

DAS ENERGIE-INSTITUT IN ESSEN

Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



www.gwi-essen.de



Tätigkeitsbericht 2022

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeiner Überblick	4
Bildungswerk	8
Cluster- und Netzwerkmanagement	9
Prüflaboratorium	12
Marktraumumstellung	13
Forschung und Entwicklung	13
Industrie- und Feuerungstechnik	13
Brennstoff- und Gerätetechnik	22
Publikationen und Vorträge	28
Impressum	34

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

ALLGEMEINER ÜBERBLICK



ABBILDUNG 1: BLICK AUF DEN INSTITUTSSTANDORT DES GAS- UND WÄRME-INSTITUT ESSEN E.V.

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) konnte im Jahr 2022 sein 85-jähriges Bestehen feiern. Am 20. Mai 1937 wurde das GWI zusammen mit dem Elektrowärme-Institut als Teil der Vereinigten Wärmeinstitute gegründet und war zunächst im Haus der Technik beheimatet. Das GWI kann stolz auf eine lange, abwechslungsreiche Geschichte blicken, die immer eng mit der Heimatstadt Essen verbunden war und ist.

Aufgrund von Kriegszerstörungen wurde das Institut nach Langenberg ausgelagert und fand nach Stationen in Essen-Steele und Essen-Rüttenscheid erst 1970 seine Heimat an der Hafensstraße. Nach dem Bau des Forschungs- und Entwicklungszentrums im Jahr 1999, das die Möglichkeiten der Forschungsabteilungen Industrie- und Feuerungstechnik sowie Brennstoff- und Gerätetechnik beträchtlich erweiterte, wurde das Schulungs- und Verwaltungszentrum im Jahr 2020 errichtet. Hierdurch wurden die Einrichtungen des Bildungswerks modernisiert und die organisatorischen Aspekte deutlich verbessert. Parallel dazu hat das GWI seine Versuchs-Infrastrukturen beständig erweitert, u. a.:

- eine LNG-Tankanlage mit bis zu 24 Tonnen Fassungsvermögen,
- eine Hybrid-SOFC-Anlage mit einer elektrischen Gesamtleistung von 200 kW_{el},
- einer digitalen Infrastruktur auf Basis von intelligenten Laternen, die über Funk miteinander kommunizieren.

Zurzeit laufen Planungen, einen Wasserstoff-Tank mit einem Fassungsvermögen von ca. 50 m³ in die Infrastruktur zu integrieren und die Ammoniak-Speicherkapazität zu erweitern. Der Ausbau der Versuchsinfrastruktur – dem LivingLab des GWI – ist dabei noch längst nicht abgeschlossen, so werden Planungen hinsichtlich des Aufbaus einer PV-Anlage sowie Lademöglichkeiten für die Elektromobilität durchgeführt.

Diese Erfolgsgeschichte des GWI mit all seinen Facetten und Möglichkeiten für zukünftige Themen und Projekte wurden im Rahmen einer zweiteiligen Veröffentlichung „85 Jahre GWI: Gas stand und steht im Fokus“ in der Mitgliedszeitschrift des DVGW e.V. zusammengefasst.



ABBILDUNG 2: VERÖFFENTLICHUNG DES GAS- UND WÄRME-INSTITUT ESSEN E. V. ZUM 85-JÄHRIGEN JUBILÄUM, QUELLE: ENERGIE | WASSER-PRAXIS, 2022

Das Jubiläum zum 85-jährigen Bestehen wurde dann am 02.09.2022 gemeinsam mit Mitgliedsunternehmen, Kunden, Freunden sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des GWI gefeiert. In Grußworten der Stadt Essen, des Verwaltungsrats sowie des

DVGW wurde die lange, traditionsreiche Arbeit des GWI als Brancheninstitut hervorgehoben und die nachhaltige Ausrichtung auf neue Themen u. a. Wasserstoff betont, s. Abbildung 3.



ABBILDUNG 3: IMPRESSIONEN DER FEIER ZUM 85-JÄHRIGEN BESTEHEN DES GWI

Das Jahr 2022 war für alle Abteilungen des GWI aus thematischer und wirtschaftlicher Sicht ein insgesamt sehr erfolgreiches Jahr. Die Forschungsabteilungen konnten das Zukunftsthema Wasserstoff im Rahmen verschiedenster Forschungsprojekte verstetigen, zusätzlich wurde das zukunftsweisende Thema Ammoniaknutzung in Industriefeuerungen in ersten grundlegenden Projekten erschlossen. Die Abteilung Bildungswerk ergänzte sein traditionell praxisnah orientiertes Seminarangebot gezielt, vor allem auch zum Thema Wasserstoff. Ziel ist es, einen hohen Qualitätsstandard der beruflichen Bildung zu gewährleisten, dazu wurde der Bildungsverbund mit dem DVGW e.V. und dem rbv e.V. mittels einer neuen Rahmenvereinbarung deutlich gestärkt, s. Abbildung 4.



ABBILDUNG 4: LOGO DES BILDUNGSVERBUNDS DVGW, GWI UND RBV, QUELLE: DVGW, GWI UND RBV, 2022

Das GWI konnte im Jahr 2022 Erträge in Höhe von 16.597 T€ erwirtschaften. Die Ertragsentwicklung des GWI seit dem Jahr 2010 ist in Abbildung 5 dargestellt.

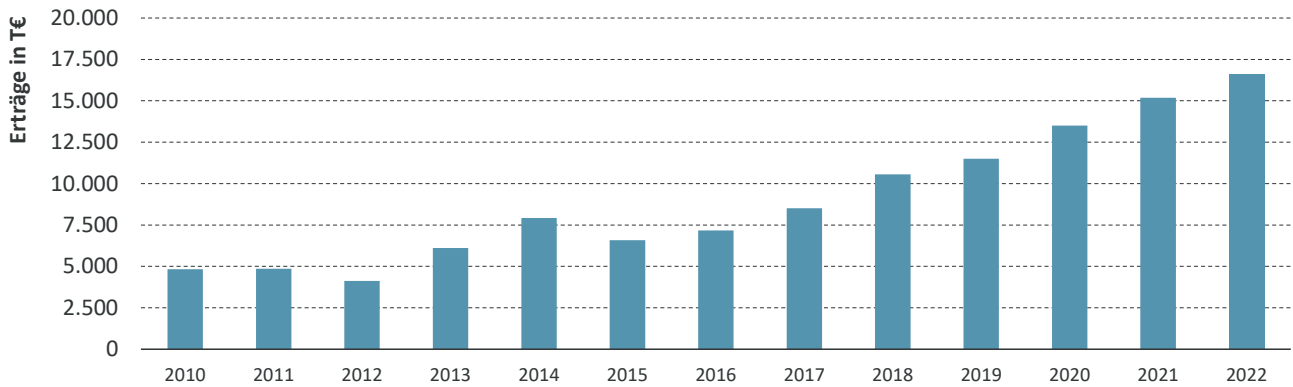


ABBILDUNG 5: WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG SEIT 2010

Die bewährte Organisationsstruktur des GWI mit den Forschungsabteilungen Brennstoff- und Gerätetechnik und Industrie- und Feuerungstechnik sowie dem Bildungswerk, Prüflabor und der Marktraumumstellung ist in Abbildung 6 dargestellt. Den produktiven Abteilungen stehen die Unterstützungsfunktionen GWI-Services, F&E-Koordination und Geschäftsfeldentwicklung sowie das Cluster- und Netzwerkmanagement zur Seite.



- 1) Geschäftsführer der Stadtwerke Bochum Holding GmbH
- 2) Nebenamtlich bestellt
- 3) Kommissarisch

ABBILDUNG 6: ORGANISATIONSSTRUKTUR DES GWI (STAND 12/2022)

Als wichtigste Stütze des GWI sind die Mitgliedsunternehmen zu nennen, die aus den verschiedensten Bereichen der Energiebranche stammen. Im Jahr 2022 verfügte das GWI über 56 Mitgliedsunternehmen, s. Abbildung 7:



ABBILDUNG 8: MITGLIEDSUNTERNEHMEN DES GWI, QUELLE: DIVERSE, 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 den Elementen der Strategie GWI 2030 Vision – Mission – Leitbild verankert, s. Abbildung 9.

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 BILDUNGSWERK

Das Jahr 2022 konnte für das GWI-Bildungswerk mit einem absoluten Rekordergebnis abgeschlossen werden. Offensichtlich überzeugte die Vielfältigkeit der Bildungsformate, wobei das Angebot von reinen Online-Schulungen über Hybridveranstaltungen bis hin zu Präsenzseminaren reicht, in denen das praktische Üben und Demonstrieren an Schulungsanlagen im Vordergrund steht. Natürlich konnte das GWI auch dadurch deutliche Nachholeffekte verzeichnen, dass Schulungen nachgeholt wurden, die während der Pandemie nicht stattfinden konnten.

Zunehmend und erfreulich selbstverständlicher ist die Zusammenarbeit im Bildungsverbund zwischen DVGW, GWI und rbv.

Die Partner bringen dazu ihre jeweiligen Stärken ein. Der DVGW und der rbv stehen für die Umsetzung der Fach- und Gremienarbeit ihrer Mitglieder in zielgruppengerechte Bildungsangebote und für die Analyse der relevanten Regelwerke mit Qualifikationsrelevanz (z. B. im Hinblick auf die Arbeitssicherheit im Bereich der Gasversorgungssysteme). Das GWI arbeitet einerseits aus seiner Rolle als Forschungsinstitut in den Fachgremien des DVGW an der Weiterentwicklung der Regelwerke mit und hält andererseits über konkrete Projekt- und Beratungsdienstleistungen den Kontakt zu den Alltagsproblemen der Unternehmen der Branche.

Der Standort des GWI mit seinem Neubau wird mittlerweile auch für Veranstaltungen der Partner genutzt, indem die bewährten Schulungsanlagen des GWI, an denen praktisch demonstriert und geübt werden kann, auch bei Gastveranstaltungen zum Einsatz kommen. Der Praxisbezug von Bildungsinhalten, insbesondere durch Erhöhung des Praxisanteils in Schulungen, ist eines der ausdrücklichen Ziele des Bildungsverbundes.

Inhaltlich war das Jahr 2022 stark geprägt durch die aktuellen politischen Entwicklungen. Die Folgen des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine und die daraus resultierenden Herausforderungen für die Versorgungssicherheit waren wichtige Themen in unseren Veranstaltungen. Die technische Bewältigung verschiedener Szenarien im Hinblick auf Versorgungsunterbrechungen und Wiederinbetriebnahmen standen dabei im Vordergrund. Vor allem auch

für die erdgasverwendende Industrie ergaben sich hierbei vielfältige Fragestellungen technischer und organisatorischer Art, die durch das GWI-Bildungswerk in Form von Schulungen und Beratungsdienstleistungen beantwortet werden konnten.

Die krisenhafte Zuspitzung der Erdgas-Versorgungssicherheit einerseits und die Anforderungen an die Dekarbonisierung der Energieversorgung andererseits führen zu einem deutlich gesteigerten Interesse am Thema Wasserstoff als Zukunftsalternative. Wenn auch die konkreten Erfahrungen mit dem Medium in der Energieversorgung noch überschaubar sind, so scheint der Hype um das Thema doch grenzenlos steigerungsfähig zu sein. Der hohe Stellenwert, den das Thema Wasserstoff in der Öffentlichkeit, in Medien und Politik innehat, ist grundsätzlich sehr zu begrüßen, wenn auch die fachliche Qualität mancher Debattenbeiträge sehr zu wünschen übriglässt. Den Exotenstatus als „Champagner der Energiewende“ hat der Wasserstoff als Energieträger hinter sich gelassen. Wir stellen unsere Veranstaltungen jetzt unter das Motto: „Dann eben Champagner für alle“.

In der technischen Regelwerksarbeit des DVGW im Hinblick auf den Wasserstoff herrscht eine beruhigende Unaufgeregtheit und ein kompetenter Pragmatismus, der darauf basiert, seit vielen Jahrzehnten eine solide Erdgastechnik im Wesentlichen unfall- und störungsfrei zu betreiben. Der Schritt vom Erdgas zum Wasserstoff ist eine Evolution und keine Revolution. Die Technik, die grundlegenden Sicherheitsmechanismen, die Schutzziele sind im Prinzip in beiden Fällen die gleichen. Wasserstoff ist im Umgang halt anspruchsvoller als Erdgas aber durchaus zu bewältigen.

Der Erfolg unserer Veranstaltungen im Bereich Wasserstoff beruht auch darauf, genau diese Botschaften der Machbarkeit zu transportieren und das technische Delta zwischen Erdgas und Wasserstoff herauszuarbeiten. Die medialen Aufgeregtheiten sind notwendig, um das Thema zu pushen, aber die technische Praxis sollte auf echter Substanz beruhen. Darin liegt unser Wettbewerbsvorteil im Veranstaltungsbe- reich. Wenn auf einem Innovationskongress davon die Rede ist, dass der Einsatz von Wasserstoff „eine ganz neue Kultur“ hervorbringen würde, dann ist ein nüchterner Beitrag zum Ex-Schutz oder zu Dichtheits-

prüfungen in der Wasserstofftechnik eine durchaus willkommene „Erdung“ des Themas. Wenn von interessierter Seite der Vorwurf laut wird, dass die Erdgaswirtschaft nur ihr überkommenes und überholtes Geschäftsmodell aus der fossilen Energiewelt in die Wasserstoffzukunft retten will, dann hilft die Gegenfrage, wer es denn sonst tun soll, wenn nicht die Gasfachleute mit ihrer Expertise. Die Kollegen aus dem Strombereich doch wohl eher nicht, jedenfalls wäre das Delta dort deutlich größer.

Grundsätzlich verfolgen wir bei unseren Veranstaltungen immer einen sehr praxisorientierten Ansatz. Daher bauen wir auf unserem Institutsgelände auch zusätzliche Übungs- und Demonstrationsanlagen für Wasserstoff auf, um die relevanten Unterschiede im Handling der Gase Erdgas und Wasserstoff

herauszuarbeiten und zu schulen. Dabei leisten wir durchaus Pionierarbeit. Bei der Inbetriebnahme einer modellhaften Wasserstoff-Thermoprozessanlage war noch zu viel Luft im System verblieben, so dass ein Flammenrückschlag aufgrund des Wasserstoff-Luft-Gemisches durch die Anlage lief und den im Eingangsbereich befindlichen Gaszähler zerstörte. Auch dies dient der Anschauung und ein mit Wasserstoff gesprengter Gaszähler lässt sich sehr gut in die Veranstaltungen einbauen, als Beispiel dafür, welche Fehler man nicht begehen sollte.

Es sind spannende und herausfordernde Zeiten und mit dem hier skizzierten pragmatischen und praxisorientierten Ansatz der Veranstaltungen des GWI-Bildungswerks werden wir auch in der Zukunft erfolgreiche Themen für die Branche platzieren können.

