzen (damaliger Leiter des CC4E-Kompetenzteams Wärme) im Wintersemester 2021/22. Diese Vorlesung hat mein Interesse geweckt, und ich beschloss, ihn nach einem geeigneten Thema für meine Masterarbeit zu fragen. Er empfahl mir, mich an Jan Trosdorff (CC4E Wärme-Team) zu wenden. Letztendlich einigten wir uns auf das oben genannte Thema. Ein weiterer entscheidender Faktor war, dass ich parallel zu meiner Beschäftigung am CC4E mit Fernwärmenetzen auch eine Vorlesung über maschinelles Lernen besuchte. Die Kombination aus einer fesselnden Vorlesung, einem hochinteressanten und immer relevanter werdenden Thema im Bereich der Energietechnik und dem Schlagwort „Maschinelles Lernen“ motivierte mich, mich intensiv mit dieser Arbeit auseinanderzusetzen.

Die wichtigste Erkenntnis meiner Arbeit war, dass das Verhältnis von Fenster- zu Wandflächen in Gebäuden in Hamburg für Wärmebedarfsprognosen mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden kann, ohne dass eine manuelle Vor-Ort-Vermessung erforderlich ist. Dabei sind öffentlich verfügbare Daten als Grundlage ausreichend geeignet. Wärmebedarfsprognosen werden erstellt, um eine bedarfsgerechte Erzeugung und Lieferung gewährleistet zu können.

Bilder: Nina Laskowski/CC4E



## **CC4E stärkt Erfolgskurs: Eigenständiges Promotions- recht für HAW Hamburg vom Wissenschaftsrat befürwortet**

Der Wissenschaftsrat (WR) hat in seiner Stellungnahme vom Oktober 2023 das fachrichtungsgebundene Promotionsrecht der HAW Hamburg befürwortet. Damit ist ein Meilenstein für die anwendungsorientierte Forschung in der Metropolregion erreicht. Das positive Votum ermöglicht der HAW Hamburg eigenständige Promotionen in drei Fachrichtungen unter dem Dach einer Research School. Einen wesentlichen Beitrag zu diesem Erfolg hat dabei das CC4E geleistet; unsere vielfältigen Forschungsschwerpunkte sowie die besondere Forschungsinfrastruktur durch unser Technologiezentrum sowie unseren Forschungswindpark trugen maßgeblich zur positiven Beurteilung des Promotionsfachgebiets „Sustainable Technologies and Systems“ bei.

Das Promotionskonzept der HAW Hamburg sieht insgesamt drei Fachgebiete vor: „Interdisziplinäre Sozial- und Gesundheitsforschung“, „Computational Engineering and Applied Data Science“ und „Sustainable Technology and Systems“. Die vorgesehene Research School wird als geeignete organisatorische Struktur für das eigenständige Promotionsrecht der HAW Hamburg angesehen, die Zusammenarbeit zwischen den Programmen bietet in den Augen des WR großes Innovationspotenzial. Der WR schlägt vor, nach einer Laufzeit von vorerst acht Jahren das Promotionsprogramm der HAW Hamburg zu reevaluiieren. Für das rechtliche Inkrafttreten des eigenständigen, fachrichtungsgebundenen Promotionsrechts der HAW Hamburg muss nun das Hamburger Hochschulgesetz angepasst werden. Ein politischer Prozess, der noch einmal ein Jahr dauern wird, aber an dessen Ende wir gestärkt in unsere weitere Forschungsarbeit gehen können.

Schon seit 15 Jahren, seit seiner Gründung, begleitet das CC4E Doktorand\*innen im Rahmen kooperativer Promotionen. Das Promotionsrecht künftig eng mit dem eigenen Haus verbunden zu wissen, erfüllt uns mit Stolz. Wir sehen darin eine hohe Anerkennung für unsere bisherige wissenschaftliche Arbeit. In Zukunft wird das Promotionsrecht der HAW Hamburg helfen, unsere Attraktivität für Nachwuchsforscher\*innen weiter zu steigern.

## **Gemeinschaftliche Lösungen für die Energiewende: Forschende als Wegbereiter auf der OPEN-Stage des CC4E**

Die Energiewende steht als zentrale Herausforderung unserer Zeit im Fokus. Um diesen Wandel erfolgreich zu gestalten, bedarf es einer kooperativen, interdisziplinären und zielgerichteten Herangehensweise. Einmal im Monat nehmen Forschende die Rolle von Wegbereitern ein, indem sie Lösungen und innovative Forschungsansätze vorstellen, die die zukünftigen Herausforderungen der Energiewende bewältigen sollen.

In der heutigen interdisziplinären Welt spielen offene Austauschplattformen wie die „Open Stage“ eine entscheidende Rolle. In dem CC4E-internen und von den Forschenden selbst organisierten Austauschformat präsentieren Wissenschaftler\*innen aus unterschiedlichen Fachrichtungen und Institutionen ihre Arbeit und teilen Ideen. Konkret fokussiert sich ihr Austausch auf die Entwicklung neuer Technologien, die Effizienzsteigerung bestehender Energiesysteme und die Schaffung nachhaltiger Infrastrukturen. Sie arbeiten an innovativen Ansätzen zur Speicherung erneuerbarer Energien, verbesserter Energienetze und zur Minimierung der Umweltauswirkungen.

Ein bemerkenswertes Beispiel, welches auch im Rahmen des Formates Open Stage unter den Mitarbeiter\*innen des CC4E geteilt und diskutiert wurde, ist die Verwendung des GIS-Visualisierungs-Tools „Bokeh“ zur Visualisierung von Geodaten. Dies ermöglicht die effiziente Abspeicherung zweidimensionaler Daten und fördert die Zusammenarbeit in Projekten. Ebenso wichtig ist die Nutzung von Plattformen wie dem HAW-GitLab als Speicherort für Programme und Forschungsarbeiten. Hier sind Versionierung und Kollaboration entscheidende Elemente, um den Überblick zu behalten und effektiv zusammenzuarbeiten, wie im „GIT Workshop 3“ vermittelt wird.

## German Renewables Award 2023: Zwei Auszeichnungen für das CC4E

Der German Renewables Award wird seit 2012 jährlich von der Erneuerbare Energien Hamburg Clusteragentur GmbH (EEHH) verliehen: Er zeichnet Personen und Unternehmen mit besonderem Engagement sowie Projekten zur Energiewende in verschiedenen Kategorien aus. Hierbei ging der Preis im November 2023 an Nicolas Neubauer, der als ehemaliger Studierender der HAW Hamburg und im Rahmen des Norddeutschen Reallabores (NRL) für seine Masterarbeit forschte. Er wurde in der Kategorie „Studentenarbeit des Jahres“ für die Abschlussarbeit, welche sich mit dem Einsatz einer netzdienlich betriebenen Power-to-Hydrogen-Anlage auf Basis von Wasser-Elektrolyse am Anwendungsbeispiel der Aurubis AG beschäftigte, ausgezeichnet. Der Kupferproduzent Aurubis ist ein enger Kooperationspartner des NRL und somit auch des CC4E. Auch für die Aurubis AG, das CC4E und das NRL ist die Auszeichnung eine besondere Ehrung, die nicht nur die enge Zusammenarbeit mit Forschungspartnern, sondern ebenso die praxisnahe Forschung und Ausbildung von Studierenden würdigt.

