

DAS ENERGIE-INSTITUT IN ESSEN



[www.gwi-essen.de](http://www.gwi-essen.de)



# Tätigkeitsbericht 2023

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.



## INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeiner Überblick .....	4
Bildungswerk .....	10
Cluster- und Netzwerkmanagement .....	12
Prüflaboratorium .....	18
Marktraumumstellung .....	20
Brennstoff- und Gerätetechnik .....	22
Industrie- und Feuerungstechnik .....	30
Publikationen .....	42
Impressum .....	52

# Allgemeiner Überblick



**ABBILDUNG 1: WECHSEL IM GWI-VORSTAND, V. L. N. R.: DR. ROLF ALBUS, PROF. KLAUS GÖRNER, PROF. CHRISTOPH WIELAND  
QUELLE: DIRK BANNERT, 2023**

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) kann auf ein sehr ereignisreiches Jahr 2023 zurückblicken, das nicht nur wirtschaftliche, sondern insbesondere thematische und organisatorische Akzente gesetzt hat.

Am 01.09.2023 fand der ordentliche Wechsel im Vorstand des Gas- und Wärme-Instituts Essen e.V. statt. Prof. Dr. Christoph Wieland wurde vom Verwaltungsrat als Nachfolger von Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner als Wissenschaftlicher Vorstand bestellt. Nach über zwei Jahrzehnten engagierter und wegweisender Arbeit verließ Prof. Görner den Vorstand des GWI und trat in den wohlverdienten Ruhestand ein, s. Abbildung 1.

„Prof. Görner hat das GWI mit unermüdlichem Einsatz und visionärer Führungskraft geprägt. Seine hervorragenden Verbindungen in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik waren maßgeblich daran beteiligt, das GWI sowohl regional als auch international zu positionieren. Die zahlreichen Forschungsprojekte, die in seiner Amtszeit initiiert wurden, zeugen

von seiner außergewöhnlichen Arbeit“, so Dr. Rolf Albus, Geschäftsführender Vorstand des GWI.

Prof. Görner, der Verfahrenstechnik an der Universität Stuttgart studierte und dort promovierte und habilitierte, hat seine Fachkompetenz sowohl in der Industrie als auch in der akademischen Welt unter Beweis gestellt. Er übernahm 1996 den Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik an der Universität Duisburg-Essen und verantwortete seit 2002 als Wissenschaftlicher Vorstand die Forschung des GWI.

Prof. Christoph Wieland, ein führender Experte im Bereich der Energie- und Prozesstechnik, übernahm bereits im Februar 2022 als Nachfolger von Prof. Görner die Leitung des Lehrstuhls für Energieverfahrenstechnik und Energiesysteme der Universität Duisburg-Essen und bringt nun seine umfangreiche Erfahrung und Expertise in das GWI ein. Prof. Wieland absolvierte sein Studium im Maschinenbau mit Schwerpunkt auf Energie- und Prozesstechnik an der Technischen Universität München (TUM), wo er





- 1) Nebenamtlich bestellt; Hauptamt: Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik und Energiesysteme der Universität Duisburg-Essen  
2) Kommissarisch

ABBILDUNG 2: ORGANISATIONSSTRUKTUR DES GWI (STAND 09/2023)

2006 sein Diplom erhielt. Seine wissenschaftliche Karriere an der TUM führte ihn auch an die National Technical University of Athens, aber auch als Geschäftsführer an die Munich School of Engineering, wo er die Energieforschung der TUM vernetzte.

Die Änderungen im GWI-Vorstand finden sich auch in der bewährten Organisationsstruktur des GWI mit den Forschungsabteilungen Brennstoff- und Gerätetechnik und Industrie- und Feuerungstechnik sowie dem Bildungswerk, dem Prüflabor und der Marktraumumstellung wieder, s. Abbildung 2. Den operativen Abteilungen stehen die Unterstützungsfunktionen GWI-Services, F&E-Koordination und Geschäftsfeldentwicklung sowie das Cluster- und Netzwerkmanagement zur Seite.

Im Rahmen des Neubauvorhabens „Schulungs- und Verwaltungszentrum“ konnte die letzte Baumaßnahme mit Fertigstellung des Parkplatzes an der Stelle des alten Verwaltungsgebäudes abgeschlossen werden, s. Abbildung 3.

Der Neubau wurde im Jahr 2018 so konzipiert, um dem traditionell praxisnah orientierten Seminarangebot des GWI-Bildungswerks einerseits ansprechende Räumlichkeiten sowie eine leistungsfähige und moderne Tagungstechnik zur Verfügung zu stellen, andererseits durch die Integration und somit schnelle Erreichbarkeit der Praxisschulungsanlagen im Neubau möglichst kurze Wege für ein effizientes Arbeiten zu ermöglichen.



ABBILDUNG 3: BLICK AUF DEN INSTITUTSSTANDORT DES GAS- UND WÄRME-INSTITUTS ESSEN E.V., QUELLE: GWI, 2023

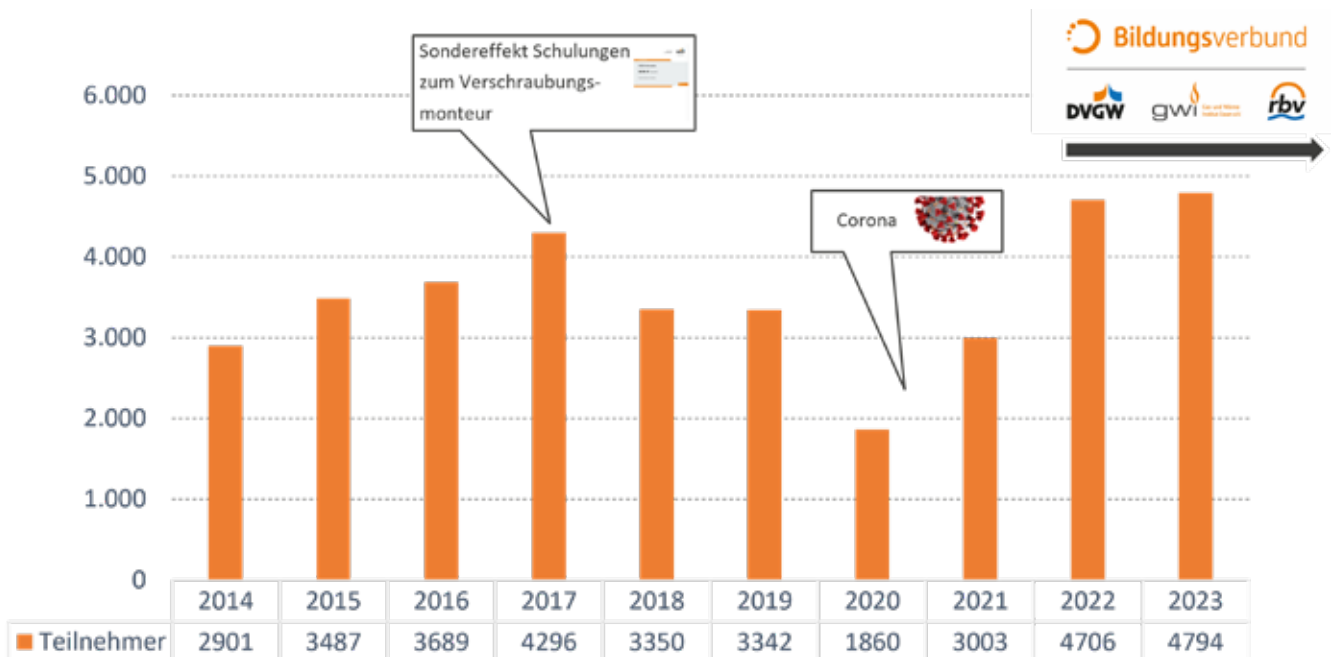


ABBILDUNG 4: ENTWICKLUNG DER TEILNEHMERZAHLEN DES GWI-BILDUNGSWERKS, QUELLE: GWI, 2024  
(LOGO DES BILDUNGSVERBUNDS DVGW, GWI UND RBV, QUELLE: DVGW, GWI UND RBV, 2022)

Diese wegweisende Zukunftsinvestition des GWI trägt mittlerweile Früchte. Mit Start des Bildungsverbundes mit dem DVGW e.V. und dem rbv e.V. im Jahr 2022, welcher zum Ziel hat, einen hohen Qualitätsstandard der beruflichen Bildung zu gewährleisten, stiegen die Teilnehmerzahlen deutlich an, wobei Nachholeffekte aus der Coronakrise sich immer noch bemerkbar machen, s. Abbildung 4.

Der Ausbau des Institutsstandorts um weitere, zukunftsweisende Versuchsinfrastrukturen ist dabei noch längst nicht abgeschlossen. Diese Versuchsinfrastrukturen – das LivingLab des GWI – umfassen nun

- eine LNG-Tankanlage mit bis zu 24 Tonnen Fassungsvermögen,
- eine Hybrid-SOFC-Anlage mit einer elektri-

schen Gesamtleistung von 200 kW<sub>el</sub>,

- eine digitale Infrastruktur auf Basis von intelligenten Laternen, die über Funk miteinander kommunizieren,
- eine Ammoniak-Speichereinrichtung mit einer Kapazität von 2 x 500 kg NH<sub>3</sub>

und werden aktuell erweitert um

- Integration einer Wasserstoff-Speichereinrichtung mit einem Fassungsvermögen von ca. 50 m<sup>3</sup>,
- Aufbau einer PV-Anlage mit ca. 95 kWp,
- Lademöglichkeiten für die Elektromobilität,
- Integration einer Redox-Flow-Batterie.

Das GWI konnte im Jahr 2023 Erträge in Höhe von 16.810 T€ erwirtschaften. Mit Auslaufen des MRU-Großprojekts in Koblenz zum Jahresende 2023 wird für 2024 mit entsprechend niedrigeren Erträgen geplant. Die Ertragsentwicklung des GWI seit dem Jahr 2010 ist in Abbildung 5 dargestellt. Zum 31.12.2023 zählte das Institut insgesamt 96 fest angestellte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,

18 Studierende und 3 Aushilfen. Mit Auslaufen des MRU-Großprojekts in Koblenz mussten auch die Personalkapazitäten in der Abteilung MRU des GWI entsprechend angepasst werden, sodass der Mitarbeiterstamm des GWI sich von 111 auf 96 reduzierte. Die Personalentwicklung in den Bereichen Forschung, Prüfung und Weiterbildung ist stabil, s. Abbildung 6.

in T€	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Erträge	4.834	4.857	4.128	6.110	7.921	6.579	7.164	8.505	10.568	11.504	13.504	15.184	16.597	16.810	11.841

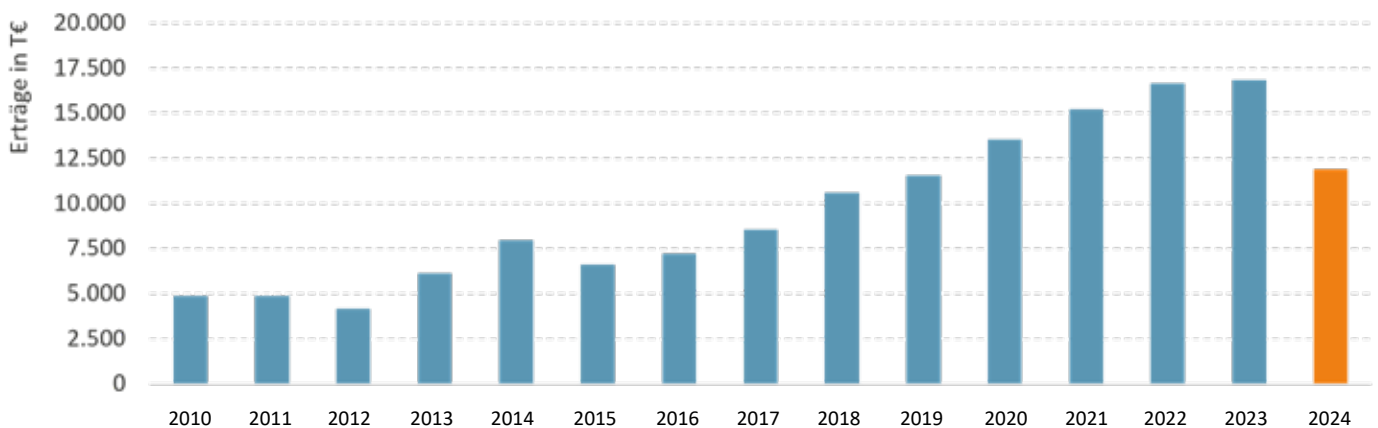


ABBILDUNG 5: WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG SEIT 2010, 2024 PLANZAHLEN

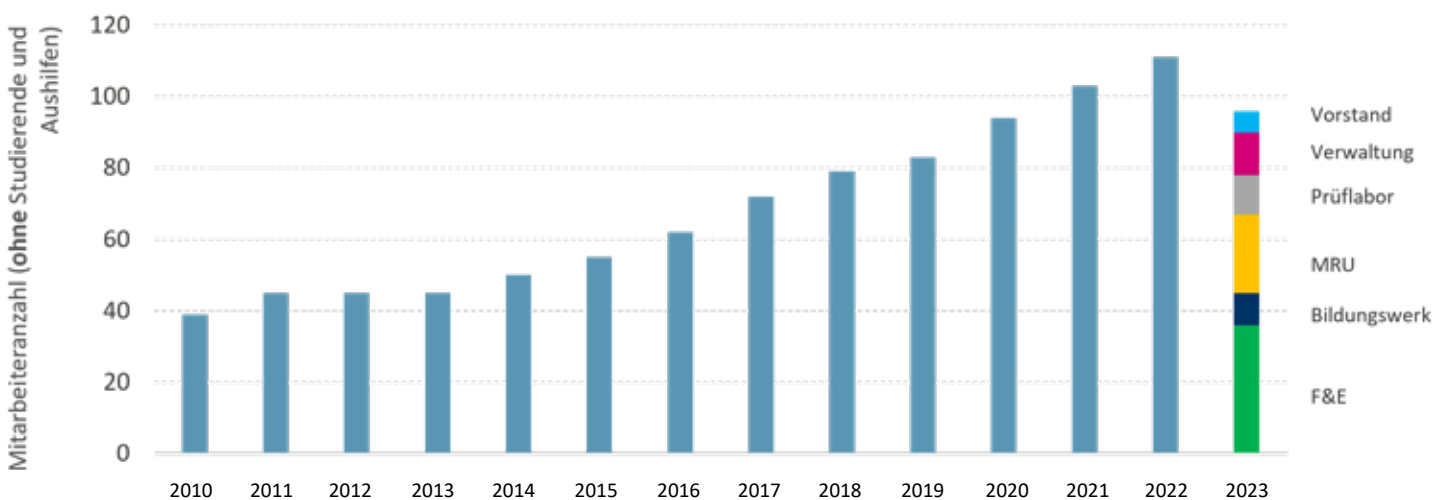


ABBILDUNG 6: PERSONALENTWICKLUNG SEIT 2010



ABBILDUNG 7: MITGLIEDSUNTERNEHMEN DES GWI, QUELLE: DIVERSE, 2024

Traditionell ist das GWI seinen Mitgliedsunternehmen verpflichtet, die aus den verschiedensten Bereichen der Energiebranche stammen, s. Abbildung 7.

Das Jahr 2023 war für alle Abteilungen des GWI aus thematischer und wirtschaftlicher Sicht ein insgesamt sehr erfolgreiches Jahr. Die Forschungsabteilungen konnten das Zukunftsthema Wasserstoff sowie die Ammoniaknutzung in Industriefeuerun-

gen im Rahmen verschiedenster Forschungsprojekte verstetigen. Das Bildungswerk konnte zudem mit den Forschungsabteilungen und der Essener Wirtschaftsförderung EWG im Rahmen einer Kooperation neue Veranstaltungsformate einführen, die die Verknüpfung von Forschung, Prüfung und Weiterbildung eindrucksvoll unterstreichen, s. Abbildung 8.

	<p><b>Energiewende Industrie</b> Schwerpunkt Resilienz 16. März 2023</p>	<p>Chemie – Aluminium – Glas – Eisen – Grundstoffe Technologien Brennstoffe – Energieeffizienz</p>
	<p><b>Essener Wasserstoff-Impulse</b> H2-Qualifikation, Aus- u. Weiterbildung 14. August 2023</p>	<p>Bedarfe – Angebote – Information – Orientierung Sicht des Arbeitnehmers – Sicht des Unternehmens</p>
	<p><b>Ammoniak – mehr als ein Molekül</b> 24. Oktober 2023</p>	<p>Herkunft – Transport – Lagerung – Anlieferung Cracker – Verwertung Einsatz – Brennstoff</p>

ABBILDUNG 8: ERFOLGREICH NEU EINGEFÜHRTE VERANSTALTUNGSFORMATE DES GWI, QUELLE: GWI, 2023



Das GWI versteht sich immer mehr als Energie-Institut, das durch seinen breit aufgestellten Forschungsansatz ein weit gefasstes Spektrum von der Energiewandlung, über den Transport bis hin zur Anwendung abdeckt. Dieses Verständnis ist auch in den Elementen der Strategie GWI 2030 Vision – Mission – Leitbild verankert, s. Abbildung 9.

Diesen Transformationsprozess an die Bedarfe der Energiewirtschaft und der Energiewende werden wir auch in den kommenden Jahren weiter beschreiten. So können wir als GWI sowohl unseren Mitgliedern als auch den gesellschaftlichen Herausforderungen gerecht werden.

### Unsere Vision

Das GWI ist das führende **Energie-Institut der Branche** in der Energiehauptstadt Essen.

### Unsere Mission

Wir lösen die **fundamentalen Herausforderungen der Energiewende** mit unseren Mitgliedern, Kunden und Partnern zur Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft.

### Unser Leitbild

Wir sind das Brancheninstitut der Energiewirtschaft und arbeiten an einer **nachhaltigen Energieversorgung** sowie an einer **effizienten Energienutzung** in allen Sektoren.

ABBILDUNG 9: STRATEGIE GWI 2030

# Bildungswerk

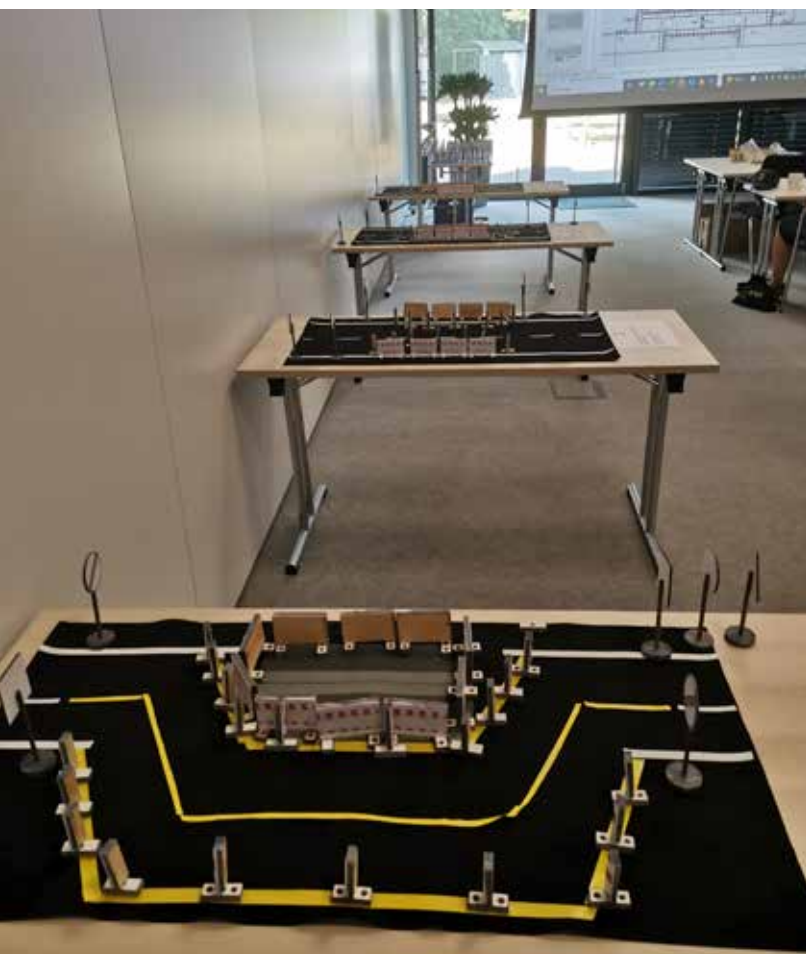
Auch das Jahr 2023 konnte das Bildungswerk wieder mit einem neuen Rekordergebnis abschließen. Während das Ergebnis aus 2022 noch durch Nachholeffekte aus der Corona-Pandemie beeinflusst war, zeigt der neuerliche Erfolg, dass die Themen unserer Bildungsformate, die fachliche Qualität der Veranstaltungen und das „Gesamtpaket“ der Seminare im GWI-Bildungswerk, vom Anmeldeprozess bis zur persönlichen Betreuung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die Kunden überzeugt.

Die Zusammenarbeit mit dem Bildungsverbund DVGW – GWI – rbv hat sich auf allen Ebenen vertieft. So konnten ausgewählte GWI-Veranstaltungen in den DVGW-Bildungskatalog aufgenommen werden, es gab gemeinsame Messe-Auftritte und eine regelmäßige konstruktive Kommunikation auf Leitungs- und auf Arbeitsebene.