CLUSTER- UND NETZWERKMANAGEMENT CLUSTER- UND NETZWERKMANAGEMENT

Am 30. März fand zum zweiten Mal die Veranstaltung „Energiewende Industrie“ statt, diesmal als Hybridveranstaltung. Die Veranstaltung, die das GWI gemeinsam mit InPro-Consult und dem Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik der Universität Duisburg-Essen durchführte, zeigte verschiedene Wege und Lösungen auf, wie die Industrie klimaneutral werden kann. Die vorgestellten Forschungsaktivitäten zur Effizienzsteigerung und dem Wasserstoffeinsatz sowie die intensiven Diskussionen können jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Transformation in Deutschland immer noch sehr schleppend voran geht. Zum Abschluss konnten die Vor-Ort-Teilnehmenden noch die Wasserstoff-Versuchseinrichtungen am GWI besichtigen.

Die Mitglieder des Wasserstoff-Beirates der Stadt Essen kamen am 27. April zu ihrer dritten Sitzung beim



ABBILDUNG 10: WASSERSTOFFBEIRAT DER STADT ESSEN,
QUELLE: CLAUDIA ANDERS, 2022

GWI zusammen, um über die Bereitstellung von grünem Wasserstoff in der Region zu sprechen. Der Beirat ist vom Oberbürgermeister der Stadt Essen, Thomas Kufen, einberufen worden, um gemeinsam mit Stakeholdern der Stadt, die strategische Entwicklung der Wasserstoff-Wirtschaft – als integraler Bestandteil der Energiewende – sowie die konkrete Realisierung von Projekten in Essen voranzubringen.

Darüberhinaus ist das GWI Teil des Netzwerkes „H₂-Initiative-Ruhr“. Unter dem Dach des RVR und BMR arbeitet der Verbund an der Konzeption der „Hydrogen Metropole Ruhr“ (HyMR). Im Mittelpunkt des 4. Treffens – am 13. Juni beim GWI –, stand die Abstimmung der geplanten Projekte sowie die Planung einer gemeinsamen Strategie zur weiteren Ausgestaltung und Umsetzung der H₂-Modellregion Ruhr.



ABBILDUNG 11: VERNETZUNGSTREFFEN DER H₂-INITIATIVEN Seite 9

Das GWI luidt zusammen mit der EWG – Essener Wirtschaftsförderungsgesellschaft am 22. August zu den 1. „Essener Wasserstoff-Impulsen“ ins GWI nach Essen ein. Neben Oberbürgermeister Thomas Kufen nutzten rund 60 Vertreterinnen und Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik das neue Format, um sich kennenzulernen und Projektideen – von Erzeugung bis Anwendung – zu entwickeln. In mehreren Vorträgen ging es unter anderem um die Themen ressourcenschonende und nachhaltige Nutzung von Wasserstoff oder die Elektrolyse, die für die Herstellung von Wasserstoff nötig ist.

Auf Einladung der HyMR und der Stadt Essen tagte am 17. November die Expertengruppe H₂-Kommunen des Landes NRW beim GWI. Im Mittelpunkt der 8. Sitzung stand der Erfahrungsaustausch zur Planung, Genehmigung und Betrieb von H₂-Tankstellen- und Flottenprojekten. Die Teilnehmenden aus verschiedenen NRW-Kommunen – vornehmlich aus dem Ruhrgebiet und entlang der Rheinschiene – zeigten sich tief beeindruckt von den Aktivitäten des GWI, von denen sie sich im Rahmen eines Rundgangs einen Eindruck verschaffen konnten.

Auch für fachfremde Besuchergruppen öffnete das GWI seine Tore: So besuchten Delegationen der CDU im Ruhrgebiet am 13. Juli, der Frauenunion am 21. September und der Förderverein des Industriemuseums Cromford am 23. November das GWI, um sich



ABBILDUNG 12: DER OBERBÜRGERMEISTER DER STADT ESSEN, THOMAS KUFEN, HÄLT DAS GRUSSWORT

umfassend über die Forschungsprojekte und die Aus- und Weiterbildungsaktivitäten informieren zu lassen. Am 12. Dezember waren Schülerinnen und Schüler aus Koriyama / Japan und Essen zu Gast und am 16. Dezember nutzten 20 junge Erwachsene aus der Türkei die Gelegenheit, das GWI auf einem Rundgang kennenzulernen. Sie besuchten das GWI im Rahmen von #Future#Green#World, einem Austausch-Projekt von deutschen und türkischen jungen Erwachsenen zu Themen der globalen Nachhaltigkeitsziele der Arbeits- und Erwerbswelt, das die Weiterbildungseinrichtung Arbeit und Leben DGB / VHS NRW e.V. durchführt.



ABBILDUNG 13: GÄSTE AUS JAPAN UND DER TÜRKEI ZU GAST BEIM GWI, QUELLE: CLAUDIA ANDERS, 2022



ABBILDUNG 14: GÄSTE AUS JAPAN UND DER TÜRKEI ZU GAST BEIM GWI

Das GWI nahm erstmals mit einem eigenen Messestand am Kraftwerkstechnischen Kolloquium teil, das vom 18. bis 19. Oktober zum 54. Mal in Dresden stattfand. Der Kongress mit angeschlossener Ausstellung hat sich zu einer wissenschaftlich-technischen Plattform der Energie- und Kraftwerksbranche entwickelt, an dem in diesem Jahr rund 850 Fachleute aus Unternehmen, Wissenschaft und Behörden teilgenommen haben. Große Resonanz erzielten die Vorträge des GWI im Rahmen des Vortragprogramms. Nadine Lucke berichtete über das „Hybrid-SOFC-System“ und Dr. Jörg Leicher zum Thema „Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoff-Gemische als Dekarbonisierungsoption“.



ABBILDUNG 15: DER KWK-MARKTFÜHRER [HTTPS://WWW.GWI-ESSEN.DE/KWK-MARKTFUEHRER/](https://www.gwi-essen.de/kwk-marktfuehrer/)

Am 17. November ging der KWK-Marktführer des GWI online. Als Kooperationspartner konnte der Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (B.KWK) sowie das Virtuelle Institut | KWK.NRW gewonnen werden. Ende 2022 waren bereits 28 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen sowie Vereine und Verbände im Marktführer gelistet. Der KWK-Marktführer bietet verschiedene Filteroptionen, nach denen Unternehmen und Einrichtungen nach

Portfolio und anderen Kategorien selektiert werden können und stellt somit den Nutzern eine neutrale und unabhängige Übersicht der Branche zur Verfügung.

Mit der Integration der ASUE in den DVGW wurde für das KWK-Service-Angebot der ASUE ein neuer Partner gesucht. Durch eine Partnerschaft mit dem GWI konnte der ASUE KWK-Service im November 2022 wieder aufgenommen werden. Der Service nimmt Betreibern von KWK-Anlagen bis 50 kW_{el}, die umfangreichen durch den Gesetzgeber und Energieversorger vorgegebenen Meldungen und Anträge ab. Er stellt durch die Expertise erfahrener Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sicher, dass die Unterlagen korrekt ausgefüllt und termingerecht versendet werden.

Mit den neuen Angeboten „KWK-Marktführer“ und „ASUE-KWK-Service“ präsentierte sich das GWI am 8. Dezember mit einem Stand auf dem renommierten 20. Duisburger KWK-Symposium.



ABBILDUNG 16: DER ASUE-SERVICE DES GWI [HTTPS://WWW.GWI-ESSEN.DE/LEISTUNGEN/ASUE-KWK-SERVICE/](https://www.gwi-essen.de/leistungen/asue-kwk-service/)
QUELLE: DIRK BANNERT, 2022

PRÜFLABORATORIUM PRÜFLABORATORIUM

Im Jahr 2022 hat das Prüflaboratorium des GWI seine definierten Zielsetzungen erfolgreich umgesetzt. Die Hauptinvestitionen konzentrierten sich insbesondere auf das Themenfeld der Wasserstoffanwendungen, von welchen das Labor maßgeblich profitierte. In diesem Zusammenhang wurden Teststände modernisiert, innovative Anlagen integriert und fortschrittliche Messtechnik, speziell für die Bestimmung von Leckage-Raten, erworben. Aktuell verfügen wir über die Expertise und Ausrüstung, um Leckage-Raten bei Drücken von bis zu 100 bar präzise zu ermitteln.

Die kürzlich in Betrieb genommene Gasmischanlage erweitert das Test- und Prüfspektrum des GWI bis zu einer Kapazität von 500 kW. Im Rahmen der Marktraumumstellung (MRU) bleibt das Prüflaboratorium der kompetente Ansprechpartner für alle Fragestellungen im Bereich der Gasgerätechnik. Dies gilt sowohl für Netzbetreiber als auch für das GWI-Projektmanagement der MRU, denen wir beratend zur Seite stehen.

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

Weiterhin umfasst das Prüfangebot des GWI-Prüflaboratoriums Armaturen und sonstige 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:

- Untersuchungen zur Gasgeräteanpassung im Zuge der Marktraumumstellung unter besonderer Berücksichtigung des Sonderfalls „Voranpassung von Brennwertgeräten“ (G 201838): Ziel dieses Vorhabens ist die Überprüfung der Eignung von ausgewählten Heizgeräten in Bezug auf



ABBILDUNG 17: TESTSTAND ZUR LECKRATENBESTIMMUNG,
QUELLE: DIRK BANNERT, 2022

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

- H₂-20 (Pilot-Projekt zur Einspeisung von 20 Vol-% Wasserstoff im Netzgebiet der Avacon) mit Ersterfassung aller Anlagen, Gasinstallationen, Armaturen, Leitungen u. a. mit Dichtheitsmessungen und Prüfgasbeaufschlagung mit G 222 im überwachten Betrieb, Analyse der Erhebungsdaten und ergänzender Labortests komplementär zur „Roadmap Gas 2050“
- ECLHYPSE (bereits abgeschlossen): Experimentelle Charakterisierung der Leckraten von Prüfflecks mit H₂ und / oder CH₄ Gasmischungen gegenüber Luft
- Leckratenerfassung der Wasserstoffdichtheit von Bestandsarmaturen – LeA H₂ + UWaSpin H₂
- Dichtheitsprüfung von Flanschverbindungen in Anlagen zum Betrieb mit Wasserstoff und wasserstoffhaltigen Gasen, DiFla-H₂

MARKTRAUMUMSTELLUNG MARKTRAUMUMSTELLUNG

Seit Wiederbeginn der Marktraumumstellung im Jahr 2015 mit dem Start des Pilotprojekts in Schneverdingen konnten von den Dienstleistern bis Ende 2022 ca. 2,0 Mio. Gasgeräte angepasst werden. Nach Auswertung der bisherigen Erhebungszahlen und Abschätzungen entspricht dies ca. 38 % 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 einem 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 2022 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 Softwareunternehmen 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 Anpassungsmonteur 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.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

INDUSTRIE- UND FEUERUNGSTECHNIK

Der Ukrainekrieg, die noch anhaltende Coronapandemie, die mögliche Gasmangellage haben das letzte Jahr sehr turbulent gestaltet. Die Nachfrage nach alternativen und vor allem erneuerbaren Energien und Brennstoffen hat vor diesem Hintergrund auch nochmal zugenommen und zeigt, dass die Abteilung Industrie- und Feuerungstechnik (IFT) mit den bearbeiteten Forschungsthemen auf dem richtigen Weg ist: Wasserstoff im Kontext der Auswirkungen auf die Produktqualität in den verschiedenen Industriebranchen, die Umstellung von Industriestandorten hin zu klimaneutraler Produktion, innovative Mess- und Regelungstechnik, die Entwicklung flexibler, energieeffizienter Brenner.

Ein weiterer Meilenstein im letzten Jahr war der Wiederaufbau des Roten Ofens, einem Kernaggregat der Abteilung Industrie- und Feuerungstechnik.

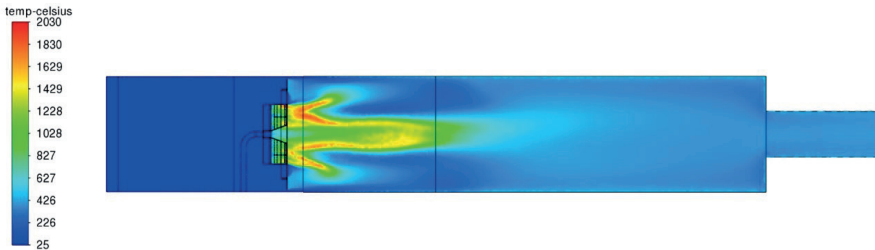
Wasserstoff

Wasserstoff wird – neben regenerativem Strom – zunehmend als zweiter wichtiger Energievektor eines dekarbonisierten Energiesystems gesehen. Wesentliche Einsatzbereiche sind schwer zu elektrifizierende Anwendungen, etwa im Verkehr oder der Thermo- prozesstechnik.

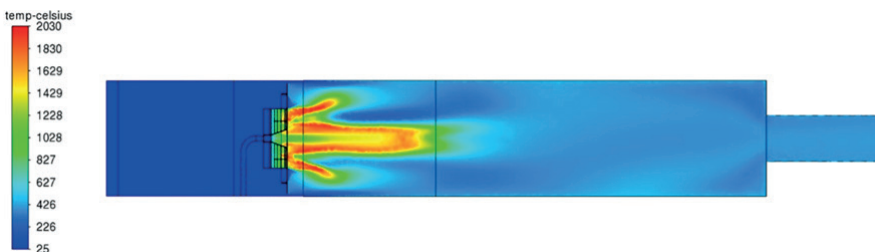
Wasserstoff unterscheidet sich als Brennstoff deutlich von konventionellen Brennstoffen wie etwa Erdgas. Deshalb ist die Untersuchung der Verbrennungseigenschaften und daraus resultierend die Entwicklung und Anpassung der Brennersysteme ein Schwerpunkt der F&E-Aktivitäten der IFT.