Einen emotionalen Höhepunkt der Preisverleihung stellte für uns die Ehrung unseres Gründers und langjährigen Leiters, Prof. Dr. Werner Beba dar, dem posthum der German Renewables Award für sein Lebenswerk verliehen wurde. Die Jury würdigte sein besonderes Engagement für die von ihm initiierte Forschung zu erneuerbaren Energien, der Akzeptanzforschung und -förderung sowie dem Aufbau einer besonderen Forschungsinfrastruktur, welche sich insbesondere durch das Technologiezentrum Energie-Campus in Hamburg-Bergedorf als praxisnahes Labor und Ausbildungsstätte des Forschungsnachwuchses zeigt. Auf der Verleihung nahm Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers den Preis stellvertretend entgegen. Werner Beba war zu Lebzeiten Vorstandsmitglied des EEHH und das CC4E ist eines von zahlreichen Mitgliedern in dem Branchennetzwerk. Die Zusammenarbeit zwischen beiden Institutionen ist seit Jahren eng.



Bild: Oliver Arendt/CC4E

# Aufbruch zu neuen Dimensionen

---

## Weiterentwicklung, Ausgründung und die Visionen von morgen

In einer Zeit, in der die Energiewende und die nachhaltige Gestaltung unserer Zukunft von zentraler Bedeutung sind, nimmt das CC4E eine entscheidende Rolle ein. Dabei engagieren sich nicht nur etablierte Wissenschaftler\*innen, sondern auch aufstrebende Nachwuchsforscher\*innen, die an inspirierenden Projekten arbeiten oder ihre Forschungsarbeit am CC4E schreiben.

Doch nicht genug: Das CC4E dient neben der Forschung nicht nur als Bildungseinrichtung für Studierende, sondern fungiert als Plattform für den interdisziplinären Austausch unter Forschenden. Darüber hinaus schafft das CC4E Raum für wissenschaftliche Ausgründungen hin zum eigenen Start-up.



## Innovativ für eine nachhaltige Wärmeversorgung

---

### Die Wärmewerk GmbH im Interview

Die Wärmewerk GmbH zeichnet sich als ein wegweisendes Unternehmen aus, das sich der Herausforderung der Wärmeversorgung im Zeitalter des Klimaschutzes stellt. Mit klarem Fokus auf Nachhaltigkeit und innovative Lösungen für die Wärmebranche werden Dr. Peter Lorenzen, Nina Kicherer, Ina Herrmann, Paul Kernstock, Moritz Verbeck, Philip Tillmann, Jan Trosdorff und Fabian Bischke einen bedeutenden Beitrag zur Energiewende leisten.

In diesem Interview gewährt die Wärmewerk GmbH spannende Einblicke in Ihre Ziele, Visionen und Dienstleistungen sowie die Herausforderungen, die sie auf ihrem bisherigen Gründungsweg gemeistert haben. Erfahren Sie mehr darüber, wie sie die Wärmewende vorantreiben und einen konkreten Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen leisten.

#### Warum wurde die Wärmewerk GmbH ins Leben gerufen?

Die Wärmewerk GmbH wurde gegründet, um mit wissenschaftlich fundierten Konzepten die Transformation von Wärmenetzen vorantreiben. Als Team, das bereits seit mehreren Jahren im Rahmen von Forschungsprojekten am CC4E der HAW Hamburg an intelligenten und erneuerbare Wärmenetze arbeitet, haben wir eine Vielzahl relevanter Konzepte für die Transformation von Wärmenetzen hin zu einer erneuerbaren und effizienten Versorgung entwickelt und erprobt. Diese wollen wir nun mit unserer Ausgründung in die Praxis tragen, um möglichst großflächig Wärmeversorger bei ihrer Dekarbonisierung zu unterstützen.

Unser größter Antreiber ist dabei die Dringlichkeit der Energiewende. Gleichzeitig haben wir immer wieder festgestellt, dass der Wärmesektor in der Energiewende jahrzehntelang nicht wirklich im Fokus stand, obwohl wir hier den größten Endenergieverbrauch in Deutschland verzeichnen. Wir wollen mit einem Transfer unserer

Forschungsergebnisse in die Praxis unseren Beitrag zum Gelingen der Wärmewende leisten und das Thema weiter vorantreiben.

Darüber hinaus arbeiten wir als Team sehr gerne zusammen und möchten unsere unterschiedlichen Kompetenzen auch in Zukunft für eine sinnstiftende Arbeit bündeln.

#### Welche Ziele und Visionen verfolgt ihr mit eurer Ausgründung?

Unser primäres Ziel ist eine kosteneffiziente Dekarbonisierung des Wärmesektors, und hier insbesondere der Fernwärme. Dazu benötigen wir dringend skalierbare Lösungen, die in verschiedenen Wärmenetzen angewendet werden können. Nur so schaffen wir die notwendige Geschwindigkeit in der Wärmewende. Wir wollen dafür die entsprechenden digitalen Tools bereitstellen. Damit sollen zum Beispiel die Datenerhebung und -verarbeitung in Wärmenetzen vereinheitlicht und vereinfacht werden.



Wärmewerk GmbH Gründer\*innen

Intern legen wir großen Wert auf gleichberechtigte Zusammenarbeit und möglichst flache Hierarchien. Unser Ziel ist nicht die Gewinnmaximierung für einige wenige, sondern der Aufbau eines nachhaltigen und gemeinwohlorientierten Unternehmens.

#### **Welche Produkte oder Dienstleistungen plant ihr mit eurem Unternehmen anzubieten?**

■ Wir bieten Beratungsdienstleistungen in den vier Produktgruppen Digitalisierung, Betriebsoptimierung, Integration und Transformation an. Diese umfassen die aus unserer Sicht notwendigen Schritte hin zu einer erneuerbaren Versorgung in Wärmenetzen. Unsere Konzepte zur Digitalisierung (1) befähigen Netzbetreiber durch eine passgenaue Datenerfassung und -analyse zunächst Fehler im Netzbetrieb zu erkennen. Dadurch können wir Ineffizienzen identifizieren und Ursachen für hohe Temperaturen erkennen. Basierend auf dieser Fehleranalyse verbessern wir in einem zweiten Schritt mit unseren Konzepten zur Betriebsoptimierung (2) die Effizienz des Netzbetriebs. Dabei senken wir insbesondere die Temperaturen ab und bereiten so das Netz für die Integration von erneuerbaren Wärmequellen vor. Für notwendige größere Umbaumaßnahmen liefern wir mit unserem Produkt Integration (3)

passende Konzepte, die gewährleisten, dass diese Umbauten zum Gesamtziel einer erneuerbaren Versorgung beitragen.

Nachdem ein bestehendes Wärmenetz mit Hilfe der Konzepte aus (1)-(3) ertüchtigt wurde, kann ein zielführender Prozess zur Umsetzung der eigentlichen Transformation (4) starten. Alternativ kann auch zuerst eine Transformationsstrategie (4) erstellt und dann mit den Schritten 1-3 die Umsetzung eingeleitet werden.

Unsere Dienstleistungen sind flexibel und können individuell auf die Bedürfnisse unserer Kunden zugeschnitten werden.

#### **Welche langfristigen Ziele habt ihr für euer Unternehmen?**

■ Wir wollen mit unserem nachhaltigen Geschäftsmodell die flächendeckende Transformation von Bestandsnetzen und neuen Netzen vorantreiben. Dazu streben wir eine langfristige Zusammenarbeit mit unseren Kunden an, da uns die Transformation des Energiesystems noch viele Jahre beschäftigen wird. Wir möchten den Energieversorgern dafür als zuverlässiger und gleichzeitig inspirierender Partner zur Seite stehen.

