



Tätigkeitsbericht 2021

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeiner Überblick	4
Bildungswerk	7
Prüflaboratorium	8
Marktraumumstellung	9
Forschung und Entwicklung	10
Industrie- und Feuerungstechnik	10
Brennstoff- und Gerätetechnik	18
Publikationen und Vorträge	26
Impressum	30

ALLGEMEINER ÜBERBLICK



ABBILDUNG 1: BLICK AUF DEN INSTITUTSSTANDORT DES GAS- UND WÄRME-INSTITUT ESSEN E. V., QUELLE: GWI, 2021

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e. V. (GWI) entwickelte sich in den letzten Jahren sehr gut weiter, viele neue Themen wurden erschlossen (insbesondere Wasserstoff, Digitalisierung), zudem konnten wichtige Infrastrukturprojekte realisiert werden, die die Zukunftsfähigkeit des Instituts nachhaltig sichern werden, s. Abbildung 1.

Das GWI konnte sich im mittlerweile zweiten Jahr der Corona-Pandemie weiterhin gut behaupten. Trotz der durch den Gesetzgeber pandemiebedingt vorgegebenen Kontaktbeschränkungen wurden nicht nur

die wirtschaftlichen Ziele erreicht, es war auch möglich, sämtliche Forschungs-, Industrie- und Infrastrukturprojekte ohne Einschränkungen weiterzuführen. Die Auswirkungen durch die Kontaktbeschränkungen wirkten sich zwar nach wie vor nachteilig auf das Bildungswerk des GWI aus, aber dennoch gelang es, wieder verstärkt Präsenzveranstaltungen durchzuführen. Die auf die Anforderungen der Partner und Kunden entwickelten online-Angebote wurden sinnvoll ausgebaut und ergänzen das praxisnahe Portfolio der Abteilung.

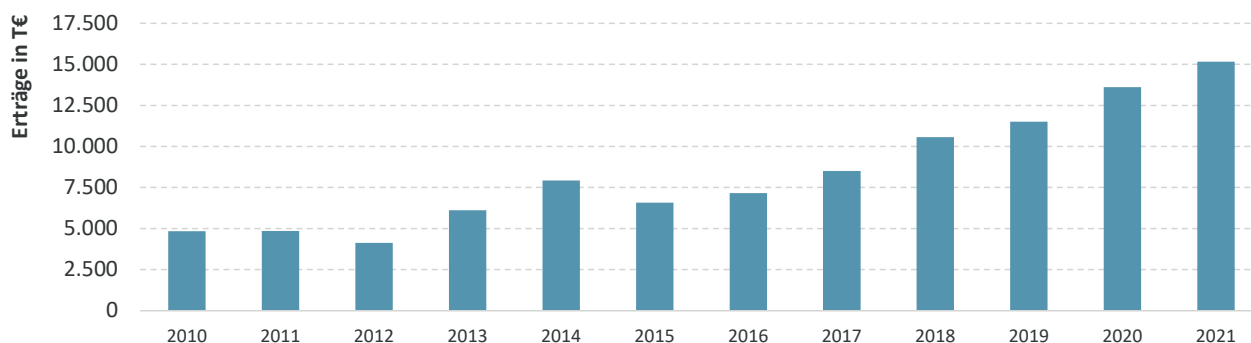


ABBILDUNG 2: WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG SEIT 2010, QUELLE: GWI, 2022

Das GWI konnte im Jahr 2021 Erträge in Höhe von 15.150 T€ erwirtschaften. Die Ertragsentwicklung des GWI seit dem Jahr 2010 ist in Abbildung 2 dargestellt.

dargestellt. Den produktiven Abteilungen stehen die Unterstützungsfunktionen GWI-Services, F&E-Koordination und Geschäftsfeldentwicklung sowie das neu geschaffene Cluster- und Netzwerkmanagement

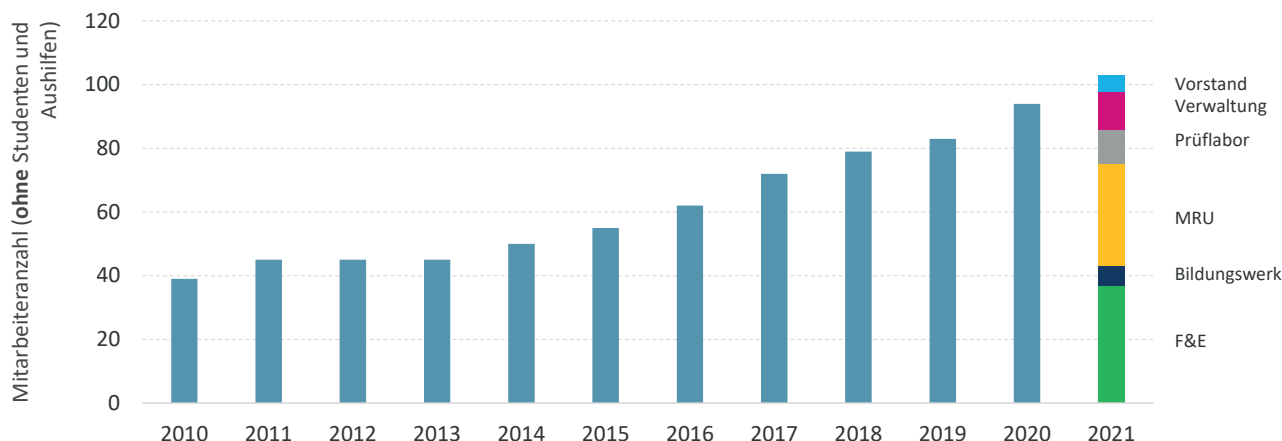


ABBILDUNG 3: PERSONALENTWICKLUNG SEIT 2010, QUELLE: GWI, 2022

Neben der wirtschaftlich guten Entwicklung ist auch die Personalentwicklung seit Beginn der DVGW-Innovationsoffensive 2010 und gestärkt durch die F&E-Aktivitäten im Land NRW, Bund und EU weiter sehr erfreulich, s. Abbildung 3.

Das GWI zählte zum 31.12.2021 insgesamt 103 fest angestellte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, 27 Studierende und 8 Aushilfen.

Die bewährte Organisationsstruktur des GWI mit den Abteilungen Brennstoff- und Gerätetechnik, Industrie- und Feuerungstechnik, Bildungswerk, Prüflabor und Marktraumumstellung ist in Abbildung 4

zur Verfügung. Hierfür konnte die ehemalige Netzwerkmanagerin der zum Ende des Jahres 2021 aufgelösten EnergieAgentur.NRW, Margit Thomeczek, gewonnen werden. Nach dem Weggang des Leiters der GWI-Services wurde Alexandra Botor mit der Leitung betraut. Zusätzlich wurden verschiedene Umorganisationen vorgenommen, um die Effizienzpotenziale der neuen Softwarelösungen optimal nutzen zu können.

Das GWI versteht sich immer mehr als Energie-Institut, das durch seinen breit aufgestellten Forschungsansatz ein breites Spektrum von der Energiewandlung, über den Transport bis hin zur Anwendung



- 1) Geschäftsführer der Stadtwerke Bochum Holding GmbH
- 2) Nebenamtlich bestellt; Hauptamt: Lehrstuhl für Umweltverfahrens- und Anlagentechnik der Universität Duisburg-Essen
- 3) Kommissarisch

ABBILDUNG 4: ORGANISATIONSSTRUKTUR DES GWI (STAND 12/2021), QUELLE: GWI, 2022

abdeckt. Dies spiegelt sich auch in den Mitgliedsunternehmen des GWI wieder, die aus den verschiedensten Bereichen der Energiebranche stammen. Im Jahr 2021 verfügte das GWI über 55 Mitgliedsunternehmen, s. Abbildung 5:



ABBILDUNG 5: MITGLIEDSUNTERNEHMEN DES GWI, QUELLE: DIVERSE, 2021

Die IT des GWI konnte die grundlegende Modernisierung der gesamten Server- und Endgerätestruktur mit der Einführung eines zukunftsweisenden Sicherheits- und Sicherheitskonzepts abschließen. Die Einführung einer modernen Verwaltungssoftware (Buchhaltung sowie die Digitalisierung sämtlicher Verwaltungsvorgänge), welche sämtliche Ansprüche an einer digitalisierten, effizienten sowie revisionssicheren Arbeitsmethodik erfüllt, konnte erfolgreich abgeschlossen werden.

Der Oberbürgermeister der Stadt Essen, Herr Thomas Kufen, hat ein breit aufgestelltes Bündnis initiiert, um das Zukunftsthema Wasserstoff im Stadtgebiet nachhaltig zu entwickeln. Mit dem Wasserstoffbeirat der

Stadt (Mitglied ist u. a. Frau Katherina Reiche, Vorstandsvorsitzende der Westenergie und Vorsitzende des Nationalen Wasserstoffrats) wurde ein wichtiges Sprachrohr geschaffen, um die Partner zusammenzuführen. Zur Ausgestaltung der Wasserstoffaktivitäten hat die Essener Wirtschaftsfördergesellschaft mit

dem GWI eine Kooperationsvereinbarung geschlossen, s. Abbildung 6.



ABBILDUNG 6: KOOPERATION EWG UND GWI, QUELLE: CLAUDIA ANDERS, 2021



ABBILDUNG 7: AUFBAU DES HYBRID-SOFC-SYSTEMS AM GWI, QUELLE: GWI, 2022

Die wichtigste Infrastrukturmaßnahme im Jahr 2021 war die Integration und Demonstration des Hybrid-SOFC-Systems (tubulare Brennstoffzelle mit nachgeschalteter Mikro-Gasturbine) zur Erweiterung der KWK-Forschungsinfrastruktur und zur Energieversorgung des GWI, die im Rahmen einer Infrastrukturförderung in Höhe von 6,5 Mio. € realisiert wurde (Fördermittelgeber Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW, Förderquote 90 %), s. Abbildung 7.

Zur Vorbereitung des Aufbaus der Hybrid-SOFC-Systems wurde ein Genehmigungsantrag bei der Stadt Essen für das Fundament gestellt, die Genehmigung des eigentlichen Hybrid-SOFC-Systems, um eine Inbetriebnahme vornehmen zu können, erfolgt über einen DVGW-Sachverständigen. Weitere umfassende Arbeiten erfolgten im Bereich der Wärme- und Gasanbindung, insbesondere auch, um die Anlage mit LNG aus der GWI-eigenen LNG-Tankanlage zu versorgen.

BILDUNGSWERK BILDUNGSWERK

Das Bildungswerk des GWI konnte im Jahr 2021 wieder an die Erfolge der vergangenen Jahre anknüpfen. Es gab zwar weiterhin große pandemiebedingte Einschränkungen, mittlerweile ist aber die Flexibilität und die Erfahrung im Umgang mit Restriktionen so sehr vorhanden, dass ein Wechsel zwischen verschiedenen Veranstaltungsarten in kürzester Zeit möglich ist. Dank der neu integrierten Technik für digitale Veranstaltungsformate in den Veranstaltungsräumen und einem eigens eingerichteten Studioraum, verfügt das GWI jetzt über alle Möglichkeiten, Veranstaltungen mit aktueller Technik und hoher Datenrate auch online zu übertragen.