Z. B. im Rahmen des AiF-Projektes „EffiH₂“ werden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Verbrennung der RWTH Aachen Flächen- bzw. Kanalbrenner auf Ihre Brennstoffflexibilität hinsichtlich

der Verwendung von Prozessgasen und Wasserstoff untersucht und auf Basis dessen ein generisches, flexibles Brennerkonzept sowie ein Verbrennungsmodell entwickelt. Nach der messtechnischen Untersuchung bestehender Flächenbrennersysteme werden diese Untersuchungen durch CFD-Simulationen verifiziert, s. Abbildung 18.



a) Erdgas H: Temperaturverteilung [°C] offener Flächenbrenner



b) Wasserstoff: Temperaturverteilung [°C] offener Flächenbrenner

ABBILDUNG 18: CFD-SIMULATION EINES FLÄCHENBRENNERS MIT ERDGAS UND WASSERSTOFF

Auch im Rahmen des Projektes „OptiLBO“ soll ein wasserstofftaugliches Brennersystem für einen Elektrolichtbogenofen zusammen mit den Partnern Kueppers Solutions, Küttner Automation und GMH entwickelt werden. Das entwickelte Brennersystem wurde im additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) hergestellt. Hinsichtlich der Nutzung von Wasserstoff als CO₂-freier Brennstoff wurde dieser Brenner sowohl im Freibrand (s. Abbildung 19) als auch im Rahmen einer detaillierten experimentellen Untersuchung am Hochtemperaturofen bei einer Betriebstemperatur von ca. 1.600 °C mit Wasserstoff betrieben. Die ex-

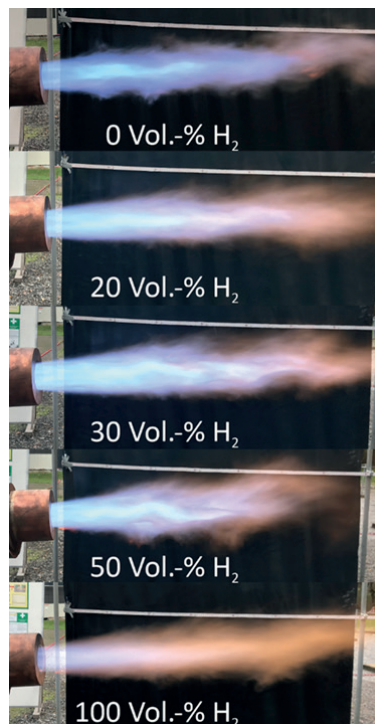


ABBILDUNG 19: FREIBRANDUNTERSUCHUNGEN MIT ERDGAS-WASSERSTOFFGEMISCHENBRENNERS MIT ERDGAS UND WASSERSTOFF

perimentellen Untersuchungen ermöglichten einen frühzeitigen Erkenntnisgewinn bezüglich der Auswirkungen der Substitution von Erdgas durch Wasserstoff auf die Schadstoffbildung, Flammenform und das Strömungsverhalten.

Neben den Untersuchungen hinsichtlich der Verbrennungseigenschaften und Schadstoffemissionen ist ein weiterer wichtiger Untersuchungsschwerpunkt die Beeinflussung der Produktqualität durch die geänderten Abgaszusammensetzungen und Wärmeübertragungsverhältnisse.

Ein Beispiel ist die Glasindustrie, im Rahmen von mehreren F&E-Projekten in der IFT wird unter anderem die Beeinflussung der Glasqualität durch eine Wasserstoffnutzung untersucht. Im Projekt H₂-Glas (zusammen mit der Hüttentechnischen Vereinigung der deutschen Glasindustrie) und im Projekt „COSIMa“ (CO₂-neutraler Saint-Gobain Standort Herzogenrath – Mach-

barkeitsuntersuchungen, in Zusammenarbeit mit Saint Gobain und der RWTH Aachen), welches am 01.01.2022 startete, werden u. a. die Auswirkungen auf die Glasqualität untersucht.

Abbildung 20 zeigt Glasschmelzproben in der mobilen Brennkammer des GWI unter Erdgas- und Wasserstoffbefeuerung. Die Auswertung ist in Abbildung 21 dargestellt. Durch den erhöhten Wasserdampfgehalt im Abgas kommt es bei einigen Farbgläsern zu einem Farbumschlag, der durch eine Anpassung des Gemenges aber kompensiert werden kann.

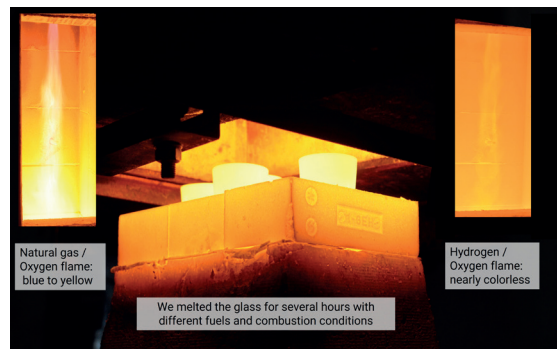


ABBILDUNG 20: GLASSCHMELZPROBEN IN DER MOBILNEN BRENNKAMMER DES GWI UNTER ERDGAS-SAUERSTOFF- UND WASSERSTOFF-SAUERSTOFF-ATMOSPHERE, QUELLE: HVG

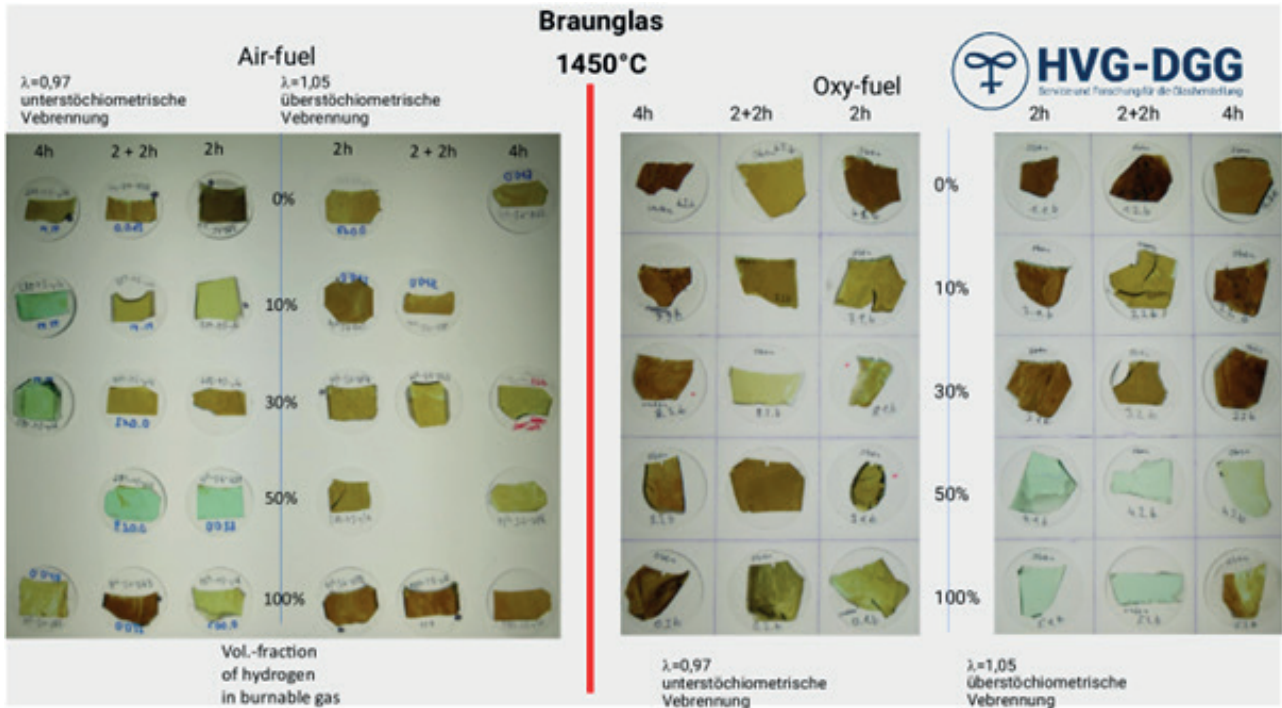


ABBILDUNG 21: AUSWIRKUNGEN EINER WASSERSTOFFZUMISCHUNG AUF DIE GLASQUALITÄT IM AIR-FUEL UND OXY-FUEL-BETRIEB, QUELLE: HVG

Im Projekt „MigWa“ wird zusammen mit den Partnern Schott und der TU Bergakademie Freiberg eine neuartige und innovative Technologie zur direkten Vermeidung des Hauptanteils der CO₂-Emissionen bei der Glasherstellung durch eine klimaschonende Beheizmethode mittels Mikrowelle erforscht und grundlegende Prozesse zur Beheizung mit Wasserstoff in der Schmelze sowie bei der Heißnachverarbeitung untersucht. Nach den erfolgten Brenneruntersuchungen an den Hochtemperaturversuchsständen des GWI liegt der Schwerpunkt aktuell auf der Simulation der Heißformgebungsprozesse, s. Abbildung 22.

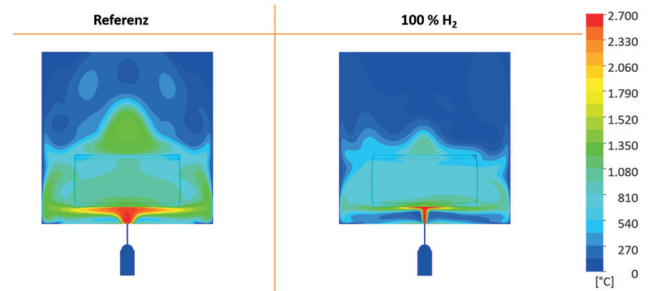


ABBILDUNG 22: SIMULATION DER TEMPERATURVERTEILUNG IN DER GASPHEASE UND IM GLASKÖRPER IN LÄNGSRICHTUNG

Die Untersuchung der möglichen Beeinflussung der metallischen Produktqualität stellt einen weiteren Schwerpunkt in den F&E-Aktivitäten dar. Das Ziel des am 01.10.2022 gestarteten Projektes „H₂-ALU“ ist die materialtechnische Untersuchung der Auswirkungen einer Wasserstoffzumischung zum Erdgas auf die Aluminiumqualität. Das Projekt „H₂-Alu“ ist ein Verbundprojektes der KlimPro-Initiative des BMBF, die In-

itiative fördert Projekte zur Reduzierung von CO₂-Emissionen in der Grundstoffindustrie. Die theoretischen reaktionskinetischen Untersuchungen sowie die semiindustriellen Schmelzversuche (s. Abbildung 23) werden an der mobilen Brennkammer des GWI durchgeführt, die metallurgischen Untersuchungen beim Projektpartner IFQ der Universität Magdeburg. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in ein allgemein verfügbares CFD-Simulationsmodul, welches die Auswirkungen der Wasserstoffzumischung im Vorfeld theoretisch vorhersagt, eingebunden werden. Mit dem Projektpartner Höfer HMT GmbH werden die Forschungsergebnisse mit der Praxis abgeglichen.

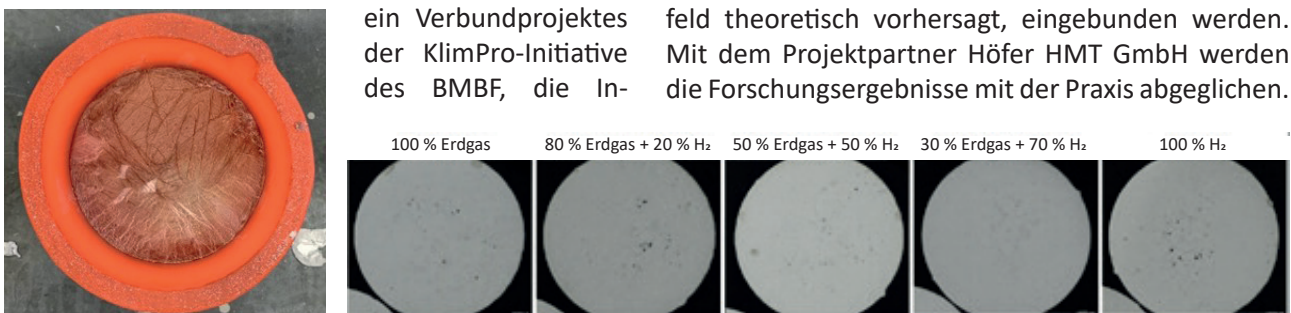


ABBILDUNG 23: SCHMELZTIEGEL MIT FLÜSSIGEM ALUMINIUM (LINKS) UND ERSTE SCHLIFFANALYSEN DER VORVERSUCHE (RECHTS), QUELLE: GWI UND OVGU

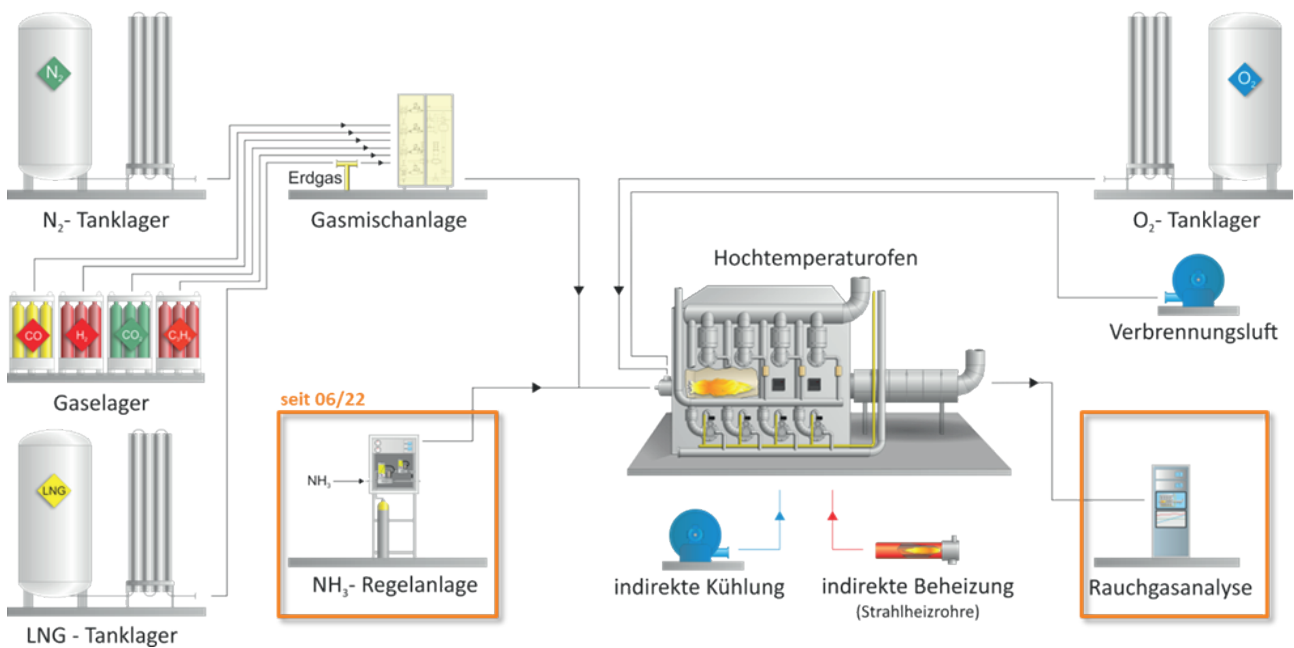


ABBILDUNG 24: ERWEITERUNG DER IFT-INFRASTRUKTUR UM AMMONIAKANWENDUNGEN BIS 165 kW

Ammoniak

Zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland und der EU muss der Einsatz von fossilen Brennstoffen und somit die Emissionen von Treibhausgasen wie CO₂ in den Sektoren Industrie, Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Verkehr deutlich gesenkt werden, z. B. durch den Einsatz von erneuerbaren Gasen. Hierzu zählen neben Wasserstoff, Bio-Methan und synthetischem Methan (SNG) auch Ammoniak. Die IFT hat sich des anspruchsvollen Brennstoffs Ammoniak im letzten Jahr verstärkt angenommen und eine entsprechende Infrastruktur für experimentelle Verbrennungsuntersuchungen von Ammoniak im semi-industriellen Maßstab aufgebaut (s. Abbildung 24), um diese in laufenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten einzusetzen.