Intern ist unser langfristiges Ziel, ein wertschätzendes Arbeitsumfeld zu schaffen, in dem alle Gründungsmitglieder ihre individuellen Fähigkeiten bestmöglich einbringen können, um zum Gelingen der Wärmewende beizutragen.

### **Wie unterstützt eure Ausgründung die Reduzierung von Treibhausgasemissionen?**

▀ Unsere Transformationskonzepte liefern einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Wärmewende und damit auch zur Senkung von Treibhausgasemissionen im Energie- und Gebäudesektor. Wir versetzen Energieversorger, Industriebetriebe und andere Akteure in die Lage, konkrete Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung umzusetzen. Gleichzeitig steigern unsere Optimierungskonzepte die Energieeffizienz der Wärmeversorgung, wodurch unsere Kunden und die Kommunen Energie einsparen können. Darüber hinaus legen wir einen starken Fokus auf einen intelligenten Einsatz von digitalen Tools zur Standardisierung von Prozessen in der Wärmeversorgung. Dies ermöglicht es unseren Kunden, die anstehenden Maßnahmen zur Transformation möglichst kosteneffizient umsetzen. Wir tragen somit auch zum Ziel einer bezahlbaren und gleichzeitig nachhaltigen Wärmeversorgung für möglichst viele Menschen bei.

### **Was war die größte Herausforderung, die ihr auf eurem bisherigem Gründungsweg gemeistert habt?**

▀ Mit acht Gründer\*innen sind wir ein vergleichsweise großes Gründungsteam. Damit alle Teammitglieder sich in unserem Unternehmen wiederfinden können, haben wir uns knapp ein Jahr Zeit genommen, um ein gemeinsames Verständnis von unserem Vorhaben zu schaffen. Dies erfordert ein hohes Maß an kontinuierlicher Kommunikation, damit jede\*r mitgenommen wird. Durch einen offenen Austausch und regelmäßige Meetings haben wir es geschafft, das gesamte Team in den Entstehungsprozess einzubeziehen. Heute sind wir stolz darauf, uns alle mit unserem Wärmewerk zu identifizieren.

Darüber hinaus wurden wir, wie wahrscheinlich viele Gründer\*innen, mit den bürokratischen Hürden konfrontiert, die den ganzen formellen Prozess der Gründung doch ausgebremst haben.

Nun aber stehen wir in den Startlöchern und sind bereit, gemeinsam mit unseren Kunden die Wärmeversorgung der Zukunft zu gestalten.

**Vielen Dank für dieses Interview und viel Erfolg weiterhin!**

#### **Wärmewerk GmbH**

##### **Dr. Peter Lorenzen**

Geschäftsführer

[peter.lorenzen@waermewerk.de](mailto:peter.lorenzen@waermewerk.de)

+49 1515 88 29 88 7

[www.waermewerk.de](http://www.waermewerk.de)

##### **Nina Kicherer**

Geschäftsführerin

[nina.kicherer@waermewerk.de](mailto:nina.kicherer@waermewerk.de)

+49 151 58 82 76 95

# Hamburg hat das Potenzial zur Solarstadt

## Zwei Drittel des Hamburger Strombedarfs könnten durch Photovoltaikanlagen gedeckt werden.

In einer wegweisenden Solarpotenzialstudie unter dem Titel „Solarpotenzialstudie für Hamburg. Nicht nur Schietwetter in Hamburg!“ wurde das hohe Potenzial der Photovoltaik für die Stromversorgung Hamburgs beleuchtet. Im Auftrag des Clusters Erneuerbare Energien Hamburg (EEHH) haben Mitarbeiter des CC4E sowie der Technischen Universität Hamburg aufgezeigt, dass Hamburg seinen derzeitigen Strombedarf realistisch zu zwei Dritteln aus Sonnenenergie decken könnte.

Im Zentrum der Studie stand die Identifizierung grundsätzlich nutzbarer Flächen für die Solarstromerzeugung mittels Photovoltaikanlagen sowie die Abschätzung des davon sehr konkret geeigneten Anteils, um das wirklich realisierbare PV-Potential der Stadt insgesamt zu ermitteln. Dazu wurde unter Verwendung des digitalen Liegenschaftskatasters (ALKIS) eine detaillierte Eignungsanalyse der Flächen aller Flurstücke in Hamburg durchgeführt.

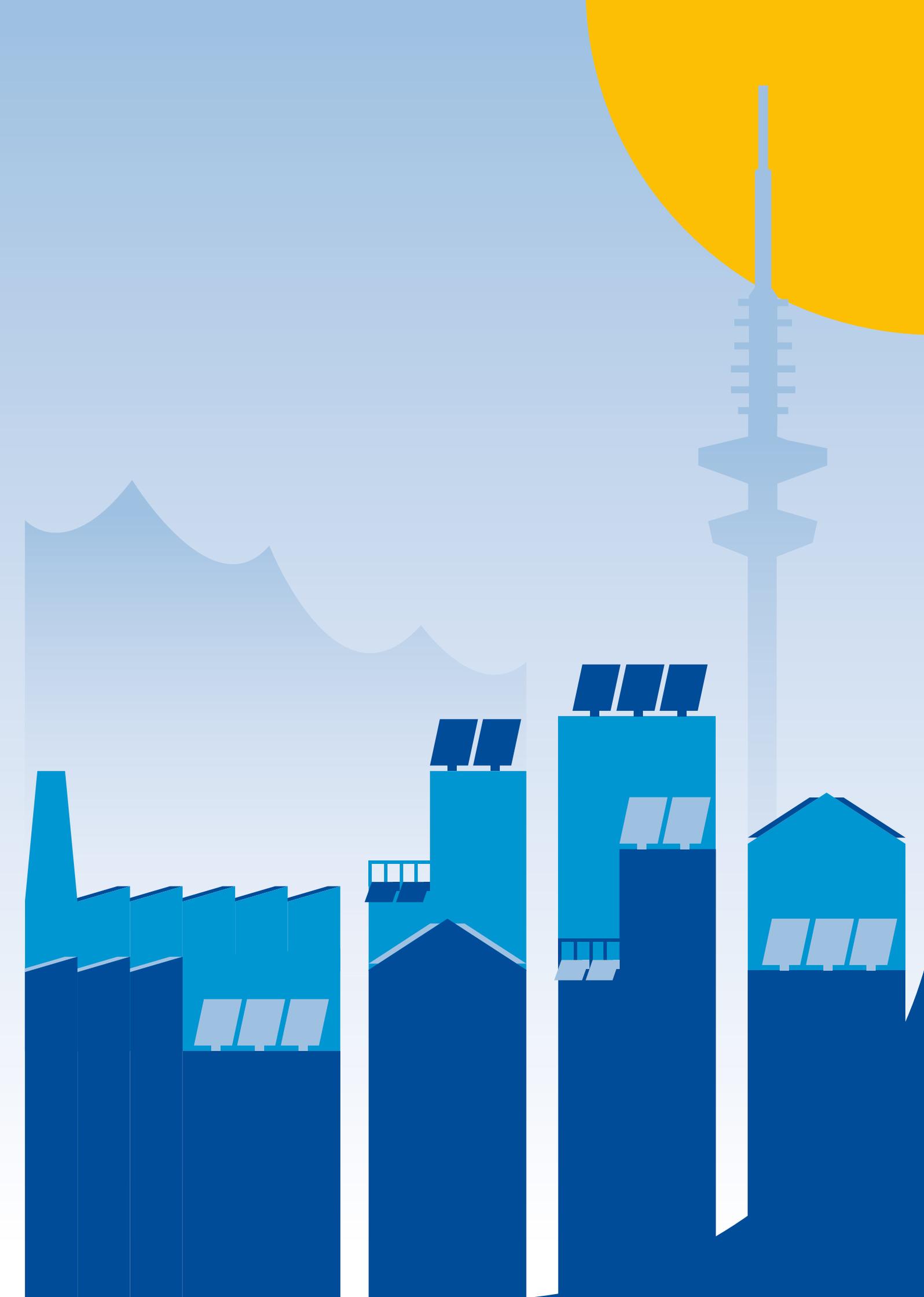
### **Photovoltaik in Gebäuden, Landwirtschaft und auf Parkplätzen**