Die produktive Kooperation mit dem DVGW zeigte sich auch in der Arbeit der GWI-Mitarbeitenden in den Gremien des DVGW. Insbesondere bei der Erstellung der neuen Technischen Regelwerke, u. a. im Bereich der Qualifikationsanforderungen an Sachkundige in der Infrastruktur, wurden maßgebliche Anteile geleistet. Dadurch konnten einerseits die umfassenden Erfahrungen des Bildungswerks in das neue Regelwerk und folglich in die Schulungsinhalte einfließen, andererseits wurden die Inhalte der neuen G 102-Regelwerke selbstverständlich direkt in die Programme der GWI-Seminare übernommen.

Inhaltlich hat sich das Bildungswerk in unterschiedlichen Themenbereichen weiterentwickelt. Ein Schwerpunkt lag weiterhin auf dem dominierenden Branchen-Thema Wasserstoff. So wurden zwei neue Seminare, die die sich umfassend mit Wasserstoff auseinandersetzen, erfolgreich in den Markt gebracht. Hierzu wurden neue Praxisanlagen entwickelt und aufgebaut, um auch für diese Seminare die Philosophie des GWI, die Seminare praxisnah und für den Anwender anschaulich zu konzipieren, weiter zu verfolgen. Zudem wurden, soweit möglich und sinnvoll, bestehende Veranstaltungen um Wasserstoff-Themen ergänzt. Kernpunkt unserer Seminare zum Thema Wasserstoff ist immer, auf bekanntem Wissen aus der Erdgas-Technik aufzubauen und die Unterschiede bei Arbeiten mit Wasserstoff herauszuarbeiten.

Auch die klassischen technischen Bereiche wurden um neue Veranstaltungsformate erweitert. So wurde 2023 erstmals das „Praxistraining Turnuswechsel von Hauswasserzählern“, die Veranstaltung „Leitungsgebundener Tiefbau aus Sicht des Netzbetreibers“, die Intensiv-Praxisschulung „Odorieranlagen – Sicheres Bedienen und Fehlerdiagnose“ und die Veranstaltung „Sanierung von Netzanschlüssen Gas und Wasser“ neu ins Seminar-Programm aufgenommen. Alle Veranstaltungen haben hohe Praxisanteile an neu aufgebauten Anlagen



**ABBILDUNG 10: ÜBUNGSSITUATION IM „PRAXISTRAINING TURNUSWECHSEL VON HAUSWASSERZÄHLERN“**



und können somit die theoretisch vermittelten Inhalte anschaulich und nachhaltig vertiefen, s. Abbildung 10.

Die Entwicklung und Erweiterung unserer Zielgruppen zeigte sich insbesondere bei Industriebetrie-

ben und Kraftwerksbetreibern sehr positiv, sowohl in den regulären Seminarterminen als auch in Inhouse-Veranstaltungen, die speziell die thematischen Besonderheiten dieser Zielgruppen aufgegriffen haben.



**ABBILDUNG 11: WÄRMEBILD EINER WASSERSTOFFFLAMME**



# Cluster- und Netzwerkmanagement

## HIGHLIGHTS 2023

### LNG - Ein Energieträger mit Zukunft?

Das GWI war zu Gast bei einer Online-Veranstaltung der Konrad Adenauer Stiftung – Regionalbüro Westfalen am 9. März zum Thema „LNG – Ein Energieträger mit Zukunft?“. Diskutiert haben Oliver Grundmann MdB, Mitglied im Ausschuss für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Prof. Klaus Görner, Wissenschaftlicher Vorstand des GWI, und Dr. Hüseyin Yilmaz, Liqvis GmbH, Essen, Team Lead New Build & Operations. Die lebhafteste Diskussion verfolgten 80 Teilnehmende online.

### Energiewende Industrie - Schwerpunkt Resilienz

Hochaktuell war das Thema der 3. Ausgabe der Veranstaltungsreihe „Energiewende Industrie – Schwerpunkt Resilienz“, zu der das GWI am 16. März in die Hafestraße in Essen einlud s. Abbildung 12. Vorgestellt wurden Resilienzstrategien der Unternehmen, wie verstärkter Einsatz der Erneuerbaren Energien, Brennstoffswitch auf Wasserstoff, Energieeffizienz- und Flexibilisierungsmaßnahmen, Ausbau der Sektorenkopplung u. v. a. m. Doch diese brauchen Zeit, kosten Geld und binden Kapazitäten. Darüber hinaus wurde deutlich, dass der Erfolg der innerbetrieblichen Strategien auch von weiteren Rahmenbedingungen abhängt, wie z. B. die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren beim Ausbau der Erneuerbaren Energien, der Netzinfrastrukturen und der

Digitalisierung. Als Beispiel wurde der Einsatz von Wasserstoff genannt, den viele produzierende Unternehmen als künftigen Brennstoff nutzen wollen, der aber in der notwendigen Menge in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung steht – egal welche Farbe dieser hat. Zudem wurde klar, dass alle Anstrengungen, die Klimaziele zu erreichen, letztlich von geringerer Wirkung bleiben werden, wenn nicht mehr Fachkräfte, die die Maßnahmen umsetzen können, zur Verfügung stehen. Die Resonanz der Teilnehmenden war durchweg positiv. Deshalb setzen wir im nächsten Jahr diese Reihe fort – dann wieder mit einem hochaktuellen Thema.

### Französische Unternehmensdelegation

Auf Initiative der Business France, H<sub>2</sub>UB und der EWG - Essener Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH besuchte am 3. April eine französische Unternehmensdelegation das GWI. Die Delegation bestand aus neun französischen Unternehmen und Start-ups aus dem Bereich Wasserstoff. Neben der Besichtigung der SOFC-Anlage diskutierten die internationalen H<sub>2</sub>-Fachleute mit Prof. Görner und Dr. Jörg Leicher (beide GWI) Themen rund um H<sub>2</sub>-Infrastruktur- und Wasserstoff-Forschung, s. Abbildungen 13 und 14.



ABBILDUNG 13 UND 14: BESUCH EINER FRANZÖSISCHEN UNTERNEHMENSDELEGATION  
QUELLE: CLAUDIA ANDERS, EWG



ABBILDUNG 12: VERANSTALTUNG "ENERGIEWENDE INDUSTRIE - SCHWERPUNKT RESILIENZ"

### Beiratssitzung des h<sub>2</sub>-netzwerks-ruhr

Um das Thema Wasserstoff ging es auch in der Beiratssitzung des h<sub>2</sub>-netzwerks-ruhr, die am 2. Mai in den Räumlichkeiten des GWI stattfand. Gastredner war Jorgo Chatzimarkakis, CEO der Hydrogen Europe, der leidenschaftlich über die Wasserstoff-Diskussion in Europa berichtete. Die Sitzung stand ganz im Zeichen der Verabschiedung von Bernd Emonts, der viele Jahre „das Gesicht“ des h<sub>2</sub>-netzwerks-ruhr war.



### E-world

Auch in diesem Jahr präsentierte sich das GWI am 23. und 24. Mai auf der E-world in Halle 3 auf dem Gemeinschaftsstand des Wirtschaftsministeriums des Landes NRW. Das GWI zeigte sein breites Portfolio an Zukunftsthemen, wie z. B. den Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Versorgung, Wärmewende und damit auch die kommunale Wärmeplanung sowie KWK und Sektorenkopplungstechnologien. Hohes Interesse hat dabei die SOFC-Hybrid-Anlage in Kombination mit einem großen LNG-Tank geweckt, da hiermit Schwarzstartfähigkeit und Inselbetrieb, z. B. für kritische Infrastrukturen gewährleistet werden kann. Große Aufmerksamkeit bekam auch das Dashboard mit den Online-Daten des am GWI betriebenen LivingLabs. In diesem werden Technologien im Zusammenhang mit der Energiewende demonstriert und deren Einsatz optimiert. Durch die hohe Besucherfrequenz und die große Anzahl an Fachgesprächen kann unser Auftritt als voller Erfolg bezeichnet werden.

### Hydrogen Metropole Ruhr

Am 13. Juni war die HydrogenMetropole Ruhr (HyMR) zu Gast in der NRW-Landesvertretung in Berlin. In einer hochrangig besetzten Veranstaltung, u. a. mit Bundesjustizminister Dr. Marco Buschmann, Jens Kukies, Staatssekretär im Bundeskanzleramt, und Jens Spahn, stellvertretender Vorsitzender der CDU / CSU Bundestagsfraktion, sowie Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik aus der Ruhrregion, drehte sich alles um die Relevanz des Ruhrgebiets als Modellregion für den Wasserstoff-Markthochlauf in Deutschland. Ganz besonders freut uns, dass Staatssekretär Kukies in seinem Gastbeitrag die Bedeutung der Forschungslandschaft in der Region hervorhob und dabei explizit das Gas- und Wärme-Institut Essen erwähnte. Das GWI unterstützt die Hydrogen Metropole Ruhr bei der Umsetzung des Wasserstoff-Hochlaufs im Ruhrgebiet und bringt sich mit eigenen Projekten, wie das H<sub>2</sub>-Systemcockpit, mit ein.

### Regionalverband Ruhr

Was das GWI zur regionalen Energietransformation beitragen kann – davon hat sich die Regionaldirektorin des Regionalverbands Ruhr (RVR), Karola Geiß-Netthöfel, und ihr Büroleiter, Thorsten Kröger, selbst ein Bild gemacht, s. Abbildung 15. Prof. Görner erläuterte Funktionen der Versuchsanlagen des GWI



ABBILDUNG 15: THORSTEN KRÖGER (RVR), KAROLA GEISS-NETTHÖFEL (RVR), PROF. KLAUS GÖRNER (GWI)

- von P2X-Anlagen, über den Hochtemperaturofen für den industriellen Einsatz vom Wasserstoff bis zum Hybrid-SOFC-System, um nur einige Stationen des Rundgangs zu nennen. Die HyMR hat die Aufgabe, den Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoffwirtschaft

im Ruhrgebiet koordinierend zu unterstützen und das GWI kann dazu seine System-Kompetenz in Analyse, Modellierung und Einsatz von Wasserstoff einbringen.

### Essener Wasserstoff-Impulse

Am 14. August fand die 2. Veranstaltung der Reihe „Essener Wasserstoff-Impulse“ statt, die vom GWI und der Essener Wirtschaftsförderungsgesellschaft ins Leben gerufen wurde, s. Abbildung 16. Im diesjährigen Workshop ging es insbesondere um das Thema Fachkräfte, die sich zunehmend mit der Handhabung von Wasserstoff auseinandersetzen müssen. Aufgegriffen wurden dabei der Qualifikations-, Aus- und Weiterbildungsbedarf von Unternehmen, die sich auf eine künftige Wasserstoffwelt vorbereiten.



ABBILDUNG 16: TEILNEHMER DER "ESSENER WASSERSTOFF-IMPULSE"

Oberbürgermeister Thomas Kufen ließ es sich nicht nehmen, die Gäste und Teilnehmenden persönlich zu begrüßen, s. Abbildung 17: „Das heutige Format ist ein junges Konzept und sieht sich als Austauschplattform für die Macher des H<sub>2</sub>-Markthochlaufes sowie für die Interessierten, die sich in moderner Energietechnik weiterbilden und qualifizieren wollen“, so das Essener Stadtoberhaupt. "Essen ist als Energiehauptstadt Europas Motor der Energiewende und bereits jetzt ist an fast jedem europäischen Wasserstoff-Großprojekt mindestens ein Partner aus Essen beteiligt“.



**ABBILDUNG 17: OBERBÜRGERMEISTER DER STADT ESSEN THOMAS KUFEN**  
**QUELLE: ROSA LISA ROSENBERG**

Nach drei Übersichtsvorträgen des Deutschen Gewerkschaftsbunds, der KWS Energy Knowledge und des GWI stellten Open Grid Europe, Westenergie, RWE Generation, Verallia Deutschland und die Ruhrbahn ihre unternehmensspezifischen Bedarfe vor. Unter reger Beteiligung von über 70 Teilnehmenden wurde in einem World Café u. a. die Frage

„Revolution“ oder „Evolution“ von beruflicher Bildung durch Wasserstoff diskutiert.

### Jahrestagungen

Auf den Jahrestagungen des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung (B.KWK), 13. - 14. September, und des vgbe energy, 20. - 21. September, die beide im September in Berlin stattfanden, positionierte Prof. Görner das GWI mit zwei aktuellen Vorträgen zu Themen einer zukünftigen Energieversorgung:

- Beim B.KWK-Kongress referierte er über „Wasserstoff und Ammoniak in der Strom- und Wärmeversorgung: Perspektiven“ und präsentierte darin mehrere aktuelle Projekte des GWI.
- Auf dem vgbe-Congress, der unter dem Motto „Versorgungssicherheit und Energiewende – Mission impossible?“ stattfand, berichtete er über Power-to-X als ein Zukunftsmodell einer nachhaltigen Energieversorgung.

Beide Vorträge fanden reges Interesse bei den Teilnehmenden.

### Mitgliederabend des h2-netzwerks-ruhr

Das h2-netzwerk-ruhr hat am 11. September einen Mitgliederabend beim GWI durchgeführt. Der neu gewählte Vorsitzende, Dr. Thomas Kattenstein, hat als Nachfolger des Gründers und langjährigen Vorsitzenden, Volker Lindner, die Aktivitäten des h2-netzwerks-ruhr vorgestellt. Das GWI ist seit Jahren Mitglied beim Netzwerk und durch Janina Senner im erweiterten Vorstand vertreten. Beim anschließenden Rundgang zeigten sich viele Mitglieder sehr beeindruckt von der Infrastruktur und den Versuchseinrichtungen in der Hafenstraße.

### HySummit.Rhein.Ruhr

Der 3. Tag der diesjährigen HySummit.Rhein.Ruhr-Veranstaltungen in Bochum (18. - 20. September) stand im Zeichen der Wissenschaft. Dr. Leicher hat dabei in einem Vortrag über die H<sub>2</sub>-Anwendungstechnik, die am GWI bevorzugt untersucht wird, berichtet. Er war auch Teilnehmer der anschließenden Podiumsdiskussion zum gleichen Thema.

### Kraftwerkstechnisches Kolloquium

Zum zweiten Mal präsentierte sich das GWI mit einem eigenen Stand auf dem Kraftwerkstechnischen Kolloquium, das am 10. und 11. Oktober in



ABBILDUNG 18: DIE TEILNEHMER DER VERANSTALTUNG "AMMONIAK - MEHR ALS EIN MOLEKÜL"

Dresden stattfand. Mit rund 1.000 Teilnehmerinnen und Teilnehmern, über 100 Vortragenden und ca. 70 Ausstellerinnen und Ausstellern hat sich die Veranstaltung zu einer wissenschaftlich-technischen Plattform der Energie- und Kraftwerksbranche entwickelt. Das GWI hat mit einem Messestand und zwei Fachvorträgen zum Gelingen des Kolloquiums beigetragen: Marcel Biebl referierte über den energetischen Einsatz von Ammoniak und berichtete über experimentelle Versuche zur Verbrennungsstabilität und zur Schadstoffentstehung. Dr. Jörg Leicher adressierte in seinem Vortrag das Thema Wasserstoff, in dem er auf verbrennungstechnische Eigenschaften und Besonderheiten für einen industriellen Einsatz einging. Er wies auf einen dringenden Handlungsbedarf für die Charakterisierung der Schadstoffemissionen, speziell des  $\text{NO}_x$  hin, dass nämlich Bezugsgröße in Milligramm / Kubikmeter wenig aussagekräftige Werte liefern.

### Ammoniak – mehr als ein Molekül

Einblicke in verschiedene Aspekte einer möglichen „Ammoniak-Welt“ erhielten über 90 Teilnehmende im Rahmen des Workshops „Ammoniak – mehr als ein Molekül“, den das GWI am 24. Oktober in Essen durchführte und viel positive Resonanz erhielt, s. Abbildung 18. Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik gaben einen umfassenden Überblick über Möglichkeiten von Produktion, Transport, Lagerung und Einsatz von Ammoniak. Deutlich wurde dabei, was Ammoniak alles kann und welche Hausaufgaben noch zu machen sind, damit Ammoniak ebenso wie Wasserstoff als Alternative zu fossilen Gasen umfassend eingesetzt werden kann. Die Teilnehmenden lobten das vielseitige Programm, die interessanten Vorträge und die gelungene Organisation. Gerne kommen wir dem vielfachen Wunsch nach, im nächsten Jahr eine Folgeveranstaltung zu dem Thema durchzuführen.

### HEATEXPO

Eine nachhaltige, wirtschaftliche und sichere Wärmeversorgung ist ein zentraler Baustein für eine Klima- und Energiepolitik der Zukunft. Doch der Weg dorthin ist vielschichtig und komplex und der Bedarf an Lösungen und Konzepten nimmt stetig zu. Das GWI ist durch seine Forschungsaktivitäten sehr stark mit dem Thema betraut. Daher war es naheliegend, als Partner der HEATEXPO „Wärme neu gedacht - für die Wärmeversorgung der Zukunft“, die vom 21. - 23. November in Dortmund stattfand, mitzuwirken und mit einem Stand dabei zu sein. Und es hat sich gelohnt: eine Vielzahl von Fachleuten und Interessierten blieben am Stand stehen, informierten sich über die Angebote des GWI und diskutierten über aktuelle Themen der Wärmewende und hier vor allem zu Fragen der kommunalen Wärmeplanung. So steht die Entscheidung schon jetzt fest: Auch in 2024 ist das GWI wieder dabei!



### Alternative Brennstoffe – Auswirkungen auf Auslegung und Design künftiger industrieller und kommunaler Kraftwerke

Auf dem diesjährigen SBG-Fachseminar „Alternative Brennstoffe – Auswirkungen auf Auslegung und Design künftiger industrieller und kommunaler Kraftwerke“, das am 20. und 21. November in Duisburg stattfand, war zweifache GWI-Expertise gefragt: Zum Einstieg in das diesjährige Schwer-



punkthema gab Prof. Klaus Görner einen umfangreichen Überblick über Energieträger von morgen für eine kohlenstoffarme Wirtschaft und Dr. Anne Giese ging am 2. Tag detailliert auf den Einsatz

von Ammoniak ein und erläuterte Hintergründe, Möglichkeiten und Herausforderungen sowie den Forschungsbedarf bei diesem anspruchsvollen Brennstoff.



ABBILDUNG 19: BESUCH NRW.ENERGY4CLIMATE

### NRW.Energy4Climate

Einen Überblick über unsere Forschungsaktivitäten verschaffte sich NRW.Energy4Climate bei einem Besuch des GWI am 4. Dezember. Im Fokus stand dabei die Forschung im Bereich erneuerbarer Brennstoffe, wie Wasserstoff und Ammoniak sowie innovative Technologien, wie die Hybrid-SOFC-Anlage - hierfür stehen die vom GWI koor-

dinierten Virtuellen Institute KWK.NRW und VI Strom zu Gas und Wärme. Auch im Bereich des derzeit hoch aktuellen Themas „Kommunale Wärmeplanung“ wurde eine verstärkte Kooperation der NRW.Energy4Climate und dem GWI verabredet, s. Abbildung 19.



# Prüflaboratorium

Das Prüflaboratorium des GWI konnte im Jahr 2023 seine gesteckten Ziele erreichen. Das Jahr stand für Investitionen insbesondere im Themenfeld der Wasserstoffanwendungen von denen das Prüflaboratorium profitiert hat. Dazu wurden Teststände angepasst, neu aufgebaut und Messtechnik ergänzt, insbesondere im Bereich der Leckage-Raten-Bestimmung. Wir sind nun in der Lage, Leckage-Raten in der Größenordnung von  $\text{min. } 10^{-6} \text{ l mbar/s}$  bei Drücken bis zu 100 bar zu bestimmen.

Die neue Gasmischanlage ermöglicht Tests und Prüfungen bis zu 500 kW. In der Marktraumumstellung ist das Prüflaboratorium weiterhin zu allen Fragestellungen rund um die Gasgerätetechnik für Netzbetreiber und auch für das GWI-Projektmanagement beratend tätig.

Ein weiteres Angebot – wie auch schon in der Vergangenheit – liegt in der Kapazitätsunterstützung von Herstellern in Form von entwicklungsbegleitenden Prüfungen.

Weiterhin umfasst das Prüfangebot Armaturen und sonstigen Ausrüstungen, Produkte der Gas- und Wasserinstallation, der Feuerungstechnik mit den Energieträgern Gas, Heizöl und Strom einschließlich der heute üblichen Sicherheitselektronik in den Wärmeerzeugern sowie diverse Bauprodukte im Bereich der Abgastechnik insbesondere auch vor dem Themenfeld „Wasserstoff“.

Im Rahmen der betrieblichen Forschung Gas des DVGW arbeitet das Prüflaboratorium bei DVGW-Forschungsvorhaben mit und leistet damit für die Branche einen wichtigen Beitrag zu regelwerksnahen und konkreten sicherheitsbezogenen Themen.