Das neue GWI Schulungs- und Verwaltungszentrum, Ende 2020 bezogen, konnte im Berichtsjahr so ausgestattet werden, dass auch unsere Praxislehrgänge wieder möglich sind, wenn auch aufgrund der Lage in der Teilnehmerzahl stark begrenzt. Die jetzt realisierte Konzeption des neuen Schulungszentrums besteht aus der Kombination der Vermittlung von theoretischen Inhalten im Hörsaal und von praktischen Übungen und Schulungen in direkt benachbarten Praxisräumen.

Die Umgestaltung der zukünftigen Energieversorgung im Wärmesektor und den Sektoren Industrie und Verkehr hin zu einer karbonfreien Zukunft ist eines der wesentlichen gesellschaftlichen Aufgaben in Deutschland. Dabei wird vor allem grün erzeugter Wasserstoff als Energieträger eine wichtige Rolle spielen.

Daher wurde die Konzeption und Einführung eines Zertifikatslehrgangs zu einer Zusatzqualifikation „Netzingenieur/in Wasserstoff“, unter Federführung der FH Münster entwickelt und angeboten.

Das Ziel dieser Zusatzqualifikation ist es, die Teilneh-

mer mit Planung, Bau und Betrieb der mit dem Wasserstoff verbundenen Infrastruktur vertraut zu machen und die hierfür erforderlichen Fachkenntnisse zu vermitteln. Sicherheitsfragen bei diesen Zukunftstechnologien spielen eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Werkstoffverträglichkeit und die Effizienz der benötigten Infrastruktur sind weitere wichtige Themenschwerpunkte des Lehrgangs.

Die technischen Aufgaben der Wasserstoffherzeugung, des Transports, der Verteilung, der Speicherung und der Verwendung sind vielfältig und anspruchsvoll, es geht dabei um ein tiefgehendes Prozessverständnis, um die erforderlichen technischen Einrichtungen für Erzeugung, Transport, Verteilung, Verdichtung, Verflüssigung, Speicherung, Messung, Druckregelung und Betankung von Wasserstoff planen, betreiben und nutzen zu können. Die Komponenten der stetig ausgebauten Wasserstoff-Infrastruktur des GWI werden dabei als Schulungsobjekte zum Verständnis komplexer technischer Prozesse in den Lehrgang mit einbezogen.

Im Rahmen der Kooperation mit der FH Münster entspricht dieser Lehrgang dabei den Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes G 1000 und dem Qualifikationsrahmen für den Erwerb von technischen Handlungskompetenzen bei technischem Fachpersonal (QRT) sowie dem Deutschen Qualifikationsrahmen (DQR). Die ersten durchgeführten Lehrgänge waren alle ausgebucht.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Erfahrungen sieht sich das GWI-Bildungswerk also gut gerüstet, mit den Partnern im Bildungsverbund, mit DVGW und rbv, ein zielgruppengenaues Veranstaltungsangebot anzubieten und kontinuierlich fortzuschreiben, das sämtlichen Aspekten einer zeitgemäßen Weiterbildung gerecht wird.

PRÜFLABORATORIUM

PRÜFLABORATORIUM

Das Prüflaboratorium des GWI konnte im Jahr 2021 seine gesteckten Ziele erreichen.

Das Jahr stand für Investitionen im Themenfeld der Wasserstoffanwendungen von denen das Prüflaboratorium profitiert hat. Dazu wurden Teststände angepasst und neu aufgebaut (s. Abbildung 8), insbesondere im Bereich der Leckage-Raten-Bestimmung.

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.

Das Angebot zur Prüfung von KWK-Anlagen besteht weiterhin, hier war aber wie in den Jahren zuvor eine weiterhin große Zurückhaltung seitens der Hersteller bemerkbar. Das Gebiet der Akustikprüfungen wurde weiter nachgefragt, hier konnte das GWI-Prüflaboratorium auf Basis seines Know-how und der entsprechenden messtechnischen Ausrüstung verschiedene

Aufträge bearbeiten. 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 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:

- Untersuchungen zur Gasgeräteanpassung im Zuge der Marktraumumstellung unter besonderer Berücksichtigung des Sonderfalls „Vorangepassung von Brennwertgeräten“ (G 201838): Ziel dieses Vorhabens ist die Überprüfung der Eig-

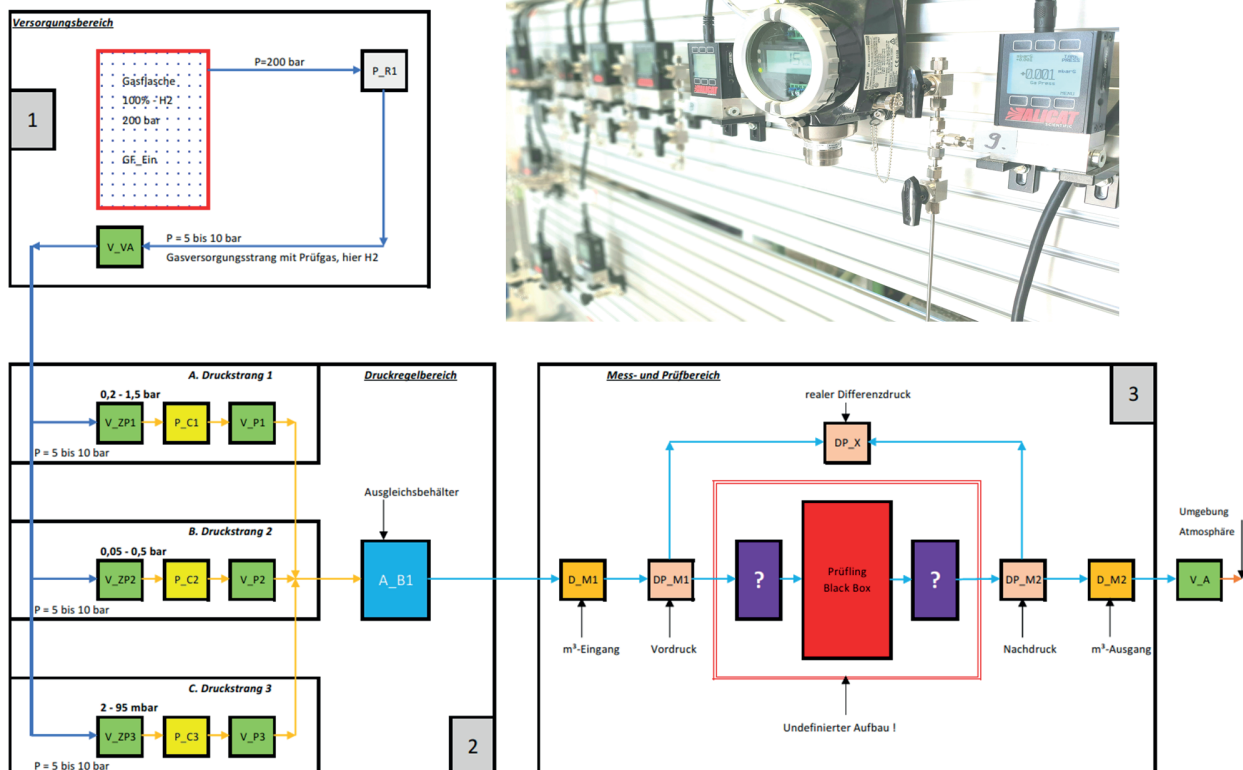


ABBILDUNG 8: SCHEMATISCHE ABBILDUNG DES LECKAGE-RATEN-TESTSTANDS FÜR TESTS ZU INNERER UND ÄUSSERER DICHTHEIT

nung von ausgewählten Heizgeräten in Bezug auf eine langfristige Voranpassung im Rahmen der L/H-Gas-Marktraumumstellung. In einem zweiten Schritt sollen dann im Rahmen eines Pilotprojektes bis zu 1.000 Geräte langfristig vor dem geplanten Schaltzeitpunkt angepasst werden. 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 Erfassung aller Anlagen, Gasinstallationen, Ar-

maturen, 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: Experimentelle Charakterisierung der Leckraten von Prüfflecks mit H₂ und/oder CH₄ Gas-mischungen gegenüber Luft
- Leckratenerfassung der Wasserstoffdichtheit von Armaturen und Abdichtsystemen von Bestandsarmaturen – LeA H₂ + UWaSpin H₂
- Dichtheitsprüfung von Flanschverbindungen in Anlagen zum Betrieb mit Wasserstoff und wasserstoffhaltigen Gasen, DiFla-H₂

MARKTRAUMUMSTELLUNG

Seit Beginn der Marktraumumstellung (MRU) im Jahr 2015, mit dem Start des Pilotprojekts in Schneverdingen, konnten von den Dienstleistern bisher ca. 1,5 Mio. Gasgeräte umgestellt werden. Nach Auswertung der bisherigen Erhebungszahlen und Abschätzungen entspricht dies ca. 30 % aller bis zum Jahr 2030 umzustellenden Gasgeräte. Im Jahr 2021 wurde dabei die Rekordzahl von ca. 570.000 Anpassungen durchgeführt.

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 europäische L-Gas Markt ca. 14,5 Mio. Kunden.

Die Marktraumumstellung bleibt weiterhin eine große Herausforderung für alle Beteiligten, insbesondere wegen der nach wie vor knappen Personalkapazitäten.

Das GWI begleitete im Jahr 2021 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 Grundla-

gen 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.

Die Abteilung Marktraumumstellung des GWI wurde im Sommer 2021 nach dem Weggang mehrerer Mitarbeiter personell und organisatorisch neu strukturiert. Es wurden klarere Zuständigkeiten durch die Einführung neuer Funktionen, z. B. stv. Leiter für Technik und Organisation, Koordinator Prüfer, etc. und Vertretungsregelungen eingeführt, des Weiteren wurden weitere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im technischen (Ingenieure, Techniker) und nicht-technischen (kaufmännische Ausbildungen zur organisatorischen Unterstützung) Bereich eingestellt.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

INDUSTRIE- UND FEUERUNGSTECHNIK

Die Entwicklung der letzten Jahre in Richtung einer dekarbonisierten Welt wird mit Hochdruck fortgeführt und durch die zahlreichen nationalen, internationalen und regionalen Wasserstoffstrategien, Förderprogramme und Initiativen untermauert. Dabei spielen die Themen Digitalisierung, innovative Mess- und Regelungstechnik, additive Fertigung und vor allem erneuerbare Energien wie Wasserstoff aber auch Folgeprodukte wie Ammoniak eine immer stärkere Rolle. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl von acht neu bewilligten Forschungsprojekten der Abteilung Industrie- und Feuerungstechnik (IFT) im letzten Jahr wider. Zu allen neu begonnenen, laufenden und abgeschlossenen Forschungsprojekten finden Sie auf der GWI-Homepage www.gwi-essen.de weitere Informationen.