Die Solarpotenzialstudie identifiziert drei Hauptanwendungsfelder für Photovoltaik in Hamburg: PV auf Gebäudedächern, PV in der Landwirtschaft (Agri-PV) und Parkplatz-PV. Dabei sticht vor allem die Dach-Photovoltaik hervor, die mit einer Fläche von 43 km<sup>2</sup> oder 71,6 Prozent des gesamten realistisch nutzbaren Fläche das größte Potenzial aufweist. Aber auch Agri-PV auf landwirtschaftlichen Flächen und Parkplatz-PV spielen eine wichtige Rolle. Für sämtliche Szenarien wurde die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik nachgewiesen.

### **Hamburgs Weg in eine sonnige Zukunft**

Im Ergebnis resümieren die Forscher\*innen ein sehr hohes Potential für die Energieversorgung durch Photovoltaik in Hamburg. Laut der Studie könnten bilanziell

etwa zwei Drittel des Strombedarfs in der Freien- und Hansestadt durch Solaranlagen gedeckt werden. Diese Erkenntnisse gewinnen besondere Bedeutung im Hinblick auf das aktuelle Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes in Hamburg. Eine erfolgreiche städtische Solarinitiative hätte das Potenzial, einen erheblichen Beitrag für eine Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im Hamburger Stromverbrauch zu erreichen. Auch wenn dies nur indirekt zur Erreichung der avisierten CO<sub>2</sub>-Minderungsziele in Hamburg beiträgt (Strom wird in der Bilanz immer mit dem Bundesstrommix angesetzt), markiert die Studie doch einen Paradigmenwechsel. Bisher herrschte die Ansicht vor, dass Hamburg als Stadtstaat keinen großen eigenen Anteil zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien beitragen könne und der Erneuerbare Energien-Anteil an der Stromerzeugung auf Bundesebene gesteigert werden müsse. Die Studie hat nun maßgeblich dazu beigetragen, diese Perspektive zu überdenken und die eigenen Möglichkeiten bei der PV-Stromerzeugung stärker nutzen zu wollen. Eine konkrete Umsetzungsmaßnahme im Rahmen der Hamburger Gesetzesnovelle sieht daher eine PV-Nutzungspflicht für Neubauten oder bei einer Dachsanierung vor. Ebenso will die Stadt zukünftig bei den eigenen Gebäuden als Vorbild wirken und hat beschlossen auf allen Dächern öffentlicher Gebäude PV zu installieren. Hans Schäfers betont: „Die Größenordnung des realisierbaren PV-Potenzials in Hamburg hat die Forscher\*innen überrascht. Die gesetzlichen Weichen für saubere Energie aus Sonne stellt der Senat, der mit seiner Novelle des Klimaschutzgesetzes und dem neuen Klimaplan die richtigen Schritte geht. Nun wird es wichtig werden, diesen Schatz an klimaneutraler, kostengünstiger Energie, den die Studie aufgezeigt hat, zügig zu heben und für die Hamburgerinnen und Hamburger und insbesondere den Wirtschaftsstandort Hamburg nutzbar zu machen.“



# Veröffentlichungen

---

Die Jahre 2022 und 2023 waren geprägt von einer Vielzahl an wegweisenden Veröffentlichungen durch die Forschenden des CC4E. Die **Publikationen** verteilen sich auf die verschiedenen Kompetenzteams, darunter Sektorkopplung und Wasserstoff, Wind, Wärme sowie Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz.

Darüber hinaus wurden am CC4E kooperative **Promotionen** durchgeführt, die wegweisende Erkenntnisse in unterschiedlichen Forschungsbereichen ermöglichen. Zusätzlich wurden in enger Zusammenarbeit mit dem CC4E zahlreiche **Abschlussarbeiten** verfasst und veröffentlicht, die die Brücke zwischen Forschung und akademischer Ausbildung stärken.

# Publikationen

In den Jahren 2022 und 2023 wurde eine Vielzahl von Veröffentlichungen in Form von Diskussionen, Studien, Berichten und anderen Formaten erstellt. Der Fokus der folgenden Liste liegt auf den wissenschaftlichen Publikationen und Konferenzbeiträgen der Forschenden des CC4E.

Die Veröffentlichungen werden nach Kompetenzteams unterschieden:

-  Team Sektorkopplung und Wasserstoff
-  Team Wind
-  Team Wärme
-  Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

## Team Sektorkopplung und Wasserstoff

- Arthur, Richard/ Antonczyk, Sebastian/ Off, Sandra/ Scherer, Paul A. (2022): Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of wheat straw in a CSTR system with 'Synthetic Manure': impact of nickel and tungsten on methane yields, cell count, and microbiome (Peer Reviewed)
- Backes, J. / Renz, W. (2023): Improving Wind Speed Uncertainty Forecasts Using Recurrent Neural Networks, In: NLDL 2023 – Conference Northern Lights Deep Learning 2023, <https://doi.org/10.7557/18.6806> (Peer Reviewed)
- Brandes, F. / Chica Lara, A. / Struckmann, T. (2023): Parametrisation and validation of a tool for the electrical design of tubular redox flow stacks, In: International Flow Battery Forum – Prag 27.-29.06.2023, <https://flowbatteryforum.com/ifbf2023-list-of-conference-papers/>
- Decher, Simon/ Esdohr, Kirsten/ Schäfers, Hans (2022): Untersuchung der Anwendbarkeit von Stromgutschrift- und Carnotmethode zur Fahrplanerstellung von KWK-Anlagen, URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12738/12380>
- Engels, M. / Lichtenberg, G. / Knorn, S. (2023): An Approach to Structured Multilinear Modeling with Relaxed Boolean Output Functions, In: IFAC World Congress, [https://ifac.papercept.net/conferences/conferences/IFAC23/program/IFAC23\\_ContentListWeb\\_4.html#tha11](https://ifac.papercept.net/conferences/conferences/IFAC23/program/IFAC23_ContentListWeb_4.html#tha11) (Peer Reviewed)
- Engels, Marah/ Schelle, Leona/ Lichtenberg, Gerwald (2022): An Approach to Model Structure Reduction by Boolean Differentials, Workshop on Low Rank Models and Applications, <https://sites.google.com/view/lrma21/home/program/poster-session> Mons, Belgium
- Grasenack, M. / Jürgens, L./ Schäfers, H./ Girón, P. / Knorr, K. / Vogt, M. (2022): Simulation of a last-minute flexibility market for renewable power schedule deviations in Northern Germany, DOI: 10.1109/EEM54602.2022.9921130 (Peer Reviewed)
- Renz, W. / Backes, J. / Sudeikat, J.O. (2023): Risk-aware CPS Operation Scheme for Self-Organizing Balancing-Power Pools, In: IDC 2023 – 16th International Symposium on Intelligent Distributed Computing 2023, Springer Studies in Computational Intelligence 2023, in print (Peer Reviewed)
- Renz, W. / Sudeikat, J.O. / Backes, J. / Eger, K. (2022): Assessment of Functional Risks for Engineering Adaptive Smart Grid Applications, In: SEGE 2022 – 10th International Conference on Smart Energy Grid Engineering, 2022, pp. 26-32, doi: 10.1109/SEGE55279.2022.9889752 (Peer Reviewed)
- Röben, Felix / Kicherer, Nina / Jürgens, Lucas / Decher, Simon/ Schäfers, Hans / von Düsterlho, Jens-Eric (2022): Decarbonization of the Heating Sector in Hamburg Grid Constraints, Efficiency and Costs of Green Hydrogen vs. Heat Pumps, In: 2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM) (Peer Reviewed)
- Rößler, Benjamin/ Kim, Yong Sung/ Off, Sandra/ Frank, Carsten/ Schäfers, Hans (2022): Improved and pressurized H-Cell reaktor for electromethanogenesis, In: 2022 Himmelfahrtstagung on Bioprocess Engineering, DECHEMA