## Voranpassung von Brennwertgeräten

Untersuchungen zur Gasgeräteanpassung im Zuge der Marktraumumstellung unter besonderer Berücksichtigung des Sonderfalls (Förderkennzeichen: G 201838)

- Ziel dieses Vorhabens ist die Überprüfung der Eignung von ausgewählten Heizgeräten in Bezug auf eine langfristige Voranpassung im



ABBILDUNG 20: WINDERZEUGER MIT WINDSTÄRKEN BIS ZU 15 M / S

Rahmen der L/H-Gas-Marktraumumstellung. Bis zu 500 Geräte werden dazu langfristig vor dem geplanten Schaltzeitpunkt angepasst. Falls sich die Untersuchungsergebnisse als positiv herausstellen, bedeutet dies zukünftig eine signifikante Entspannung der Personalsituation (Anpassungsmonteure) um Schaltzeitpunkte herum.

### H<sub>2</sub>-Dichtheit von Armaturen

Leckageratenerfassung der Wasserstoffdichtheit von Armaturen und Abdichtsystemen von Bestandsarmaturen (Förderkennzeichen G 202139)

- Das Projekt untersucht die inneren und äußeren Dichtheiten von bestehenden Armaturen des Gasnetzes. Absperrarmaturen verschiedener Konstruktionen und Dichtsystemen (Absperrkörper und Spindel) werden Anhand von bereitgestellten Mustern von Netzbetreibern / Herstellern hinsichtlich der Wasserstoffdichtheit untersucht. Auf Basis der Ergebnisse findet darüber hinaus eine Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Absperrarmaturen hinsichtlich ihrer H<sub>2</sub>-Dichtheit sowie der Erweiterung des Regelwerks statt.

### Dichtheit von Flanschverbindungen

Dichtheitsprüfung von Flanschverbindungen in Anlagen zum Betrieb mit Wasserstoff und wasserstoffhaltigen Gasen (Förderkennzeichen G 202141)

- Ziel des Vorhabens ist, die Zusammenführung und Erweiterung der wissenschaftlichen Grundlagen, um Anforderungen an in der Gasinfrastruktur eingesetzten lösbaren Verbindungen von Leitungen und Anlagen festzulegen und daraus abgeleitet Prüfanforderungen bzw. Montage- und / oder Prüfverfahren zu entwickeln. Die erarbeiteten Anforderungen stellen gleichzeitig einen ersten validen Maßstab für die Montage und Dichtheitsprüfung der Anlagen dar und fließen begleitend, als wissenschaftlich fundierte Erkenntnisquelle, in die Regelwerksarbeit (DVGW, DIN, CEN/CENELEC, ISO) ein.

### Austausch B11-B5

Untersuchung von Sanierungsmöglichkeiten bei der Mehrfachbelegung durch Austausch von Heizwertgeräten (B11) durch Brennwertgeräte (B5) unter



ABBILDUNG 21: ANLAGE ZUR ÜBERPRÜFUNG DER DICHTHEIT

Nutzung eines bestehenden Schornsteins als Verlegeschacht der Abgasleitung (Förderkennzeichen G 202313)

- Ziel des Projektes ist, die Definition der Bedingungen und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zum schrittweisen Austausch von raumluftabhängigen Heizwertgeräten der Art B11BS gegen raumluftabhängige Brennwertgeräte B53S mit eigener Abgasleitung. Um reale Betriebsbedingungen abzubilden, werden für die Versuche drei Verbrauchsszenarien für einen Winter-, Sommer- und Übergangstag einer mittleren Klimazone angesetzt.

### H<sub>2</sub>-Umstellung

H<sub>2</sub>-Umstellmanagement für Gasverteilnetze (Förderkennzeichen G 202312)

- Im Rahmen dieses Projekts wird untersucht, wie ein standardisiertes Konzept zur Umstellung eines Netzgebiets, inkl. der angeschlossenen Kunden, auf Wasserstoff aussehen kann. Ziel ist es, eine detaillierte Beschreibung der relevanten Phasen des Umstellprozesses auf 100 % Wasserstoff in den Bereichen Gasverteilnetze, Hausinstallation und Gasanwendung zu erarbeiten. Am GWI wird hierfür eine Wasserstoff-Versuchsinfrastruktur aufgebaut, die eine Wärmeversorgung des GWI-Demonstrationshauses mittels H<sub>2</sub>-Brennwertgeräten vorsieht. Die praktische Durchführung des Umstellprozesses am GWI ermöglicht einen direkten Erkenntnisgewinn und eine fundierte Analyse des Umstellprozesses.

# Marktraumumstellung

Seit Wiederbeginn der Marktraumumstellung (MRU) im Jahr 2015 mit dem Start des Pilotprojekts der Branche in Schneverdingen konnten von den Dienstleistern bis Ende 2023 ca. 2,6 Mio. Gasgeräte angepasst werden. Nach Auswertung der bisherigen Erhebungszahlen und Abschätzungen entspricht dies ca. 49 % aller bis zum Jahr 2030 umzustellenden Gasgeräte. Mittlerweile ist nach der mehrjährigen Hochlaufphase die Plateauphase mit jährlichen Anpassungszahlen von ca. 500.000 – 550.000 Gasgeräten erreicht worden.

Die Marktraumumstellungen in Deutschland wird im Wesentlichen durch die abnehmende Produktion von L-Gas in Deutschland und den Niederlanden verursacht. Neben Teilen Deutschlands mit einen separaten Netz für L-Gas und H-Gas werden auch Teile von Belgien, Frankreich und den Niederlanden mit L-Gas versorgt. Insgesamt umfasst der europäischen L-Gas Markt ca. 14,5 Mio. Kunden.

Das GWI begleitete im Jahr 2023 mehrere MRU-Projekte im technischen Projekt- und Qualitätsmanagement. Im Rahmen des technischen Projektmanagements übernahm das GWI die Koordination zwischen allen beteiligten Akteuren, d. h. Kunden, Auftraggebern, Erhebungs-, Anpassungs- und Softwareunter-

nehmen sowie die Qualitätskontrollen gemäß Arbeitsblatt DVGW G 695 Qualitätssicherung von Erhebungs-, Anpassungs- und Umstellungsmaßnahmen bei Gasgeräten (März 2019). Die Grundlagen aller Tätigkeiten sind in dem Arbeitsblatt DVGW G 680 Erhebung, Umstellung und Anpassung von Gasgeräten (März 2020) aufgeführt. Zusätzlich bietet das GWI auch Schulungen für Erhebungs- und Anpassungsmonteure gemäß Merkblatt DVGW G 106 Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte für den Gasgeräteumbau im Rahmen einer Änderung der Gasbeschaffenheit; Schulungsplan (August 2017) sowie für Prüfer gemäß Merkblatt DVGW G 107 Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte für die Qualitätssicherung im Rahmen einer Änderung der Gasbeschaffenheit; Schulungsplan (Februar 2020) an.

Mit Ende des Jahres 2023 konnte das MRU-Großprojekt der Energienetze Mittelrhein GmbH & Co. KG (enm) in Koblenz, abgeschlossen werden. Nach vorläufiger Auswertung wurden ca. 220.000 Gasgeräte erhoben und angepasst. Damit zählt das Projekt der enm zu den größten der Marktraumumstellung in Deutschland.



ABBILDUNG 22: GASLEITUNG, QUELLE: IStock; BET\_NOIRE

# Brennstoff- und Gerätetechnik

Die Hauptthemen im Jahr 2023 waren neben Wasserstoff-Anwendungen und -Derivaten wie renewable Dimethylether (rDME) zur Dekarbonisierung des Energiesystems auch wieder Biogas und seine Folgeprodukte. Die gleichzeitige Betrachtung der Strom-, Gas- und Wärmenetze – verknüpft mit der entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) findet sich in Projekten zur kommunalen Wärmewende wieder. Teil dieser können auch Brennstoffzellenkonzepte in der Quartiersversorgung sein. Als Beispiel dienen hier die weiter unten beschriebenen Projekte Q4Q (Das Auslaufen der Erdgasversorgung als Herausforderung für die

kommunale Wärmewende), iFlex KWK 4.0, IQDortmund (Untersuchungen der (Fern-)Wärmeversorgung im Dortmunder Stadtgebiet) und EnerRegio (Modellhafte und netzstabilisierende Energiesysteme in der ländlichen Region). Die erweiterte Nutzung erneuerbarer Gase „ENEVEG“ beleuchtet die Erzeugungs- und Nutzungspfade sowie die Schnittstellen zum Wasserstoff und zu CO<sub>2</sub>.

Die Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik hat sich mit einer Vielzahl an Projekten erfolgreich für die zukünftigen Rahmenbedingungen mit der folgenden Themenausrichtung aufgestellt:

## Team Adaptive Energiesysteme:

- Deutschlandmodell-Typologien
- Wärmebedarfsanalysen
- Quellenanalysen zu Gas-, Fernwärme- und Stromnetzen
- GIS
- Quartierslösungen
- Modellierung und Simulation von gekoppelten Wärme-, Strom- und Gasnetzen
- Aufbau und Integration aller Energieströme im LivingLab
- IKT
- SmartMetering / Monitoring
- BigData
- EdgeComputing
- Digitalisierung
- Vernetzung von Städten / Sektoren (Wohnen, GHD, Industrie)
- Integration von Mobilitätslösungen und Digitalisierungsansätzen

## Team PtX:

- Untersuchung von Flexibilisierungsoptionen im Energiesystem
- Fragen zur Gasbeschaffenheit, insbesondere im Bereich der Einspeisung und Verwendung von Gasen aus erneuerbaren Energien in den einzelnen Sektoren
- Wissenschaftliche Untersuchungen von Gasanwendungstechnologien unter Beaufschlagung erneuerbarer Gase (z. B. Biogas, Wasserstoff, DME, etc.)
- Wissenschaftliche Begleitung und Monitoring von Pilotprojekten und Feldtests

Mit den Abteilungen Industrielle Feuerungstechnik (IFT), Prüflabor (PL) und Bildungswerk bestehen Schnittstellen bei den Themen Flexibilisierungsoptionen, Netzen und Wasserstoff – hier insbesondere was Leckage-Raten bei Verwendung von Wasserstoff angeht. Durch neue Versuchsaufbauten ist das Prüflabor in der Lage Armaturen bzw. Flansche bis zu 100 bar zu testen.



### BMWK-Projekt Q4Q - Das Auslaufen der Erdgasversorgung als Herausforderung für die kommunale Wärmewende

Bei Kommunen, Stadtwerken und lokalen Akteuren liegt großer Handlungsbedarf, um die Wärmewende operativ umzusetzen. Beginnend mit der kommunalen Wärmeplanung bis hin zu konkreten Investitionsentscheidungen und der Durchführung von Energieinfrastruktur-Maßnahmen stehen sie dabei vor gewaltigen Herausforderungen. Das Projekt soll eine Bewertungsgrundlage erarbeiten, die Akteuren in Deutschland hilft, die Wärmewende „Quartier für Quartier“ (Q4Q) in die Tat umzusetzen.



ABBILDUNG 23: DIE 4 UNTERSUCHTEN TYP-QUARTIERE

Das GWI arbeitet dabei mit seinen Partnern Fraunhofer IFAM, dem artec Forschungszentrum Nachhaltigkeit und dem Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität (IKEM) zusammen. Es kommen weitere Partner aus der Energiewirtschaft hinzu, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Praxiseinblicken und Daten unterstützen. Gemeinsam deckt das Konsortium technische, ökonomische, sozialwissenschaftliche, regulatorische und operative Expertisen ab, um durch den inter- und transdisziplinären Ansatz wertvolle Ergebnisse zu erzeugen. Ziel ist es, durch den anschließenden Wissenstransfer in die Gesellschaft einen An Schub für die Wärmewende in deutschen Quartieren zu erzeugen.

### EnerRegio - Modellhafte und netzstabilisierende Energiesysteme in der ländlichen Region

Mit dem Projekt EnerRegio wurde das Voranschreiten einer defossilisierten Energieversorgung im ländlichen Quartier der Zukunft untersucht. Mit dem Einsatz von Power-to-Power- und Power-to-X-Konzepten konnten Auswirkungen und Herausfor-

derungen auf die bestehende Energieinfrastruktur identifiziert werden.

Wesentlicher Hintergrund ist dabei, dass eine integrierte Energiewende ein komplexes Zusammenspiel von verschiedenen Akteuren und Infrastrukturen ist. Es fehlt derzeit an Konzepten zur Sektorenkopplung in Quartieren in der ländlichen Region [1], die im Gegensatz zum oftmals erforschten urbanen Raum [2] eine abweichende energetische Erzeugungs- und Versorgungsstruktur sowie ein anderes Mobilitätsverhalten aufweist [3-6]. Diese Problematik wurde im Rahmen des 7. Energiefor-

schungsprogramms der Bundesregierung [7] und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung in Nordrhein-Westfalen (EFRE.NRW) [8] erkannt.

Mit EnerRegio wurde das GWI mit seinen Forschungspartnern der FH Münster sowie B&R Energie beauftragt, diese Fragestellungen in einem ländlichen Musterquartier im nördlichen Münsterland mit 22 Wohnhäusern zu untersuchen.

Das GWI hatte schwerpunktmäßig die Aufgabe der technischen Systemanalyse inne, die mit der Modellierungs-Software Dymola umgesetzt wurde. Hierzu konnten Daten aus einem realen Quartier genutzt und als digitaler Zwilling nachgebaut werden. Für die Szenario-Darstellung wurden auf Basis der aktuellen Verbräuche Emissionsreduktionen für Stützjahre bis zum Jahr 2045 in Anlehnung an die bundespolitischen Ziele erarbeitet. Auf der Erzeugungsseite wurden PV-Dachanlagen mit fortschreitender Durchdringungstiefe installiert. Bedarfsseitig wurde insbesondere eine Elektrifizierung der Wärmeversorgung sowie der Mobilität angenommen.



ABBILDUNG 24: AUSBAUSZENARIEN FÜR STÜTZJAHRE

Die Ergebnisse zeigen, dass im ländlichen Musterquartier vorrangig die PV-Dachanlagen das Stromnetz vor Herausforderungen stellen was bei starkem Ausbau sogar zu Spannungsbandverletzungen führt. Während elektrische Wärmepumpen als zusätzliche elektrische Last den Spannungsbandverletzungen nicht entgegenwirken können, reduziert die E-Mobilität diese bereits mit unidirektionalem und nicht-systemoptimiertem Lademanagement um bis zu 20 Prozent. Ein wesentlicher Grund für diese positive Auswirkung liegt im ganzjährigen Strombedarf der E-Mobilität.

Als mögliche technische Maßnahmen zur Stabilisierung des Stromnetzes wurden der Einsatz von Batteriespeichern sowie Elektrolyseuren mit Rückverstromungseinheit untersucht. Energiespeicher erwiesen sich dabei als eine flexible Option zur Netzstabilisierung. Maßnahmen wie Verbrauchssteuerung, Einspeisemanagement und regelbare Ortsnetztransformatoren wurden als kosteneffiziente Ansätze betrachtet und in einer anschließenden SWOT-Analyse zusammengefasst.

Weitere Informationen zum Forschungsprojekt EnerRegio sowie der dazugehörige Abschlussbericht sind hier zu finden:  
<https://www.gwi-essen.de/forschung/projekte/abgeschlossene-projekte/enerregio/>

#### iFlex KWK 4.0

NRW kann als bedeutendes Energieland wesentlich zur nachhaltigen Transformation des Energiesystems beitragen. Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann bereits heute in Kombination mit Energiespeichern Strom und Wärme hocheffizient und flexibel bereitstellen. Durch die steigende Komplexität und Dynamik des Energiesystems ergeben sich jedoch neue Anforderungen an die einzelnen Anlagen. Um die Effizienz- und Flexibilitätspotenziale der KWK optimal zu nutzen sind daher neue, innovative Anlagen- und Betriebskonzepte erforderlich.

Das Projekt „iFlex KWK 4.0“ hatte zum Ziel, die Potenziale flexibler KWK-Systeme – insbesondere Brennstoffzellen – im Energiesystem des Landes NRW zu evaluieren. Dazu wurden umfangreiche simulationsgestützte Analysen von KWK- und Flexibilitätstechnologien in verschiedenen repräsentativen Anwendungsfällen durchgeführt. Im übergeordneten Verbundprojekt „KWK.NRW 4.0“ standen die Kopplung einer Phosphorsäurebrennstoffzelle (PAFC) mit einer Absorptionskältemaschine (AKM) und die Kombination einer Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) mit einer Mikro-Gasturbine (MGT), das sogenannte Hybrid-SOFC-System, im Fokus. Die Forschungsaufgabe des GWI bestand in der Szenarioanalyse dieser Anlagenkonzepte in der Quartiersversorgung.

Es wurde eine Methodik zur Ermittlung der typologiespezifischen Energiebedarfe und -bereitstellung in für NRW repräsentative Quartiere entwickelt und angewandt. Für die Entwicklung des Quartiermodells hat das GWI die Siedlungstypologie von

NRW analysiert und auf Basis der Ergebnisse zwei Referenzquartiere charakterisiert sowie dimensioniert. Für die Szenarioanalyse auf den Quartiers-ebenen wurden typologiespezifische Sanierungsszenarien entwickelt, um den zukünftigen Strom- und Wärmebedarf für die Stützjahre 2030 und 2045 zu bestimmen.

Um die Strombedarfsprofile der drei Referenzquartiere weiter zu spezifizieren, wurde eine Methodik zur Ermittlung der aktuellen und zukünftigen quartierspezifischen Ladeinfrastruktur für private Elektrofahrzeuge entwickelt. Dieser Baustein wurde erfolgreich zur Ermittlung des quartierspezifischen Summenladeprofils eingesetzt. Ein zweiter Modellbaustein, der entwickelt und angewandt wurde, diente der Bestimmung der quartierspezifischen Stromerzeugungsprofile durch private PV-Anlagen.

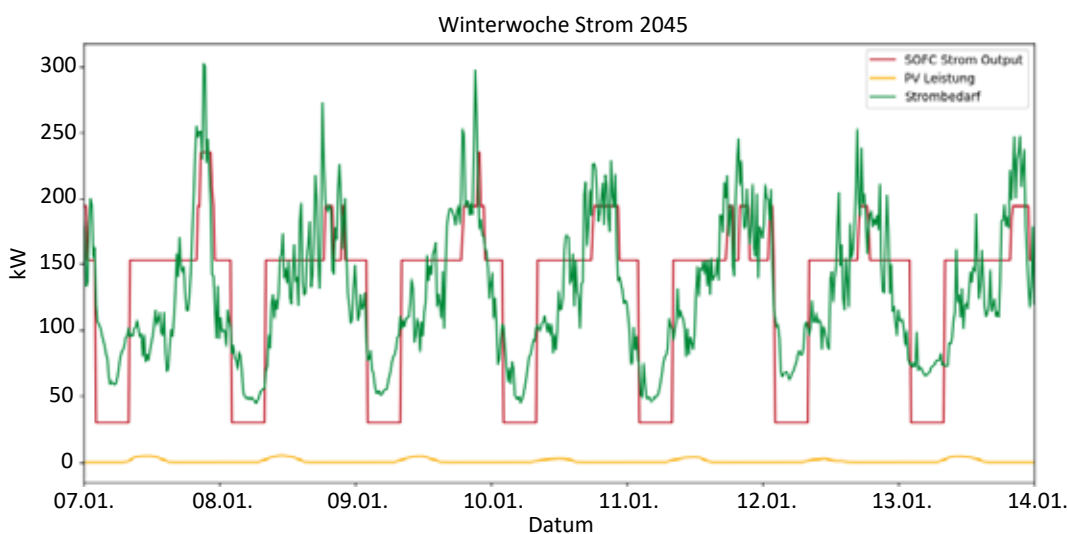
Um die Effekte und Potenziale der Brennstoffzellenkonzepte in der Quartiersversorgung untersuchen zu können, wurde eine Szenarioanalyse ausgehend von dem Basisjahr 2019 für die Jahre 2030 und 2045 durchgeführt. Neben dem Vergleich der Brennstoffzellen-Konzepte mit konventionellen Versorgungskonzepten, wurde auch die Wirksamkeit zusätzlicher Flexibilitätstechnologien

mit Hybrid-SOFC-Systemen sind in Abbildung 25 dargestellt.

### IQDortmund

Das Projekt „IQDortmund“ befasste sich mit Untersuchungen der (Fern-)Wärmeversorgung im Dortmunder Stadtgebiet. Der aktuelle Zustand des Wärmenetzes, der geplante Ausbau und der Transformationspfad hin zum Zieljahr 2045 wurden analysiert. Für Detailuntersuchungen wurden unterschiedlichste Quartiere im Bestand aber auch im Neubaubereich betrachtet. Die Analyse konzentrierte sich auf die Gegenüberstellung verschiedener Versorgungstechnologien im Neubau als auch auf die Wärmeeinspeisung und -ausspeisung sowie technische und hydraulische Grenzen der netzgebundenen Wärmeversorgung im Bestand. Die Simulationen des Fernwärmenetzes lieferten Erkenntnisse über die Ausbaufähigkeit und mögliche Verdichtung des Netzes, sowie die Umstellung auf erneuerbare Wärme, die Optimierung und Reduktion der Wärmeverluste sowie die Resilienz des Netzes im Kontext eines zustandsorientierten Betriebes.