Das BMWi-Forschungsprojekt „BrEEga“ zielt darauf ab, industrielle Verbrennungsprozesse zu dekarbonisieren. Hierfür entwickelt das GWI ein flexibles Brennersystem, das mit erneuerbaren Brenngasen und Prozessgasen arbeitet, um Prozesswärme bereitzustellen. Aufgrund der hohen Diversität der Brennstoffe nimmt das zu entwickelnde Brennersystem in diesem Kontext eine Schlüsselrolle ein. Insbesondere ist NH₃ als Brennstoff nicht unproblematisch, mit Herausforderungen vor allem im Hinblick auf die Verbrennungsstabilität und die zu erwartenden Stickoxid-Emissionen (NO_x). Mit Messkampagnen an semi-industriellen Brennerprüfständen bei Leistungen bis zu 165 kW und Versuche am Laborprüfstand (s. Abbildung 25) wurde und wird die Verwendung von Ammoniak als Brennstoff detailliert untersucht.

Die durchgeführten Untersuchungen liefern wichtige Erkenntnisse bzgl. Flammenstabilität, NO_x-Emissionen und der Bildung weiterer Schadstoffe, wie N₂O.



ABBILDUNG 25: FLAMMENBILDER, LINKS: METHAN-LUFT-VERBRENNUNG, RECHTS: AMMONIAK-LUFT-VERBRENNUNG

Im Rahmen des AiF-Vorhabens „AmOszi“ erarbeitet das GWI zusammen mit dem Institut für Technische Chemie des Karlsruher Instituts für Technologie optimale Betriebsparameter für die schadstoffarme Verbrennung von Ammoniak mit Luft. Der Fokus liegt darauf, Stickoxidemissionen in Ammoniak-Brennersystemen zu minimieren, den Ammoniak-Verlust gering zu halten und N_2O -Emissionen zu reduzieren. Neben den bereits bekannten Verfahren zur Stickoxid-Minderung soll geprüft werden, ob eine Kombination bewährter Primärmaßnahmen mit der oszillierenden Fahrweise durch Unterbrechen der Ammoniak-Zufuhr eine minimale Stickoxid-Konzentration ermöglicht. Die Herausforderung besteht darin, ganz ohne Sekundärmaßnahmen, die Grenzwerte der TA-Luft einzuhalten. Im Zuge des Projekts werden unter anderem Ofenversuche mit zwei verschiedenen Industriebrennern, sowie numerischen Simulationen und reaktionskinetischen Berechnungen durchgeführt. Darüber hinaus gilt es, mittels Bilanzierungen eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der Ammoniaknutzung als kohlenstofffreiem Brennstoff zu erstellen. Erste Versuche mit Ammoniak im semi-industriellen Maßstab mit einem herkömmlichen Industriebrenner sind in Abbildung 26 dargestellt.

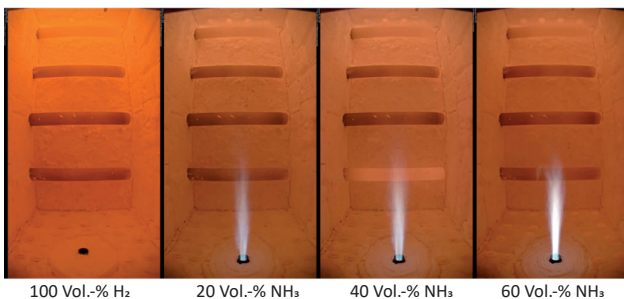


ABBILDUNG 26: FLAMMENBILDER EINER AMMONIAKZUMISCHUNG IN EINEM INDUSTRIEBRENNER

Messen Steuern Regeln

Sensible Prozesse in industriellen Großfeuerungsanlagen z. B. der NE-Metall-, Glas- und Keramikerzeugung werden in Bezug auf Schwankungen der Gasbeschaffenheit (u. a. aufgrund geänderter Gasbezugsquellen z. B. durch den Ukrainekrieg) des Brenngases mit Hilfe kostspieliger Gasanalysetechnik überwacht. Diese Notwendigkeit verschärft sich, sobald zukünftig deutlich höhere volatile H_2 -Anteile aufgrund einer zusätzlichen Einspeisung von Wasserstoff auftreten, die einen erheblichen Einfluss auf die Verbrennungseigenschaften ausüben. Neben der Durchführung von Untersuchungen zur prinzipiellen Tauglichkeit von Brennern sowie der eingesetzten Werkstoffe, welche in den Teilprojekten 1 und 3 des Leitertechnologievorhabens „TTgoesH₂“ adressiert werden, ist es

dazu unabdingbar, auch schnell reagierende Regelungssysteme für die Kompensation starker Gasbeschaffenheitswechsel zu entwickeln. Dazu wird im Teilprojekt 2 „GreCoCon“ an der Entwicklung einer Verbrennungsregelung auf Basis des Flammensignals von Feuerungsprozessen gemeinsam mit dem Gas-technologischen Institut in Freiberg (DBI) und dem Institut für Verbrennung und Gasdynamik (IVG) an der Universität Duisburg-Essen gearbeitet.

Die Messstrategie beruht auf der Detektion der Chemilumineszenz mit Hilfe der Photosensoren von industriellen Flammenüberwachungssystemen. Dabei werden mit Hilfe der Sensoren spezifische spektrale Charakteristika einer Erdgas- bzw. Wasserstoffverbrennung erfasst und Signalintensitätsverhältnisse berechnet. Die Signalverhältnisse gehen anschließend zusammen mit der Frequenzcharakteristik des Signals in die Ermittlung des Wasserstoffanteils im Brenngas ein. Die IFT setzt zu diesem Zweck angepasste Flammenüberwachungssysteme des Industriepartners Fa. BFI Automation GmbH ein, der in dem

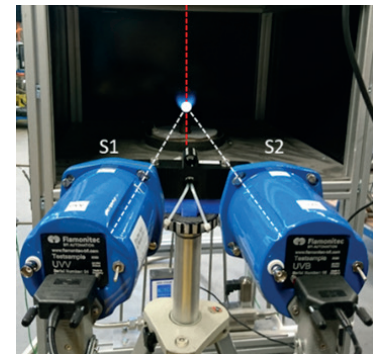


ABBILDUNG 27: ZWEI-SENSOR-ANORDNUNG EINER FLAMMENÜBERWACHUNG

technische Umsetzung unterstützt. Für die Entwicklung einer Verbrennungsregelung zur Kompensation wechselnder Wasserstoffanteile im Brenngas, wurde eine kennfeldbasierte Auswertemethode entwickelt und Freibrandversuche erprobt (s. Abbildung 27). Abbildung 28 zeigt exemplarisch ein berechnetes Kennfeld für die Ermittlung des Wasserstoffanteils anhand von zwei Merkmalen des optischen Signals.

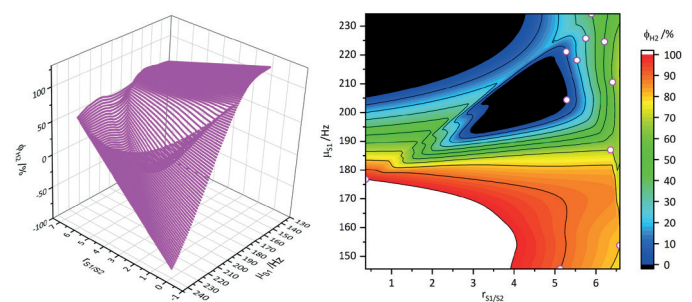


ABBILDUNG 28: BERECHNETES KENNFELD FÜR DIE BESTIMMUNG DES H_2 -ANTEILS IM BRENNGAS

Ziel des Vorhabens „Tomo-Pro“ ist die Entwicklung einer optischen Sonde auf der Basis kostengünstiger industrieller Kamerasysteme zur Anwendung der 3D-Chemilumineszenz-Tomographie in Hochtemperaturumgebungen. Das Vorhaben wird gemeinsam mit dem Institut für Verbrennung und Gasdynamik (IVG) an der Universität Duisburg-Essen und dem Gastechologischen Institut in Freiberg (DBI) durchgeführt. Mit Hilfe der zu entwickelnden Sonde soll erstmalig ein 3-dimensionales tomographisches Verfahren für die Verbrennungsdiagnostik in Thermoanlagen eingesetzt werden. Die 3D-Daten können neben dem reinen Prozessmonitoring zukünftig auch zur Einführung und Weiterentwicklung von mathematischen Modellen und deren experimenteller Validierung im Zuge der Auslegung und Optimierung von Thermoanlagen mittels CFD eingesetzt werden.

Abbildung 29 zeigt die 3D-Rekonstruktion der Reaktionszone einer 120 kW nicht-vorgemischten Erdgas-Luft-Flamme eines Hochgeschwindigkeitsbrenners im Versuchsofen „Nassheuer“ der IFT. Für die Erprobung der tomographischen Algorithmen werden hier zunächst synthetisch generierte Kameraansichten für eine definierte optische Anordnung innerhalb des Versuchsofens und unter Berücksichtigung der optischen Abbildungseigenschaften des Kamerasystems zugrunde gelegt. Auf Basis der Ergebnisse wurde gemeinsam mit dem DBI eine wassergekühlte Mehrkammerasonde für die Flammenobservation in der Hochtemperaturumgebung entwickelt. Derzeit erfolgt die technische Umsetzung der Sonde, die im Anschluss in den Versuchsanlagen der IFT praktisch erprobt werden soll. Aus der Erprobung sollen grundlegende Erkenntnisse für Anwendbarkeit tomographischer Messverfahren auf reale Prozesse gewonnen werden.

Wiederaufbau Roter Ofen

Der in die Jahre gekommene Rote Ofen der IFT wurde komplett neu aufgebaut, um den gestiegenen Anforderungen der aktuellen Nachfragen im Zuge der Dekarbonisierung der Industrie weiterhin im vollen Umfang Rechnung zu tragen. Abbildung 30 zeigt den Abriß, die Neuauslegung und den Aufbau des neuen Roten Ofens. Zwischenzeitlich ist er mit allen erforderlichen Messinstrumenten, Messöffnungen, Kühlleitungen etc. wieder voll einsatzfähig.

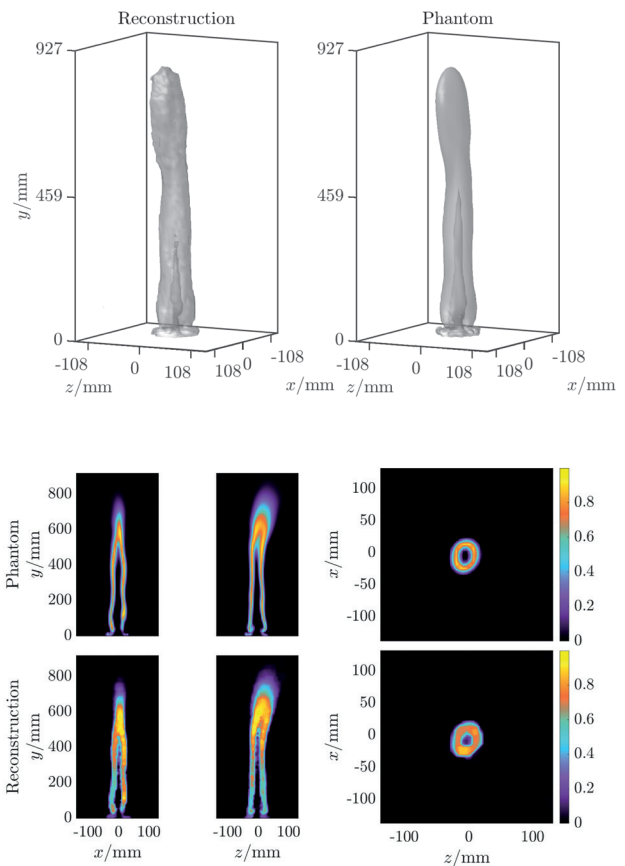


ABBILDUNG 29: TOMOGRAPHISCHE 3D-REKONSTRUKTION IM VERGLEICH ZUM DEM ZUGRUNDLIEGENDEN FLAMMENPHANTOM AUS EINER CFD-SIMULATION, QUELLE: IVG



ABBILDUNG 30: ABRISSE UND NEUBAU DES ROTEN OFENS DER IFT

Veranstaltungen, Messen und Konferenzen

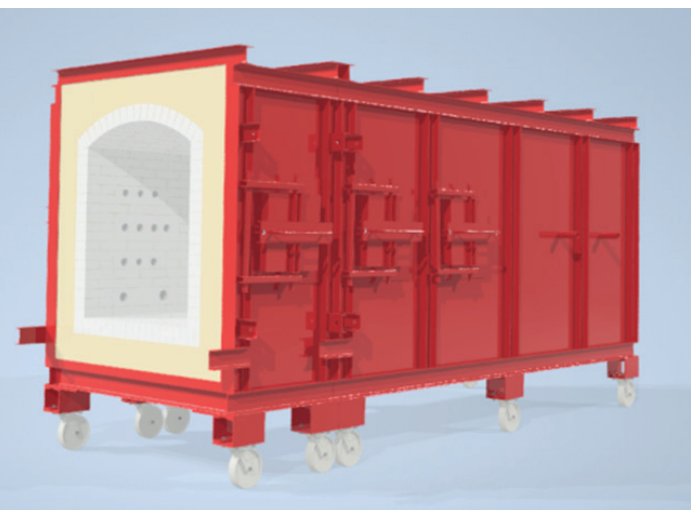
Nachdem die Pandemie-Jahre 2020 und 2021 ganz im Zeichen von virtuellen Veranstaltungen und online-Workshops standen, kehrte 2022 ein gewisses Maß an Normalität zurück, auch in Bezug auf wissenschaftliche Veranstaltungen und Konferenzen sowie Messen.

Thematisch stehen für die Abteilung IFT nach wie vor die Herausforderungen der Dekarbonisierung der Industrie im Vordergrund, wobei die Prozesswärmebereitstellung mit Hilfe von Wasserstoff hier sehr viel Raum einnimmt. Das im Vorjahr abgeschlossene „HyGlass-Projekt“ [1] wurde, u. a. auf der 13th International Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB) in Albufeira (Portugal) [2] und dem 26th International Congress on Glass [3], der 2022 im Internationalen Jahr des Glases der Vereinten Nationen in Berlin stattfand, vorgestellt. Auch das „AdReku-Projekt“ [4], ein Projekt zum Einsatz von innovativen 3D-Druck-Verfahren zur Herstellung von hocheffizienten Industriebrennern, wurde auf der INFUB vorgestellt [5].

Die internationale Kooperation mit Forschungseinrichtungen wurde ebenfalls weiterentwickelt: so trug die Abteilung mit einer Keynote Lecture über die Prozesswärmebereitstellung durch Wasserstoff zum Erfolg des 48. Topic-Oriented Technical Meeting (TO-TeM) der International Flame Research Foundation (IFRF) in der Nähe von Paris bei [10]. Diese Kooperation mit der IFRF wird auch im Jahr 2023 fortgeführt, auch auf der nächsten IFRF-Veranstaltung im Vorfeld

des 11th European Combustion Meeting (ECM2023) in Rouen wird das GWI mit einer Keynote Lecture zu Skaleneffekten in der anwendungsorientierten Verbrennungsforschung dabei sein.