- Schütte, Carsten / Neubauer, Nicolas / Röben, Felix / Hölling, Marc / Genz, Luisa / Edens, Torben / Henne, Hans-Christian / Schweininger, Klaus (2022): Decarbonization of the metal industry in Hamburg: demand, efficiency and costs of green hydrogen, In: 18th International Conference on the European Energy Market (EEM) , DOI: 10.1109/EEM54602.2022.9921090 (Peer Reviewed)
- Sens, L. / Piguel, Y. / Neuling, U. / Timmerberg, S. / Wilbrand, K. / Kaltschmitt, M. (2022): Cost minimized hydrogen from solar and wind – Production and supply in the European catchment area, In: Energy Conversion and Management (2022), <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115742> (Peer Reviewed)
- Sievers, Anika / Willner, Thomas (2022): Abfallbasierte E-Fuels – Ein effizienter Ansatz aus Hamburg, In: Vortrag auf dem EID-Kraftstoffforum, Hamburg
- Sievers, Anika / Willner, Thomas (2023): Abfallbasierte Kraftstoffe aus Altfetten – Ein neues Verfahren aus Hamburg, In: Vortrag auf dem Klimakongress – Zukunftsszenarien, Universität Hamburg, Hamburg
- Stübs, M. / Kola, K. / Renz, W. (2022): Identity management balance responsible virtual energy communities, in: CSCE'22 – Springer Nature Transactions on Computational Science and Computational Intelligence, Springer print delayed, <https://american-cse.org/csce2022/publisher> (Peer Reviewed)
- Vuthi, P. / Peters, I. / Sudeikat, J. (2022): Agent-based modeling (ABM) for urban neighborhood energy systems: literature review and proposal for an all integrative ABM approach, In: Energy Inform 5 (Suppl 4), 55 (2022), <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00247-y> (Peer Reviewed)
- Weidemann, Richard / Timmerberg, Sebastian (2023): Energy Demand of Direct-Air-Capture for offsetting residual emissions with focus on the German cement industry, In: International Ruhr Energy Conference, Essen
- Willner, Thomas (2022): Advanced Fuels & Beyond – Alternative Fuels vs. Electric Mobility, In: Presentation at the World Future Fuel Summit WFFS 2022, New Delhi
- Willner, Thomas (2022): Waste to Fuel mit READi von Nexxoil (Synthetische Kraftstoffe aus organischem Abfall), In: Vortrag auf dem Smart-Energy-Symposium, Hamburg
- Willner, Thomas / Sievers, Anika (2022): Highly Efficient Production of Waste-Based eFuels – an Approach from Hamburg, In: Presentation at the international conference "Vehicle Propulsion with Renewable Fuels", Stuttgart
- Willner, Thomas / Sievers, Anika (2022): Processing non-refined waste fats into hydrocarbon products – the Hamburg approach, In: Presentation at the 7th Leipzig Symposium of the DGF, Leipzig
- Willner, Thomas / Sievers, Anika (2023): Abfallbasierte E-Fuels aus ungereinigten Altfetten – Ein neues Verfahren aus Hamburg, In: Vortrag auf der DGF-Jahrestagung, Hamburg
- Willner, Thomas / Sievers, Anika (2023): Hocheffiziente Herstellung abfallbasierter E-Fuels – Ein neues Produktionsverfahren aus Hamburg, In: Vortrag auf dem EID-Kraftstoffforum, Hamburg

## Team Wind

- Anstock, Fabian (2023): Comparison of two- and three-bladed 20MW floating turbines focusing on masses and dynamic loads, In: Vortrag auf der Wind Energy Science Conference (WESC) 2023, Glasgow
- Anstock, Fabian/ Kessler, Alois / Schorbach, Vera (2023): Increased tower eigenfrequencies on floating foundations and their implications for large two- and three-bladed turbines , In: IOP Journal of Physics: Conference Series (Peer Reviewed)
- Dalhoff, P. / Störtenbecker S. (2022): Neue Anlagenkonzepte – X-Multirotor, In: Vortrag 19. Windmesse Symposium Hamburg
- Dalhoff, Peter (2023): Design and Cost of Energy for a 20 MW-Multi Rotor Wind Turbine System, In: Vortrag auf der Wind Energy Science Conference (WESC) 2023, Glasgow
- Grätsch, T. (2022): Vibroakustische Simulation von Antriebssträngen in Windkraftanlagen mit FEM, In: 20. Norddeutsches Simulationsforum, Hamburg
- Grätsch, T. / Zarnekow, M. / Ihlenburg, F. (2022): Development of large-scale finite element models for vibroacoustic analysis, International Conference on Engineering Computational Technology, Montpellier, France
- Jamieson, P. / Simao Ferreira, C. / Dalhoff, P. / Störtenbecker, S. / Collu, M. / Salo, E. / McMillan, D. / McMorland, J. / Morgan, L. / Buck, A. (2022): Development of a multi rotor floating offshore system based on vertical axis wind turbines, DOI: 10.1088/1742-6596/2257/1/012002 (Peer Reviewed)
- Khisraw, Abdullah (2023): Analysis and Comparison of O&M Efforts of a 200 MW Offshore Wind Farm of Multirotor versus Single Rotor Systems, In: Vortrag auf der Wind Energy Science Conference (WESC) 2023, Glasgow

- Köper, Sebastian / Rokita, Dagmar / Ueberle, Friedrich (2023): Untersuchung zu den Auswirkungen der Tages- und Jahreszeit auf Soundscapes in einem Windpark, In: Vortrag DAGA 2023 – 49. Jahrestagung für Akustik
- McMorland, Jade / Khisraw, Abdullah / Dalhoff, Peter / Störtenbecker, Sven / Jamieson, Peter (2023): Multi-Rotor Wind Turbine Systems: An Exploration of Failure Rates and Failure Classification, In: IOP Journal of Physics: Conference Series, Trondheim, Norwegen (Peer Reviewed)
- Schorbach, Vera / Weiland, Tilo Alexander (2022): Wind as a back-up energy source for mars missions, In: Acta Astronautica, Volume 191, DOI: 10.1016/j.actaastro.2021.11.013
- Störtenbecker, Sven (2023): Load and Power Averaging in Multi Rotor Wind Turbine Systems, In: Vortrag auf der Wind Energy Science Conference (WESC) 2023, Glasgow
- Warner, Markus (2023): Energy yield comparison for different yaw strategies of 20 MW multi-rotor wind turbine systems, In: Vortrag auf der Wind Energy Science Conference (WESC) 2023, Glasgow
- Warner, Markus / Eichelmann, Tobias / Anselm, Rudolf / Störtenbecker, Sven / Dalhoff, Peter (2023): Yaw control strategies for 20 MW multi-rotor systems , In: IOP Journal of Physics: Conference Series, Trondheim, Norwegen (Peer Reviewed)
- Zarnekow, M. / Grätsch, T. / Ihlenburg, F. (2022): A Hybrid Multistep Procedure for the Vibroacoustic Simulation of Noise Emission from Wind Turbines, In: Acoustics 5 (1), 1-27, 2022 (Peer Reviewed)
- Zarnekow, M. / Grätsch, T. / Ihlenburg, F. (2022): Computational simulation of noise emission from wind turbine gear-boxes: FE modelling and validation with measurements, International Conference on Noise and Vibration Engineering, Leuven, Belgium