Messen, Steuern, Regeln

Eine optimierte Überwachung des Verbrennungsprozesses ist für eine effiziente, schadstoffarme und sichere Prozessführung gerade vor dem Hintergrund der Zumischung erneuerbarer Gase und schwankender Gaszusammensetzungen unverzichtbar. Im Rahmen von zwei Forschungsprojekten entwickelt die IFT zusammen mit verschiedenen Forschungsstellen innovative Systeme.

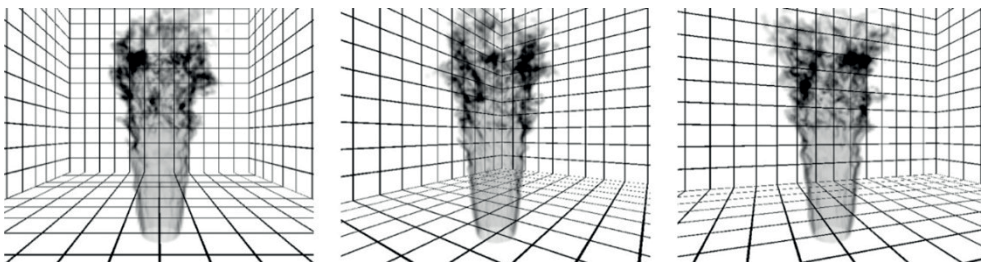


ABBILDUNG 9: RAYTRACING DER GWI-OFENGEOMETRIE. DREI VERSCHIEDENE ANSICHTEN EINES REALISTISCHEN FLAMMEN-PHANTOMS INNERHALB DER „NASSHEUER“-OFENGEOMETRIE. DIE KANTENLÄNGE DER QUADRATISCHEN GITTERSTRUKTUR BETRÄGT 10 CM. (QUELLE: IVG/GWI)

Ziel des Vorhabens „Tomo-Pro“ ist die Entwicklung einer optischen Sonde auf 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 Gastechnologischen Institut in Freiberg (DBI) durchgeführt.

Mit Hilfe der zu entwickelnden Sonde soll erstmalig ein 3-dimensionales tomographisches Verfahren für die Verbrennungsdiagnostik in Thermoprozessen 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 Thermoprozessen mittels CFD eingesetzt werden.

In einem ersten Schritt wurden Messstrategien für die Flammenuntersuchungen in der heißen Ofenumgebung erarbeitet und anschließend, unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen der GWI-Versuchsöfen, Phantomstudien für unterschiedliche Messanordnungen bestehend aus 10 Kameras durchgeführt. Anhand dieser wurde die Qualität der tomographischen Rekonstruktionen beurteilt und ein geeignetes Messkonzept abgeleitet. Abbildung 9 zeigt drei Kameraansichten eines mittels hochauflösender direkter numerischer Simulation (DNS) erzeugten Flammenphantoms innerhalb der Geometrie des GWI-Versuchsofens „Nassheuer“. Auf Basis des erstellten Messkonzeptes wird derzeit gemeinsam mit dem DBI ein Sonden-Design erarbeitet, das nachfolgend technisch umgesetzt und am GWI

praktisch erprobt werden soll. Aus der Erprobung sollen grundlegende Erkenntnisse für Anwendbarkeit tomographischer Messverfahren auf reale Prozesse gewonnen werden.

Sensible Prozesse in industriellen Großfeuerungsanlagen z. B.

der Glas- und Keramikerzeugung werden in Bezug auf Schwankungen der Gasbeschaffenheit des Brenngases mit Hilfe kostspieliger Gasanalysetechnik überwacht. Diese Notwendigkeit verschärft sich, sobald zukünftig deutlich höhere Schwankungen der Gasbeschaffenheit aufgrund einer zusätzlichen Einspeisung von volatilen H₂-Anteilen auftreten, die einen erheblichen Einfluss auf die Verbrennungseigenschaften

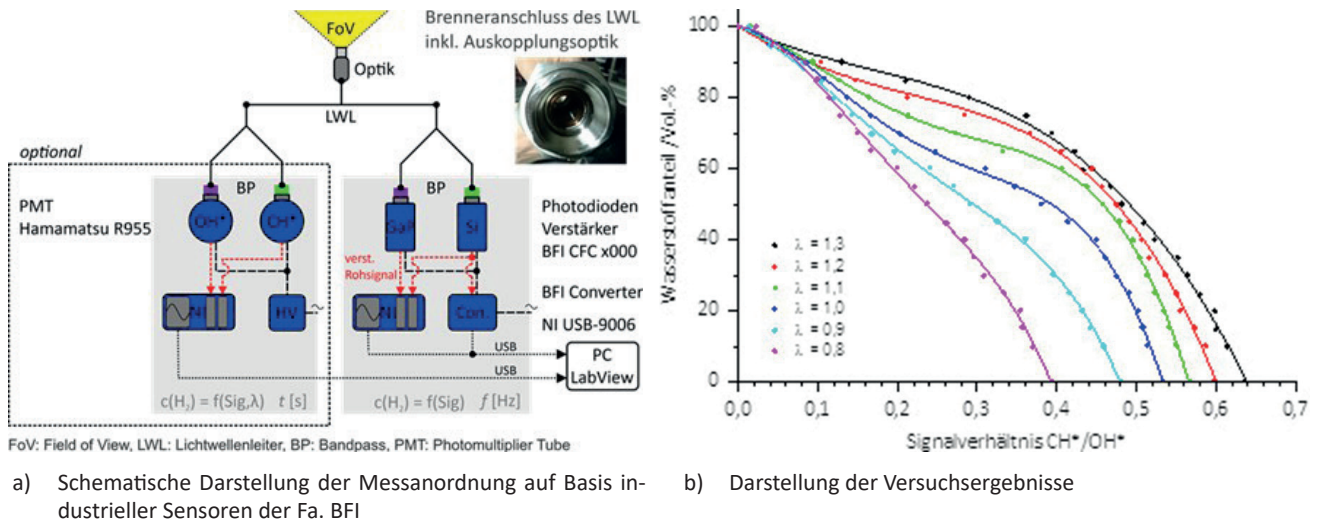


ABBILDUNG 10: MESSANORDNUNG UND AUSWERTUNG DER GEMESSENEN CH^*/OH^* -SIGNALVERHÄLTNISSE AUS DEN VORVERSUCHEN AN EINER LAMINAREN FLAMME ZUR ERMITTLUNG EINES KENNFELDES (QUELLE: IVG/GWI)

ausüben. Neben der Durchführung von Untersuchungen zur prinzipiellen Tauglichkeit von Brennern sowie der eingesetzten Werkstoffe, welche in den Teilprojekten 1 und 3 des Leichttechnologievorhabens „**TT-goesH₂**“ adressiert werden, ist es dazu unabdingbar, auch schnell reagierende Regelungssysteme für die Kompensation starker Gasbeschaffenheitswechsel zu entwickeln. Dazu wird in Teilprojekt 2 „**GreCoCon**“ an der Entwicklung einer Verbrennungsregelung auf Basis des Flammensignals von Feuerungsprozessen gemeinsam mit dem Gastechnologischen 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 herkömmlichen industriellen Flammenwächtern. Dabei werden mit Hilfe der Sensoren spezifische spektrale Charakteristika einer Erdgas- bzw. Wasserstoffverbrennung ausgewertet und Signale unterschiedlicher Spektralbereiche ins Verhältnis gesetzt. Die Signalverhältnisse gehen anschließend direkt in die Ermittlung des Wasserstoffanteils im

Brenngas ein, zudem kann die Flammenmodulation als weitere Charakteristik hinzugezogen werden. Seitens des GWI wird dazu ein fasergekoppeltes Flammenüberwachungssystem der Firma BFI Automation GmbH eingesetzt (Abbildung 10), die die technische Umsetzung unterstützt. Für die praktische Erprobung des optischen Messverfahrens an industriellen Brennersystemen am GWI wird derzeit eine softwarebasierte Verbrennungsregelung umgesetzt.

Erneuerbare Gase - Wasserstoff, Ammoniak und Biogas

Das Projekt „**OptiLBO**“ ist als erstes Forschungsprojekt der Technologieoffensive Wasserstoff des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zusammen mit den Partnern Georgsmarienhütte Holding GmbH (GMH), Küttner Automation GmbH und Kueppers Solutions GmbH mit dem Ziel gestartet, die CO₂-Emission der Sekundärstahlherstellung (siehe Abbildung 11) durch innovative Prozess-, Brenner- und Regelungstechnik zu reduzieren.

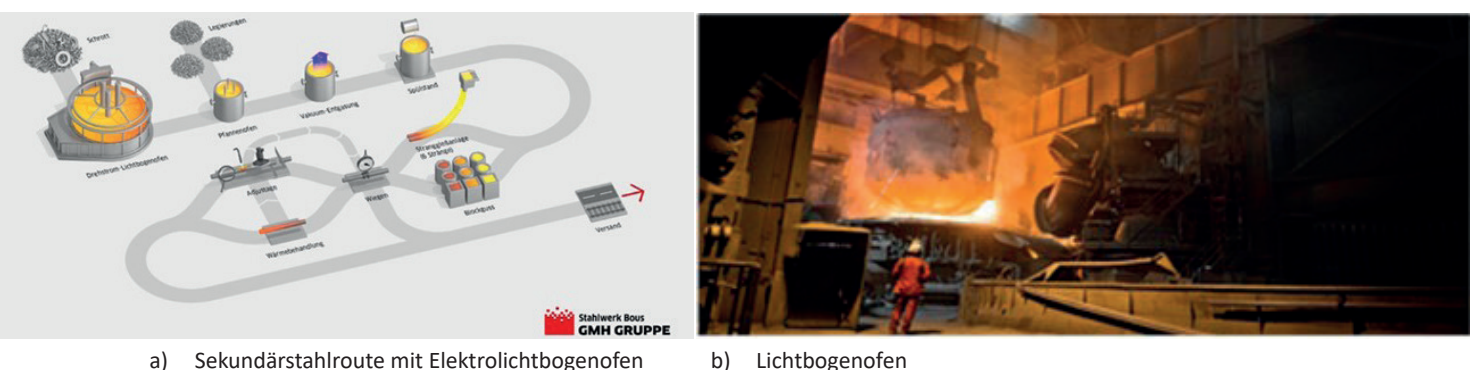


ABBILDUNG 11: PRINZIPSCHEMA (A) SEKUNDÄRSTAHLROUTE MIT ELEKTROLICHTBOGENOFEN (B) [QUELLE: GMH GRUPPE]

Der Kern des Projektes liegt in der angestrebten Steigerung der Energieeffizienz des sogenannten Elektrolichtbogenofenprozesses durch die Verringerung des Erdgaseinsatzes um 10 - 20 %. Das entspricht einer Einsparung von mindestens 444 - 888 kWh pro Ofengang sowie einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um 0,8 - 1,6 t pro Schmelze. Dies soll vor allem durch die bauliche Optimierung der für den Stoffeintrag zuständigen Komponenten im Lichtbogenofen erfolgen. Eine deutliche CO₂-Reduzierung des Gesamtprozesses wird durch die direkte Reduktion des eingesetzten Erdgases und Sauerstoffs, bedingt durch ein flexibles, innovatives Brennersystem und eine effizientere Prozessführung erreicht. Das neu entwickelte Brennersystem wird unter Verwendung der additiven Fertigung (3D-Druck) hergestellt und des Weiteren in der Lage sein, stufenlos H₂ als Brenngas einzusetzen. Die mögliche Substitution von Erdgas durch Wasserstoff (anteilig durch Beimischung als auch komplett) und die Auswirkungen auf die metallurgische Prozesstechnik, den Ofenraum (Materialeigenschaften), die Verbrennungseigenschaften, Schadstoffbildung, Flammenform, Strömungsverhalten und Anforderungen an die Arbeitssicherheit sollen in diesem Forschungsvorhaben ebenfalls untersucht werden. Die Möglichkeiten alternative Kohlenstoffträger wie biogene HTC-Kohlen oder Kohlenstoff aus der türkisen Wasserstoffherstellung (türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt wurde) einzusetzen, und deren Wirksamkeit im metallurgischen Prozess, wird ebenfalls erörtert.