Neben Wasserstoff wird auch das Thema Ammoniak für die Abteilung immer wichtiger. Der Ausbau der Versuchsinfrastruktur für die Untersuchung der Ammoniak-Verbrennung im semi-industriellen Maßstab, siehe Abbildung 24, wurde begleitet durch erste Vorträge ([11], [12]) und Veröffentlichungen ([13], [14]), in denen die Potenziale, aber auch die Herausforderungen dieses schwierigen Brennstoffs sowie erste Forschungsergebnisse vorgestellt wurden. Ammoniak als ein möglicher Energievektor und Brennstoff der Zukunft wird in den nächsten Jahren weiterhin einen wichtigen Platz in den Aktivitäten der IFT einnehmen.



Allgemeinere Erkenntnisse zur Wasserstoffverbrennung in großtechnischen Anwendungen wurden u. a. auf dem 54. Kraftwerkstechnischen Kolloquium in Dresden präsentiert [7], wo das GWI auch erstmalig mit einem Stand auf der die Konferenz begleitenden Messe vertreten war, s. Abbildung 32.

Die IFT war auch 2022 wieder auf der glasstec in Düsseldorf, der weltweit größten Messe der Glasindustrie, mit einem Gemeinschaftsstand mit der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V., vertreten.

Gegen Ende des Jahres wurde das GWI zudem eingeladen, das HyGlass-Projekt auf dem Kick-Off-Meeting des von der portugiesischen Regierung geförderten Projekts „Indústria de Futuro“ [6] in Lissabon vorzustellen, das vom portugiesischen Gasverteilnetzbetreiber FLOENE geleitet wird und Dekarbonisierungsstrategien für die Industrie in Portugal entwickeln will.



ABBILDUNG 32: KRAFTWERKSTECHNISCHES KOLLOQUIUM 2022 IN DRESDEN

Literatur

- [1] Islami, B., Giese, A., Biebl, M., Fleischmann, B., Overath, J., Nelles, C., „Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase – Untersuchung der Auswirkungen auf den Glasherstellungsprozess und Analyse der Potenziale in NRW (Akronym: HyGlass)“, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. / BV Glas, Essen, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gwi-essen.de/medien/publikationen/abschlussberichte/2022/hyglass_abschlussbericht.pdf
- [2] Leicher, J., Islami, B., Giese, A., Görner, K., Overath, J., „Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry“, gehalten auf der 13th International Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB13), Albufeira, Portugal, 2022.
- [3] Leicher, J., Giese, A., Islami, B., Görner, K., Overath, J., „Decarbonizing process heat in the glass industry with hydrogen and hydrogen / natural gas blends“, gehalten auf der 26th International Congress on Glass, Berlin, 2022.
- [4] Schneider, T., Fiehl, M., Giese, A., Feller, B., Moldovan, A., te Kaat, J., „Entwicklung eines additiv gefertigten rekuperativen Brennersystems zur Effizienzsteigerung und Schadstoffreduzierung (Akronym: AdReku)“, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. / Kuipers Solutions GmbH, Essen, 03EN2013A-B, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gwi-essen.de/medien/publikationen/abschlussberichte/2021/adreku_abschlussbericht.pdf
- [5] Schneider, T., Fiehl, M., Giese, A., Feller, B., Moldovan, D.-A., te Kaat, J., „3D-printed burner for efficient heat recuperation“, gehalten auf der 13th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB13), Albufeira, Portugal, 2022.
- [6] Leicher, J., „Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry“, gehalten auf der Kick-Off Conference „Indústria de Futuro - Roteiro para a Introdução dos Gases Renováveis no Setor Industrial Nacional“, Lissabon, Portugal, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://industriadefuturo.floene.pt/>
- [7] Leicher, J., Giese, A., Görner, K., Dreizler, D., „Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoff-Gemische als Dekarbonisierungsoption“, gehalten auf der 54. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden, 2022.
- [8] Leicher, J., Burmeister, F., Giese, A., Albus, R., Pietsch, P., Dörr, H., „Kompensationsstrategien für den Einsatz von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen in Endverbrauchstechnologien: Ergebnisse des DVGW-Forschungsprojekts ‚Roadmap Gas 2050‘“, Energie Wasser-Praxis, Nr. 6/7, S. 46–55, 2022.
- [9] Leicher, J., Giese, A., „Erdgas, Erdgas-Wasserstoff-Gemische und reiner Wasserstoff - Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess“, gwf - Gas+Energie, Nr. 4, S. 26–36, 2022.
- [10] Leicher, J., „Hydrogen for industrial process heating: Challenges and opportunities“, gehalten auf der IFRF TOTeM 48: Hydrogen for decarbonization“, Paris, Frankreich, 2022.
- [11] Giese, A., Biebl, M., „Ammoniak eine interessante Alternative zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Thermoprozessindustrie!“, gehalten auf der Industrielle Brennertechnik & nachhaltige Wärmeerzeugung, Salzgitter, 2022.
- [12] Leicher, J., Biebl, M., „Ammoniak als Brennstoff“, gehalten auf der VGBE-Fachtagung: Brennstoffe, Feuerungen und Abgasreinigung, Hamburg, 2022.
- [13] Leicher, J., Biebl, M., Giese, A., Görner, K., „Untersuchung zum Einsatz von Ammoniak zur dezentralen Wärmebereitstellung“, Prozesswärme, Nr. 5, S. 61–65, 2022.
- [14] Wiebe, J., Gehrman, H.-J., Aleksandrov, K., Mätzing, H., Stapf, D., Giese, A., Leicher, J., Nowakowski, T., „Stickoxidminderung bei der oszillierenden Verbrennung von Ammoniak als kohlenstofffreiem Energieträger“, gehalten auf der Jahrestreffen der Fachgruppen Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, Energieverfahrenstechnik, Gasreinigung, Hochtemperaturtechnik, Rohstoffe, Bamberg, 2022.
- [15] „THyGA - Testing Hydrogen admixture for Gas Applications“, 2020. thyga-project.eu
- [16] Leicher, J., Schaffert, J., Cigarida, H., Tali, E., Burmeister, F., Giese, A., Albus, R., Görner, K., Carpentier, S., Milin, P., Schweitzer, J., „The Impact of Hydrogen Admixture into Natural Gas on Residential and Commercial Gas Appliances“, energies, Bd. 15, Nr. Special Issue „Progress in Power-to-Gas Energy Systems“, 2022, doi: doi: 10.3390/en15030777.

BRENNSTOFF- UND GERÄTETECHNIK

Die Hauptthemen im Jahr 2022 waren Wasserstoff-Anwendungen, -Transportlösungen und die Integration in gekoppelte Systeme mit anderen erneuerbaren Energieträgern wie Photovoltaik und Geothermie sowie deren Verknüpfung über IKT / Digitalisierungsmöglichkeiten. Eine adaptive Sektorenkopplung setzt die gleichzeitige Betrachtung aller Netze voraus – Strom-, Gas- und Wärmenetze – verknüpft mit der entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Als Beispiel dienen hier die weiter unten beschriebenen Projekte „GreenVEgaS“ und „IntegraNet II.“ Das Thema Wasserstoff in der Anwendung wird u. a. durch Projekte wie DVGW-Roadmap Gas 2050 und das europäische Projekt „THyGa“ adressiert, die inhaltlich in 2022 fertiggestellt wurden. Erste Planungen für 100 %-Wasserstoffnetze wurden unter dem Oberthema Wärme- bzw. Wärmeplanung auf kommunaler Ebene bearbeitet. Die weiter unten beschriebenen Projekte „TransHyde“ und „HyBEST“ stehen für einen systemanalytischen Ansatz und für Sektorenkopplung.

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: Flexibilisierungsoptionen, Gasbeschaffungsfragen, insbesondere im Bereich der Einspeisung und Verwendung von EE-Gasen in den einzelnen Sektoren, LNG / LBG, Biogase inkl. Wasserstoff, Feldtest-Monitoring, Tests von Anwendungstechnologien mit H₂-reichen Gasen.

Mit den Abteilungen Industrielle Feuerungstechnik, Prüflabor und Bildungswerk bestehen Schnittstellen bei den Themen Flexibilisierungsoptionen, Netzen und Wasserstoff – hier insbesondere was Leckageraten bei Verwendung von Wasserstoff angeht. Durch neue Versuchsaufbauten ist das Prüflabor in

der Lage Armaturen bzw. Flansche bis zu 100 bar zu testen.

Im Folgenden wird auf einige Beispielprojekte näher eingegangen:

TransHyDE Mukran und NORM

Durch das Ziel Treibhausgasneutralität bis 2045 ist die Forcierung auf erneuerbare Energien nochmals beschleunigt worden. Um auch die Sektoren Verkehr und Industrie zeitnah zu dekarbonisieren, sind die Interessen für Wasserstoffanwendungen nochmals bestärkt worden. Neben der heimischen Erzeugung von Wasserstoff, welches mit dem Ziel 10 GW bis 2030 von der Bundesregierung gesetzt wurde, sind auch die Stärkung der Infrastruktur und Importe von Wasserstoffprodukten z. B. in flüssiger Form oder in chemisch gebundener Form als Versorgungspfade möglich.

Die Wasserstoff-Leitprojekte bilden die bisher größte Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zum Thema Energiewende. In den Leitprojekten entwickeln Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam Lösungen für die deutsche Wasserstoffwirtschaft: Serienfertigung von großskaligen Elektrolyseuren (H₂Giga), Offshore Erzeugung von Wasserstoff (H₂Mare), Technologien für die Speicherung und den Transport von Wasserstoff (TransHyDE).

Das Leitprojekt „TransHyDE“ entwickelt, bewertet und testet unterschiedliche Wasserstoff-Transport- und Speicherlösungen. Ohne eine geeignete Infrastruktur kann eine Wasserstoffwirtschaft nicht funktionieren, daher sollen in Demonstrations-Projekten vier Transporttechnologien weiter vorangebracht werden: (1) der Wasserstoff-Transport in Hochdruckbehältern, (2) der Wasserstoff-Flüssig-Transport, (3) der Wasserstoff-Transport in bestehenden und neuen Gasleitungen sowie (4) der Transport von Wasserstoff gebunden in Ammoniak oder dem Trägermedium LOHC.

Mehr Informationen gibt es auf der Internetseite des BMBF unter: <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde>

Im Verbundprojekt „Mukran“ entwickeln sechs Partnerinstitutionen aus Wirtschaft und Wissenschaft neuartige Wasserstoff-Speicherbehälter. Das Projekt

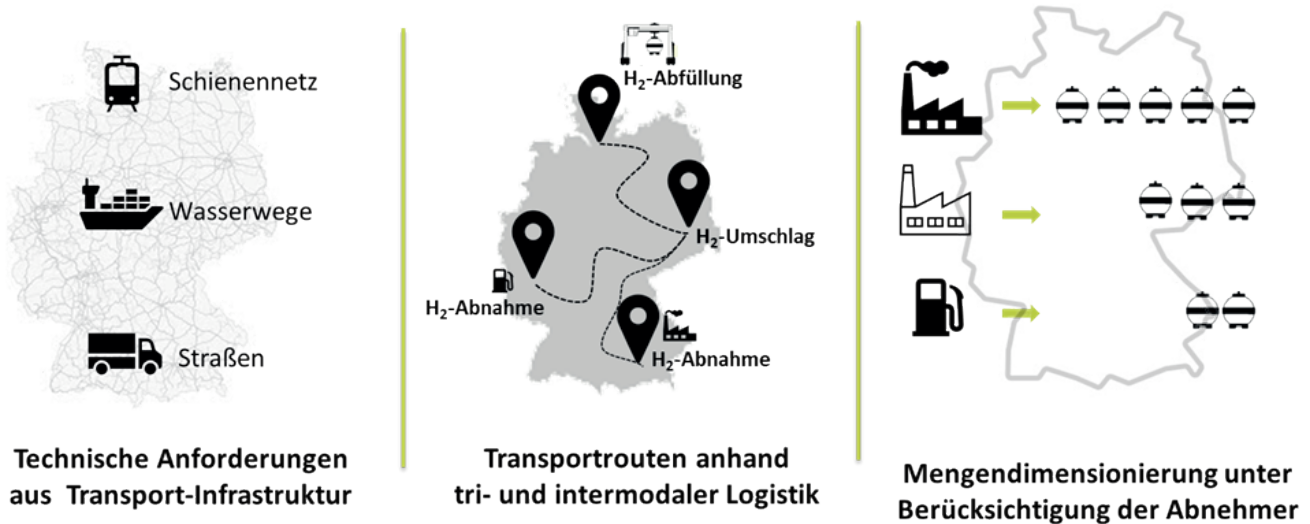


ABBILDUNG 34: UNTERSUCHUNG VON TRANSPORTOPTIONEN VON GASFÖRMIGEN WASSERSTOFF INNERHALB DEUTSCHLANDS

ist Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Wasserstoffleitprojektes „TransHyDE“.

Um die zukünftige Versorgungslage zu sichern, ist es wichtig, weitere Transportwege von gasförmigem Wasserstoff außerhalb des Pipelinenetzes zu testen. Ziel des Projektes ist es, die gesamte Prozesskette von der Behälterentwicklung, Prototypenbau bis hin zu einem für den Straßen-, Schienen-, und Schiffsverkehr geeigneten, mobilen Speicher im Projekt zu untersuchen und in weiten Teilen zu demonstrieren. Nach dem Start 2021 und einer inhaltlichen Umstrukturierung 2022 untersucht das GWI im Rahmen des Projektes den multimodalen Transport von Wasserstoff zur dezentralen Versorgung. Dies bedeutet, die Wasserstoffbehälter werden per LKW und Straße, Schiff und Wasser sowie Zug und Schiene transportiert, so dass eine dezentrale Versorgung von Verbrauchern fernab des Pipelinenetzes gewährleistet werden könnte. Dazu untersucht das GWI die Erzeuger- und Abnehmerstruktur von Wasserstoff in Deutschland und analysiert optimale Versorgungsrouten und Logistikooptionen unter technisch-ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten.

Die praktische Erprobung wird in „TransHyDE“ durch eine wissenschaftliche Begleitforschung ergänzt, zu der -neben der Systemanalyse, Analyse der sicheren Infrastruktur, etc., auch das Teilprojekt „TransHyDE-NORM“ zählt, bei dem das GWI ebenfalls beteiligt ist.

Um die Umsetzung der Transportoptionen zu ermöglichen, bedarf es einheitlicher Vorgaben in Form von Normen, Standards und Zertifizierungsprogrammen. Ziel des Vorhabens ist es daher, die Normung,

Zertifizierung und Standardisierung von Transport-, Verteil- und Speicheroptionen für Wasserstoff bzw. verwandte chemische Energieträger ganzheitlich zu untersuchen. So sollen Regelungsdefizite identifiziert und Lösungsansätze entwickelt werden.