## ■ Team Wärme

- Lorenzen, Peter / Alvarez-Bel, Carlos (2022): Variable cost evaluation of heating plants in district heating systems considering the temperature impact, In Applied Energy, Volume 305, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117909>. (Peer Reviewed)
- Suhonen, Janne / Lindholm, Joakim/ Verbeck, Moritz / Ju, Yuchen/ Jokisalo, Juha / Kosonen, Risto/ Janßen, Philipp/ Schäfers, Hans (2023): Energy, cost and emission saving potential of demand response and peak power limiting in the German district heating system

## ■ Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

- Arndt, Pia (2022): Transformation & Gesellschaft: Ein Stimmungsbild – Studie zur Energiewende und der Akzeptanz von Wasserstoff. Repräsentative Online-Erhebung 2022
- Arndt, Pia / Saidi, Astrid (2022): Auf dem Weg zur Klimaneutralität: Einflussgrößen für eine gelingende Transformation des Energiesystems – Einblicke in die Perspektiven von Akteur\*innen (2022)
- Bannert, Jonas / Schütte, Carsten / von Düsterlho, Jens-Eric (2023): Increasing the share of renewable energy in the transport sector: effects of modified multiple crediting factors in the German environmental economic instrument GHG Quota ("THG-Minderungsquote"), 10.1109/EEM58374.2023.10161865
- Bannert, Jonas / von Düsterlho, Jens-Eric / Heybrock, Britta (2023): Grüner Wasserstoff für die Energiewende: Potentiale, Grenzen und Prioritäten; Teil 3: Wasserstoffanwendung im Verkehrssektor , DOI: 10.13140/RG.2.2.17602.35525
- Doucet, Felix / von Düsterlho, Jens-Eric / Schäfers, Hans / Jürgens, Lucas / Schütte, Carsten / Barkow, Hagen/ Neubauer, Nicolas / Heybrock, Britta / Jensen, Nanke (2023): Grüner Wasserstoff für die Energiewende : Potentiale, Grenzen und Prioritäten ; Teil 4: Wasserstoffanwendung im Industriesektor
- Doucet, Felix / Jürgens, Lucas / Barkow, Hagen / Schütte, Carsten / Neubauer, Nicolas / von Düsterlho, Eric / Schäfers, Hans (2023): Decarbonization of the Industry -Demand and Cost Comparison of Green Hydrogen in Germany, In: 19th International Conference on the European Energy Market (EEM), DOI: 10.1109/EEM58374.2023.10161836 (Peer Reviewed)
- Doucet, Felix / von Düsterlho, Jens-Eric (2023): Grüner Wasserstoff für die Energiewende: Potentiale, Grenzen und Prioritäten; Teil 2: Wasserstoffanwendung im Gebäudesektor
- Drews, Nikolai (2022): X-Energy Teilprojekt X-Radar: Synopse der bisherigen Ergebnisse, URI: <http://hdl.handle.net/20.500.12738/13509>

- Drews, Nikolai (2023): Bedarfsgesteuerte Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen und soziale Akzeptanz von Windenergie. Projektergebnisse X-Energy Teilprojekt X-Radar.
- Dunna, L. / Meloth, S. / Reinhold, S. / Zeitler, B. / Taefi, T. / Kunz, V.D. (2023): MULTICOPTER BAT SURVEILLANCE: NOISE EMISSION VERSUS THE HEARING ABILITIES OF BATS, <https://cww2022-live.org/> (Peer Reviewed)
- Dunna, L. / Meloth, S. / Reinhold, S. / Zeitler, B. / Taefi, T. / Kunz, V.D. (2023): Surveillance UAVs in a Bat's World, In: Conference Proceedings, <https://www.daga2023.de/>
- Dunna, Lohith / Meloth, Swaroop / Reinhold, Steffi / Zeitler, Berndt / Taefi, Tessa T. / Kunz, Veit Dominik (2023): Surveillance UAVs in a Bat's World, In: DAGA 2023, Proceedings of the 49. Jahrestagung für Akustik, Hamburg, Germany, [https://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_2023/data/daga23\\_proceedings.pdf](https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2023/data/daga23_proceedings.pdf) (Peer Reviewed)
- Dunna, Lohith / Meloth, Swaroop / Reinhold, Steffi / Zeitler, Berndt / Taefi, Tessa T. / Kunz, Veit Dominik (2023): Multicopter Bat Surveillance: Noise Emission versus the Hearing Abilities of Bats, In: Poster presentation at the Conference on Wind Energy and Wildlife (CWW23), <https://www.conferences.uni-hamburg.de/event/387/book-of-abstracts.pdf> (Peer Reviewed)
- J.-E. von Düsterlho/ M. Mohr (2023): Arbeitspapier "Sustainable Finance: Neue Regelwerke stellen Unternehmen vor anspruchsvolle Berichtspflichten", Hamburg
- Krapivnitckaia, P. / Kreuzfeldt, J. / Schritt, H. / Reimers, H. / Floeter, C. / Reich, M. / Kunz, V. D. (2023): Detection and validation of common noctule bats (*Nyctalus noctula*) with a pulse radar and acoustic monitoring in the proximity of an onshore wind turbine, in: Manuscript submitted for publication in a journal
- Krapivnitckaia, Polina / Schritt, Helge / Kreuzfeldt, Jannes / Floeter, Carolin / Reich, Michael / Kunz, Veit Dominik (2022): Improving the detection of common noctule (*Nyctalus noctula*) in onshore wind parks at nacelle height: comparing radar with ultrasound recordings, In: Presentation at the Conference on Wind energy and Wildlife impacts – CWW 2022, Egmond aan Zee, Netherlands
- Lichtenberg, Lia / von Düsterlho, Jens-Eric / Blohm, Marina '(2023): Grüner Wasserstoff für die Energiewende: Potentiale, Grenzen und Prioritäten ; Teil 5: Wasserstoff-Erzeugung
- Petersen, Iwer (2022): Towards extended reality soundwalks as community noise communication tool, In: EnviroInfo 2022, URL: <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/39402> (Peer Reviewed)
- Petersen, Iwer/ Wendholt, Birgit (2023): Herausforderungen auf dem Weg zu Extended-Reality Soundwalks, URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12738/13683> (Peer Reviewed)
- Roswag, Marc / Fietz, Dr. Joanna / Roswag, Dr. Matthias / Roswag, Dr. Anna / Taefi, Dr. Tessa (2023): Bat protection in the sky: Investigating effects of unmanned aerial systems for acoustic bat surveys, In: Oral presentation at the National Bat Conference 2023 – Nottingham, UK (Peer Reviewed)
- Roswag, Marc / Fietz, Dr. Joanna/ Roswag, Dr. Matthias / Roswag, Dr. Anna / Taefi, Dr. Tessa (2023): Optimizing UAS for Bat Activity Monitoring near Wind Turbines: Investigating Deterrent and habituation Effects, In: Poster presentation at the Conference on Wind Energy and Wildlife (CWW23), Sibenic, Croatia (Peer Reviewed)
- Steinhoff, L. / Koschlik, A.-K. / Arts, E. / Gomez, M.S. / Raddatz, F. / Kunz, V.D (2023): DEVELOPMENT OF AN ACOUSTIC FAULT DIAGNOSIS SYSTEM FOR UAV PROPELLER BLADES, <https://dlrk2023.dglr.de/>
- Steinhoff, L. / Koschlik, A.-K. / Gomez, M.S. / Arts, E. / Kunz, V.D. / Raddatz, F. / Wende, G. (2023): From Sound to Vision: Applying Beamforming to Reduce Parasitic Noise for Fault Detection, In: Conference Proceedings, <https://www.daga2023.de/>
- Taefi, Tessa T. / Roswag, Marc / Kunz, Veit Dominik / Peklar, Gerald / Roswag, Anna / Roswag, Matthias/ Stölzel, Sven (2023): In the Pursuit of Eco-Friendly Wind Energy – Unmanned Aerial Systems and Computational Strategies, In: Poster presentation at Digital Total: Computing & Data Science in Research in Hamburg (Peer Reviewed)
- von Düsterlho, Jens-Eric/ Bannert, Jonas/ Röben, Felix / Lichtenberg, Lia Maria/ Heybrock, Britta (2023): Grüner Wasserstoff für die Energiewende: Potentiale, Grenzen und Prioritäten ; Teil 1: Grüner Wasserstoff als Markt der Zukunft, DOI: 10.13140/RG.2.2.24313.24160