Verschiedene Analysemethoden und Datenerhebungen wurden genutzt, um die Quartiere Eving, Innenstadt, Kronprinzenviertel und Kreuzviertel in Dortmund zu charakterisieren. Dabei wurden Kennzahlen wie Gebäudeanzahl, Infrastruktur und Wärmebedarfsdichte erhoben, um die Fernwärmeversorgung zu bewerten. Weiterhin wurden Sanierungsvorgänge, zukünftige Wärmebedarfsstrukturen und



**ABBILDUNG 25: EXEMPLARISCHE SIMULATIONSERGEBNISSE FÜR DIE STROMVERSORGUNG EINES QUARTIERS IM JAHR 2045**

und unterschiedlicher Regelungsstrategien simulationsgestützt untersucht. Beispielhafte Ergebnisse zur zukünftigen Strombereitstellung in Quartieren

die Entwicklung der Fernwärmetechnik berücksichtigt. Morphologische Analysen zeigten Ausbaupotenziale auf. Technologiekombinationen für die



**ABBILDUNG 26: DARSTELLUNG DES TRASSENVERLAUFS IM ERWEITERTEN ZUSTAND DES KREUZVIERTELS 2045**

Quartiere wurden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und ökologischen Effekte bewertet. Speziell für das Quartier Kreuzviertel wurde ein Fernwärmeanschluss entwickelt, während für das Neubauquartier Kornprinzenviertel Konzepte modelliert und Jahressimulationen durchgeführt wurden.

Die Anwendung geplanter Maßnahmen führten zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Primärenergiefaktors durch die Integration erneuerbarer Wärmequellen, Nutzung von Abwärme und Effizienzsteigerung. Diese Ergebnisse liefern die Grundlage für Empfehlungen zu Betriebsstrategien und Technologiekombinationen für eine verbesserte Wärmeversorgung in Dortmund.

Simulationen des Dortmunder Fernwärmenetzes zeigten dessen Effizienz und Leistung, validiert durch Messdaten. Sie erlaubten die detaillierte Darstellung von Anpassungen und das Zusammenspiel verschiedener Maßnahmen. Wichtig waren hierbei die Erfassung und Analyse von kritischen Netzpunkten für ein dynamischeres Einspeisekonzept. Ein prädiktives Betriebskonzept, das unterschiedliche Reaktionszeiten im Netz berücksichtigt, wurde entwickelt. Dies nutzt die Kreuzkorrelation zwischen eingespeister und verbraucherseitiger Vorlauftemperatur, um Verzögerungen zu identifizieren und optimiert die Betriebsstrategie auch für Ausfallszenarien, was die Netzresilienz stärkt.

In Summe konnte somit die Basis gelegt werden, um verschiedenste Ausbau- und Betriebsszenarien für das Dortmunder Fernwärmenetz zu analysieren. Es wird detailliert aufgezeigt welche Effekte die Nachverdichtung, fortschreitende Sanierung im Bestand der verschiedenen Stadteile, der Anschluss von Neubaugebieten über Sekundärnetze und die sich verändernde Einspeisesituation auf das Gesamtsystem und seinen Betrieb haben.

Mit den in diesem Projekt erreichten technisch-wissenschaftlichen Fortschritten ist die Entwicklung von Digital-Twins zur kontinuierlichen Optimierung und Monitoring von sektorgekoppelten Wärmenetzen denkbar. IQDortmund zeigt, dass durch instationäre Simulationen des Fernwärmenetzes in Dortmund Szenarien erstellt werden können, die für die zukünftige Ausrichtung und Steuerung von Fernwärmenetzen von Bedeutung sind. Durch die Berechnung weiterer Szenarien können die Resilienz des Netzes erhöht und Auswirkungen von politischen und ökonomischen Veränderungen auf das Fernwärmenetz besser vorhergesagt werden. Eine mögliche Erweiterung ist die Erstellung eines digitalen Zwillings des Fernwärmenetzes mit Hilfe der automatischen GIS-basierten Fernwärmenetzmodellierung.



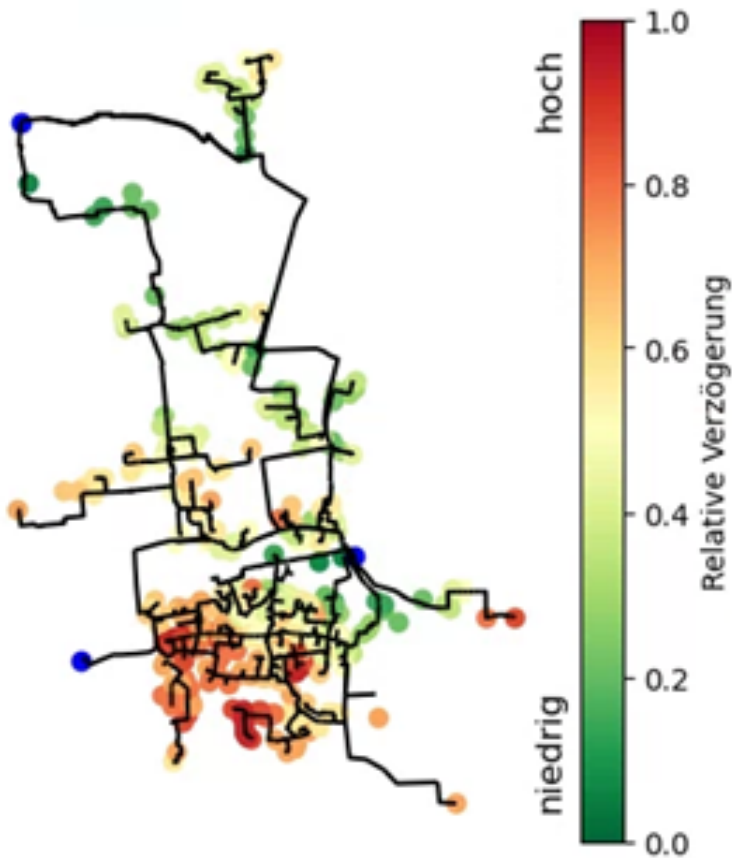


ABBILDUNG 27: RELATIVE VERTEILUNG DER VERZÖGERUNG DER VORLAUFTEMPERATUREN IM NETZBEREICH (IST-ZUSTAND)

Auf Basis der Ergebnisse ist die Weiterentwicklung der Ausbaustrategie und der Geschäftsmodelle für den Wärmenetzbetreiber möglich, wodurch der Transformationsplan im Sinne der Wärmewende optimiert werden kann. Die im Projekt erarbeiteten und validierten Entwicklungsansätze können in Dortmund genutzt werden, um eine nachhaltige, integrierte Wärmeversorgung im Rahmen eines Folgeprojekts zu realisieren.

#### ENEVEG - Erweiterte Nutzung Erneuerbarer Gase

Neben Wasserstoff können auch Biogas und seine Folgeprodukte einen erheblichen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten. Viele Biogasanlagen in Deutschland fallen jedoch zeitnah aus der EEG-Förderung, wodurch sich die Frage nach sinnvollen Anschlussnutzungskonzepten stellt. Im DVGW-geförderten Projekt ENEVEG widmete sich das GWI gemeinsam mit seinen Partnern einer breiten Auswahl möglicher Technologieoptio-

nen, die sich für zukunftsfähig aufgestellte Biogasstandorte anbieten.

Zu diesen Optionen zählt neben einer Flexibilisierung der Biogasverstromung insbesondere die Aufbereitung zu Biomethan mit Einspeisung in die Gasnetze. Die Potenziale für die Biomethanherzeugung und -Nutzung sind in Deutschland weiterhin sehr groß und erst zu etwa 10 Prozent ausgeschöpft. Die Potenzialberechnungen im Projekt ENEVEG berücksichtigten dabei auch bereits zukünftige Rückgänge der Substratverfügbarkeit durch klimawandelbedingte Mindererträge. Eine Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Biogas-Standorten je nach Nutzungsoption ergab aber auch, dass sich die dezentrale Aufbereitung des Biogases stark auf die Gestehungskosten auswirkt. Es wurde daher auch die Option der Biogas-Sammelleitung untersucht. Basierend auf Standortdaten der deutschen Biogasanlagen wurden mit einem Geo-Informationssystem unter verschiedenen Grundannahmen eine Reihe von Sammelleitungen und Sammelleitungsnetzen generiert. Die durch den beschriebenen Ansatz generierten Ergebnisse bieten einen Einblick in die regionalen Potenziale.

Je nach Anlagengröße und -Distanz sind Sammelleitungen mit zentraler Aufbereitung wirtschaftlich vorteilhaft gegenüber dezentralen Biogasaufbereitungsanlagen. Die Leitungsbaukosten erweisen sich bei angenommenen Abschreibungszeiten von 20 Jahren nicht als Show-Stopper für die Wirtschaftlichkeit dieses Konzeptes.

In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, entlang einer Biogassammelleitung, die getrocknetes und grob entschwefeltes Biogas transportiert, auch Abnehmer zu versorgen. Diese müssen technisch dazu in der Lage sein, das teilaufbereitete Biogas zu verwerten. Für industrielle Gasanwender stellt eine (CO-)Feuerung von Biogas eine interessante Option der Dekarbonisierung ihrer Produkte dar. Ob das teilaufbereitete Biogas auch für Haushalte verwertbar ist, wurde im ENEVEG-Projekt anhand von Laborversuchen untersucht – und für die heu-

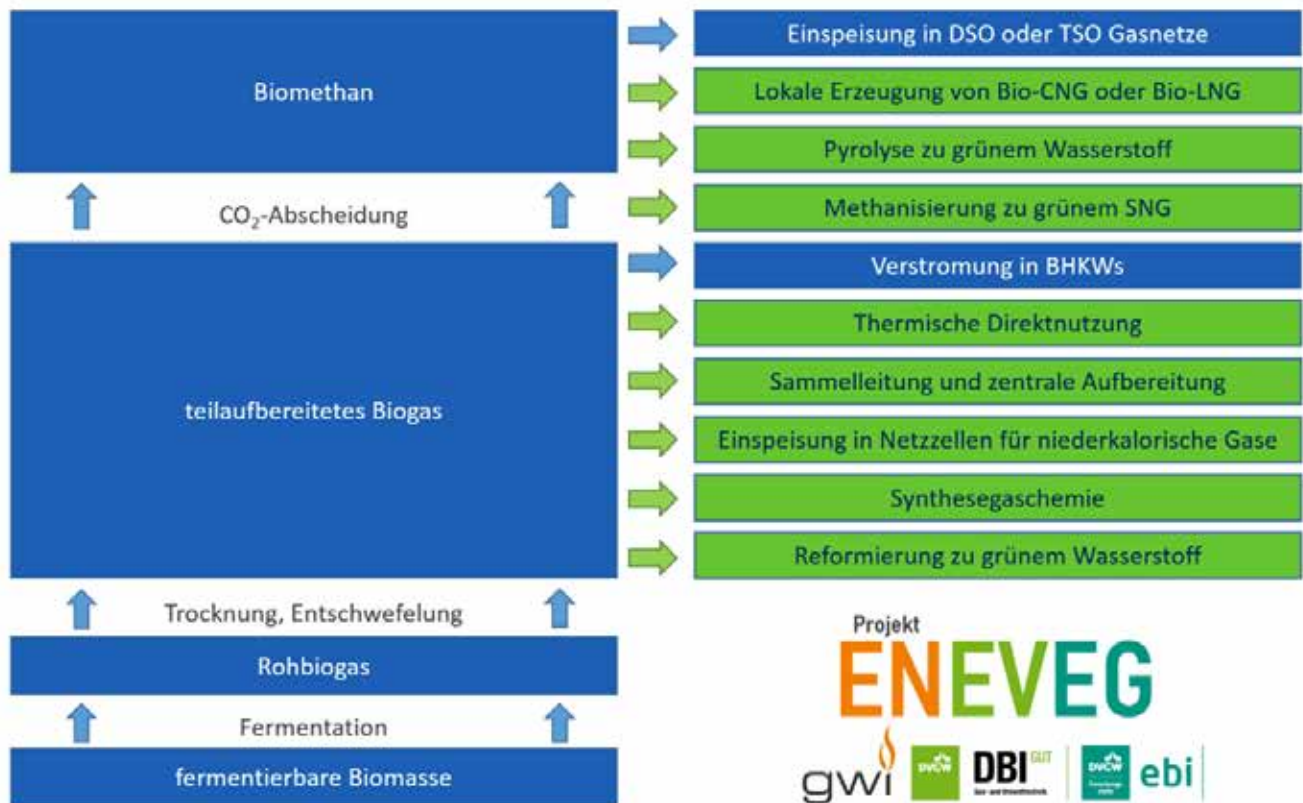


ABBILDUNG 28: VERWENDUNGSPFADE VON BIOGAS

tige Endanwendungstechnik ausgeschlossen. Die Versorgung von Großabnehmern mit geeigneter Anwendungstechnik wird im Abschlussbericht jedoch empfohlen. Für weitere Informationen wird auf die erfolgreich abgeschlossenen Projekte des GWI und seiner Partner verwiesen.

Das Projekt ENEVEG wurde Ende 2023 abgeschlossen und vielfach öffentlich präsentiert, unter anderem finden sich Kernergebnisse in einem frei zugänglichen Artikel der Energie-Wasser-Praxis. Der umfassende Abschlussbericht ist über den DVGW unter der Projektnummer G 202114 zu beziehen.



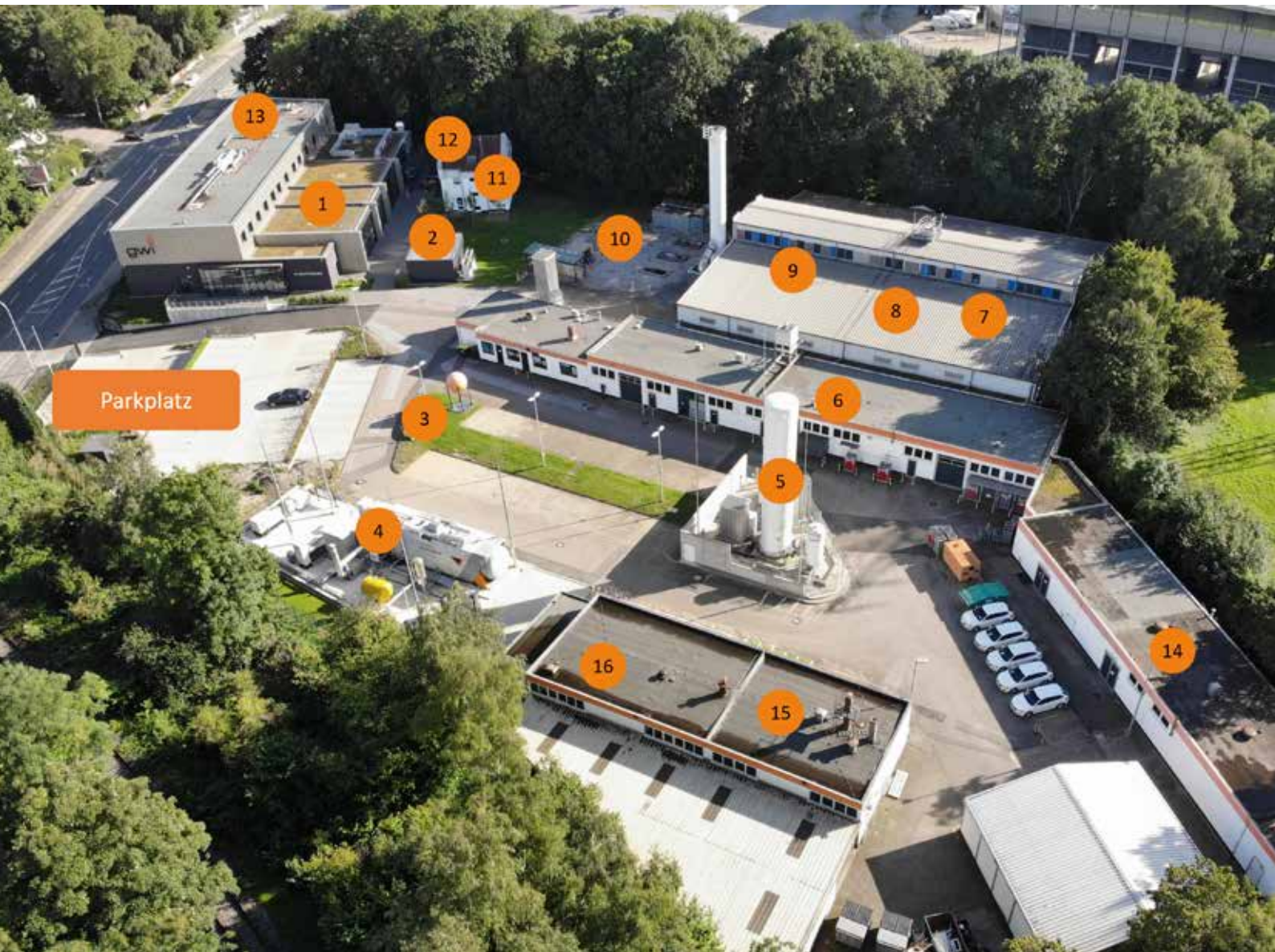


ABBILDUNG 29: LIVINGLAB

### GWI – Gelände / LivingLab

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. Bildungswerk / Verwaltung                             | 9. Industrie- und Feuerungstechnik |
| 2. Energiezentrale                                       | 10. Freifeld Schadendemonstration  |
| 3. Intelligente Laternen                                 | 11. Demonstrationshaus             |
| 4. Solid Oxide Fuel Cell (SOFC-Anlage)                   | 12. Wärmepumpe                     |
| 5. Liquefied Natural Gas (LNG)-Tankanlage                | 13. Photovoltaik-Anlage            |
| 6. Power-to-X-Halle                                      | 14. Armaturenprüfung               |
| 7. Versuchsstände für Brennstoff- und Geräte-<br>technik | 15. Windlabor                      |
| 8. Schallmessraum  | 16. Heiz- und Klimakammer          |



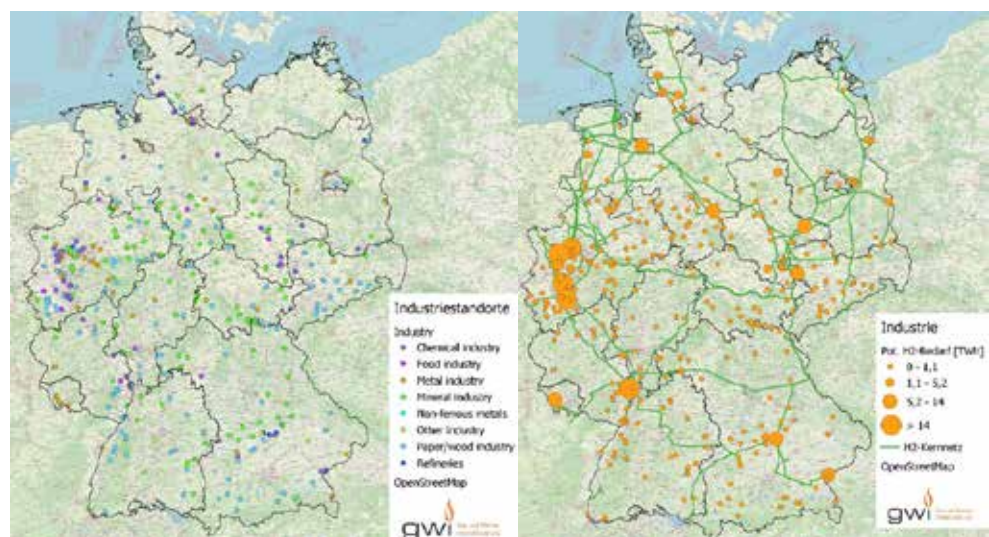
# Industrie- und Feuerungstechnik

Steigende Energiepreise, Umsetzung der Klimaschutzziele, der Ukrainekrieg, Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, eine unsichere Wirtschaftslage sorgen weiterhin für herausfordernde Zeiten auch im Forschungsbereich. Die Abteilung Industrie- und Feuerungstechnik (IFT) ist mit den gegenwärtigen Forschungsthemen jedoch bestens aufgestellt und bedient die aktuellen Fragestellungen hinsichtlich einer wirtschaftlichen und dekarbonisierten Industrie in Deutschland. Aktuell nimmt das Thema Ammoniak als wirtschaftliches und leicht zu transportierendes Wasserstoffderivat einen breiten Raum in den Forschungsschwerpunkten der Abteilung ein. Da Ammoniak ein neuer Brennstoff ist, gilt es, eine Vielzahl an Fragestellungen zu bearbeiten: von der Stabilisierung einer reinen Ammoniakverbrennung über die Reduzierung der teilweise sehr hohen  $\text{NO}_x$ -Emissionen bis hin zu der Untersuchung der Auswirkungen auf die Produktqualität.