Neben der Energieeffizienzsteigerung und der beschriebenen CO₂-Einsparung, soll durch die Entwicklung einer KI-optimierten Brennersteuerung gekoppelt mit der Brennerentwicklung eine Reduzierung der Schadstoffemissionen (NO_x und CO) und der unverbrannten Kohlenwasserstoffe erreicht werden.

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens „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.

Im ersten Schritt werden dazu Untersuchungen an bestehenden Flächenbrennermodulen durchgeführt. Dazu werden am Versuchsofen zwei verschiedene Arten von Flächenbrennern mit unterschiedlichen Brenngasen betrieben und hinsichtlich Temperaturen und Emissionen untersucht, siehe exemplarisch anhand der volumetrischen NO-Verteilung von Abbildung 12. Diese dienen als Basis für eine anschließende Entwicklung eines neuen Brennermoduls zur Verwendung als Flächenbrenner.

Zur weiteren Untersuchung und Optimierung des Verbrennungsprozesses wird zudem ein neues Verbrennungsmodell auf Basis des Multi-Regime-Ansatzes entwickelt. Das Verbrennungsmodell soll in der Lage sein, die wichtigen Prozessparameter wie (Teil-)Vormischzustände sowie die Verbrennung von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen und Prozessgasen abzubilden. Zur Verifizierung des Modelles werden zudem laserbasierte Messungen an einem Schlitzbrenner im Labormaßstab durchgeführt.

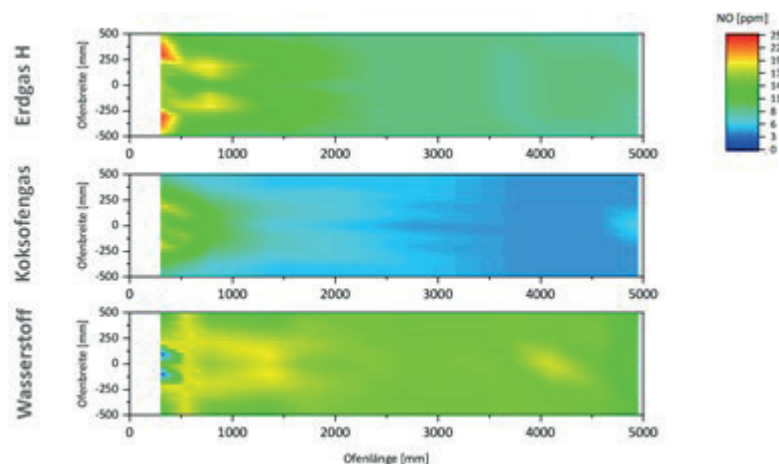


ABBILDUNG 12: NO-VERTEILUNG IM OFEN FÜR VERSCHIEDENE BRENNGASE
(QUELLE: GWI)

Das Ziel des im Jahr 2021 beendeten Landesprojekt „HyGlass“ war es mit dem Bundesverband Glas den Wasserstoffeinsatz entlang der gesamten Glasherstellungskette zu untersuchen. Im Fokus standen hierbei drei Aspekte. Eine Analyse bezüglich des Erdgasverbrauchs entlang der einzelnen Prozessschritte für die Glasstandorte in NRW, die durch engen Kontakt mit den Betreibern vor Ort erfolgt ist. Anschließend wurde mittels GIS eine vereinfachte standortbasierte Potenzialanalyse bezüglich Substitutionspotenzial von Erdgas durch Wasserstoff betrachtet. Die anderen Forschungsaspekte betreffen den Einfluss von verschiedenen Wasserstoffzumischungsraten auf die Verbrennung sowie den Einfluss auf die Glasqualität.

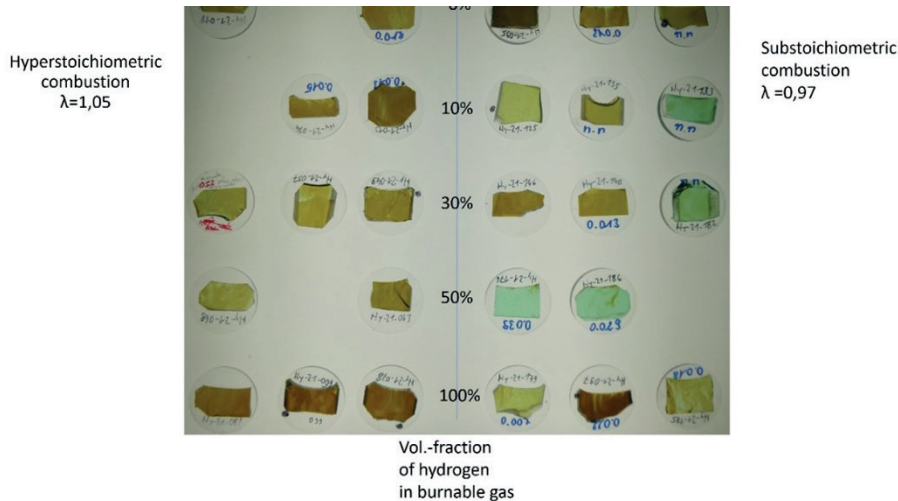


ABBILDUNG 13: AUS BRAUNEM BEHÄLTERGLASGEMENGE ERSCHMOLZENE PROBEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN WASSERSTOFFGEHALTEN IM BRENNGAS, UNTERSCHIEDLICHER VERBRENNUNGSSTÖCHIOMETRIE UND VERSCHIEDENEN SCHMELZZEITEN (QUELLE: HVG/GWI)

in Air-Fuel-Verbrennungen. Abbildung 13 zeigt, dass Wasserstoff die Glasqualität beeinflussen kann.

Die Auswirkungen der Wasserstoffzumischung auf die Verbrennung in einer Glasschmelzwanne erfolgte ausschließlich mittels numerischer Simulation, wobei Leistung und Luftzahl konstant gehalten wurden. Wie in Abbildung 14 dargestellt, kann bei einer optimalen Regelung der Anlage (konstante Leistung und Luftzahl) der Wärmestromeintrag in die Schmelze etwa konstant gehalten werden.

Derzeit werden alle erzeugten Ergebnisse im Gesamtkontext betrachtet, bewertet und das tatsächliche Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff in den einzelnen Prozessschritten für die verschiede-

nen Szenarien skizziert. Die wissenschaftlichen Untersuchungen zielen darauf ab, einen Überblick und ein besseres Verständnis für die Herausforderungen bei Einsatz von Wasserstoff in der Glasindustrie zu schaffen.

Im seit April 2021 laufenden Projekt „H₂-Glas“ werden mit der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG) die Auswirkungen von verschiedenen Wasserstoffzumischungen im Erdgas sowohl in Air als auch in Oxy-Fuel-Anwendungen der Glasindustrie

untersucht. Insgesamt stehen vier wesentliche Aspekte im Fokus: Es werden Wärmerückgewinnungsoptionen, wie z. B. die Wärmeübertragung im Regenerator bei sich ändernde Abgaszusammensetzung und Abgasmenge, analysiert. Im zweiten Schritt wird der Einfluss von Wasserstoff auf die Verbrennung sowohl in Oxy-Fuel- als auch in Air-Fuel-Anwendungen in einem semi-industriellen Ofen experimentell und numerisch untersucht mit dem Schwerpunkt: Auswirkungen auf das Strahlungsverhalten, siehe Abbildung 15. Im Fall von Oxy-Fuel-Anwendungen liegt der Fokus außerdem darin, den Einfluss von Wasserstoff auf die Glasqualität zu betrachten. Der vierte Punkt betrifft die Auswirkungen von Wasserstoff in Systemen mit Vormischbrenner (Feeder).

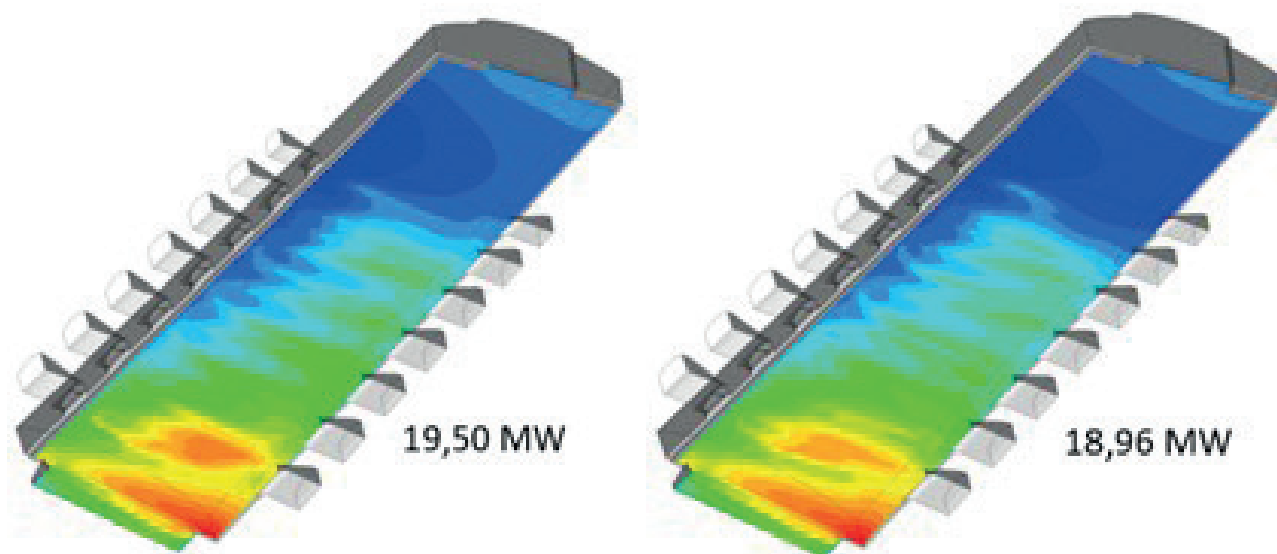


ABBILDUNG 14: SIMULATION EINER QUERBRENNERWANNE. LINKS: ERDGAS. RECHTS: 50 VOL.-% ERDGAS UND 50 VOL.-% WASSERSTOFF (QUELLE: GWI)