# Promotionen

Aktuell werden am CC4E 21 Promotionen kooperativ durch unsere Forschenden durchgeführt. Die Promotionen sind in folgende Kompetenzteams einzuordnen:

- Team Sektorkopplung und Wasserstoff
- Team Wind
- Team Wärme
- Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

## ■ Team Sektorkopplung und Wasserstoff

Brandes, Fabian: Establishing tubular redox flow battery stacks. Universität Politècnica de València // vls. Promotionsabschluss 2026

Engels, Marah: Model Reduction for Model-Based Controller Design of Energy Networks using Boolean Differentials. TU Berlin // vls. Promotionsabschluss 2025

Grasenack, Martin: Netzwiederaufbau unter Einbeziehung von Sektorkopplung. Universität Stuttgart // vls. Promotionsabschluss 2024

Doucet (geb. Röben), Felix: Smart Balancing of Electrical Power – Transparent Real-Time Market for Cost Efficient Power Balancing. Europauniversität Flensburg // Promotionsabschluss 2022

Rößler, Benjamin: Electromethanogenesis without adding Hydrogen in a novel Pressure-Controlled Reactor. TUHH // vls. Promotionsabschluss 2023

Trinkhahn, Christian: Realbedarfsoptimierung bei der Dimensionierung von Energiespeichern. TU Berlin // vls. Promotionsabschluss 2023

Vuthi, Petrit: Das Quartier als Systemdienstleister für die Energiewende: Betriebskonzeptanalyse von Anlagenparks für die Bereitstellung von Netzdienstleistungen bis hin zur Autarkie mit Hilfe eines gekoppelten Simulationssystems. HafenCity Universität

## ■ Team Wind

Anstock, Fabian: Conceptual design comparisons of two- and three-bladed 20 MW offshore wind turbine with emphasis on dynamical loads. Leibniz Universität Hannover // vls. Promotionsabschluss 2024

Khisraw, Abdullah: Design optimization of multirotor wind turbines for operation and maintenance (Arbeitstitel). TU Hamburg // vls. Promotionsabschluss 2026

Kim, Manuel: Lastanalyse am Azimutsystem großer Windenergieanlagen. Uni Wuppertal // Promotionsabschluss 2022

Mellert (geb. Köper), Sebastian: Verbesserte Schallemissionsmessung im Umfeld von Flughäfen und Windparks durch den Einsatz von Array-Messtechnik. HafenCity Universität // vsl. Promotionsabschluss 2023

Petersen, Iwer: Perceptual evaluation of spatial audio pipelines for realistic virtual-reality soundscapes. HafenCity Universität

Störtenbecker, Sven: Auslegung und Optimierung von Multirotor Tragstrukturen (Arbeitstitel). HSU Hamburg // vls. Promotionsabschluss 2024

Wenzel, Tobias: Emission control and preventive maintenance of wind turbines based on a novel, robust, low-cost acoustical monitoring system with special resolution. University of the West of Scotland

Zarnekow, Marc: Vibroakustische Optimierung der Hauptantriebsstrangkomponenten einer Windenergieanlage. HSU Hamburg // vls. Promotionsabschluss 2024

## ■ Team Wärme

Lorenzen, Peter: A Comprehensive Framework and Associated Methodology for the Design, Operative Planning, and Operation of District Heating Systems to Facilitate the Transition Towards a Fully Renewable Heat Supply. Universität Politècnica de València // Promotionsabschluss 2022

Trosdorff, Jan: Bedarfsprognosen für intelligente Wärmenetze. HafenCity Universität // vls. Promotionsabschluss 2024

## ■ Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

Krapivnitckaia, Polina: Bat Detection and Flight Pattern Study of Bats in a Wind Park Using a Combination of Detection Methods as a Basis for Mitigation Measures. Leibniz Universität Hannover // vls. Promotionsabschluss 2024

Marc Roswag: Nutzbarkeit von Drohnen für die akustische Erfassung von Fledermäusen in der Nähe von Windenergieanlagen (Arbeitstitel). Universität Hohenheim // vls. Promotionsabschluss 2025

# Abschlussarbeiten

In den Jahren 2022 und 2023 wurden im Rahmen der zahlreichen Forschungsprojekte am CC4E eine Reihe von Abschlussarbeiten geschrieben und veröffentlicht.

Die Abschlussarbeiten sind in folgende Kompetenzteams einzuordnen:

- Team Sektorkopplung und Wasserstoff
- Team Wind
- Team Wärme
- Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

## ■ Team Sektorkopplung und Wasserstoff

Ahlbrecht, Saskia (2022): Versuche zur Bestimmung der Adsorptionsleistung der Direct-Air-Capture Anlage des TEC bei unterschiedlichen atmosphärischen Konditionen, Hamburg, (Bachelorarbeit)

Ángel, Catalina Maria Machado (2022): Closed carbon loop optimal scheduling for methane production, Hamburg (Masterarbeit)

Barkow, Hagen / Düllmann Huitron, Daniel / Koopmann, Francisco Jimenez/ Lahl, Charlotte / Saadati, Erfan (2023): Speicherung von Industrieruß, als Nebenprodukt der Erdgas-Plasmalyse, im Boden, Hamburg (Studentisches Projekt)

Brunner, Björn Daniel (2022): Fahrplan-Entwicklung des BHKWs und der Wärmepumpe für eine energiesystemdienliche Optimierung der Wärmeversorgung am Technologiezentrum Energie-Campus Bergedorf, Hamburg (Masterarbeit)

Büsch, Jakob (2023): Modellbasierte Entwicklung von Modulen für Stacks tubulärer Redox-Flow-Batteriezellen, Hamburg (Masterarbeit)

Carl, Tobias (2022): Virtuelle Kraftwerke: Versorgungsseitige Clusterung unter den Anforderungen im Kontext der Energiewende Hamburg, Hamburg (Bachelorarbeit)