Aber nicht nur der Blick auf die einzelnen Anlagen, Verfahren und Produkte ist relevant, sondern auch die lokalen und nationalen Zusammenhänge, um strategische Entscheidungen bzgl. Investitionen in die Infrastruktur zu treffen. Im Projekt ReInvent, ein Vernetzungs- und Transferprojekt der KlimPro-Industrie-Initiative, mit dem Ziel, Treibhausgasemissionen in der Grundstoffindustrie zu reduzieren, werden neben den branchenspezifischen Betrachtungen auch übergeordnete Analysen vom GWI durchgeführt. Die Herstellung von Rohstoffen in den sogenannten Grundstoffindustrien ist aufgrund der damit verbundenen chemischen und physikalischen Stoffumwandlungen sehr energieintensiv und deshalb auch mit erheblichen Treibhausgasemissionen verbunden. Darüber hinaus entstehen in diesen Industrien Treibhausgasemissionen, die in der Natur der eingesetzten Rohstoffe und Prozesse liegen. Eine Reduktion

der Treibhausgasemissionen ist mit einer tiefgreifenden Umstellung der Prozesse verbunden. Die betroffenen Bereiche in den verschiedenen Industriezweigen sind komplex und betreffen sowohl material- als auch verfahrenstechnische Fragestellungen. Diese Komplexität erfordert eine intensive Zusammenarbeit zwischen den Vertretern der betroffenen Industrien: Ein Transformationsprozess in diesen Industrien muss daher frühzeitig initiiert und begleitet werden. ReInvent (<https://reinvent-klimpro.de/>) trägt daher zu einer besseren Vernetzung und einem verstärkten Austausch der geförderten KlimPro-Projektverbünde untereinander und mit anderen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bei. Es wird angestrebt, eine sektorübergreifende methodische Grundlage zur Bewertung der Projektergebnisse zu entwickeln und umzusetzen, um die übergeordnete Analyse der Ergebnisse zu erleichtern. Darüber hinaus wird durch die Durchführung zentraler Veranstaltungen (z. B. 1. Statuskonferenz am 26. und 27. April 2023 in Berlin - Neue Wege der Industrie zur Klimaneutralität), die Entwicklung von Strategien zur Treibhausgasminderung und die Darstellung von Transformationspfaden vorangetrieben.

Ein Teil des Projektes ist die Durchführung einer GIS-Analyse. Dabei werden die Industriestandorte der jeweiligen Branchen lokalisiert und deren spezifischer Energiebedarf ermittelt. Die Analyse gibt u. a. Aufschluss darüber, ob es möglich ist, den



**ABBILDUNG 30: GIS-ANALYSEN FÜR DIE INDUSTRIESTANDORTE IN DEUTSCHLAND UNTERTEILT IN DIE JEWEILIGEN BRANCHEN DER GRUNDSTOFFINDUSTRIE UND DEN POTENZIELLEN WASSERSTOFFBEDARF**

jeweiligen Industriestandort z. B. mit grünem Wasserstoff aus Windenergie zu versorgen oder komplett auf grünen Wasserstoff umzustellen.

Abbildung 30 zeigt exemplarisch die GIS-Analysen für die Industriestandorte in Deutschland unterteilt in die jeweiligen Branchen der Grundstoffindustrie und den potenziellen Wasserstoffbedarf sowie das geplante Wasserstoff-Kernetz.

### Ammoniak

Auch im letzten Jahr hat Ammoniak einen großen Stellenwert in den Forschungsthemen der IFT eingenommen. Drei neue Projekte (NH<sub>3</sub>-Ziegel, Green-NH<sub>3</sub> und NH<sub>3</sub>preheat) sind in 2023 gestartet.

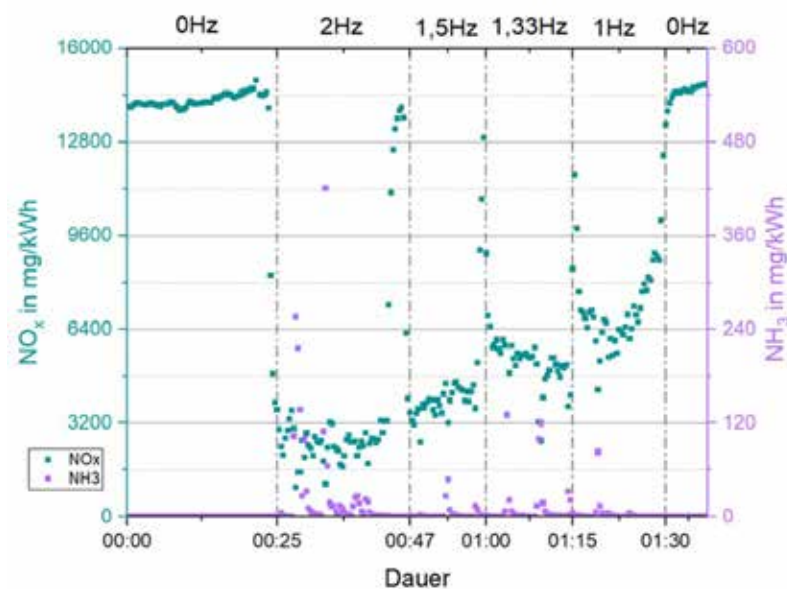


ABBILDUNG 31: NO<sub>x</sub>- UND NH<sub>3</sub>-EMISSIONEN EINES INDUSTRIEBRENNERS BEI UNTERSCHIEDLICHEN OSZILLATIONSFREQUENZEN

Der Zweck des Forschungsprojektes AmOsZi (IGF: Fördernr.: 21858 N) ist die Entwicklung optimaler Betriebsparameter für die stickoxidarme Verbrennung von Ammoniak als kohlenstofffreiem Energieträger. Neben geringen Stickoxidemissionen sollen auch der Ammoniakschlupf und die N<sub>2</sub>O-Konzentration möglichst niedrig sein. Das Vorhaben wird gemeinsam mit dem Institut für Technische Chemie des Karlsruher Instituts für Technologie bearbeitet. Über die bekannten Verfahren zur NO<sub>x</sub>-Minderung hinaus soll geprüft werden, ob durch Kombination bewährter Primärmaßnahmen mit einem oszillie-

renden Betrieb mit Hilfe einer zeitlichen Taktung der Ammoniak-Zufuhr eine Minimierung der Stickoxid-Konzentration erreichbar ist, siehe Abbildung 31. Die Grenzwerte der TA-Luft sollen dabei ganz ohne zusätzliche Sekundärmaßnahmen eingehalten werden. In der Abfolge des Projekts konnten zwei Messkampagnen an den instituts-eigenen Versuchsanlagen mit verschiedenen Industriebrennern, sowie numerische Simulationen und reaktionskinetische Berechnungen durchgeführt werden. Zusätzlich erfolgt eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der gesamten Prozesskette der Ammoniaknutzung als Brennstoff.

Im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens „NH<sub>3</sub>-Ziegel“ (Fördernr.: 22893N) wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ziegelforschung Essen e.V. Ammoniak auf seine Eignung für den Einsatz in der Ziegelindustrie untersucht. Zur grundlegenden Untersuchung der Ammoniakverbrennung wurden erste Untersuchungen mit Erdgas / Ammoniak- und Wasserstoff / Ammoniak-Gemischen am Laborprüfstand durchgeführt. Abbildung 32 zeigt die Verbrennung eines Gemisches aus 70 Vol.-% Ammoniak und 30 Vol.-% Erdgas. Darüber hinaus wurden Untersuchungen an zwei verschiedenen, in der Ziegelindustrie vorhandenen Brennersystemen durchgeführt. Dazu wurden

zwei verschiedene Typen von Brennersystemen aus der Ziegelindustrie mit unterschiedlichen Brenngasgemischen aus Erdgas / Ammoniak und Wasserstoff / Ammoniak experimentell am Versuchsofen betrieben und hinsichtlich Flammenstabilität und Emissionen untersucht. Teil des Projektes sind auch Untersuchungen an Ziegelbrennprozessen, wobei



ABBILDUNG 32: ERDGAS / AMMONIAK-GEMISCH

die Auswirkungen der durch die Ammoniakverbrennung veränderten Ofenraumatmosfera auf die Farbgebung und Produktqualität der Ziegelbrennprozesse werkstofftechnisch untersucht werden. Dabei werden drei verschiedene Ziegelarten bei unterschiedlichen Gasgemischen aus Erdgas, Wasserstoff und Ammoniak betrachtet.

Im Rahmen des ZIM-Projektes NH<sub>3</sub>preheat (Fördernr: KK5554301MP3) arbeitet das GWI zusammen mit der Kueppers Solutions GmbH an Nutzbarmachung von Ammoniak für industrielle Brennersysteme. Das übergeordnete Ziel des Projektes ist es einen Rekuperatorbrenner zu entwickeln mit dem 100 % Ammoniak stabil, sicher und möglichst schadstoffarm verbrannt werden kann. Da Ammoniak ein träges Brenngas ist und gleichzeitig über den im brennstoffgebundenen Stickstoff zur erhöhten Bildung von Stickoxiden neigt, soll die Vorwärmung des verwendeten Brenngases hier ein Schlüssel sein, um die schlechten Verbrennungseigenschaften von NH<sub>3</sub> auszugleichen. Mit Hilfe von reaktionskinetischen Simulationen werden zunächst die Auswirkungen auf die Schadstoffbildung, speziell NO<sub>x</sub> und N<sub>2</sub>O, untersucht und wirksame Maßnahmen zur primären Reduzierung der entstehenden Schadstoffe abgeleitet. Basierend auf den numerisch ermittelten Ergebnissen wird ein Laborbrenner entwickelt und anschließend additiv gefertigt. Am Brennerprüfstand wird der Einfluss der Brenngasvorwärmung zudem experimentell untersucht. Die erzielten Ergebnisse liefern nicht nur wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Schadstoffbildung und Flammenstabilität, sondern durch optische Messverfahren auch zur Charakterisierung von Ammoniak bzw. ammoniakhaltigen Flammen. Erste

Aufnahmen, die den Einfluss der Vorwärmung auf die NH<sub>3</sub>-Verbrennung zeigen, sind in Abbildung 33 dargestellt und wurden mit einer OH\*-sensitiven Kamera aufgenommen.

Die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Erreichung der Klimaziele, der Kohleausstieg, die Einbindung erneuerbarer Energien sowie die gleichzeitige Bereitstellung einer konstanten und sicheren Energiemenge stellen die großen Herausforderungen der nächsten Jahre dar. Gerade für NRW als

Deutschlands Ballungsraum energieintensiver Industrien müssen alternative Konzepte entwickelt und umgesetzt werden. Im Rahmen des, vom Land NRW geförderten Projektes Green-NH<sub>3</sub> (Förderkennzeichen: EFO 0197A) werden die Möglichkeiten und Potenziale einer NH<sub>3</sub>-Nutzung in Kessel-

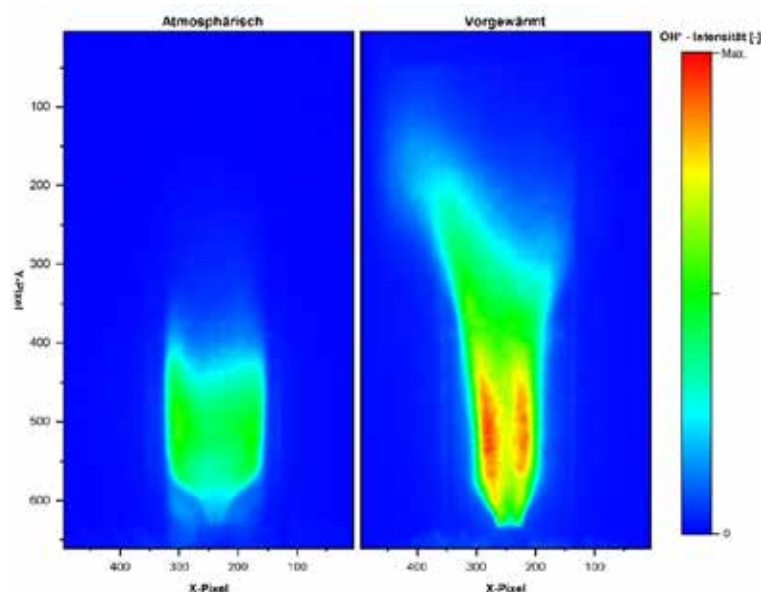


ABBILDUNG 33: OH\*-AUFNAHMEN EINER ATMSPHÄRISCHEN (LINKS) UND EINER VORGEWÄRMTE (RECHTS) AMMONIAK-LUFT-VERBRENNUNG

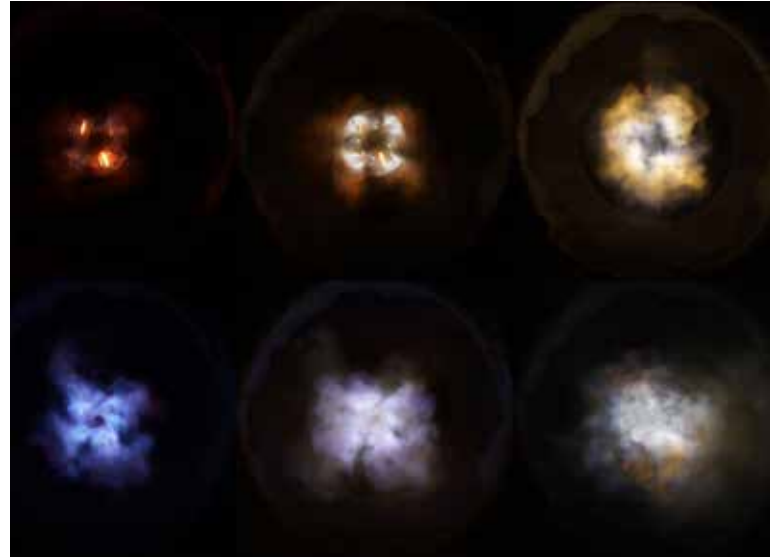
anwendungen untersucht. Dazu gehören generelle Grundlagenuntersuchungen, die Entwicklung eines schadstoffarmen Verbrennungssystems sowie die Übertragung auf reale Anlagen mit Hilfe von CFD-Simulationen.

Im Rahmen der ersten Arbeiten wurde ein kommerzielles Brennersystem für Kesselanwendungen hinsichtlich des Schadstoff- und Flammenstabilitätsverhaltens am GWI detailliert untersucht. Die Abbildung 35 liefert die erzielten Ergebnisse bzgl. des Schadstoffverhaltens in Abhängigkeit des NH<sub>3</sub>-Anteils im Erdgas H und Wasserstoff. Neben dem NO<sub>x</sub>-Verlauf wurde als relevante Erkenntnis zudem das Ende der Flammenstabilität betrachtet. So konnte im Erdgasbetrieb nur ein volumetrischer Anteil von ca. 37,5 Vol.-% NH<sub>3</sub> beigemischt wer-

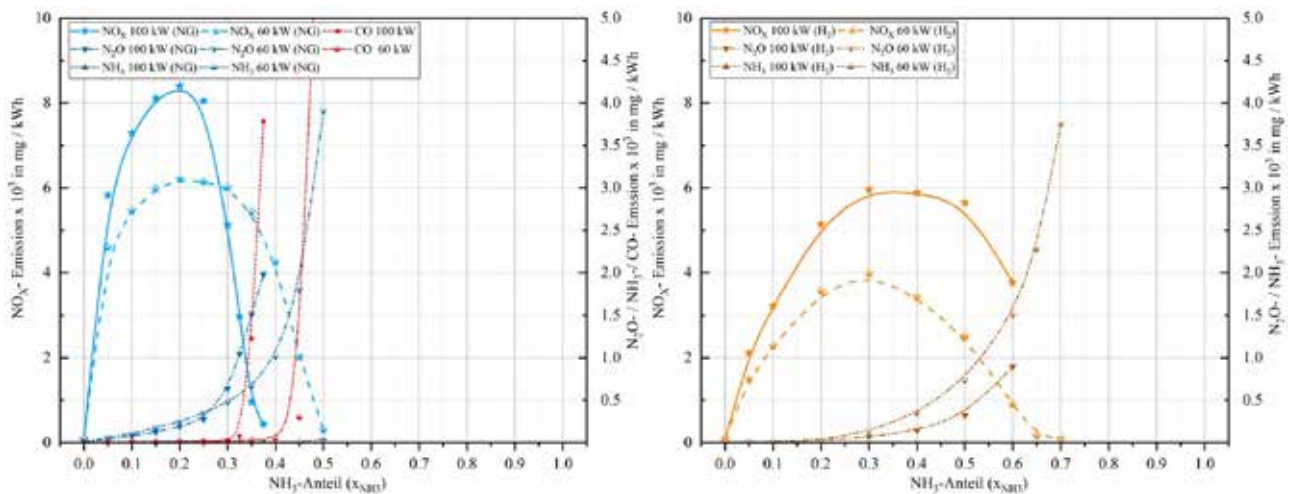


den, darüber hinaus erlosch stets die Flamme. Der Wasserstoffbetrieb lies in diesem Kontext eine Zumischrate von bis zu 70 Vol.-%  $\text{NH}_3$  zu, siehe Abbildung 34.

Parallel zu den beschriebenen experimentellen Arbeiten wurden am GWI zudem grundlegende reaktionskinetische Untersuchungen verschiedener Brenngasgemische bestehend aus Erdgas und Ammoniak sowie Wasserstoff und Ammoniak durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk wurde der Prüfung von primären  $\text{NO}_x$ -Minderungsmaßnahmen zu Minderung der stets hohen  $\text{NO}_x$ -Konzentration zu teil.



**ABBILDUNG 34: RESULTIERENDE FLAMMENBILDER BEI DER UNTERSUCHUNG EINES KESSELBRENNERS MIT AMMONIAK IM BRENNGAS; OBERE BILDREIHE: WASSERSTOFF, UNTERE: ERDGAS H; LINKS: OHNE  $\text{NH}_3$ , MITTE: 5 VOL.-%  $\text{NH}_3$ , RECHTS: 10 VOL.-%  $\text{NH}_3$**



**ABBILDUNG 35: AUSWIRKUNG DER  $\text{NH}_3$ -BEIMISCHUNG IN ERDGAS H (LINKS) UND IN WASSERSTOFF (RECHTS) AUF DIE SCHADSTOFFEMISIONEN  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  UND CO**

## Wasserstoff

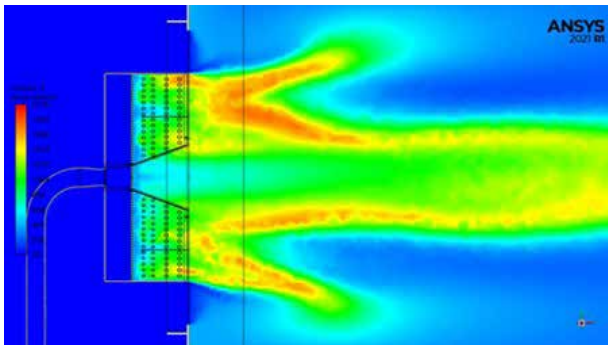
Die Verwendung von Wasserstoff als klimaneutralen Brennstoff im Rahmen der Transformation hin zu einer dekarbonisierten Industrie ist ein weiterer Forschungsschwerpunkt der IFT.

Im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens „EffiH<sub>2</sub>“ (IGF-Förderkennzeichen: 21773 N) werden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Verbrennung der RWTH Aachen Flächen- und Kanalbrenner hinsichtlich ihrer Brennstoffflexibilität für den Einsatz von Prozessgasen und Wasserstoff untersucht und darauf aufbauend ein generisches, flexibles Brennerkonzept sowie ein Verbrennungsmodell entwickelt. Es wurden Untersuchungen an vorhandenen Flächenbrennern durchgeführt. Dazu wurden zwei verschiedene Typen von Flächenbrennern mit unterschiedlichen Brenngasen experimentell am Versuchsofen betrieben und hinsichtlich Temperaturen und Emissionen untersucht.

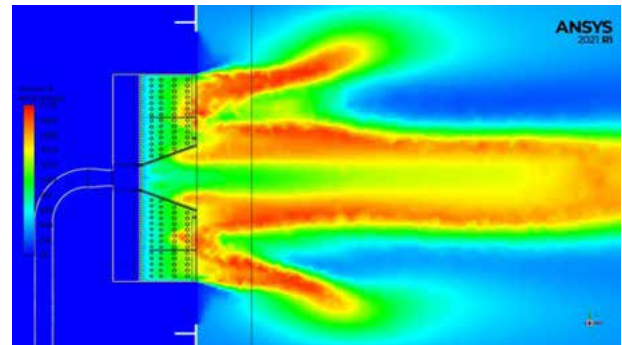
Mittels CFD-Simulation wurden Optimierungen an einem bestehenden Brennersystem erarbeitet. Das angepasste und optimierte Brennersystem wurde anschließend erneut experimentell untersucht. Die Ergebnisse der CFD-Simulation bezüglich der Optimierung sind in Abbildung 36 dargestellt. Dort ist auf der linken Seite die Verbrennung von Erdgas dargestellt. Oben im Ausgangszustand und unten im optimierten Zustand. Rechts ist eine Wasserstofffeuerung dargestellt.

Zur weiteren Untersuchung und Optimierung des Verbrennungsprozesses wurde ein neues Verbrennungsmodell auf Basis des Multi-Regime-Ansatzes entwickelt. Das Verbrennungsmodell ist in der Lage, wichtige Prozessparameter wie (Teil-)Vormischzustände sowie die Verbrennung von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen und Prozessgasen abzubilden. Zur Verifizierung des Modells wurden laserbasierte Messungen an einem Schlitzbrenner im Labormaßstab durchgeführt.