Gemeinsam mit der OWI Science for Fuels gGmbH wird im Projekt „**Inte-BRA**“ ein Brenner entwickelt, der die energetische Nutzung von Biobrennstoffen der 2. und 3. Generation sowie von industriellen flüssigen und gasförmigen Nebenprodukten zur Erzeugung von Prozesswärme ermöglichen soll. Im Rahmen der Konzeptionierung wurden auf Basis des COSTAIR-Prinzips verschiedene Brenner-Designs entwickelt und numerisch mittels CFD, sowohl für die Verbrennung von schwachkalorischen Brenngasen (Abbildung 16 a) als auch von Pyrolyseöl untersucht. Die Design-Varianten unterscheiden sich im Wesentlichen in der Art der Zuführung der Verbrennungsluft sowie der Flüssigbrennstoffe. Das favorisierte Design zeigt Abbildung 16 b. Der Flüssigbrennstoff wird durch eine zentrale Mehrstoffdüse in den Brennraum eingebracht und die Luftzuführung erfolgt radial zur Mitte gerichtet durch einen kegelförmigen Luftverteiler von der Wandseite. Die Stufung der Luftzufuhr erfolgt durch ein entsprechendes Lochbild des Luftverteilers. Die Brenngaszufuhr erfolgt über Bohrungen auf zwei Lochkreisen um die zentrale Mehrstoffdüse. Die Bohrungen sind um 45° angestellt, um der Strömung einen die Verbrennung stabilisierenden Drall aufzuprägen. Die Düsen des inneren und äußeren Bohrungsringes können separat beaufschlagt werden. Dies soll zum einen eine optimale Anpassung der Strömungsbedingungen je nach Brenngasdurchsatz bzw. Leistungsbereich und zum anderen die Zufuhr einer Primär- und Sekundärluft im Betrieb mit Flüssigbrennstoffen ermöglichen. Die Primärluft wird in diesem Fall durch einen der beiden Drall erzeuger geführt, während der zweite weiterhin für die zusätzliche Einbringung von Brenngas genutzt werden kann. Auf diese Weise kann schon in einer sehr frühen Ausbreitungshase die Durchmischung

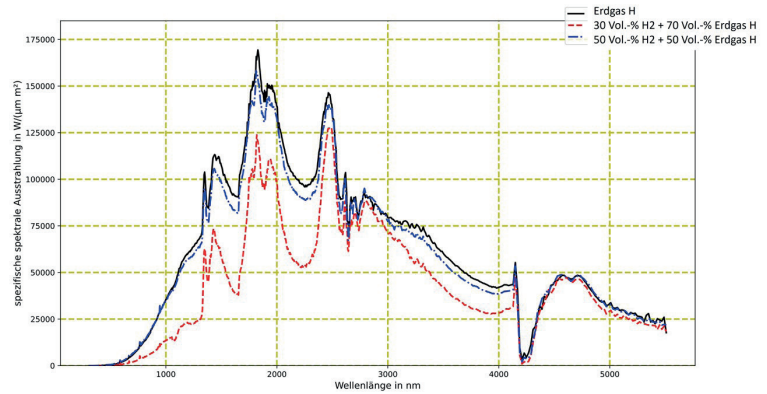


ABBILDUNG 15: BEISPIELHAFT FLAMMENSPEKTREN EINES OXY-FUEL-BRENNERS BEI UNTERSCHIEDLICHEN ZUMISCHUNGEN VON WASSERSTOFF ZU ERDGAS H (QUELLE: HVG)

des Oxidators mit dem Spray des Flüssigbrennstoffs erfolgen. Die brennernahe vollständige Verdunstung des Flüssigbrennstoffes wird bei diesem Konzept durch eine ausgeprägte Rezirkulation von heißem inerten Abgas bewirkt. Derzeit erfolgt die Optimierung der Düsengeometrie und konstruktive Ausgestaltung des Brenners. Im Anschluss soll ein Funktionsmuster technisch umgesetzt und am GWI erprobt werden.

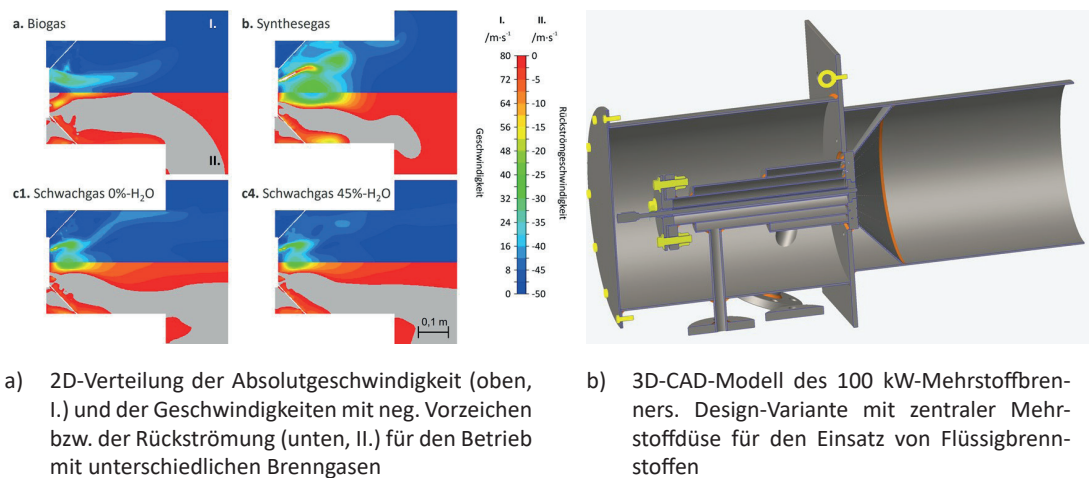


ABBILDUNG 16: UNTERSUCHTES BRENNERDESIGN UND SIMULATION VERSCHIEDENER EINSAZSTOFFE (QUELLE: GWI)

Das Ziel des AiF-Vorhabens „**H₂-Substitution II**“ war die Durchführung experimenteller Untersuchungen zur Verwendung von Erdgas/H₂-Gemischen für die Feuerung von metallurgischen Thermoprozessen, aufbauend auf den Ergebnissen aus dem vorangegangenen Projekt „H₂-Substitution“. Dabei wurden die Effekte der Feuerung H₂-reicher Erdgasgemische auf die Produkte metallurgischer Prozesse analysiert. Zudem wurden mögliche Auswirkungen der H₂-Zumischung auf typische Armaturen- und Leistungswerkstoffe gasführender Installationen von Thermoprozessanlagen untersucht. Das Projekt wurde zusammen mit dem Institut für Werkstoffanwendung der TH-Köln bearbeitet. Im Zuge des Projekts wurden

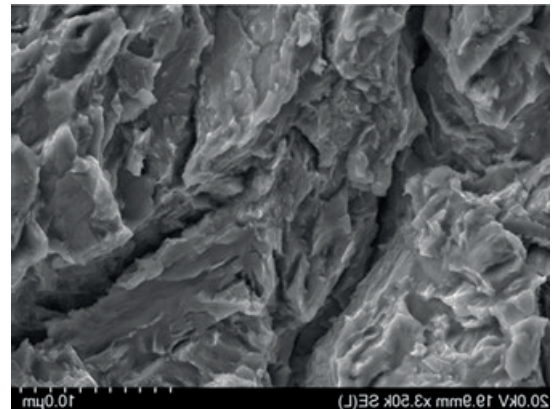
Das Ziel des AiF-Vorhabens „**H₂-Substitution II**“ war die Durchführung experimenteller Untersuchungen zur Verwendung von Erdgas/H₂-Gemischen für die Feuerung von metallurgischen Thermoprozessen, aufbauend auf den Ergebnissen aus dem vorangegangenen Projekt „H₂-Substitution“. Dabei wurden die Effekte der Feuerung H₂-reicher Erdgasgemische auf die Produkte metallurgischer Prozesse analysiert. Zudem wurden mögliche Auswirkungen der H₂-Zumischung auf typische Armaturen- und Leistungswerkstoffe gasführender Installationen von Thermoprozessanlagen untersucht. Das Projekt wurde zusammen mit dem Institut für Werkstoffanwendung der TH-Köln bearbeitet. Im Zuge des Projekts wurden

zum einen aufwändige experimentelle Messreihen an einer Versuchsofenanlage und zum anderen detaillierte werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen (Abbildung 17 b) an in der Ofenanlage behandelten Materialproben (Abbildung 17) durchgeführt. Untersucht wurden verschiedene Werkstoffe aus den Bereichen Stahl, Aluminium, Messing und Kupfer, wobei sowohl Glüh- als auch Schmelzversuche Teil des Versuchsprogramms waren.

zu entwickeln. Langfristiges Ziel ist es außerdem eine weitgehende Reduktion von C_xH_y -Brenngasen im Glasherstellprozess unter Einhaltung der geforderten Glasqualität. Darüber hinaus soll geprüft werden, inwieweit alternative Rohstoffe zu einer Verbesserung der CO_2 -Bilanz beitragen können. Das Projekt wird unter Führung des Glasherstellers Schott zusammen mit dem Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg bearbeitet. Das GWI führt in diesem Zusam-



a) Abgießen flüssiger Metallschmelze

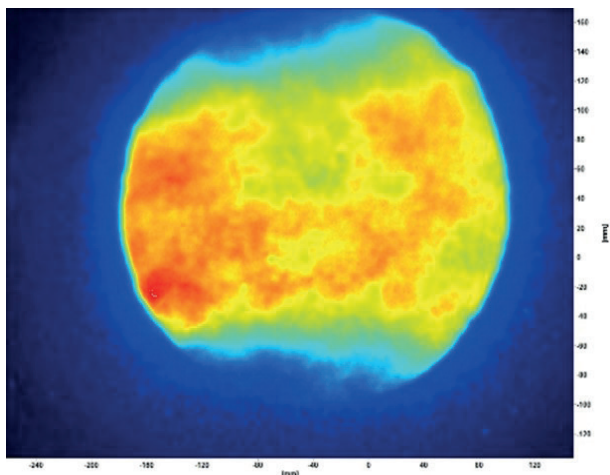


b) Rasterelektronenmikroskop Aufnahme einer Stahlprobe (Korngrenzen)

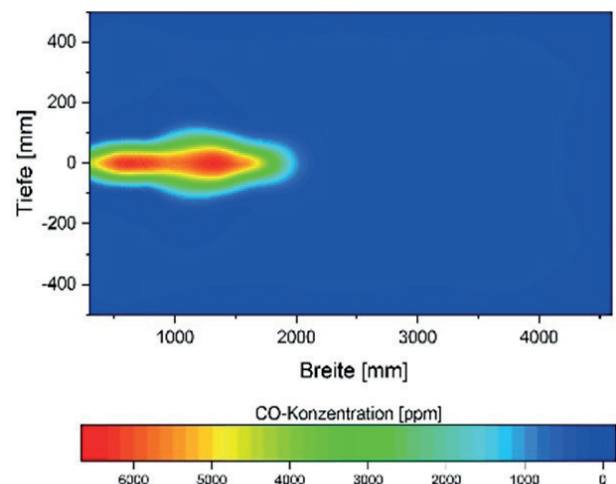
ABBILDUNG 17: METALLURGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR BEEINFLUSSUNG WASSERSTOFFHALTIGER BRENNSTOFFE (QUELLE: GWI/TH KÖLN)