- Chavan, Raturaj Rajendra (2022): Self-consumption of residential PV system in Hamburg, Hamburg, (Masterarbeit)
- Dosz, Steven (2022): Prozessentwicklung zur partikelbildungsfreien Reaktivdestillation am Beispiel von Rapsöl, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Farrenkopf, Sebastian (2022): Konzept und Entwicklung einer Leitwarte für die Sektorkopplung mit Wasserstoff am Anwendungsfall Elektrolyse mit biologischer Methanisierung, Hamburg (Masterarbeit)
- Gotthilf, Guillermo (2023): Verfahrenstechnische Simulation und Kostenschätzung eines LNG-Terminals, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Graf, Eike (2023): Untersuchung von Pyrolyseprodukten aus Polyolefinen im READi Verfahren, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Harry, Max (2022): Katalytische Wasserstoffbehandlung von gekrackten Pflanzenölen in Richtung von Kraftstoffkomponenten im Benzin-, Kerosin- und Dieselpbereich, Hamburg (Masterarbeit)
- Hölk, Marvin / Krohn, Jannick / Milicevic, Marin (2022): Modellierung und Auslegung einer Laboranlage zur thermischen Pyrolyse und Reaktivdestillation von Kunststoffen, Hamburg (Studentisches Projekt)
- Jacobs, Julian (2022): Optimierung des Ausnutzungsgrades vom Netzaschlusspunkt eines Windkraft-Umspannwerks durch die Integration von Photovoltaik, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Jandt, Tobias (2022): Energiebilanzierung des Power-to-Gas Prozesses am Technologiezentrum Energie-Campus Bergedorf, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Kapust, Jan-Malte (2023): Modellierung einer Power to Liquid-Anlage mit einer Mikrowellen-Plasmapolymerisation als Gaswandlungstechnologie und anschließender Fischer-Tropsch-Synthese, Hamburg (Masterarbeit)
- Kozlenko, Olessya (2022): Optimierungsmodell für die Anlagenauslegung in der Energiezentrale des KEBAP als Grundlage für ein nachhaltiges Wärmeversorgungskonzept im Quartier, Hamburg (Masterarbeit)
- Neubauer, Nicolas (2023): Model-Based Techno-Economic Optimization of a Grid Serving Electrolyzer on an Industrial Scale, Hamburg, [https://www.researchgate.net/publication/368853524\\_Model-Based\\_Techno-Economic\\_Optimization\\_of\\_Grid\\_Serving\\_Electrolyzers\\_on\\_an\\_Industrial\\_Scale](https://www.researchgate.net/publication/368853524_Model-Based_Techno-Economic_Optimization_of_Grid_Serving_Electrolyzers_on_an_Industrial_Scale), (Masterarbeit)
- Ramthun, Jasper (2024): In situ-Konditionierung tubulärer Membranen für Redox-Flow-Batterien, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Rickert, Moritz (2023): Potential analysis of the integration of flexibly operated Direct Air Capture (DAC) plants in the heat and power system using the example of Hamburg, Hamburg (Masterarbeit)
- Rollmann, Julius (2022): Kostenanalyse der Umrüstung deutscher LNG-Terminals aus Wasserstoff, Hamburg (Masterarbeit)
- Sharma, Santschit (2023): Entwicklung eines Energie- und CO<sub>2</sub> Versorgungskonzepts auf Basis erneuerbarer Energien für einen Hamburger Gemüseanbaubetrieb, Hamburg (Masterarbeit)
- Uhlenberg, Enrico (2022): Development of a procedure for extraction of multilinear parameters from standardised non-linear models, Hamburg, <https://reposit.haw-hamburg.de/handle/20.500.12738/13836> (Bachelorarbeit)
- Völker, Konrad (2022): Hydrierende Aufarbeitung von gekrackten Pflanzenölen aus der thermochemischen Behandlung von Altfetten und -ölen, Karlsruhe (Masterarbeit)
- Weidemann, Richard (2023): Entwicklung eines Modells zur Untersuchung unterschiedlicher Szenarien zur Markteinführung von DAC-Anlagen in Unternehmen, Hamburg (Masterarbeit)

## Team Wind

- Franz, Tobias (2022): Strukturanalyse sowie Parameterstudie der Turm- und Jacketstruktur einer 20 MW Offshore Windkraftanlage im Hinblick auf die erhöhten Lasten infolge des Umbaus zu einer Zweiblattanlage, Hamburg (Masterarbeit)
- Hinsch, Malte (2022): Two-bladed floating offshore wind turbines – Comparison of existing floating support structure concepts and aero-hydro-servo-elastic simulation, Hamburg (Masterarbeit)
- Kowollik, Martin (2022): Aufbau eines OPEX-Modells von zukünftigen Offshore-Windparks im Gigawattbereich, Hamburg (Masterarbeit)
- Nöldeke, Heiko (2022): Entwicklung und CAD-Modellierung einer Pendelnabe für eine Zweiblatt-windenergieanlage mit besonderem Fokus auf die Pendelbremse, Hamburg (Bachelorarbeit)
- Patel, Dhwanit (2022): Development of a CAPEX cost model to estimate the difference between the components of a 20MW three- & two- bladed turbine, Hamburg (Masterarbeit)
- Tiena, D. (2022): Ermüdungsberechnung (Fatigue Analysis) eines Windenergieanlagen-Turms, Hamburg (Masterarbeit)

## ■ Team Wärme

Bildmann, Christoph (2023): Nachhaltige Wärmeversorgung eines Gewerbegebiets mit innovativer Kraft-Wärme-Kopplung und Untersuchung dessen strommarktdienlicher Eigenschaften, Hamburg (Masterarbeit)

Mashachka, Alena (2023): Untersuchungen zur Umrüstung der Heizungsanlage eines großen Bürogebäudes aus den 90er Jahren auf Wärmepumpenbetrieb, Hamburg (Bachelorarbeit)

Milde, Jens (2022): Statistische Datenaufbereitung im Bereich der Fernwärme mit Python, Hamburg (Masterarbeit)

Pagel, Valerian (2023): Vergleichende Analyse der Hydraulischen Schaltungen im Heizkreis einer RLT-Anlage, Hamburg (Masterarbeit)

## ■ Team Gesellschaftliche Transformation und Akzeptanz

Bayer, Finn (2022): Analyse von Ultraschallmikrofonsystemen zur Detektion und Identifikation von Fledermäusen, Hamburg (Bachelorarbeit)

Fernau, Loic (2022): UWB Follow Me, Hamburg (Bachelorarbeit)

Heybrock, Britta (2022): Vergleich alternativer Antriebstechnologien eines Abfallsammelfahrzeugs – eine empirische Nutzwertanalyse verschiedener Entsorgungsfachbetriebe in Norddeutschland, Hamburg (Masterarbeit)

Mauson, Kilian (2022): Künstliche neuronale Netze für die Bildklassifikation von Fledermausrufen, Hamburg (Bachelorarbeit)



## IMPRESSUM

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E)  
Steindamm 96  
20099 Hamburg

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers, Leiter des CC4E

Gestaltung:  
Frederik Engelbrecht, Nina Laskowski

Redaktion:  
Jenny Capel, Nina Laskowski & Inga Mohwinkel

**SPRECHEN SIE UNS  
GERNE AN.**

Pressekontakt:  
[cc4e-presse@haw-hamburg.de](mailto:cc4e-presse@haw-hamburg.de)



[www.cc4e.de](http://www.cc4e.de)

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**  
Competence Center für Erneuerbare  
Energien und EnergieEffizienz (CC4E)

Steindamm 96, 20099 Hamburg

---