HyBEST

Im Rahmen des Projektes „HyBEST“, welches im Dezember 2021 startete, werden unterschiedliche Konzepte einer wasserstoffbasierten Energieversorgung am Beispiel von drei unterschiedlichen Gewerbeclustern an den Standorten Gifhorn, Herten und Karlsruhe mit dort vorhandenen Anwendungen untersucht. Projektpartner sind dabei die DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut, der Landkreis Gifhorn, die HYCON GmbH und die Stadtwerke Karlsruhe GmbH.

Das Teilvorhaben des Gas- und Wärme-Instituts Essen e.V. hat den Schwerpunkt auf der wissenschaftlichen Begleitung der Implementierung von Wasserstoff in das Gewerbecluster Gifhorn. Hierbei wird das GWI einen digitalen Zwilling für den Standort eines Abfallwirtschaftszentrums im Landkreis Gifhorn entwickeln, um parallel zur Umsetzung eine technoökonomische Analyse mit dem Ziel die THG-Minderungen und das Kosten-Nutzen-Verhältnis bewerten und optimieren zu können.

Der Landkreis Gifhorn strebt für das Abfallwirtschaftszentrum eine möglichst klimaneutrale Energieversorgung an. Als Modellprojekt soll es zukünftig für ähnlich gelagerte Anwendungsfälle als Vorbild dienen und beispielhaft die Möglichkeiten und ggf. die Grenzen des Einsatzes innovativer Techniken für die klimaneutrale Energieversorgung auf der Basis

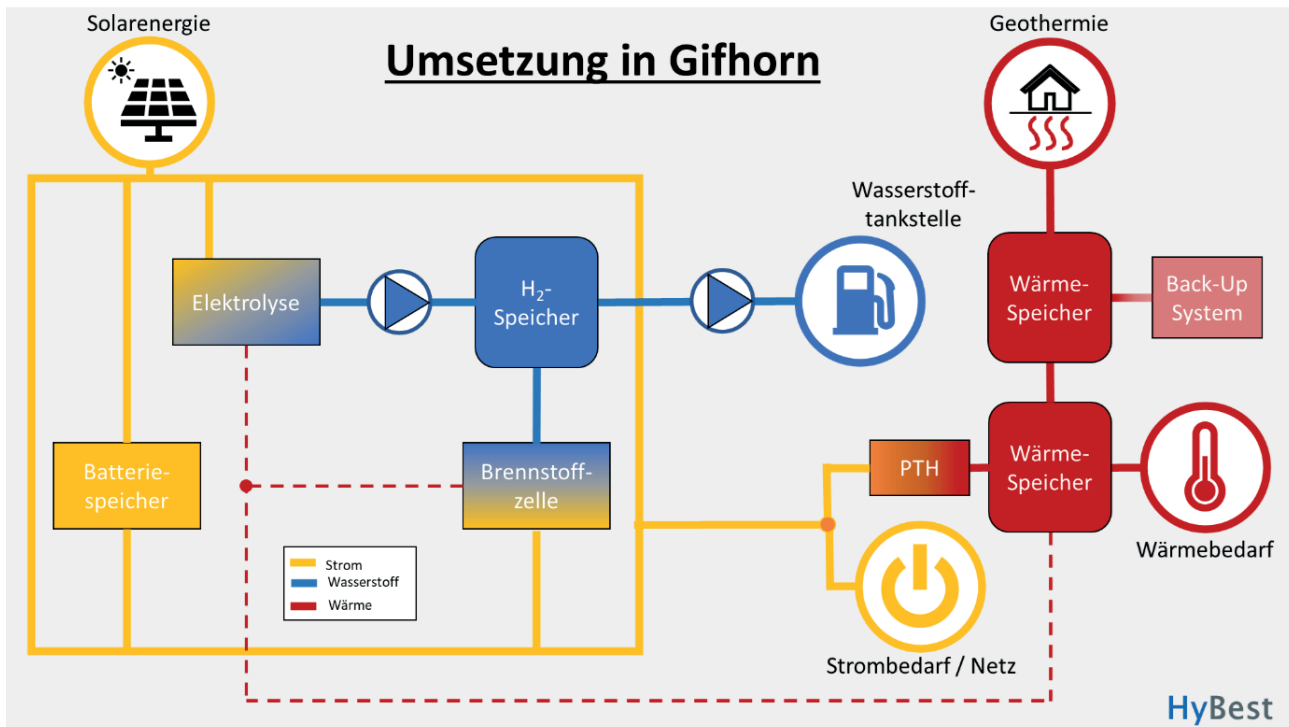


ABBILDUNG 35: WASSERSTOFFBASIERTES, INTEGRIERTES STROM- UND WÄRMEENERGIESYSTEM AM STANDORT DES AWZ GIFHORN

regional erzeugter, erneuerbarer Energieträger aufzeigen. Hierzu wurden auf den Dächern der verschiedenen Betriebseinrichtungen Photovoltaikanlagen zur Erzeugung von regenerativem Strom installiert. Das Ziel, den Eigenbedarf möglichst ausschließlich aus dieser volatilen Eigenerzeugung zu decken, kann jedoch nur durch die Koppelung an ein Energiespeichersystem erreicht werden, da die jährlichen Produktions- und Verbrauchszeiten zu sehr voneinander abweichen. Um den ganzjährigen Bedarf zu decken, ist als Speichermedium vorrangig Wasserstoff vorgesehen, der mit dem überschüssigen Strom mittels Elektrolyseur erzeugt wird und bei Energiebedarf aus dem Speicher abgerufen und wieder mittels einer Brennstoffzelle in Strom umgewandelt wird. Die bei diesen Prozessen entstehende Abwärme wird ergänzend zur Deckung des Wärmebedarfs, neben der bereits vorhandenen Geothermie, am Standort genutzt.

Für das Monitoring bzw. die Datenauswertung und die Optimierung der Anlagen-Betriebsstrategie wird vom GWI neben eines Mess-Konzepts auch eine Messdatenerfassung, -management sowie eine stetige Visualisierung umgesetzt. Dies alles ist die Basis für eine Optimierung durch Betriebsdaten und darauf aufbauend auch prädiktive Optimierungsvorschläge, z. B. auf der Basis von zukünftigen Wetterprognosen oder Marktanreizen.

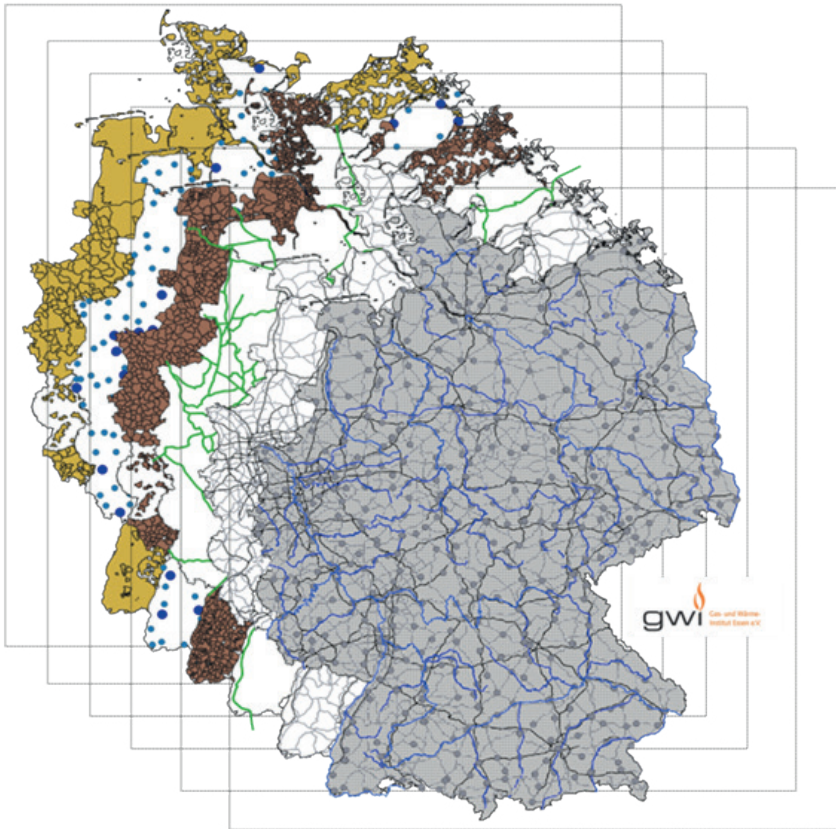
Neben Modellaufbau, Anlagendesign und Dimensionierung der Wasserstoffanlage hat sich das GWI auch mit standortübergreifenden Themen beschäftigt, z. B. mit dem Wasserstoffbedarf des umliegenden ÖPNV und dem Fuhrpark der regionalen Entsorger, um ausgehend von der, im Projekt umgesetzten Anlage, auch weitere Potenziale in der Region identifizieren zu können.

GreenVEgaS

Im Projekt „GreenVEgaS“ wird eine ganzheitliche Analyse des Energiesystems aus volkswirtschaftlicher Perspektive durchgeführt. Dabei werden sowohl die technische Erzeugung als auch die notwendige Netzinfrastruktur (Strom-, Gas- und Wärmenetze) berücksichtigt.

Der Fokus der Arbeiten am GWI liegt auf der Abbildung der Gas- und Wärmenetze. Das Modell des GWI basiert dabei auf unterschiedlichen geografisch aufgelösten Betrachtungsebenen (Layern), die am Ende in die Gesamtanalyse einfließen (s. Abbildung 36).

Auf Seite der Wärmenetze wurde ein Modell zur Prognose des geografisch aufgelösten Wärmenetzausbaus bis 2045 entwickelt. Es wird ein Gesamtanteil von Fernwärme an der Wärmebereitstellung im Wohngebäudesektor im Zieljahr von 25 % angenommen. Zur Bestimmung des lokalen Potenzials hinsichtlich des Fernwärmeausbaus werden unter-



**ABBILDUNG 36: ÜBERLAGERUNG VON VERSCHIEDENEN GEOGRAFISCH AUFGELÖSTEN BE-
TRACHTUNGSEBENEN WIE ERDGASNETZ, INDUSTRIESTANDORTE ODER WASSERSTOFFNETZ**

schiedliche Einflussfaktoren berücksichtigt. Neben der Möglichkeit zur Erweiterung bestehender Wärmenetze werden z. B. auch die lokalen Wärmebedarfsdichten im Zieljahr berücksichtigt. In die Berechnung der Wärmebedarfsdichten fließen neben verschiedenen Datenquellen, wie den Gebäudedaten des Zensus 2011 [1], auch die Ergebnisse eines Modells für die Sanierung des Gebäudebestands ein. Hierzu wurden unterschiedlichen Varianten hinsichtlich der Entwicklung der Sanierung in Deutschland untersucht.

Zur Verortung der Verbraucher wird der Erdgasbedarf des Gewerbesektors pro NUTS3-Region, sowie der einzelnen Industriestandorte bestimmt. Durch Klassifizierung nach Industriebranchen werden potenzielle Abwärmequellen identifiziert, deren Standorte wiederum in die Prognose des Wärmenetzausbaus einfließen.

Als weitere Layer werden die Erdgas- und Wasserstoffnetze untersucht. Zunächst wurde der aktuelle Stand der Erdgasinfrastruktur aufgenommen. Für die zukünftige Entwicklung der Gasnetze wird die Wasserstoffnetzplanung der FNB Gas e.V. [2] berücksichtigt. Über die räumliche Analyse des Abstands von

Anlagen zu bestehenden oder geplanten Netzen ergibt sich der notwendige Zubau und die resultierenden Kosten für unterschiedliche Szenarien.

Zur Bestimmung der Kostentreiber im Bereich der Gas- und Wärmeinfrastruktur ist zusätzlich die Betrachtung der räumlichen Verteilung der Technologien im Wohngebäudesektor notwendig. Hierzu wurde eine deutschlandweite Typologisierung der städtebaulichen Strukturen mittels detaillierter Geodatenanalyse durchgeführt. Die Typologien bilden zusammen mit den überlagerten Infrastrukturlayern die Grundlage, um die geografisch aufgelöste Technologieverteilung zur Wärmebereitstellung im Wohngebäudesektor zu bestimmen. Dabei werden die durch die Infrastruktur vorgegebenen Randbedingungen (wie z. B. das Vorhandensein von Erdgasnetzen) berücksichtigt.

Das Gesamtkonzept der einzelnen Module der Projektpartner und deren Zusammenspiel wurde beim Jahrestreffen Energiesystemanalyse auf einem Poster vorgestellt [3].

IntegraNet II

Das vom BMWK geförderte Projekt „IntegraNet II“ fokussiert auf einen holistischen Ansatz der Sektorenkopplung als mögliche Lösung für die aus der Energiewende folgenden Herausforderungen eines integrierten Energiesystems. Es setzt dabei die erfolgreiche Arbeit des Vorgänger Projektes „IntegraNet“ fort, in dem bereits Open Source Modelle zur Simulation von gekoppelten Orts- und Verteilnetzen entwickelt und auf eigens erarbeiteten repräsentativen Stadtraumtypologien angewandt wurden.

„IntegraNet II“ geht nun einen Schritt weiter und betrachtet die Erneuerbaren Energien Einbindung und die damit einhergehende Sektorenkopplung auf der Verteil- und Fernleitungs-Netzebene im überregionalen Kontext. Methodisch wird dabei ein zellulärer Ansatz entwickelt und angewandt, welcher die regional hochaufgelösten Bedarfs- und EE-Erzeugungsda-

ten in der GWI GEO.DB automatisiert analysiert und klassifiziert. Grundsätzlich wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Szenariorahmen ermittelt, welche Restriktionen und Leistungen die verschiedenen Regionen und ihre Netzstrukturen in das Gesamtsystem einbringen. Die automatisierte Ausgangs-Klassifizierung geht von drei grundsätzlichen Zelltypen aus. Typ 1 Zellen (s. Abbildung 37 – rote Zelle links) sind klassischerweise ganzjährliche Lastzentren, die auf Grund von Industrie- und städtische Ballungsräumen eine hohe Bedarfsdichte aufweisen und selbst bei ambitioniertem EE-Ausbau keine negativen Residuallasten erreichen können. Diese Zellen sind dauerhaft Senken für EE. Typ 2 Zellen (s. Abbildung 37 – blaue Zelle Mitte) weisen ein höheres EE-Potential auf bei

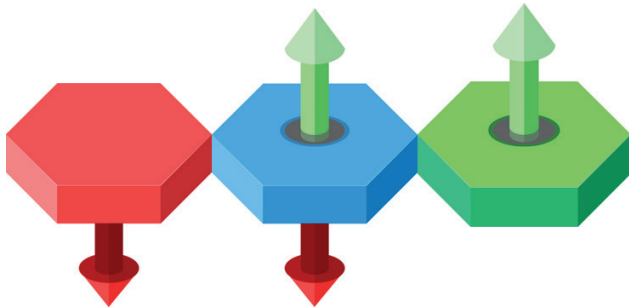


ABBILDUNG 37: BASIS-ENERGIEZELLEN, QUELLE: GWI

gleichzeitig geringeren Bedarfsdichten und können auf Basis der volatilen Einspeisung temporär negative Residuallasten erreichen. Diese Regionen können somit für gewisse Zeiten benachbarte Gebiete mit EE versorgen. Typ 3 Zellen (s. Abbildung 37 – rechte Zelle grün) sind durch geringe Bedarfsdichten im eher ländlich geprägten Raum bei gleichzeitig hohem EE-Potenzial charakterisiert. Diese Zellen haben



ABBILDUNG 38: TYPZELLEN-KLASSIFIZIERUNG, QUELLE: GWI

im statistischen Mittel übersaisonal eine negative Residuallast und können deshalb ganzjährlich EE für Typ 1 und 2 Zellen bereitstellen. Das beschriebene Konzept wurde in ein generisches Modell zur automatisierten Auswertung von statischen georeferenzierten Jahresdaten und anlagenspezifischen Zeitreihen überführt, um somit eine Klassifizierung für ganz Deutschland durchführen zu können. Anschließend wurde eine Auswertung von relevanten wiederkeh-

renden Zellkombinationen durchgeführt. Ergebnis dieser Analyse sind repräsentative Beschreibungen von Versorgungsaufgaben von Energienetzen in Abhängigkeit des regionalen Kontextes und somit auch der infrastrukturabhängigen Sektorenkopplungspotenziale.