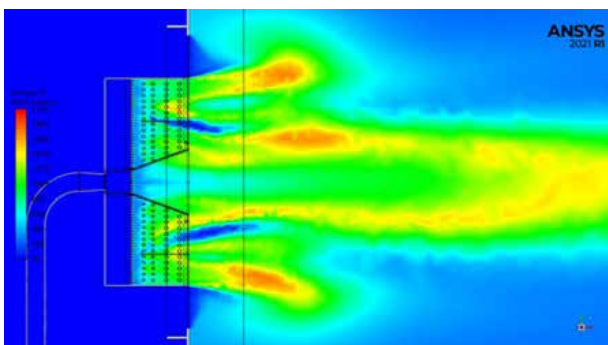
Ausgangszustand - Erdgas



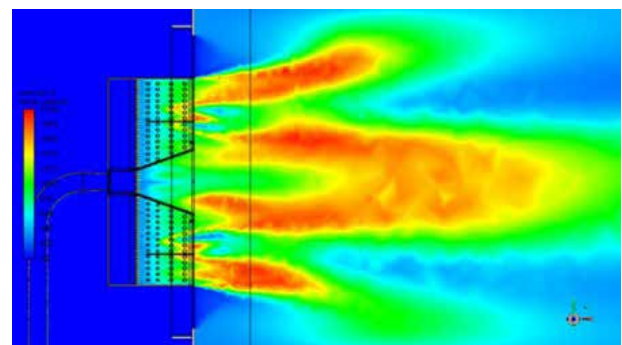
Ausgangszustand - Wasserstoff



Optimierter Zustand - Erdgas



Optimierter Zustand - Wasserstoff



**ABBILDUNG 36: TEMPERATURVERTEILUNG IM BRENNERNAHBEREICH BEI ERDGAS (LINKS) UND H<sub>2</sub> (RECHTS) FEUERUNG BEI UNTERSCHIEDLICHEN DÜSENDURCHMESSERN**

Das Projekt OptiLBO (Förderkennzeichen: 03EN2069 A) ist als erstes Forschungsprojekt der Technologieoffensive Wasserstoff des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit dem Ziel gestartet, die CO<sub>2</sub>-Emission der Sekundärstahlherstellung durch innovative Prozess-, Brenner- und Regelungstechnik zu reduzieren.

Neben der Entwicklung einer KI-basierten Prozesssteuerung durch die Projektpartner, wurde zudem ein innovatives Oxy-fuel-Brennersystem entwickelt.

Das neue Brennersystem wurde im additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) hergestellt und insbesondere für einen späteren Einsatz mit grünem Wasserstoff und damit für einen CO<sub>2</sub>-freien Betrieb des Lichtbogenofens vorbereitet. Das zuvor am GWI experimentell untersuchte Brennerdesign wurde auf die entsprechende Zielleistung hochskaliert und befindet sich derzeit in der Fertigung. Währenddessen

wurde bereits mit Hilfe von CFD-Simulationen der Betrieb der neuen Brenner im Lichtbogenofen numerisch untersucht. Die Ergebnisse sind sowohl hinsichtlich des Wärmeeintrags als auch im Hinblick auf die Sauerstoffinjektion in die Schmelze als positiv zu bewerten, s. Abbildung 37. Der nächste Projektschritt sieht den Einbau der neuen Brenner am Lichtbogenofen mit anschließenden Langzeitversuchen vor.

Das Ziel des vom Bundesland NRW geförderten Projektes COSiMa - CO<sub>2</sub>-neutraler Saint-Gobain Standort Herzo-

genrath - Machbarkeitsuntersuchungen (Förderkennzeichen: EFO 0133F) ist die Untersuchung der Bedingungen zur Umstellung eines realen Prozesses zur Auto-glasherstellung am Glasproduktionsstandort Herzogenrath des Unternehmens Saint-Gobain. Angestrebt wird ein Machbarkeitsnachweis des Erreichens der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Neutralität des Gesamtprozesses bis zum Jahr 2030.

Das Konsortium umfasst neben dem Glashersteller und dem GWI drei Forschungseinrichtungen der RWTH Aachen. Die CO<sub>2</sub>-neutrale Umstellung der Glasproduktion soll mittels einer elektrischen Beheizung

mit Unterstützung durch eine Wasserstofffeuerung erreicht werden. Darüber

hinaus sollen auch weitere mögliche energetische Optimierungspotenziale des Herstellungsprozesses identifiziert

werden. Die Vernetzung aller Energieverbraucher des Prozesses mit Hilfe einer smarten Infrastruktur bildet

einen weiteren Schwerpunkt des Vorhabens. Im Zuge des Projekts konnten am GWI bereits mehrere

Messkampagnen zur Analyse der H<sub>2</sub>-Verbrennung und möglicher Einflüsse auf Glaswerkstoffe durchgeführt werden, s. Abbildung 38. Die experimentellen Arbeiten werden durch umfangreiche CFD-Simulationen ergänzt.

Den Schwerpunkt des Verbundprojektes MigWa -

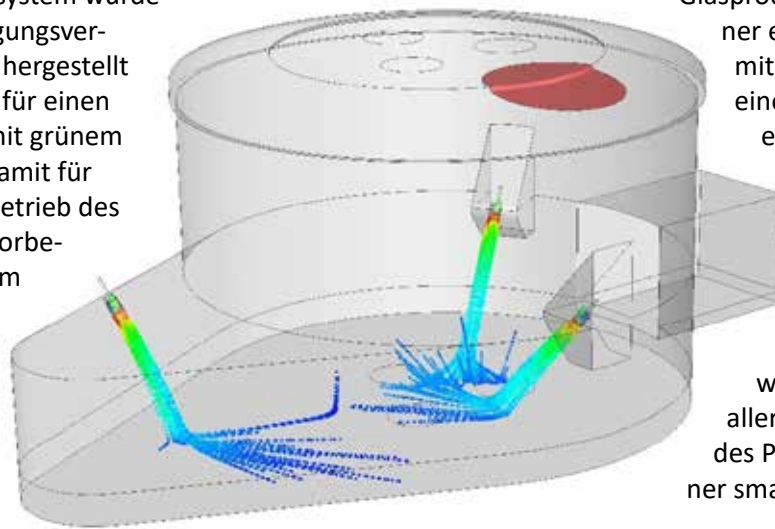


ABBILDUNG 37: ERGEBNIS DER CFD-SIMULATION; STROMLINIEN MIT MEDIENGESCHWINDIGKEITEN [QUELLE: GWI]

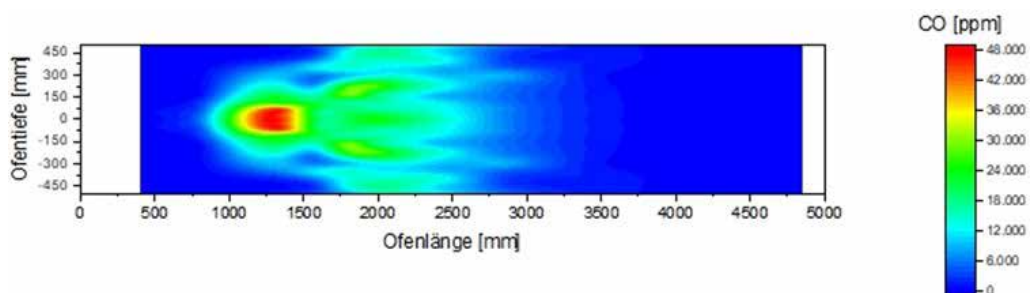
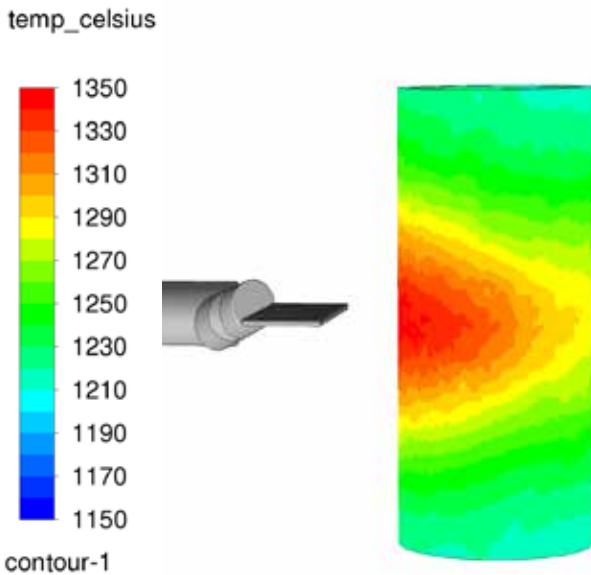


ABBILDUNG 38: DARSTELLUNG EINER MESSUNG EINER OXYFUEL-FLAMME ANHAND DER CO-VERTEILUNG IM OFENRAUM

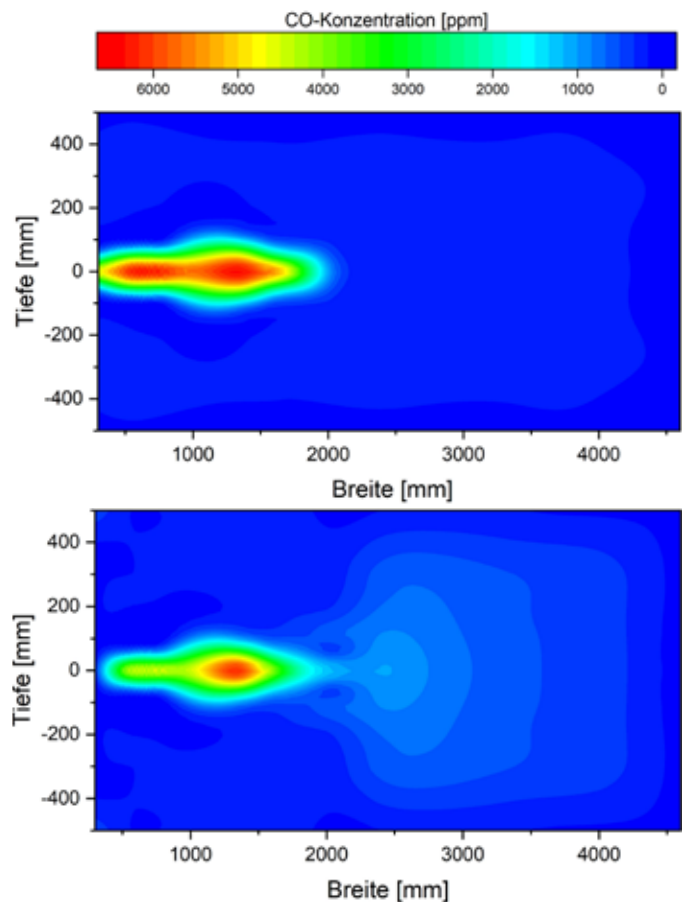




**ABBILDUNG 39: SIMULIERTE TEMPERATURVERTEILUNG EINES FLAMMENBEAUFSCHLAGTEN GLASZYLINDERS**

Mikrowelle-Glas-Wasserstoff, CO<sub>2</sub>-Einsparung bei der Glasherstellung durch neuartige und klimaschonende Beheizung (Förderkennzeichen: 01LJ2001 C), welches im Rahmen der KlimPro-Initiative des BMBF unter der Führung des Glasherstellers Schott durchgeführt wird, bildet die Erforschung neuartiger und innovativer Technologien zur direkten Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Glasherstellungsprozess mittels einer klimaschonenden Beheizung auf Basis von Mikrowellenstrahlern. Außerdem sollen Prozesse zur Wasserstoffbeheizung von Schmelzanlagen und Einrichtungen zur Heißnachverarbeitung entwickelt werden. Langfristig sollen alle kohlenstoffhaltigen Brennstoffe im Glasherstellprozess ohne Einfluss auf die Produktqualität stark reduziert werden. Zusätzlich ist die Frage zu klären, inwieweit durch alternative Rohstoffe eine Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz erreicht werden kann. Das GWI hat im Verlauf des Projekts verschiedene Oxyfuel-Brenner an einem Hochtemperatur-Versuchsofen untersucht und zahlreiche numerische Simulationen durchgeführt, s. Abbildung 39. Finales Ziel des Projektes ist es, das CO<sub>2</sub>- und Energieeinsparungspotenzial zu bilanzieren und Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des Gesamtvorhabens zu treffen.

Im Projekt „H<sub>2</sub>-Glas - Wasserstoffzumischung ins Erdgas als Chance zur Minderung der brennstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und Auswirkung auf den Glasherstellungsprozess“ wurden in Zusammenarbeit mit der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) die Auswirkungen von verschiedenen Wasserstoff-Erdgas-Gemischen bis hin zum Einsatz von reinem Wasserstoff in der Glasindustrie untersucht. Wesentliche Aspekte der Forschung waren: Wärmeübertragung im Regenerator bei sich ändernde Abgaszusammensetzung und Abgasmenge, Untersuchungen der Verbrennung in Oxy-Fuel- und Air-Fuel-Anwendungen, Untersuchung der Verbrennung bei Einsatz von Vormischbrenner im Feeder der Glasindustrie, Untersuchung der Glasqualität in Oxy-Fuel-Glasmelzaggregate. Die Visualisierung von CO in einer Oxy-Fuel-Flamme, Abbildung 40, zeigt auf, dass die Flammenlänge bei Zugabe von Wasserstoff nicht signifikant verändert wird, wenn Gas- und



**ABBILDUNG 40: CO-KONZENTRATIONEN BEI VERBRENNUNG VON ERDGAS (OBEN) UND EINES ERDGAS-H<sub>2</sub>-GEMISCHES MIT REINEM SAUERSTOFF (UNTEN)**

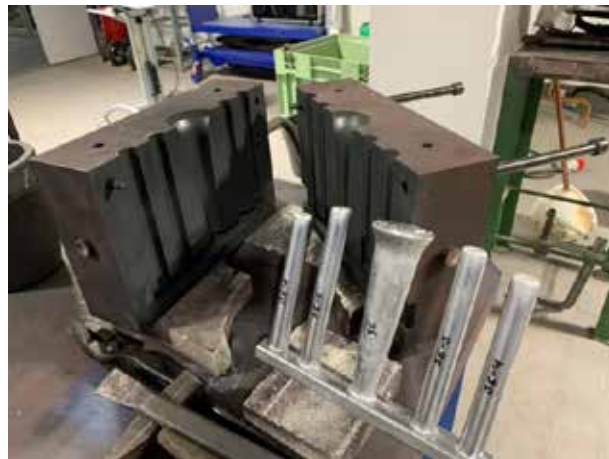
Luftvolumenstrom hinsichtlich einer konstanten Leistung und Oxidatorzahl geregelt werden. Dieser Sachverhalt gilt sowohl für verschiedene Erdgas-Wasserstoff-Gemische als auch bei Einsatz von reinem Wasserstoff in Air-Fuel- sowie in Oxy-Fuel-Anwendungen.

In Bezug auf die Glasqualität in Oxy-Fuel-Anwendungen wurde beobachtet, dass die steigende Abgasfeuchte, infolge von zunehmendem H<sub>2</sub>-Gehalt im Brenngas, die Glasfarbe beeinflussen kann. Bei unterstöchiometrischer Verbrennung kann die Anwesenheit von Wasserstoff und / oder CO im Abgas für reduzierende Bedingungen sorgen und so braune Schlieren in Weißglas (Float- bzw. weißes Behälterglas) verursachen. Je nach Mechanismus, Glasfarbe und H<sub>2</sub>-Gehalt des Brenngases muss daher die Rohstoffmischung angepasst bzw. so korrigiert werden, dass das Braunchromophor (in Braunglas) stabilisiert bzw. erhalten oder die braune Verfärbung (in Weißglas) verhindert wird.

Detaillierte Informationen zu Auswirkungen von Wasserstoff bei Einsatz in der Glasindustrie sind im

Die Untersuchung der möglichen Beeinflussung der metallischen Produktqualität stellt einen weiteren Schwerpunkt in den F&E-Aktivitäten dar. Das Ziel des am 1. Oktober 2022 gestarteten Projektes „H<sub>2</sub>-Alu“ (Förderkennzeichen: 01LJ2106A – C) ist die materialtechnische Untersuchung der Auswirkungen einer Wasserstoffzumischung zum Erdgas auf die Aluminiumqualität. Das Projekt „H<sub>2</sub>-Alu“ ist ein Verbundprojektes der KlimPro-Initiative des BMBF, die Initiative fördert Projekte zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Grundstoffindustrie.

Die industrienahen, experimentellen Untersuchungen beinhalteten das Aufschmelzen von Sekundär-aluminiumproben, mit unterschiedlichen Erdgas-Wasserstoff-Gemischen. Die Abbildung 41 zeigt das Gießen und die erstarrte Probe. Die Proben wurden anschließend von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) metallurgisch untersucht. U. a. dient die Porosität als Indikator für eine gesteigerte Wasserdampfkonzentration im Aluminium. Die Abbildung 42 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Untersuchung des OVGU. Im



**ABBILDUNG 41: GIESSEN DES GESCHMOLZENEN ALUMINIUMS IN DIE FORM (RECHTS) UND DAS ENTSTANDENE GUSSTEIL (LINKS)**

Abschlussbericht ausgeführt, welcher unter dem folgenden Link heruntergeladen werden kann.  
<https://www.gwi-essen.de/publikationen/publikationen-am-gwi/abschlussberichte/abschlussbericht-h2-glas/>

Allgemein kann man sagen, dass in den Proben eine geringe Porosität gemessen wurde, die es schwierig macht, eine valide Aussage zu treffen. Aktuell werden weitere Langzeituntersuchungen unter verschiedenen Erdgas-Wasserstoff-Verbrennungsatmosphären durchgeführt, um die bisherigen Ergebnisse zu bestätigen.

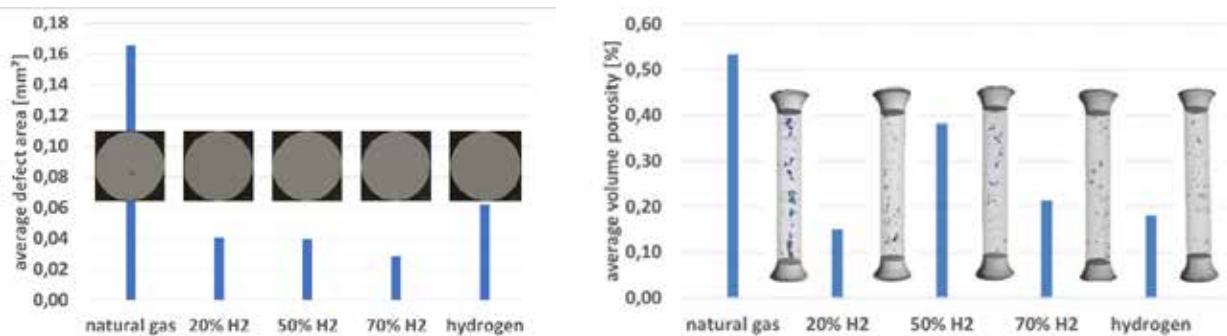


ABBILDUNG 42: ERMITTELTE DEFEKTFLÄCHE IM QUERSCHNITT (LINKS) UND VOLUMENPOROSITÄT (RECHTS) FÜR DIE UNTERSUCHTEN ALUMINIUMPROBEN

### Brennerentwicklung und MSR-Technik

Gemeinsam mit der OWI Science for Fuels gGmbH wurde im Projekt „InteBRA - Integrales Mehrstoffbrennersystem zur Erzeugung industrieller Prozesswärme aus flüssigen und gasförmigen Ersatzbrennstoffen – Integration eines Vorverdampfungskonzeptes für flüssige Biobrenn-, Rest- und Abfallstoffe“ (IGF-Fördernr.: 21192 N) ein Brennersystem entwickelt, das die energetische Nutzung von Biobrennstoffen der 2. und 3. Generation sowie von industriellen flüssigen und gasförmigen Nebenprodukten zur Erzeugung von Prozesswärme ermöglicht. Die Verbrennungseigenschaften dieser Stoffe stellen, u. a. aufgrund hoher Wasseranteile, eine enorme Herausforderung für die Betriebssicherheit, insbesondere für das Zündverhalten

und die thermische Stabilität der Flamme dar und wurden daher in Voruntersuchungen näher charakterisiert. Ziel der Entwicklung war es, eine stabile Verbrennung ohne Zufeuerung von konventionellen Brennstoffen bei geringen Schadstoff- und Partikelemissionen zu gewährleisten. Das gewählte Brenner-Design basiert auf dem COSTAIR-Prinzip und integriert ein Vorverdampfungskonzept für flüssige Brennstoffe, das die für deren Verdunstung notwendige Energie aus recyceltem Abgas bezieht. Die Auslegung erfolgte im Rahmen von numerischen Untersuchungen für die kombinierte Verbrennung schwachkalorischer Brenngasgemische und Pyrolyseölen. Ein 100-kW-Funktionsmuster des Brenners wurde im Anschluss am GWI für den Einsatz in einer Kesselanwendung mit



ABBILDUNG 43: ENTWICKELTES MEHRSTOFFBRENNERSYSTEM (LINKS) IM 100-kW-BETRIEB MIT SYNTHESSEGAS (RECHTS).



exemplarisch ausgewählten Brennstoffen erprobt, Abbildung 43. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen zeigten, dass mit dem gewählten technischen Ansatz für die angestrebte Brennstoffkategorie eine flexible Mehrstoffverbrennung bei geringen Schadstoffemissionen, unter Einhaltung der gültigen Grenzwerte prinzipiell möglich ist.

Das Ziel des BMWi-Forschungsvorhabens „BrEEga - Entwicklung eines innovativen Brennersystems zur Einsparung von fossilem CO<sub>2</sub> durch die flexible Nutzung von Gasen erneuerbaren Ursprungs und Prozessgasen der Industrie“ (Förderkennzeichen: 03EN2070 A – B) liegt in der Dekarbonisierung von industriellen Feuerungsprozessen durch die Entwicklung eines variablen Brennersystems zur Nutzung erneuerbar erzeugter Brenn- und Prozessgase zur Bereitstellung von Prozesswärme. Ferner wurde die Steigerung der Flexibilität hinsichtlich des Lastregelbereichs zudem als Entwicklungsziel definiert. Anlagenflexibilität zählt neben der Brennstoffflexibilität zu dem Rüstzeug für konventionelle Thermoprozessanlagen, um in Zukunft bestehen zu können.