Ziel dieses Verbundprojektes „MiGwa“ des BMBF im Rahmen der KlimPro-Initiative ist es, neuartige und innovative Technologien zur direkten Vermeidung des Hauptanteils der CO_2 -Emissionen bei der Glasherstellung durch eine klimaschonende Beheizungs-methode mittels Mikrowelle zu erforschen und grundlegende Prozesse zur Beheizung mit Wasserstoff in der Schmelze sowie bei der Heißnachverarbeitung

menhang verschiedene Messkampagnen mit Oxy-Fuel-Brennern (siehe exemplarisch Abbildung 18) an einem Hochtemperatur-Versuchsofen sowie numerische Simulationen durch. Am Projektende soll eine belastbare Bilanzierung sowohl des CO_2 - und Energieeinsparpotenzials als auch eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit erstellt werden.



a) OH-Aufnahme einer Oxy-Fuel Brennerflamme



b) Gemessene CO -Konzentration im Ofenraum

ABBILDUNG 18: UNTERSUCHUNG EINER OXY-FUEL-VERBRENNUNG MIT WASSERSTOFF (QUELLE: GWI)

Das Ziel des Vorhabens „AmOszi“ ist es, optimale Betriebsparameter für die schadstoffarme Verbrennung von Ammoniak (siehe Abbildung 19) als kohlenstofffreiem Energieträger mit Luft hinsichtlich der Stickoxidemissionen in Ammoniak-Brennersystemen mit geringem Ammoniak-Schlupf und niedrigen N_2O -

Emissionen zu entwickeln. Das Projekt wird zusammen mit dem Institut für Technische Chemie des Karlsruher Instituts für Technologie bearbeitet. 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 oder eines Teilstroms des Oxidators eine minimale Stickoxid-Konzentration ermöglicht. Die Herausforderung besteht darin, ganz ohne Sekundärmaßnahmen, die Grenzwerte der TA Luft einzuhalten. Im Zuge des Projekts sollen unter anderem Ofenversuche mit verschiedenen Industriebrennern sowie numerische Simulationen und reaktionskinetische Berechnungen durchgeführt werden. Darüber hinaus gilt es, mittels Bilanzierungen eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der Ammoniaknutzung als Brennstoff zu erstellen.

Das Projekt „BrEEga“ ist das zweite Forschungsprojekt der Technologieoffensive Wasserstoff. Hintergrund: Zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland und der EU muss der Einsatz von fossilen Brennstoffen und somit die Emissionen von Treibhausgasen wie CO_2 in den Sektoren Industrie, Haushalt, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Verkehr deutlich gesenkt werden, z. B. durch den

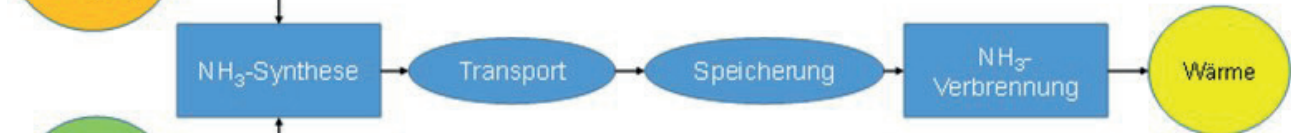


ABBILDUNG 19: VEREINFACHTE PROZESSKETTE FÜR AMMONIAK ALS BRENNSTOFF (QUELLE: GWI/KIT)

Einsatz von erneuerbaren Gasen. Hierzu zählen neben Wasserstoff, Bio-Methan und synthetischem Methan (SNG) auch Ammoniak. Das Ziel des BMWK-Forschungsvorhabens BrEEga liegt in der Dekarbonisierung von industriellen Feuerungsprozessen durch die Entwicklung eines variablen Brennersystems zur Nutzung erneuerbar erzeugter Brenngase und Prozessgasen zur Bereitstellung von Prozesswärme. Aufgrund der hohen Diversität der Brennstoffe nimmt das zu entwickelnde Brennerkonzept in diesem Kontext eine Schlüsselrolle ein. Die Abbildung 20 zeigt schematisch die möglichen Pfade zur Erzeugung und Nutzung von Gasen erneuerbaren Ursprungs.

Das zuvor beschriebene Konzept ermöglicht unter der Voraussetzung der entsprechenden Kapazitäten eine komplette Defossilisierung einer Vielzahl von gasbefeuerten Thermoprozessanlagen. Neben der

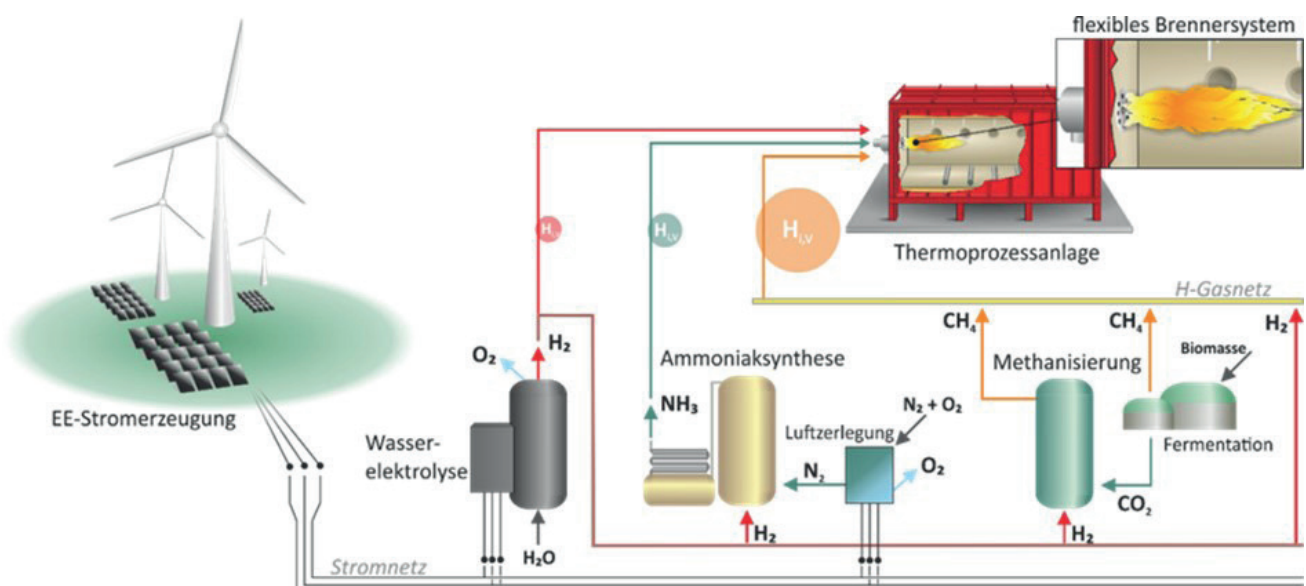


ABBILDUNG 20: PRINZIPSHEMA; ERZEUGUNG UND INDUSTRIELLE NUTZUNG VON GASEN ERNEUERBAREN URSPRUNGS [QUELLE: GWI]

Erzeugung und Speicherung der genannten Gase stellt die Nutzung dieser Gase in einer Thermoprozessanlage eine weitere technologische Hürde dar. Derartige flexibel arbeitende Brennersysteme sind bisher am Markt nicht vorhanden und aus verbrennungstechnischer Sicht nicht trivial. Das erklärte Ziel dieses Projektes ist es somit, ein Brennersystem zu entwickeln, das mit verschiedenen, zeitlich variabel vorkommenden Brenngasen sicher und schadstoffarm betrieben werden kann. Dieses Brennersystem soll es ermöglichen, verschiedene Gase in Thermoprozessanlagen einzusetzen und gleichzeitig auf Leistungsänderungen aktiv zu reagieren, ohne den Betriebsverlauf zu verzögern oder zu stören. Ferner soll im genannten Vorhaben eine Regelungsstrategie entwickelt werden, die, in Abhängigkeit des am Brenner ankommenden Gases, automatisch die optimalen geometrischen Randbedingungen für die jeweiligen Brenngaseigenschaften herstellt.

Vorträge und Veröffentlichungen

Durch die Pandemie-Situation wurden im Jahre 2021 viele traditionelle Veranstaltungen abgesagt oder virtuell durchgeführt. Zwar sind solche online-Veranstaltungen kein Ersatz für das persönliche Gespräch oder typischen Netzwerken, andererseits zeichnen sie sich aber häufig durch weitaus größere Teilnehmerzahlen aus als klassische Konferenzen, sodass sich das GWI und die Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik (IFT) einem weitaus größeren Publikum vorstellen konnte, als es bei klassischen Veranstaltungen der Fall gewesen wäre.

2021 stand für die IFT sehr stark das Thema Wasserstoff im Fokus. Das „HyGlass“-Projekt zur Untersuchung von Wasserstoff als Dekarbonisierungsoption für die Glasindustrie sowie die Potenziale der Wasserstoffverbrennung zur Bereitstellung von industrieller Prozesswärme ganz allgemein wurden sowohl auf dem virtuellen Event „Hydrogen in Glass Manufacturing“ [1] der „glass international“, dem Hüttentag [2], dem 3. Industrieofen- und Thermoprozess-Kolloquium in Aachen [3] sowie in verschiedenen Artikeln in Branchenmagazinen und Fachzeitschriften [4], [5] vorgestellt. Auch im EU-Projekt „THyGA“ [6] und der DVGW-„Roadmap Gas 2050“ in dem die Auswirkungen einer Wasserstoffeinspeisung in das Erdgasnetz auf Geräte der häuslichen und gewerblichen Gasnutzung befasst, leistete die IFT Zuarbeit, vor allem in Kontext grundsätzlicher theoretischer Untersuchungen zur Verbrennung von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen, und stellte die gewonnenen Erkenntnisse in einem Workshop [7], auf dem 30. Deutschen

Flammentag [8] und in einem peer-reviewed paper des Journals „energies“ [9] vor, das Anfang 2022 erschien.

Ein weiterer, hochaktueller Themenschwerpunkt ist die additive Fertigung, eine Technologie, die auch im Brennerbau neue konstruktive Möglichkeiten eröffnet. Die Ergebnisse des „AdReku“-Projekts, das sich mit der Optimierung von Wärmeübertragern bei Rekuperatorbrennern mit Hilfe des 3D-Drucks befasst, wurde ebenfalls auf dem Flammentag [10] präsentiert.