Im Abschließenden Arbeitspaket wurden anhand der Zellklassifizierung geeignete Regionen herausgesucht, um potenziell überregional sektorengekoppelte Strom / Gasnetz-Verbünde zu modellieren. Die Zellinformationen werden automatisiert aggregiert und räumlich den Transportnetzknuten (Strom / Gas) zugeordnet, um in einem folgenden Schritt eine automatisierte Modellgenerierung (Modelica) zur Lastflusssimulation zu ermöglichen (s. Abbildung 39). Die Wechselwirkung benachbarter Regionen, Netze und Technologien soll dabei im Hinblick auf mögliche Konzepte der Sektorenkopplung, Regelungslogiken und Kommunikationspfade zwischen Akteuren und Systemen analysiert werden. Eine Kernfrage in diesem Unterpaket ist somit: Welches System benötigt welche Informationen aus welcher Ebene des Gesamtsystems zur Erreichung eines gesamtsystemischen Optimums? Finaler Schritt ist die zeitlich aufgelöste Simulation eines gekoppelten überregionalen Netzverbundes. Ein Verbund besteht dabei aus Sektorenkopplungsanlagen, Stromnetzen, Erdgasnetzen mit Wasserstoffeinspeisung und / oder reinen Wasserstoffnetzen. Die Simulation des beschriebenen Gesamtsystems ermöglicht eine regionale und zeitlich aufgelöste Bewertung der verschiedenen EE-Einbindungspfade in Abhängigkeit des regionalen Kontextes und somit auch den EE-Ausgleich / Transport zwischen benachbarten Regionen.

Wie auch im vorangegangenen Projekt werden die neuentwickelten Modelica Modelle im Rahmen der jährlichen Veröffentlichung der Open Source Bibliothek TransiEnt [4] der interessierten Öffentlichkeit kostenlos zur Verfügung gestellt.

[1] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Zensusdatenbank: Zensus 2011

[2] <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz/>

[3] Schmid, D., Namockel, N., Heyer, A., Teodosic, M., Mindrup, A., Rehtanz, C., Junkermann, J., Lencz, D., Benthin, J., Feltges, O., Huismann, P., Görner, K., „GreenVEgaS – Gesamtsystemanalyse der Sektorenkopplung“, Poster im Rahmen des 6. Jahrestreffens des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse, Berlin, 2022

[4] <https://github.com/TransiEnt-official/transient-lib>

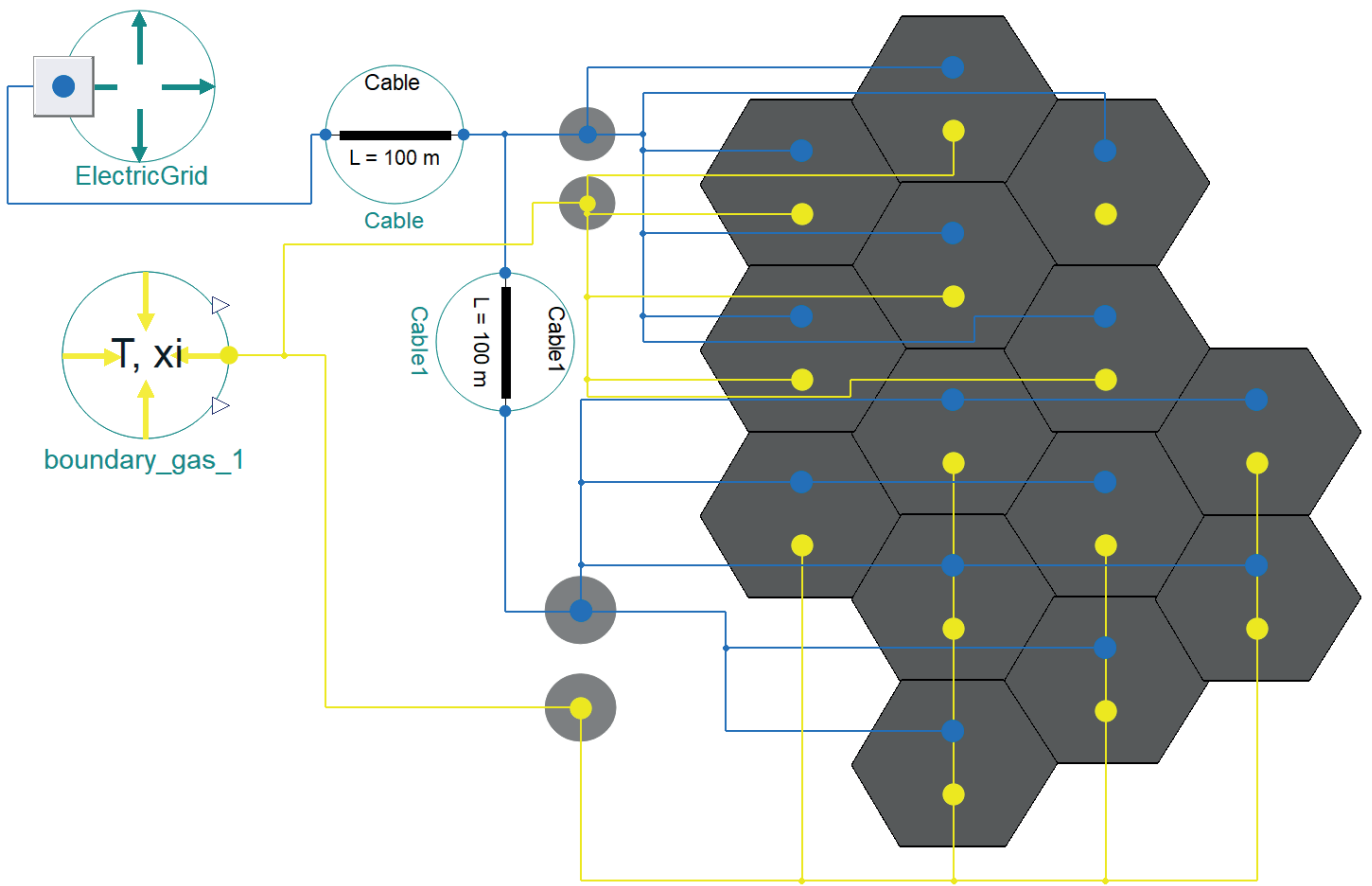


ABBILDUNG 39: AUTOMATISCH GENERIERTES SYSTEMMODELL

PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

Veröffentlichungen 2022

Mörs, F., Bär, K., Leiblein, J., Graf, F., Lehnert, F., Bäuerle, M.: Ergebnisse des DVGW-Leitprojekts „Roadmap Gas 2050“ – Potenziale und Bereitstellungsoptionen für erneuerbare Gase, ewp Ausgabe 2, 2022

Leicher, J., Schaffert, J., Cigarida, H., Tali, E., Burmeister, F., Giese, A., Albus, R., Görner, K., Carpentier, S., Milin, P., Schweitzer, J.: The Impact of Hydrogen Admixture into Natural Gas on Residential and Commercial Gas Appliances, Energies Special Issue "Progress in Power-to-Gas Energy Systems", doi: 10.3390/en15030777, 2022

Ringsgwandl, L. M., Schaffert, J., Brücken, N., Albus, R., Görner, K.: Current Legislative Framework for Green Hydrogen Production by Electrolysis Plants in Germany, Energies Special Issue "Progress in Power-to-Gas Energy Systems", 2022

Schaffert, J., Gils, H. C., Fette, M., Gardian, H., Brandstätter, C., Pregger, T., Brücken, N., Tali, E., Fiebrandt, M., Albus, R., Burmeister, F.: Integrating System and Operator Perspectives for the Evaluation of Power-to-Gas Plants in the Future German Energy System, Energies Special Issue "Progress in Power-to-Gas Energy Systems", 2022

Breuer, J. L., Scholten, J., Koj, J. C., Fiebrandt, M., Samsun, R. C., Albus, R., Görner, K., Stolten, D., Peters, R.: An Overview of Promising Alternative Fuels for Road, Rail, Air, and Inland Waterway Transport in Germany, Energies Special Issue "Progress in Power-to-Gas Energy Systems", 2022

Beck, J.-P.; Sawant, P.; Drauz, S.R.; Schwarz, J.S.; Heyer, A.; Huismann, P.: Comparison of Component-Oriented and System-Oriented Modeling in the Context of Operational Energy System Analysis, Energies Special Issue "Model Coupling and Energy Systems", 2022

Leicher, J., Giese, A.: Erdgas, Erdgas-Wasserstoff-Gemische und reiner Wasserstoff - Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess, gwf Gas und Energie; 4/2022

Leicher, J., Biebl, M., Giese, A., Görner, K.: Untersu-

chung zum Einsatz von Ammoniak zur dezentralen Wärmebereitstellung, Prozesswärme 5/2022

Leicher, J., Burmeister, F., Giese, A., Albus, R., Pietsch, P., Dörr, H.: Kompensationsstrategien für den Einsatz von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen in Endverbrauchstechnologien: Ergebnisse des DVGW-Forschungsprojekts "Roadmap Gas 2050", ewp, Ausgabe 6/7, 2022

ENGIE, DGC, GWI (Schaffert, J.), EBI, Gas.be, Electroflux, BRD Thermea Group: Newsletter THyGA 03. Oktober 2022

Albus, R., Görner, K., Giese, A., Thomeczek, M., Burmeister, F., Lange, M., Naendorf, B.: 85 Jahre GWI: Gas stand und steht im Fokus (Teil 1) energie | wasser-praxis 10/2022

Albus, R., Görner, K., Giese, A., Thomeczek, M., Burmeister, F., Lange, M., Naendorf, B.: 85 Jahre GWI: Gas stand und steht im Fokus (Teil 2), energie | wasser-praxis 11/2022

Burmeister, F., Tali, E., Feldpausch-Jägers, S., Pietsch, P., Erler, F., Dörr, H.: Ergebnisse des DVGW-Leitprojekts „Roadmap Gas 2050“ – Teil 2: Untersuchungsergebnisse zur H₂-Verträglichkeit von Gasanwendungen, ewp Ausgabe 11/2022

Schaffert, J.: Progress in Power-to-Gas Energy Systems, Editorial in Energies 2023, 16, 135, 23.12.2022

Albus, R., Görner, K.: Tätigkeitsbericht 2021

Vorträge und Poster 2022

Giese, A.: Einsatz von Wasserstoff in der Thermoproduktionsindustrie, AWT-Fachausschuss 16 am 27. Januar 2022, Online

Giese, A.: Der Einsatz von Wasserstoff bei industriellen Hochtemperaturprozessen, 1. Branchentag Wasserstoff, 29. März 2022, Online

Leicher, J.: Erdgas vs. Wasserstoff: Herausforderungen an die Verbrennung, GWI Veranstaltung "Ener-

giewende Industrie"; 30. März 2022, Essen / Hybrid
 Albus, R.: Potenzial und Perspektiven von Gas-Plus-
 Technologien, Gaskursus 2022, 31. März 2022, Karls-
 ruhe

Görner, K.: Wasserstoff in der Industrie aus Sicht der
 Wissenschaft, Konrad-Adenauer-Stiftung, Webinar
 zur Thema H₂, 31. März 2022, Online

Wiebe, J., Gehrman, H.-J., Aleksandrov, K., Mätzing,
 H., Stapf, D., Giese, A., Leicher, J., Nowakowski, T.:
 Stickoxidminderung bei der oszillierenden Verbren-
 nung von Ammoniak als kohlenstofffreiem Energie-
 träger, Jahrestreffen der Fachgruppen Abfallbehand-
 lung und Wertstoffrückgewinnung, Energieverfah-
 renstechnik, Gasreinigung, Hochtemperaturtechnik,
 Rohstoffe, 04. April 2022, Bamberg

Leicher, J., Islami, B., Giese, A. Görner, K., Overrath,
 J.: Investigations into the use of natural gas / hydro-
 gen blends and hydrogen for decarbonization in the
 glass industry, 13th European Conference on Indus-
 trial Furnaces and Boilers (INFUB 13), 19. - 22. April
 2022, Albufeira, Portugal

Schneider, T., Biebl, M., Giese, A., Feller, B., Moldo-
 van, D.-A., te Kaat, J.: 3D-printed burner for efficient
 heat recuperation, 13th European Conference on Indus-
 trial Furnaces and Boilers (INFUB 13), 19. - 22.
 April 2022, Albufeira, Portugal

Albus, R.: Vorstellung der GWI-Forschungsaktivitä-
 ten, 100. Sitzung des Forschungsbeirates der FGH,
 28. April 2022, Online

Albus, R.: Wasserstoff der Energieträger der Zukunft?,
 Mitgliederversammlung Energiegemeinschaft für die
 Region Düsseldorf e.V., 04. Mai 2022, Düsseldorf

Giese, A.: Auswirkungen auf industrielle Gasanwen-
 dungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der
 Glasindustrie, Modul 4. Wasserstoff in der Gasan-
 wendung, 5. Mai 2022, Online

Leicher, J.: Natural gas quality and hydrogen from the
 perspective of industrial end users, Pit Furnace Sym-
 posium 2022, 05. Mai 2022, Düsseldorf

Cigarida, H., Schaffert, J., Leicher, J., Tali, E., Ober-
 schelp, L., Burmeister, F., Lange, M., Albus, R., Milin,
 P., Schweitzer, J., Krishnaramanujam, K., de Wit, K.:
 Hydrogen admixture up to 60 vol % into natural gas
 and its effects on gas appliances, operational safe-

ty and emissions, 4th International Conference on
 Green Development, Infrastructure and Technology
 (GREDIT 2022), 05. - 08. Mai 2022, Skopje, Nord-
 Mazedonien

Schweitzer, J., Milin, P., Schaffert, J., et al: Project
 THyGA. Experimental evaluation of hydrogen-natural
 gas blends on domestic and commercial appliances,
 28th World Gas Conference, 23. - 27. Mai 2022,
 Daegu, Süd-Korea