Im Rahmen des genannten Vorhabens wurde ein Brennersystem entwickelt und bereits experimentell untersucht, das neben dem NO<sub>x</sub>-armen Betrieb mit unterschiedlichen Brenngasen, einen hohen Regelbereich ermöglicht. Im Versuchsbetrieb konnte bei der Verbrennung von Erdgas H ein Regelbereich von 1 : 200 und im reinen Wasserstoffbetrieb 1 : 100 realisiert werden. Die Abbildung 44 zeigt den beschriebenen Brenner (Nennleistung 180 kW) im Erdgasbetrieb bei einer Brennerleistung von nur einem Kilowatt.

Seit April 2023 läuft am GWI das Projekt „OSM-Brenner – Erprobung von Sauerstoffspeichermaterialien (OSM) für die Wärmeproduktion aus gasförmigen Brennstoffen“ (IGF-Fördernr.: 22675 BG), in dem Sauerstoffspeichermaterialien für die

dezentrale Sauerstofferzeugung in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme und dem Institut für Thermodynamik der Universität der Bundeswehr in München erprobt werden. Sauerstoffspeicherkeramiken sind Keramiken, die Sauerstoff aus der Umgebung aufnehmen und dann an einen sauerstoffarmen Gasstrom wieder abgeben können. Auf diese Weise wäre es möglich, kosten- und energieeffizient Sauerstoff im kleinen Maßstab für kleinskalige Anwendungen bereitzustellen.

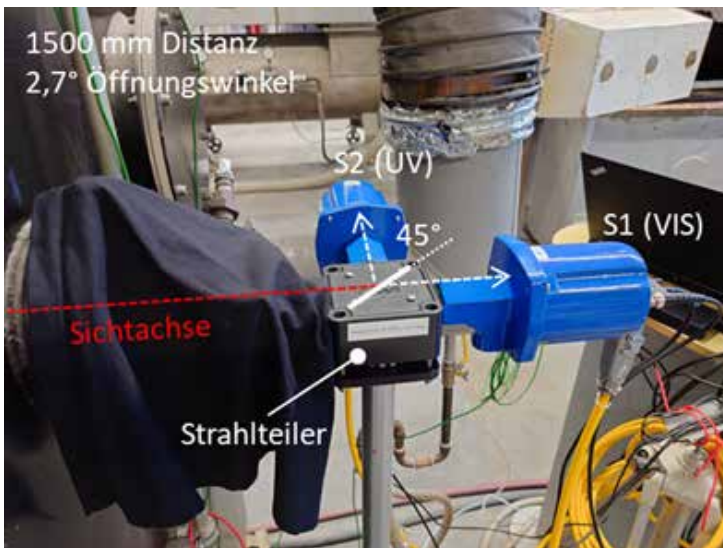
Der konkret angedachte Anwendungsfall ist ein erdgas-beheiztes Strahlheizrohr mit einer Leistung im niedrigen zweistelligen kW-Bereich, in dem eine Sauerstoffspeicherkeramik in Kombination mit einem Gasbrenner zum Einsatz kommen soll. Strahlheizrohre werden in vielen Industrieöfen zur indirekten Beheizung von Wärmegütern eingesetzt, wobei gasförmige Brennstoffe und reku-



ABBILDUNG 44: AUFNAHME DES HOCHTEMPERATUROFENS; BETRIEB DES NEU ENTWICKELTEN BRENNERS BEI 0,1 % LAST, QUELLE: GWI

perativ oder regenerativ vorgewärmte Luft verwendet werden. Im Rahmen des Projekts soll eine Kombination eines Strahlrohr-Brenners und einer Sauerstoffspeicherkeramik entwickelt werden, bei der die Keramik zyklisch mit Luft-Sauerstoff aufgeladen wird, und diesen dann anschließend an das Brenngas abgibt. Auf diese Weise könnte das Strahlheizrohr mit Hilfe einer Oxy-Fuel-Verbrennung betrieben werden, wodurch bessere feuerungstechnische Effizienzen und niedrigere



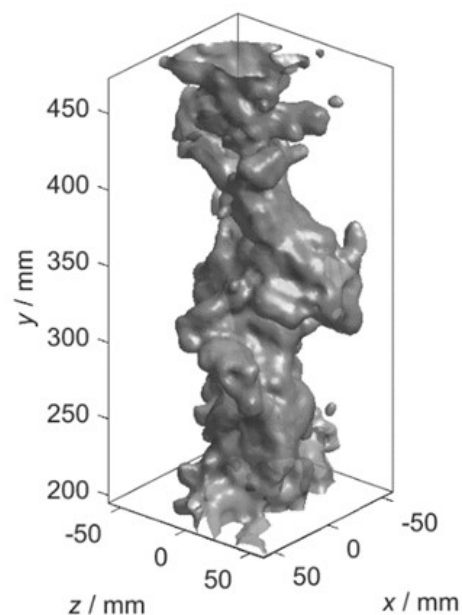


**ABBILDUNG 46: ERPROBUNG EINER ZWEI-SENSOR-ANORDNUNG FÜR DIE FLAMMENÜBERWACHUNG**

Im Rahmen von „Tomo-Pro - Entwicklung eines optischen Detektionssystems für die Anwendung der 3D-Chemilumineszenz-Tomographie in industriellen Hochtemperatur-Prozessen“ (IGF-Fördernr.: 21479 BG) wurde auch hier gemeinsam mit dem Institut für Energie- und Materialprozesse (EMPI) an der Universität Duisburg-Essen und dem Gastechnologischen Institut in Freiberg (DBI) eine optische Sonde auf der Basis kostengünstiger industrieller Kamerasysteme zur Anwendung der 3D-Chemilumineszenz-Tomographie in Hochtempera-

turumgebungen entwickelt. Die wassergekühlte Sonde ermöglicht den erstmaligen Einsatz eines bildgebenden 3D-Verfahrens für die Verbrennungsdiagnostik in Feuerungen industriellen Maßstabs. Im Gegensatz zur bisherigen, reinen 2D-Bilderfassung können somit erstmals ortaufgelöste Informationen erhalten werden. Die mit dem tomographischen Detektionsverfahren gewonnenen 3D-Daten können neben der Weiterentwicklung von mathematischen Modellen für die numerische Strömungssimulation und deren experimenteller Validierung, zukünftig auch dem Monitoring von Thermoprozessen dienen. Abbildung 47 zeigt die Erprobung des mit 10 Bildsensoren ausgestatteten Kamerasystems im Versuchsofen des GWI bei der Erfassung einer 100 kW Erdgas-Luft-Flamme. Die Sonde erlaubt die simultane Erfassung von Aufnahmen der instantanen  $\text{CH}^*$ -Chemilumineszenz-Intensität aus 10 unterschiedlichen Positionen um die Flamme. Aus den Aufnahmen wird im Anschluss das 3D-dimensionale Feld der Strahlungsintensität mit Hilfe tomographischer Algorithmen berechnet, aus dem wiederum die Lage, Form und Struktur der Flammenfront abgeleitet werden kann. Das Projekt lieferte wertvolle Erkenntnisse für Anwendbarkeit tomographischer Detektionserfahren auf reale Thermoprozesse.

Die Sonde erlaubt die simultane Erfassung von Aufnahmen der instantanen  $\text{CH}^*$ -Chemilumineszenz-Intensität aus 10 unterschiedlichen Positionen um die Flamme. Aus den Aufnahmen wird im Anschluss das 3D-dimensionale Feld der Strahlungsintensität mit Hilfe tomographischer Algorithmen berechnet, aus dem wiederum die Lage, Form und Struktur der Flammenfront abgeleitet werden kann. Das Projekt lieferte wertvolle Erkenntnisse für Anwendbarkeit tomographischer Detektionserfahren auf reale Thermoprozesse.



**ABBILDUNG 47: ERPROBUNG DER KAMERASONDE MIT 10 SENSOREN AN EINER 100 kW ERDGAS-LUFT-FLAMME IM GWI-VERSUCHSOFFEN (LINKS, BLICK VON OBEN) UND INSTANTANE TOMOGRAPHISCHE 3D-REKONSTRUKTION DER FLAMMENFRONT, DARGESTELLT DURCH EINE ISOFLÄCHE (RECHTS).**





**ABBILDUNG 48: TEILNEHMERINNEN UND TEILNEHMER DER VERANSTALTUNG „AMMONIAK - MEHR ALS EIN MOLEKÜL?“**

### Veröffentlichungen, Vorträge und Messen

Im Vergleich zu den letzten pandemiegeprägten Jahren, bei denen viele Veranstaltungen lediglich virtuell stattfanden, hat sich die Situation 2023 weitestgehend normalisiert, auch wenn der Anteil an Online-Veranstaltungen im Vergleich zu früher nach wie vor deutlich höher ist. Viele etablierte und für Forschung und Industrie wichtige Veranstaltungen im In- und Ausland fanden wieder als Präsenzveranstaltungen statt, und Kolleginnen und Kollegen der IFT waren vor Ort, um aktuelle Forschungsergebnisse vorzustellen und zu diskutieren. Hierzu zählen etwa der 31. Flammentag (in Berlin) [9], [10], [11] das 55. Kraftwerkstechnische Kolloquium in Dresden, wo das GWI neben zwei Fachvorträgen [12], [13] auch mit einem Stand vertreten war, das 4. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium [14], [15] oder auch das 11<sup>th</sup> European Combustion Meeting (ECM) in Rouen (Frankreich) [16], [17]. Bei einem von der International Flame Research Foundation (IFRF) organisierten Workshop am Vortag der ECM war das GWI außerdem mit einer Keynote zur Bedeutung von Skaleneffekten, semi-industriellen experimentellen Untersuchungen und CFD-Simulationen in der angewandten Verbrennungsforschung [18] präsent. Neben diesen bereits etablierten Veranstaltungen ergab sich auch die Möglichkeit, das GWI und seine Forschungsaktivitäten in vielen recht neuen, oft regional geprägten Formaten vorzustellen, etwa dem HySummit in Hamm, Duisburg und Bochum [19], der Westfälischen Wasserstoffkonferenz in Hamm [20] oder dem Branchentag Wasserstoff [21]. Bei GWI-eigenen Veranstaltungen, etwa den Branchen-Events „Energiewende Industrie“ [22] und „Ammoniak - mehr als ein Molekül?“, s. Abbildung 48, [23] lag der Fokus bei den IFT-Beiträgen 2023 auf der Ammoniakverbrennung.

Thematisch standen die Veröffentlichungen und Vorträge der IFT ganz im Zeichen von Wasserstoff und Ammoniak als alternativen, kohlenstofffreien Brennstoffen. Der Einsatz von Wasserstoff wurde dabei aus sehr unterschiedlichen Perspektiven betrachtet, von den Auswirkungen einer Wasserstoffeinspeisung in Erdgasnetze auf Gasgeräte in Haushalt und Gewerbe [9], über die Potentiale von Wasserstoff zur Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozesswärme [14], [24], [25] bis hin zur Bewertung und Vergleichbarkeit von Schadstoffemissionen bei der Wasserstoffverbrennung [13], [22], [26], [27], [28]. Bei der Ammoniakverbrennung hingegen standen eher grundlegende Fragen wie Verbrennungsstabilität und Schadstoffemissionen im Vordergrund [23], [22], [16], [12]. Weitere Veröffentlichungen der IFT befassten sich mit einem innovativen bildgebenden System zur Flammenüberwachung und -analyse [25], dem Einsatz biogener Brennstoffe [15] und der Nutzung industrieller Abwärme [29].



**ABBILDUNG 49: VORSTELLUNG DER ERGEBNISSE DES PROJEKTES BREEGA AUF DEM 1. SYMPOSIUM DER FORSCHUNGSNETZWERKE IN BERLIN**

Das Vernetzen der Forschungseinrichtungen und Unternehmen untereinander sowie der Austausch wichtiger Themen ist ein wichtiger Bestandteil der täglichen Arbeiten der Mitarbeiter der IFT. So konnte das Thema Ammoniak auf dem 1. Symposium der Forschungsnetzwerke in Berlin, s. Abbildung 49, präsentiert werden.

In 2023 war die IFT des Weiteren auf zwei Messen vertreten, der Thermprocess in Düsseldorf (mit einem Gemeinschaftsstand mit der Forschungsgemeinschaft Industrieofenbau (FOGI)) und auf der Begleitmesse des Kraftwerkstechnischen Kolloquiums, wo sich das GWI als Ganzes mit seinen Dienstleistungen präsentierte.

Zudem wurden die Aktivitäten von Institut und Abteilung internationalen Besuchergruppen vorgestellt, etwa einer französischen Wirtschaftsdelegation oder auch einer Gruppe niederländischer Bürgermeister, s. Abbildung 50.

Weiterhin wurden drei Schulungen zur industriellen Feuerungstechnik in Kooperation mit dem VDI-Wissensforum durchgeführt, aktuelle Themen wie die Wasserstoffverbrennung wurden in Kooperation mit dem GWI-Bildungswerk und der KWS (der ehemaligen Kraftwerksschule) oder der Dresden International University in die jeweiligen Schulungsprogramme eingebracht.



**ABBILDUNG 50: DELEGATION NIEDERLÄNDISCHER BÜRGERMEISTER VOR DER SOFC AM GWI**

Ein besonderes Highlight und eine Bestätigung der innovativen Arbeit der Mitarbeiter der IFT, war die Teilnahme am Deutschen Zukunftspreis. Die Firma Kueppers Solutions GmbH wurde mit dem IRecu© für den Deutschen Zukunftspreis nominiert und war unter den drei Finalisten. Der IRecu entstand im Rahmen des Projektes AdReku, welches das GWI zusammen mit Kueppers Solutions erfolgreich durchführte. Der Deutsche Zukunftspreis wurde am 22. November 2023 in Berlin von Herrn Steinmeier übergeben, s. Abbildung 51.



**ABBILDUNG 51: PRÄSENTATION DES IRECUS© DER FIRMA KUEPPERS SOLUTIONS IN BERLIN BEI DER VERLEIHUNG DES DEUTSCHEN ZUKUNFTPREISES**

# Publikationen

## Veröffentlichungen 2023

Schaffert, J.: Progress in Power-to-Gas Energy Systems, Editorial in Energies 2023, 16, 135, 23. Dezember 2022

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Vergleichbarkeit von Stickoxid-Emissionen bei wasserstoffreichen Brenngasen, Prozesswärme 1/2023, S. 52-56

Tali, E., Burmeister, F., Albus, R., Feldpausch-Jägers, S., Billat, S., Hedrich, F., van der Schoot, N., Alkämper, M., Feierabend, L.: "SmartGas: integriertes Sensorsystem zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit sowie der Dichte von Brenngasen", energie | wasser-praxis 03/2023

Tali, E., Feldpausch-Jägers, S., Burmeister, F.: Darstellung der Ergebnisse von Messungen an Gasbeschaffenheitsmessgeräten mit Erdgasen und Methan-Wasserstoff-Gemischen, energie | wasser-praxis 05/2023

Islami, B., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., Overath, J.: "HyGlass": Auswirkung von Wasserstoff auf die Verbrennung und Glasqualität in Glasschmelzwannen, Prozesswärme 2/2023, S. 48-55

Schaffert, J.: Progress in Power-to-Gas Energy Systems, Fachbuch - energies

Islami, B., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., Overath, J.: Impact of natural gas / hydrogen blends and hydrogen on combustion and glass quality in underport firing of glass melting furnaces, heat processing, Ausgabe 2, S. 69-77, 2023

Leicher, J., Biebl, M., Giese, A., Görner, K.: Untersuchung zum Einsatz von Ammoniak zur dezentralen Prozesswärmebereitstellung, Petermann, H., Schneidewind, T. (Hrsg.): Wasserstoff in der Praxis – Band 3 „Dekarbonisierung“, S. 54-60, Vulkan-Verlag, 2023

Leicher, J., Schaffert, J., Görner, K.: Dekarbonisierte Wärme durch Wasserstoffverbrennung, Wasser und Abfall, Bd. 25, Ausgabe 7-8, 2023

Benthin, J., Leicher, J.: Industrielle Abwärme im

Kontext der deutschen Energiewende, VIK Mitteilungen, Ausgabe 3, S. 36-40, 2023

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Hydrogen combustion for decarbonization of (high-temperature) process heat - Wasserstoffverbrennung zur Dekarbonisierung von (Hochtemperatur)-Prozesswärme, Ziegelindustrie international / Brick and Tile Industry International, Ausgabe 5, S. 14-25, 2023

Leicher, J., Giese, A.: Comparability of Nitrogen Oxides Emissions from Hydrogen and Natural Gas Combustion, heat processing, Ausgabe 4, S. 35-40, 2023

Albus, R., Görner, K.: Tätigkeitsbericht 2022 Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., ISSN: 2570-0413 (Print-Version) ISSN: 2628-7269 (Online-Version)

Albus, R.: Die Vielfältigkeit der Gasbeschaffenheiten im Energiemarkt der Zukunft, Editorial in gwf Gas + Energie 04 | 2023

Systeman, T., Bäuerle, M., Schmolke, D., Paintner, T.: TransHyDE-Projekt „Normung, Standardisierung und Zertifizierung“ - Technische Regelsetzung für den Wasserstoffhochlauf, gwf Gas + Energie 07 | 2023

## Vorträge und Poster 2023

Giese, A.: H<sub>2</sub>-Nutzung in TP-Anlagen – Update, AWT Fachausschuss 16 - Nachhaltigkeit und Effizienz, 26. Januar 2023, Online

Giese, A.: Unterschied im Betrieb von Brenner / Kessel mit Erdgas oder Wasserstoff, IWB Basel: Informationsveranstaltung Wasserstoff, 26. Januar 2023, Online

Albus, R.: Transformation Deutschlands in die Wasserstoffwirtschaft, Fachveranstaltung der DVGW-Bezirksgruppe Köln, 08. März 2023, Heppendorf

Görner, K.: LNG - Grundlagen und Perspektiven aus Sicht der Wissenschaft, Konrad-Adenauer-Stiftung Webinar-Reihe zum Thema LNG, 9. März 2023, Online



Biebl, M.: Brennerentwicklungen zur flexiblen Nutzung alternativer Brennstoffe, Energiewende Industrie - Schwerpunkt Resilienz, 16. März 2023, Essen  
 Görner, K.: Resilienz der Energieversorgung, Energiewende Industrie - Schwerpunkt Resilienz, 16. März 2023, Essen

Lange, M.: Wasserstofftoleranz von Gasgeräten, Thyssengas – VNB Workshop, 21. März 2023, Dortmund

Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K.: Oxy-fuel combustion of hydrogen for the decarbonization of high-temperature process heat, 4<sup>th</sup> International Workshop on Oxy-Fuel Combustion, 22. - 23. März 2023, Neapel, Italien

Görner, K., Thomeczek, M., Lange, M.: H<sub>2</sub>-Systemcockpit H<sub>2</sub>-Projektstisch, 28. März 2023, Gelsenkirchen

Albus, R.: Perspektiven von Gasanwendungen im Zuge der Energiewende, Gaskursus, DVGW-EBI, 29. März 2023, Karlsruhe

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Industrielle Prozesswärme durch Wasserstoff: Aspekte der Verbrennung und der Schadstoffemissionen, 3. Branchentag Wasserstoff, 29. - 30. März 2023, Gelsenkirchen

Schaffert, J.: Wasserstoffbeimischung in der häuslichen und gewerblichen Gasanwendung – Ergebnisse aus dem EU-Projekt THyGA, 3. Branchentag Wasserstoff, Wissenschaftspark Gelsenkirchen, 30. März 2023, Gelsenkirchen

Giese, A.: Messung und Modellierung der Wasserstoff-Verbrennung, HVG-DGG- FA II und VI, 18. April 2023, Würzburg

Leicher, J.: A matter of scale? - (Industrial) combustion research from the lab to real-life application, IFRF Workshop for the European Combustion Meeting "From lab scale to industrial combustion: challenges for the scale-up of experimental and simulation approaches", 25. April 2023, Rouen, Frankreich

Giese, A.: Auswirkungen auf industrielle Gasanwendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der Glasindustrie, DVGW: Modul 4. Wasserstoff in der Gasanwendung, 02. Mai 2023, Online

Lange, M.: Klimaneutrale Wärmewende KNUW – Regionaldialog auf der E-World 2023, E-World 2023, Halle 4, Stand 218, 23. Mai 2023, Essen

Leicher, J.: Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption: Auswirkungen auf die Verbrennung und regulatorische Aspekte, Kawasaki Hydrogen Day, 13. Juni 2023 Bad Homburg

Albus, R.: H<sub>2</sub>-Readiness im Wärmemarkt – wo stehen wir und welche Aufgaben sind noch offen?, Fachtagung „Energie Umwelt Zukunft“ – Fachforum Gas, 29. Juni 2023, Leipzig

Wortmann, B.: Technologien, Leitfaden und die Situation vor Ort "Gat|wat 2023 Online-Fachforum 2: Kommunale Wärmeplanung: Prüfstein der Energiewende", 29. August 2023, Online

Lange, M., Burmeister, F., Albus, R.: H<sub>2</sub>-Readiness im Wärmemarkt – wo stehen wir und welche Aufgaben sind noch offen?, 9. INFRACON Fachforum, 12. September 2023, Leipzig