Der zentralen Fragestellung von Dekarbonisierung und Klimaschutz in der Industrie widmete sich das GWI mit einer eigenen Veranstaltung, der 1. Tagung „Energiewende Industrie“. Corona-konform als online-Event konzipiert, wurden bei dieser eintägigen Veranstaltung Dekarbonisierungsoptionen und -potenziale für verschiedene Sektoren und Anwendungsfelder durch interne und externe Referentinnen und Referenten vorgestellt und diskutiert. Mehr als 200 Teilnehmerinnen und Teilnehmer zeigten deutlich die Relevanz des Themas, die Ende März 2022 zum zweiten Mal stattfinden wird.

Abgerundet wurden die Aktivitäten der Abteilung durch nationale und internationale Gremienarbeit (u. a. in der Prime Movers' Group „Gas Quality/Hydrogen“ [11]) und anwendungsorientierte Schulungen zum Thema „industrielle Verbrennung“ in Kooperation mit dem VDI-Wissensforum.

Literatur

[1] Leicher, J., Giese A., Islami, B., Görner, K., Overath, J., „HyGlass - Hydrogen utilization as a decarbonization measure for the glass industry“, gehalten auf der Glass International Virtual Event „Hydrogen in Glass Manufacturing“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.glass-international.com/hydrogen-in-glass-manufacturing/about-the-event>

[2] Giese, A., „Einsatz von erneuerbaren Gasen in der Industrie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen am Beispiel Wasserstoff - Auswirkung auf die industrielle Verbrennung“, gehalten auf der Hüttentag, 2021

[3] Leicher, J., Islami, B., Giese, A., Görner K., Overath, J., „Klimafreundliche Prozesswärmeerzeugung durch Wasserstoff in der Glasindustrie: Das Projekt „HyGlass“, Aachen, 2021, S. 87–94. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.aotk.rwth-aachen.de/files/>

[aotk2021/pdf/AOTK2021_Do-G-14_Leicher.pdf](#)

- [4] Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K., „Grüner Wasserstoff: Dekarbonisierung von Prozesswärme“, GIESSEREI - Die Zeitschrift für Technik, Innovation und Management, Nr. September, S. 22 – 31, 2021
- [5] Leicher, J., Islami, B., Giese, A., Görner, K., Overath, J., „Wasserstoff in der Glasindustrie: HyG-las – Prozesswärme für industrielle Anwendungen“, HZwei - Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen, Nr. 04/Okttober, S. 38 – 40, 2021
- [6] „THyGA - Testing Hydrogen admixture for Gas Applications“, 2020. thyga-project.eu
- [7] Leicher, J., „Workshop WP3: Input from combustion theory“, gehalten auf der Open Workshop „THyGA: Hydrogen blending for end-use“, Online Workshop, 2021
- [8] Leicher, J., Cigarida, H., Tali, E., Schaffert, J., Giese, A., Burmeister, F., Görner, K., „Untersuchungen zu den Auswirkungen der Wasserstoffein-speisung in Erdgas auf Verbrennungsprozesse in der häuslichen und gewerblichen Gasverwendung“, Han-nover, 2021, S. 639 – 646
- [9] Leicher, J., Schaffert, J., Cigarida, H., Tali, E., Burmeister, F., Giese, A., Albus, R., Görner, K., Car-pentier, 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: 10.3390/en15030777
- [10] Schneider, T., Fiehl, M., Giese, A., Görner, K., Feller, B., Moldovan, D.-A., te Kaat, J., „Rekuperatorbrenner aus dem 3D Druck zur effizienten Wär-merückgewinnung“, Hannover, 2021, S. 892 – 901
- [11] Leicher, J., „Gas quality/hydrogen: Impact on combustion processes and principles of mitigation“, gehalten auf der Knowledge Sharing Session on „Mi-tigation measures for gas quality and H₂ handling“, Online Workshop, 2021. [Online]. Verfügbar un-ter: https://entsog.eu/sites/default/files/2021-03/Session%20mitigation%20measures%20for%20GQ%26H2%20handling%20-%20meeting%20Febru-ary%202021_Update.pdf

BRENNSTOFF- UND GERÄTETECHNIK

Die Hauptthemen im Jahr 2021 waren Wasserstoff-Anwendungen, Sektorenkopplungssysteme und IKT/Digitalisierungsmöglichkeiten. Eine adaptive Sektorenkopplung setzt die gleichzeitige Betrachtung aller Netze voraus – Strom-, Gas- und Wärmenetze – verknüpft mit der entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Das Thema Was-serstoff in der Anwendung wird u. a. durch Projekte wie DVGW-„Roadmap Gas 2050“ und das europä-ische Projekt „THyGa“ adressiert. Die anschließend beschriebenen Projekte „Fahrplan Gaswende“ und „HyBEST“ stehen für einen systemanalytischen An-satz und für Sektorenkopplung.

Die Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik (BGT) hat sich mit einer Vielzahl an Projekten erfolgreich für die zukünftigen Rahmenbedingungen mit der fol-genden Themenausrichtung aufgestellt:

Team Adaptive Energiesysteme: Deutschlandmodell-Typologien, Wärmebedarf, Gas, Fernwärme, GIS,

Quartierslösungen, Modellierung und Simulation von gekoppelten Wärme-, Strom- und Gasnetzen, Living Lab, IKT, SmartMetering/Monitoring, BigData, Edge-Computing, Digitalisierung, Vernetzung von Städten/ Sektoren (Wohnen, GHD, Industrie), Integration von Mobilitätslösungen und Digitalisierungsansätzen.

Team PtX: Flexibilisierungsoptionen, Gasbeschaffen-heitsfragen, insbesondere im Bereich der Einspei-sung und Verwendung von EE-Gasen in den einzel-nen Sektoren, LNG/LBG, Biogase inkl. Wasserstoff, Feldtest-Monitoring, Tests von Anwendungstechno-logien mit H₂-reichen Gasen.

Mit den Abteilungen Industrielle Feuerungstechnik, Prüflabor und Bildungswerk bestehen Schnittstellen bei den Themen Flexibilisierungsoptionen, Netzen, Wasserstoff, L-H-Anpassung und LNG.

Die Entwicklung einer smarten Gasbeschaffenheits-erkennung für Regelungsstrategien wird in der Ab-

teilung BGT im AiF-Projekt „Smart Gas“ (Erweiterung eines integrierten Sensorsystems, das mittels thermischer Messprinzipien bei variablen Zusammensetzungen die Gasbeschaffenheit sowie die Dichte von Brenngasen bestimmt) behandelt.

Der zukunftssträchtige Brennstoff Wasserstoff ist Gegenstand vieler Forschungsaktivitäten des GWI. Die kohlenstofffreie Alternative zum Erdgas steht auch im Fokus des EU-geförderten Projektes „THyGA“. Das Akronym „THyGA“ steht dabei für „Testing Hydrogen admixture for Gas Applications“. Das GWI testet gemeinsam mit insgesamt neun Partnern, darunter fünf Labore, bis zu 100 Gas-Endanwendungen auf die Verträglichkeit einer Wasserstoffbeimischung von bis zu 60 vol.-% (Abbildung 21). Der ambitionierte Umfang der Testkampagne macht „THyGA“ zum derzeit größten derartigen Projekt in Europa und weltweit.

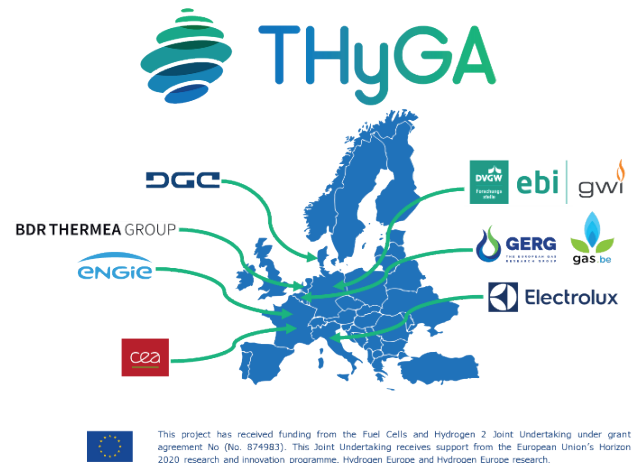


ABBILDUNG 21: KONSORTIUM IM EU-PROJEKT „THYGA“

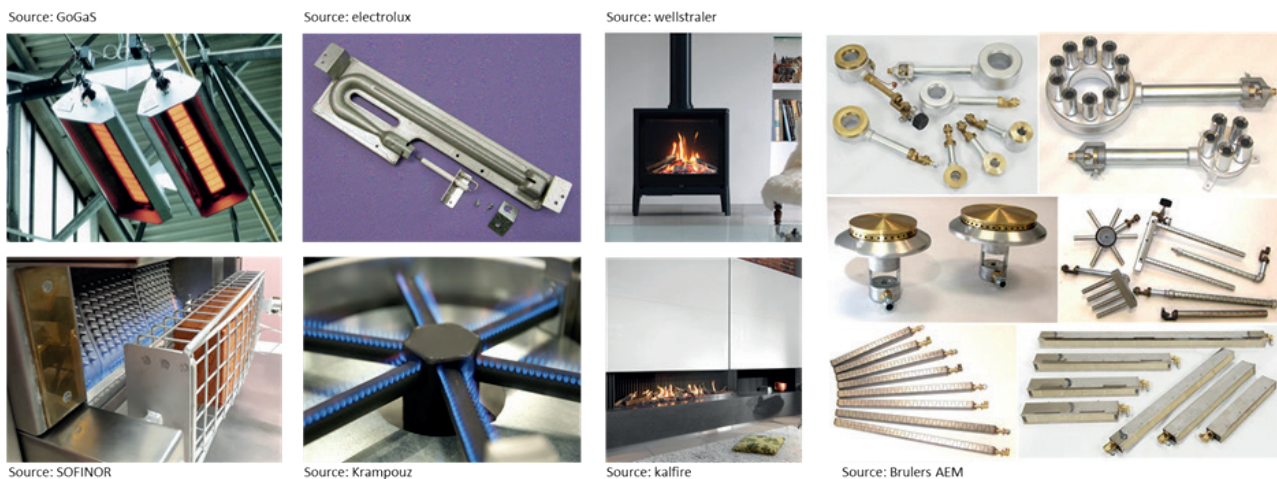


ABBILDUNG 22: IM EU-PROJEKT THYGA WERDEN VIELFÄLTIGE GASENDWENDEUNGSTECHNOLOGIEN UNTERSUCHT. NEBEN BOILERN Z.B. AUCH KWK-ANLAGEN, LUFTERHITZER, WÄRMESTRAHLER, KOCH- UND CATERING-TECHNOLOGIEN UND DEKORATIVE FEUERSTÄTTEN.

Seit dem Projektbeginn in 2020 sind bereits umfangreiche Berichte veröffentlicht worden, auch wenn etwa die Hälfte der Tests noch ausstehen und die Zusammenfassung der Endergebnisse erst 2023 zu erwarten ist. Ein Großteil der unter <https://thyga-project.eu/> zu findenden Arbeiten ist unter Leitung des GWI entstanden, zum Beispiel ein umfassender Bericht zur Klassifizierung der unterschiedlichsten Endanwendungstechnologien (Abbildung 22) inklusive erster Einschätzungen zur Wasserstoffverträglichkeit (D2.3) oder die umfassende Erläuterung der verbrennungstechnischen Grundlagen von Wasserstoff-Methan Gemischen in Bericht D2.2.