Judd, R., Milin, P., Schweitzer, J., Schaffert, J., de Wit,
 K., Blanchard, L., Krishnaramanujam, K., Temperator,
 S., Beghi, M., Kostereva, A.: THyGA Project: Paving
 the way for hydrogen and natural gas blends for the
 domestic and commercial sectors, 28th World Gas
 Conference, 23. - 27. Mai 2022, Daegu, Süd-Korea

Milin, P., Schweitzer, J., Schaffert, J., de Wit, K., Blan-
 chard, L., Krishnaramanujam, K., Temperator, S., Be-
 ghi, M., Judd, R., Kostereva, A.: THyGA Project: Pa-
 ving the way for hydrogen and natural gas blends for
 the domestic and commercial sectors (Poster), 28th
 World Gas Conference, 23. - 27. Mai 2022, Daegu,
 Süd-Korea

Milin, P., Schweitzer, J., Schaffert, J., de Wit, K., Blan-
 chard, L., Krishnaramanujam, K., Temperator, S., Be-
 ghi, M., Judd, R., Kostereva, A.: THyGA Project: Pa-
 ving the way for hydrogen and natural gas blends for
 the domestic and commercial sectors (Paper), 28th
 World Gas Conference, 23. - 27. Mai 2022, Daegu,
 Süd-Korea

Görner, K.: Gasanwendungen für die Energiewende,
 IHK Mülheim, Oberhausen, Essen, 14. Juni 2022, Es-
 sen

Cigarida, H., Burmeister, F., Tali, E., Leicher, J., Albus,
 R., Pietsch, P., Dörr, H.: Hydrogen admixture into
 natural gas and its effects on residential and com-
 mercial gas appliances - Results from the "DVGW
 Roadmap 2050", 5th European Gas Technology Con-
 ference (EGATEC), 14. - 15. Juni 2022, Hamburg

Lange, M.: Chancen und Herausforderungen für
 Kommunen beim Markthochlauf, E-world | Regiona-
 les Forum Wasserstoff, 23. Juni 2022, Essen

Albus, R.: Wasserstoff der Energieträger der Zukunft?,
 SOBIS Software GmbH, 30. Juni 2022, Mannheim

Leicher, J., Giese, A., Islami, B., Görner, K., Overrath,

- J.: Decarbonizing process heat in the glass industry with hydrogen and hydrogen / natural gas blends, 26th International Congress on Glass, 5. Juli 2022, Berlin
- Fleischmann, B., Drünert, F., Boehm, P., Walter, D., Islami, B., Biebl, M.: The influence of hydrogen combustion on the glass colour of industrial batches, 26th International Congress on Glass, 5. Juli 2022, Berlin
- Fleischmann, B., Löber, N.-H., Drünert, F., Islami, B., Biebl, M.: The emission spectra of flames when mixing hydrogen to natural gas using oxy-fuel burners, 26th International Congress on Glass, 5. Juli 2022, Berlin
- Giese, A.: Prozesswärme in der Industrie, 2. Wasserstoff-Summit, 18. August 2022, Hattingen
- Giese, A.: H₂-ready – ja oder nein? Wie viel Wasserstoff vertragen (Industrie)Gaswendungen?, H₂ Lunch & Learn – Wissen rund um Wasserstoff, 24. August 2022, Online
- Leicher, J.: The COSIMa project Decarbonizing glass manufacturing sites, glasstec, 20. - 23. September 2022, Düsseldorf
- Nowakowski, T.: The MIGWa project Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry", glasstec, 20. - 23. September 2022, Düsseldorf
- Islami, B.: The H₂-Glass Project Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen in oxy-fuel-systems in glass industry, glasstec, 20. - 23. September 2022, Düsseldorf
- Islami, B.: The HyGlass Project Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry, glasstec, 20. - 23. September 2022, Düsseldorf
- Giese, A., Kaiser, J.: ReInvent – Reducing greenhouse gas emissions in the basic materials industries with process innovations - KlimPro, glasstec, 20. - 23. September 2022, Düsseldorf
- Görner, K.: Die Rolle von Gas im Spannungsfeld der Energiewende, FGE-Tagung 2022, 22. September 2022, Aachen
- Giese, A.: Wasserstoffeinsatz in der Thermoprozessindustrie, Hydrogen Dialogue, 22. September 2022, Nürnberg
- Leicher, J.: Klimaneutralität der energieintensiven Thermoprozessindustrie durch Integration von EE-Gasen – Stand und Forschungsbedarf, AiF-Forschungs- und Transferallianz Wasserstoff / AiF-Brennstoffzellenallianz "Erfolge und Herausforderungen der Wasserstofftechnologie", 22. September 2022, Duisburg
- Albus, R., Giese, A.: "Gas im zukünftigen Energiesystem – Einsatz erneuerbarer Gase in der Thermoprozessindustrie", 63. Erfahrungsaustausch der Chemiker und Ingenieure des Gasfaches, 28. - 30. September 2022, Kassel
- Leicher, J., Biebl, M.: Ammoniak als Brennstoff, VG-BE-Fachtagung: Brennstoffe, Feuerungen und Abgasreinigung, 29. September 2022, Hamburg
- Giese, A.: Wasserstoffanwendungen – Herausforderungen am Beispiel der Glasindustrie, EnBW Netzwerk Energieeffizienz und Klimaschutz, 13. Oktober 2022, Online
- Leicher, J.: Hydrogen for industrial process heating: challenges and opportunities, IFRF Topic-Oriented Technical Meeting 48 "Hydrogen for decarbonization", 13. Oktober 2022, Paris, Frankreich
- Leicher, J., Giese A., Görner, K., Dreizler, D.: Wasserstoff und Erdgas-Wasserstoff-Gemische als Dekarbonisierungsoption, 54. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 18. - 19. Oktober 2022, Dresden
- Wiebe, J., Gehrman, H.-J., Aleksandrov, K., Mätzing, H., Stapf, D., Giese, A., Leicher, J., Nowakowski, T.: Stickoxidminderung bei der oszillierenden Verbrennung von Ammoniak als kohlenstofffreiem Energieträger, Poster-Präsentation, 54. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 18. - 19. Oktober 2022, Dresden
- Lucke, N.: Hybrid-SOFC-System Resiliente Energieversorgungstechnologie für die Zukunft, 54. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 18. - 19. Oktober 2022, Dresden
- Leicher, J., Giese, A., Islami, B., Görner, K., Overath, J.: Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends, hydrogen and "raw" biogas for decarbonization in the glass industry, RE4Industry Webinar, 24. Oktober 2022, Online

Giese, A., Biebl, M.: Ammoniak eine interessante Alternative zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Thermoprozessindustrie!?, Industrielle Brenntechnik & nachhaltige Wärmeerzeugung, 02. November 2022, Salzgitter

Gils, H. C., Fette, M., Schaffert, J., Meyer, R., Schmugge, J.: Techno-ökonomische Analyse von Pfaden zu einer Klimaneutralen und flexiblen Gasversorgung im integrierten Energiesystem der Zukunft, 6. Jahrestreffen des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse, 08. - 09. November 2022, Berlin

Schmid, D., Namockel, N., Heyer, A., Teodosic, M., Mindrup, A., Rehtanz, C., Junkermann, J., Lencz, D., Benthin, J., Feltges, O., Huisman, P., Görner, K.: GreenVEgaS – Gesamtsystemanalyse in der Sektorenkopplung, 6. Jahrestreffen des Forschungsnetzwerks Energiesystemanalyse, 08. - 09. November 2022, Berlin

Giese, A.: Das Projekt HyGlass und weitere Wasserstoffprojekte der Glasindustrie am GWI, Zukunftsperspektiven im Fassadenbau 2022, 11. November 2022, Online

Albus, R.: Vorstellung der GWI-Forschungsaktivitäten, D-A-CH Obleutemeeting, 14. November 2022, Essen

Görner, K.: Energiewende – Die Rolle von Gas und Wasserstoff, ChemSite-Kaninabend, Evonik, 15. November 2022, Marl

Albus, R.: Transformation Deutschlands in die Wasserstoffwirtschaft | Nutzung der bestehenden Netze und notwendige neue Infrastruktur, Technische Fachtagung Gas | Mannesmann Line Pipe GmbH, 17. November 2022, Siegen

Giese, A.: Ergebnisse der Wasserstoff-Glas Projekte bei HVG und GWI, HVG-Fortbildungskurs 28. November 2022, Online

Giese, A.: Wasserstoff Brennstoff der Zukunft, Würzburger Ziegellehrgang, 29. November 2022, Würzburg

Giese, A.: Auswirkungen auf industrielle Gasanwendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der Glasindustrie, Modul 4. Wasserstoff in der Gasanwendung, 5. Dezember 2022, Online

Leicher, J.: Investigations into the use of natural gas / hydrogen blends and hydrogen for decarbonization in the glass industry, Kick-Off Conference "Indústria de Futuro - Roteiro para a Introdução dos Gases Renováveis no Setor Industrial Nacional", 12. Dezember 2022, Lissabon, Portugal

Giese, A.: Wasserstoff in industriellen Feuerungen, Werkstofftechnik Fachgespräch des TÜV Süd, 12. Dezember 2022, Online

Giese, A.: HyGlass: Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie, Arbeitsgruppe "Industrielle Prozesswärme", im Rahmen von In4Climate, 13. Dezember 2022, Online

Görner, K.: Wasserstoff – Herausforderungen und Chancen für eine klimaneutrale Wirtschaft?, 4. OPMC SLIMPerformance Event, 15. Dezember 2022, Essen

Görner, K.: Energieversorgung auf Gasbasis, Verband für Anlagenbau und Industrieservice VAIS, FB4-Webinar

Abschlussberichte 2022

Senner, J.: DESIGNETZ - Baukasten Energiewende. Von Einzellösungen zum effizienten System der Zukunft, Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz Förderkennzeichen: 03SIN223 Projektlaufzeit: 1. Januar 2017 – 31. Dezember 2020

Nowakowski, T., Kaiser, J., Giese, A., Schmitz, J., Jakob, V., Bonnet, M.: Untersuchung der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischungen ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen – Auswirkungen auf die Produktqualität von metallischen Werkstoffen und die gasführende Installation –, Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie / AiF Förderkennzeichen: IGF-Vorhaben Nr. 20803N 1. Dezember 2019 - 30. November 2021

Islami, B., Giese, A., Biebl, M., Fleischmann, B., Overath, J., Nelles, C.: Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase – Untersuchung der Auswirkungen auf den Glasherstellungsprozess und Analyse der Potenziale in NRW (Akronym: HyGlass), Fördermittelgeber: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Ener-

gie des Landes Nordrhein-Westfalen Förderkennzeichen: PRO 0087 A 01. Juli 2020 - 31. Dezember 2021

Beck, J.-P., Fay, A., Derksen, C., Kupka, J., Lauven, L.-P., Kamps, K., Schmidt, R., Reinhard, J., Heyer, A., Ben-thin, J., Drauz, S. R., Sawant, P., Schwarz, J. S.: MEO – Modellexperimente in der operativen Energiesystemanalyse, Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Förderkennzeichen: 03ET4078 A-I 1. Dezember 2019 - 31. Dezember 2021

Feldpausch-Jägers, S., Tali, E., Burmeister, F., Billat, S., Hedrich, F., van der Schoot, N., Alkämper, M.: Smart Gas – Erweiterung eines integrierten Sensorsystems, das mittels thermischer Messprinzipien bei variablen Zusammensetzungen die Gasbeschaffenheit sowie die Dichte von Brenngasen bestimmt, Fördermittelgeber: AiF Forschungsnetzwerk Mittelstand Förderkennzeichen: IGF-Vorhaben Nr. 46 EWN Projektlaufzeit: 01. Juli 2019 - 31. März 2022

Biebl, M., Islami, B., Giese, A., Jechiu, V., Kremer, U., Marquardt, A.: Energieeffizienzsteigerung in der Aluminiumindustrie durch Abwärmenutzung mittels innovativer Regenerativbrenner (Akronym: Alu-Reg-Bre), Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz Förderkennzeichen: 03ET1601A Projektlaufzeit: 01. August 2018 - 31. Juli 2022

Rapp, H., Wencker, T., Blesl, M., Koziol, M., Köppl, M., Wortmann, B.: Praxisleitfaden Kommunale Wärmeplanung, Fördermittelgeber: AGFW e.V. und DVGW e.V.

Band III: Helgeson, B., Peters, R., Emonts, B., Breuer, J. L., Beitermann, N., Koj, J. C., Klemp, D., Wegener, R., Polinoski, V., Scholten, J., Feltges, O., Scholten, L., Bäuerle, M. | Band IV: Emonts, B., Keller, R., Müller, M., Hehemann, M., Rauls, E., Senner, J., Redicker, C., Imberg, C., Herrmann, F., Riese, J., Schüwer, D., Schneider, C., Merten, F., Meijer, T., Gardemann, U., Theves, L., Steffen, M. | Band V: Brücken, N., Kubik, S., Bielenski, S. | KPZ VI SGW – Kompetenz-Zentrum Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme. (Band III, IV, V)", Fördermittelgeber: Europäische Union, EFRE.NRW, Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes NRW Förderkennzeichen: EFRE-0400111 Projektlaufzeit: 3,75 Jahre (07/2018 – 04/2022)

Studentische Arbeiten 2022

Marcel Bruns: Semantische Segmentierung von Photovoltaikanlagen auf Luftaufnahmen mit neuronalen Netzen, Masterarbeit, Bergische Universität Wuppertal, im Studiengang Mathematik, November 2022

Ömer Faruk Sisek: Potenzialanalyse und Verbrennungssimulation des Einsatzes von erneuerbaren Gasen in der Thermoprozessindustrie, Masterarbeit, Ruhr- Universität Bochum, Juni 2022

Franck Jolivet Kouam Kenmogne: Numerische Parameterstudie mittels CFD-Simulationen für den Einsatz von Wasserstoff in typischen Feuerungsprozessen in Glasschmelzwannen, Masterarbeit, Ruhr- Universität Bochum, Januar 2022

Sarah Thieme: Simulationsgestützte Entwicklung und Untersuchung von Wärmeversorgungskonzepten für Neubaugebiete, Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen, Fakultät Physik, Juli 2022

Paul Wolf: Integrated geospatial analysis of commercial electricity demand, Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum, Dezember 2022



ABBILDUNG 40: DR. ROLF ALBUS UND PROF. DR. KLAUS GÖRNER, QUELLE: DIRK BANNERT, 2022

Impressum

*Geschäftsführender Vorstand: Dr. Rolf Albus
Wissenschaftlicher Vorstand: Prof.-Dr. Klaus Görner*

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

T: +49 201 3618-0

*E: info@gwi-essen.de
I: www.gwi-essen.de*

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

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

*Tätigkeitsbereich 2022 Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Erscheinungsort: Essen, Deutschland
ISSN: 2570-0413 (Print-Version)
ISSN: 2628-7269 (Online-Version)
Die PDF-Version ist unter www.gwi-essen.de/institut/taetigkeitsberichte frei verfügbar*

Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



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