Görner, K.: Wasserstoff und Ammoniak in der Strom- und Wärmeversorgung: Perspektiven, B.KWK-Kongress, 13. - 14. September 2023, Berlin

Lange, M., Dörr, H., Pietsch, P., Giese, A., Burmeister, F.: Roadmap Gas 2050 – TP3 H<sub>2</sub>-Readiness Gasanwendung & Haushaltsinstallationen, Partnerevent gat, 19. September 2023, Online

Leicher, J.: H<sub>2</sub> zur Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozessen, Mini-Keynote, HySummit 2023, 20. September 2023, Bochum

Albus, R.: Die Novelle des GEG – Status und Möglichkeiten zur Erfüllung der 65 % EE-Vorgabe mit Gas, 64. Erfahrungsaustausch der Chemiker und Ingenieure des Gasfaches, 20. - 22. September 2023, Oberursel

Albus, R., Lange, M.: Das GWI im Überblick  
Ausrichtung und Highlights aus der Forschung,  
figawa-Sektorforum Gas / Liquid Fuels 2023, 27.  
September 2023, Essen

Lange, M., Benthin, J., Heyer, A., Feltges, O., Wort-  
mann, B.: Kommunale Wärmeplanung: Integrierte  
Energie-Systembetrachtung und -Planung, 3. Netz-  
werkveranstaltung des H<sub>2</sub>-Klimaschutznetzwerks,  
28. September 2023, Essen

Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Untersu-  
chung zum Einsatz von Ammoniak als Brenngas zur  
dezentralen Bereitstellung von Prozesswärme, 55.  
Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 10. - 11. Okto-  
ber 2023, Dresden

Leicher, J., Biebl, M.: Ammoniakversuche am GWI,  
GWI-Veranstaltung "Ammoniak - mehr als ein Mo-  
lekül", 24. Oktober 2023, Essen

Görner, K.: Wasserstoff und Ammoniak in der  
Strom- und Wärmeversorgung: Perspektiven GWI-  
Veranstaltung "Ammoniak - mehr als ein Molekül",  
24. Oktober 2023, Essen

Giese, A., Biebl, M., Leicher, J.: Bewertung von  
Stickoxidemissionen beim Einsatz von Wasserstoff  
und Ammoniak in Verbrennungsprozessen Indu-  
strielle Brennertechnik und nachhaltige Wärmeer-  
zeugung, 08. November 2023, Koblenz

Wortmann, B.: Kommunale Wärmeplanung - struk-  
turelle Leitplanke für die zukünftige Stadt- und  
Wärmeplanung, 15. TRGI-Expertenforum, 14. No-  
vember 2023, Essen

Görner, K.: Energiewelt von morgen - Energieträger  
für eine kohlenstoffarme Wirtschaft, Standardkes-  
sel-Baumgarte-Fachseminar, 20. - 21. November  
2023, Duisburg

Giese, A.: Ammoniak: eine CO<sub>2</sub>-neutrale Alternati-  
ve!?, SBG Fachseminar, 20. November 2023, Duis-  
burg

Leicher, J.: Dekarbonisierung in der Industrie: Was-  
serstoff als Option, Westfälische Wasserstoffkonfe-  
renz, 22. November 2023, Hamm

Lange, M., Benthin, J., Heyer, A., Feltges, O., Wort-  
mann, B.: Kommunale Wärmeplanung, Herausfor-  
derungen und Chancen, HEATEXPO, 23. November  
2023, Dortmund

Lange, M., Benthin, J., Heyer, A., Feltges, O., Wort-  
mann, B.: Perspektiven aus der Forschung und  
Praxis zu einer integrierten Wärmeplanung, Wis-  
senschaft trifft HEATEXPO, 23. November 2023,  
Dortmund

Giese, A.: Auswirkungen auf industrielle Gasan-  
wendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel  
der Glasindustrie, DVGW: Modul 4. Wasserstoff in  
der Gasanwendung, 15. Dezember 2023, Online

Leicher, J.: Applied combustion research using ex-  
perimental and simulation methods at Gas- und  
Wärme-Institut Essen e.V. (GWI), IFRF Workshop  
for the European Combustion Meeting "From lab  
scale to industrial combustion: challenges for the  
scale-up of experimental and simulation approa-  
ches", 25. April 2023, Rouen, Frankreich

Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Experi-  
mental and simulation investigations of the com-  
bustion of blends of ammonia with hydrogen and  
natural gas in industrial non-premixed burners,  
11<sup>th</sup> European Combustion Meeting, 26. - 28. April  
2023, Rouen, Frankreich

Röder, M., Pietsch, P., Unterberger, A., Martins,  
F., Giese, A., Mohri, K.: Multi-Camera System for  
3D Tomographic Reconstruction of Chemilumi-  
nescence in Industrial-Scale High-Temperature  
Combustion Processes 11<sup>th</sup> European Combustion  
Meeting, 26. - 28. April 2023, Rouen, Frankreich

Giese, A.: BrEEGa - Entwicklung eines innovativen  
Brennersystems zur Einsparung von fossilem CO<sub>2</sub>  
durch die flexible Nutzung von Gasen erneuer-  
baren Ursprungs und Prozessgasen der Industrie,  
Energieforschung vernetzt - 1. Symposium der For-  
schungsnetzwerke, 13. - 14. Juni 2023, Berlin

Röder, M., Pietsch, P., Unterberger, A., Martins, F.,  
Giese, A., Mohri, K.: Tomographische 3D-Rekon-  
struktion der Chemilumineszenz von industriellen  
Hochtemperatur-Verbrennungsprozessen, 31.

Deutscher Flammentag, 27. - 28. September 2023, Berlin

Leicher, J., Schaffert, J., Tali, E., Oberschelp, L., Cigarida, H., Burmeister, F., Albus, R., Schweitzer, J., Milin, P.: Wasserstoffeinspeisung in das Erdgasnetz auf Gasgeräte in Haushalt und Gewerbe in der EU - Ergebnisse des THyGA-Projekts 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, 27. - 28. September 2023, Berlin

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Oxy-Fuel-Verbrennung von Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption für Hochtemperatur-Prozesswärme, 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, 27. - 28. September 2023, Berlin

Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Untersuchungen zur Verbrennung von NH<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>- und NH<sub>3</sub> / Erdgas-Gemischen im semi-industriellen Maßstab, 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, 27. - 28. September 2023, Berlin

Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Untersuchung zum Einsatz von Ammoniak als Brenngas zur dezentralen Bereitstellung von Prozesswärme 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 10. - 11. Oktober 2023, Dresden

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Wasserstoff als Brennstoff: Stickoxidemissionen in technischen Verbrennungsprozessen, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 10. - 11. Oktober 2023, Dresden

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption für Hochtemperaturprozesswärme - Auswirkungen auf die Bildung und Bewertung von Stickoxidemissionen, 4. Aachener Thermoprozess- und Ofenbau-Kolloquium, 17. - 18. Oktober 2023, Aachen

Röder, M., Möntmann, D., Grote, M., Giese, A.: Brennersystem für den Einsatz regenerativer Gas- und Flüssigbrennstoffe der 3. Generation, 4. Aachener Thermoprozess- und Ofenbau-Kolloquium, 17. - 18. Oktober 2023, Aachen

Götze, P., Gosh, A., Varma Thota, D., Röder, M., Mohri, K., Müller, A., Wiersig, M.: Green Combustion Control - Industrielle Verbrennungsregelung für hohe volatile Wasserstoffanteile auf Basis von Flammensignalen, 4. Aachener Thermoprozess- und Ofenbau-Kolloquium, 17. - 18. Oktober 2023, Aachen

tion Control - Industrielle Verbrennungsregelung für hohe volatile Wasserstoffanteile auf Basis von Flammensignalen, 4. Aachener Thermoprozess- und Ofenbau-Kolloquium, 17. - 18. Oktober 2023, Aachen

### Abschlussberichte 2023

Schweitzer, J., Cuny H., Schaffert, J., Leicher, J., Milin, P., Carpentier, S., Krishnaramanujam, K., Geerts, E., Thibaut, O., De Wit, K.: Report on the impact of H<sub>2</sub> concentrations on safety, efficiency, emissions, and correct operation for different segments of appliances - Deliverable D3.8, Fördermittelgeber: EU, FCH Förderkennzeichen: 874983, Projektlaufzeit: 3 Jahre (01/2020 – 12/2022)

Cuny H., Schweitzer, J., Schaffert, J., Tali, E., Cigarida, H., Oberschelp, L., Burmeister, F., Milin, P.: Long term effect of H<sub>2</sub> on appliances tested - Deliverable D3.9, Fördermittelgeber: EU, FCH, Förderkennzeichen: 874983, Projektlaufzeit: 3 Jahre (01/2020 – 12/2022)

Carpentier, S., Milin, P., Schweitzer, J., Cuny H., Schaffert, J., Leicher, J., Tali, E., Burmeister, F., Krishnaramanujam, K., Geerts, E., Thibaut, O., De Wit, K.: Test report of the identified mitigation solution on problematic appliances - Deliverable D5.2, Fördermittelgeber: EU, FCH, Förderkennzeichen: 874983, Projektlaufzeit: 3 Jahre (01/2020 – 12/2022)

Carpentier, S., Milin, P., Schweitzer, J., Cuny H., Schaffert, J., Leicher, J., Krishnaramanujam, K., Geerts, E., Thibaut, O., De Wit, K.: Mitigation solutions: safety check - Deliverable D5.3, Fördermittelgeber: EU, FCH, Förderkennzeichen: 874983, Projektlaufzeit: 3 Jahre (01/2020 – 12/2022)

Systeman, T., Kinnen, W., Bäuerle, M., Jordan, T., Paintner, T., Schmolke, D.: Normen und Regeln für die in TransHyDE betrachteten Transport und Speicheroptionen für Wasserstoff - TransHyDE Projekt Norm, Fördermittelgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Sommer, P., Hart, M., Nießen, S., Sivabalasingam,



P., Tischler, L., Brüggling, E., Wetter, C., Brücken, N., Senner, S., Maas, K., Martens, E., Menke, S., Ruhe, D., Engler, P.: EnerRegio – Modellhafte und netzstabilisierende Energiesysteme im ländlichen Raum, Fördermittelgeber: Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes NRW, Europäische Union, EFRE.NRW, Förderkennzeichen: EFRE-0801824, Projektlaufzeit: 3,4 Jahre (11/2019 – 02/2023)

Schaffert, J., Heidbreder, L., Fiebrandt, M., Brede, N., Senner, J., Tali, E., Burmeister, F., Albus, R., Grube, E., Pietsch, P., Enzmann, P., Staudt, C., Friedemann M., Graf, F.: Erweiterte Nutzung Erneuerbarer Gase (ENEVEG), Fördermittelgeber: DVGW, Förderkennzeichen: G 202114, Projektlaufzeit: 2 Jahre (10/2021 – 09/2023)

Islami, B., Fleischmann, B., Walter, D., Drünert, F., Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Nowakowski, T., Kaiser, J.: Wasserstoffzumischung ins Erdgas als Chance zur Minderung der brennstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und Auswirkung auf den Glasherstellungsprozess (H<sub>2</sub>-Glas), Fördermittelgeber: BMWK / AiF, Förderkennzeichen: IGF-Vorhaben Nr. 21745 N, Projektlaufzeit: 2,25 (04/2021 – 06/2023)

Mörs, F., Bär, K., Staudt, C., Heneka, M., Isik, V., Köppel, W., Müller, T., Kerzel, M., Zdrallek, M., Wupperfeld, M., Zöllner, S., Hoffmann, M., Hüttenrauch, J., Leicher, J., Giese, A., Wortmann, B., Heyer, A., Benthin, J.: TransNetz Entwicklung von robusten Transformationspfaden zur Umsetzung der Klimaziele auf Verteilnetzebene (Phase I), Fördermittelgeber: DVGW, Förderkennzeichen: G 202145, Projektlaufzeit: 1,25 Jahre (09/2022 - 11/2023)

Pietsch, P., Wenzel, T., Heinrich, P., Pacco, K., Thams, S., Verheyen, J., Verheyen, O., Wortmann, B., Benthin, J.: Zukunft Fernwärme: Untersuchung der Fern- und Nahwärmekapazitäten aus Kohle in Deutschland und daraus resultierende Potenziale für mit Gas erzeugter Fernwärme, Fördermittelgeber: DVGW, Förderkennzeichen: G202013, Projektlaufzeit: 2,75 Jahre (02/2021 – 09/2023)

## Studentische Arbeiten 2023

Heidbreder, L.: Biogas und Biomethan – Analyse und Bewertung innovativer Nutzungsoptionen, Masterarbeit, Westfälische Hochschule, Fachbereich Maschinenbau, Umwelt- und Gebäudetechnik, März 2023

Kuckelkorn, J.: Experimentelle Untersuchungen der Verbrennung von Gasen erneuerbaren Ursprungs hinsichtlich der Flammenstabilität und des Emissionsverhaltens, Bachelorarbeit, Ruhr Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik, Juli 2023

Kanbak, E.: Auslegung, Konstruktion und experimentelle Untersuchung von additiv gefertigten Düsengeometrien zur internen Rezirkulation von Rauchgasen in industriellen Brennersystemen, Bachelorarbeit, Hochschule Ruhr West, Institut Maschinenbau, September 2023

## Literatur / Quellen:

- [1] L. Kirnats, J.-N. Joost, S. Berg, J. Frisch und C. van Treeck, „Status Quo bei digitalen Werkzeugen und softwarebasierten Lösungsansätzen“, *Bauphysik*, Jg. 40, Nr. 6, S. 441–448, 2018, doi: 10.1002/bapi.201800031.
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020. Ressourceneffiziente Stadtquartiere: Zukunftsstadt. RES:Z-Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. [Online]. Verfügbar unter: <https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/?lang=de> (Zugriff am: 10. Dezember 2020).
- [3] P. Küpper, „Abgrenzung und Typisierung ländlicher Räume: Thünen Working Paper 68“, Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn057783.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn057783.pdf). Zugriff am: 13. März 2021.
- [4] C. Möller, M. Faulstich und S. Rosenberger, „Urban-rural relations in renewable electric energy supply – the case of a German energy region“ (en), 2019, doi: 10.5278/IJSEPM.2019.21.7.
- [5] C. Möller 2020. Speicherbedarf und Systemkosten in der Stromversorgung für energieautarke Regionen und Quartiere. [Online]. Verfügbar unter: <https://reiner-lemoine-institut.de/optimierung-von-speichergroessen-stromversorgungssystemen-beispiel-einer-energieregion-und-unter-beruecksichtigung-verschiedener-autarkiegrade/>.
- [6] B. Müller, „Rebuild the City! Towards Resource-efficient Urban Structures through the Use of Energy Concepts, Adaptation to Climate Change, and Land Use Management“, *German Annual of Spatial Research and Policy*, 2010.
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2018. 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung: Innovationen für die Energiewende. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/Energieforschung/energiefor-schung-7-energieforschungsprogramm.html>.
- [8] Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2014. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung in Nordrhein-Westfalen (EFRE.NRW). [Online]. Verfügbar unter: <https://www.efre.nrw.de/>.
- [9] Leicher, J., Schaffert, J., Tali, E., Oberschelp, L., Cigarida, H., Burmeister, F., Albus, R., Schweitzer, J., Milin, P., „Wasserstoffeinspeisung in das Erdgasnetz auf Gasgeräte in Haushalt und Gewerbe in der EU - Ergebnisse des THyGA-Projekts“, 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, Berlin, 2023.
- [10] Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Untersuchungen zur Verbrennung von NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>- und NH<sub>3</sub>/Erdgas-Gemischen im semi-industriellen Maßstab“, 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, Berlin, 2023.
- [11] Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Oxy-Fuel-Verbrennung von Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption für Hochtemperatur-Prozesswärme“, 31. Deutscher Flammentag für Nachhaltige Verbrennung, Berlin, 2023.
- [12] Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Untersuchung zum Einsatz von Ammoniak als Brenngas zur dezentralen Bereitstellung von Prozesswärme“, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 2023.
- [13] Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Wasserstoff als Brennstoff: Stickoxidemissionen in technischen Verbrennungsprozessen“, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 2023.
- [14] Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption für Hochtemperaturprozesswärme - Auswirkungen auf die Bildung und Bewertung von Stickoxidemissionen“, 4. Aachener Thermoprocess- und Ofenbau-Kolloquium, Aachen, 2023.
- [15] Röder, M., Möntmann, D., Grote, M., Giese, A., „Brennersystem für den Einsatz regenerativer Gas- und Flüssigbrennstoffe der 3. Generation“, 4.

Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium, Aachen, 2023.

[16] Biebl, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K., „Experimental and simulation investigations of the combustion of blends of ammonia with hydrogen and natural gas in industrial non-premixed burners“, Poster, 11<sup>th</sup> European Combustion Meeting, Rouen, Frankreich, 2023.

[17] Röder, M., Pietsch, P., Unterberger, A., Martins, F.J.W.A., Giese, A., Mohri, K., „Multi-Camera System for 3D Tomographic Reconstruction of Chemiluminescence in Industrial-Scale High-Temperature Combustion Processes“, Poster, 11<sup>th</sup> European Combustion Meeting, Rouen, Frankreich, 2023.

[18] Leicher, J., „A matter of scale? - (Industrial) combustion research from the lab to real-life application“, Keynote, IFRF Workshop for the European Combustion Meeting „From lab scale to industrial combustion: challenges for the scale-up of experimental and simulation approaches“, Rouen, Frankreich, 2023.

[19] Leicher, J., „H<sub>2</sub> zur Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozessen“, Mini-Keynote, HySummit 2023, Bochum, 2023.

[20] Leicher, J., „Dekarbonisierung in der Industrie: Wasserstoff als Option“, Keynote, Westfälische Wasserstoffkonferenz, Hamm (Westf.), 2023.

[21] Leicher, J., „Industrielle Prozesswärme durch Wasserstoff: Aspekte der Verbrennung und der Schadstoffemissionen“, 3. Branchentag Wasserstoff, Gelsenkirchen, 2023.

[22] Biebl, M., „Brennerentwicklung zur flexiblen Nutzung alternativer Brennstoffe“, GWI-Veranstaltung "Energiewende Industrie - Schwerpunkt Resilienz", Essen, 2023.

[23] Leicher, J., Biebl, M., „Ammoniakversuche am GWI“, GWI-Veranstaltung „Ammoniak - mehr als ein Molekül“, Essen, 2023.

[24] Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K., „Oxy-fuel combustion of hydrogen for the de-

carbonization of high-temperature process heat“, 4<sup>th</sup> International Workshop on Oxy-Fuel Combustion, Neapel, Italien, 2023.

[25] Leicher, J., Schaffert, J., Görner, K., „Dekarbonisierte Wärme durch Wasserstoffverbrennung“, Wasser und Abfall, Bd. 25, Nr. 7–8, S. 20–25, 2023, doi: 10.1007/s35152-023-1442-6.

[26] Leicher, J., „Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption: Auswirkungen auf die Verbrennung und regulatorische Aspekte“, Kawasaki Hydrogen Day, Bad Homburg, 2023.

[27] Leicher, J., Giese, A., „Comparability of Nitrogen Oxides Emissions from Hydrogen and Natural Gas Combustion“, heat processing, Nr. 4, S. 35–40, 2023.

[28] Giese, A., „Bewertung von Stickoxidemissionen beim Einsatz von Wasserstoff und Ammoniak in Verbrennungsprozessen“, Praxisseminar „Industrielle Brennertechnik und nachhaltige Wärmezeugung“, Koblenz, 2023.

[29] Benthin, J., Leicher, J., „Industrielle Abwärme im Kontext der deutschen Energiewende“, VIK Mitteilungen, Nr. 3, S. 36–40, 2023.







ABBILDUNG 40: PROF. CHRISTOPH WIELAND UND DR. ROLF ALBUS, QUELLE: DIRK BANNERT, 2022

### *Impressum*

*Geschäftsführender Vorstand: Dr. Rolf Albus  
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof. Christoph Wieland*

*Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.  
Hafenstraße 101 | 45356 Essen*

*T: +49 201 3618-0*

*E: [info@gwi-essen.de](mailto:info@gwi-essen.de)  
I: [www.gwi-essen.de](http://www.gwi-essen.de)*

*Registergericht: Amtsgericht Essen  
Registernummer: GWI Allg. II 1691  
USt.-ID.: DE 119655769*

*Inhaltlich verantwortlich:  
Dr.-Ing. Rolf Albus | Prof. Christoph Wieland | Hafenstraße 101 | 45356 Essen | T: +49 201 3618-0*

*Tätigkeitsbereich 2023 Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.  
Erscheinungsort: Essen, Deutschland  
ISSN: 2570-0413 (Print-Version)  
ISSN: 2628-7269 (Online-Version)  
Die PDF-Version ist frei verfügbar unter:  
[www.gwi-essen.de/publikationen/publikationen-am-gwi/abschlussberichte/taetigkeitsbericht-2023](http://www.gwi-essen.de/publikationen/publikationen-am-gwi/abschlussberichte/taetigkeitsbericht-2023)*





Gas- und Wärme-  
Institut Essen e.V.



[www.gwi-essen.de](http://www.gwi-essen.de)



Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.  
Hafenstraße 101 | 45356 Essen

T: +49 201 3618-0  
E: [info@gwi-essen.de](mailto:info@gwi-essen.de)