Das Paper „The Impact of Hydrogen Admixture into Natural Gas on Residential and Commercial Gas Appliances“ (zu finden hier: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/777>) fasst die Einflüsse von Wasserstoffbeimischungen auf häusliche und gewerbliche Gasanwendungen zusammen und erläutert dabei Sicherheitsaspekte wie CO-Emissionen, Stickoxidentwicklung (NO_x), Kohlenstoffdioxidausstoß (CO₂), die Gefahr von Flammrückschlägen, Leistungsänderungen und den möglichen Einfluss von Verbrennungsregelungen (siehe Abbildung 22).

Weitere Schwerpunkte im Projekt sind die Standardisierung von Gasgeräten im Hinblick auf die Entwicklung eines wasserstoff-verträglichen Geräteparks („H₂-ready“) sowie die Entwicklung von Strategien zur Erhöhung der Wasserstofftoleranz zukünftiger, flexibel einsetzbarer Geräte. Die EU-Kommission erwartet von dem Konsortium die direkte Mitwirkung an technischen Normungskomitees und konkrete

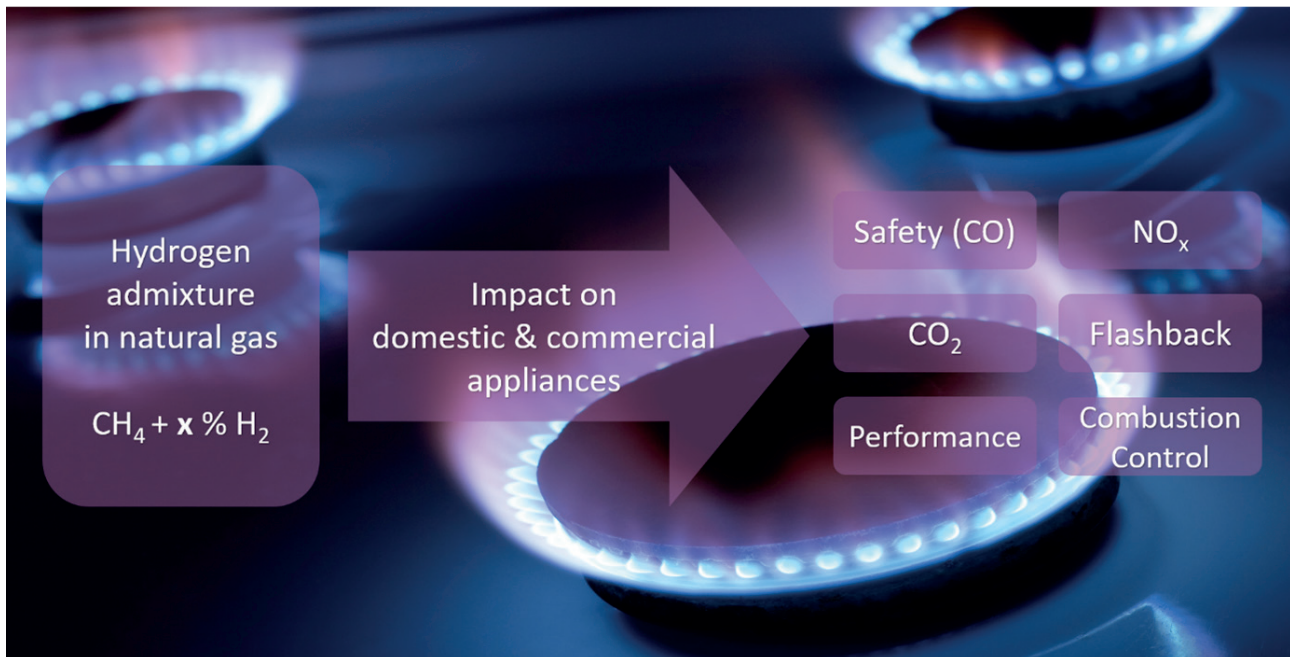


ABBILDUNG 23: WASSERSTOFFBEIMISCHUNGEN WIRKEN SICH IM BEREICH DER GASENDANWENDUNGSTECHNOLOGIEN INSBESONDERE AUF SICHERHEITSASPEKTE, EMISSIONEN, FLAMMRÜCKSCHLAG, LEISTUNG UND DIE WIRKSAMKEIT VON VERBRENNUNGSREGELUNGEN AUS

Wasserstofftoleranz-Grenzen, die schnellstmöglich in die Entwicklung von Normen und Gesetzen einfließen sollen. Melden Sie sich gern unter <https://thyga-project.eu/contact/> für den Newsletter an.

Ähnlich zum EU-geförderten Projekt „THyGA“, ist beim BMWK-geförderten Verbundvorhaben „Fahrplan Gaswende“ das Thema Wasserstoff ebenfalls Gegenstand der GWI Forschungsaktivitäten. Dabei ist dieser Brennstoff nur einer von diversen gasförmigen Energieträgern, dessen Rolle gegenüber synthetischen Gasen, aber auch Erdgas und Biogas im zukünftigen europäischen Energiesystem bis zum Jahr 2050 bewertet werden soll. Betrachtet werden insbesondere die Transformation und künftige Nutzung der europäischen Gasinfrastruktur, die Wechselwirkung mit anderen Sektoren sowie die dafür notwendige Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens in den insgesamt 70 definierten Regionen in Europa. Dabei soll die Analyse sowohl aus der Sicht des Gesamtsystems (volkswirtschaftliche Optimierung) als auch aus Akteurssicht (betriebswirtschaftliche Umsetzung

barkeit) erfolgen. Es gilt dazu Szenarien für die Erreichung vorgegebener politischer Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen im gesamten Energiesystem zu erarbeiten. In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) sowie dem Institut für technische Thermodynamik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), ist das GWI bei dieser Systemanalyse insbesondere für die Ausarbeitung der Szenarien zur Energiesystemtransformation sowie für die Ermittlung und Festlegung der techno-ökonomischen Rahmendaten für die Modellierung verantwortlich.

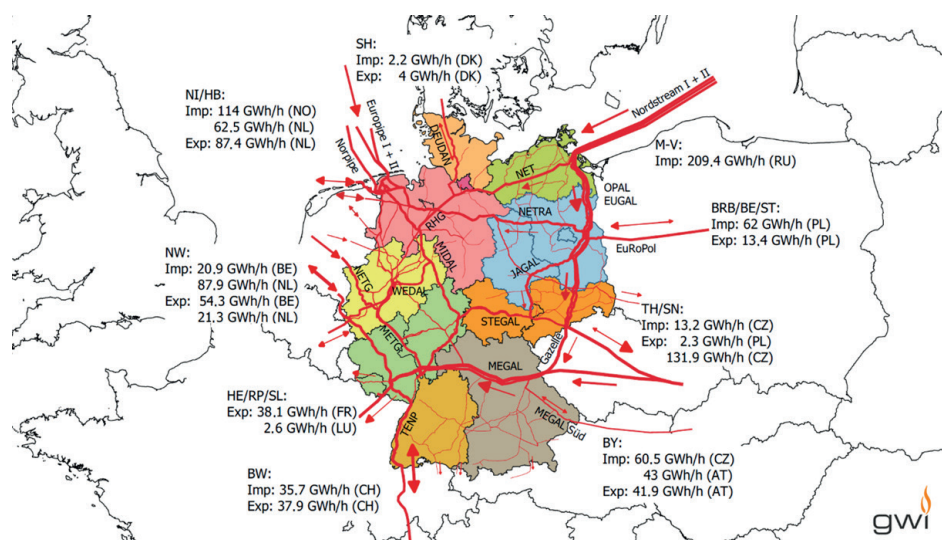


ABBILDUNG 24: PARAMETRIERUNG DER TRANSPORTKAPAZITÄTEN FÜR ERDGAS IM VORGÄNGERPROJEKT „MUSEKO“. IM AKTUELLEN PROJEKT „FAHRPLAN GASWENDE“ WERDEN ALLE BETRACHTUNGEN AUF DEN GESAMT-EUROPÄISCHEN BETRACHTUNGSRAUM AUSGEWEITET UND 70 REGIONEN ANSTELLE DER HIER ABGEBILDETEN 10 REGIONEN UNTERSUCHT. QUELLE: SCHAFFERT ET AL. ENERGIES 2021, 15, 1174. <https://doi.org/10.3390/EN15031174>

Basis des Projekts „Fahrplan Gaswende“ bildet hierbei das Vorgängerprojekt „MuSeKo“. Die Ergebnisse des Vorgängers wurden seit dem Projektbeginn von „Fahrplan Gaswende“ im Januar 2021 parallel noch einmal aufbereitet und in dem Journal „energies“ unter dem Titel „Integrating System and Operator Perspectives for the Evaluation of Power-To-Gas Plants in the Future German Energy System“ abschließend veröffentlicht (zu finden unter: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/1174>). Durch die starke Erhöhung der zu betrachtenden Technologien gegenüber „MuSeKo“, insbesondere im Bereich der Gas- und Wasserstoff-Technologien und -Infrastrukturen, sind seitens des GWI bereits umfangreiche Charakterisierungen verschiedener Technologieklassen durchgeführt worden, die für eine Vollversorgung mit erneuerbaren Gasen in Betracht kommen. Insbesondere für Elektrolyseure, Wasserstoff-Kavernenspeicher und deren europäischen Ausbaupotenziale, leistungsgebundene Gasinfrastruktur, CO₂-Handling-Technologien (Abscheidung, Transport und Speicherung) sowie Methanisierungsanlagen liegen bereits nach einer einjährigen Projektlaufzeit ausführliche techno-ökonomische Rahmendaten vor. Hinzu kommen Ausarbeitungen zu Grenzübergangspreisen von weltweiten Wasserstoffimporten auf Basis von leistungsgebundenem und maritimem Transport. Dabei werden die Ergebnisse und Ausarbeitungen fortlaufend mit einem dafür eingesetzten Beirat aus Industrievertretern abgestimmt, um konsistente Rahmenbedingungen für die zu betrachtenden Stützjahre der

Systemanalyse bis 2050 bereitstellen zu können.

Neben diesen Tätigkeiten sind mehrere Workshops mit der Industrie und weiteren Forschungsinstitutionen geplant, um die festgelegten Rahmendaten und Parameter im Hinblick auf aktuelle politische und technologische Änderungen weiter zu schärfen.

Eine zunehmende Herausforderung, meist getrieben durch steigende CO₂-Kosten, ist die Umstellung von Quartieren und dezentralen Unternehmens- und Industriestandorten auf erneuerbare Energien. Dabei geht es oft um eine ganzjährige, integrierte Wärme- und Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. Um die volatilen Spitzen bei der PV- und Winderzeugung übers das gesamte Jahr speicherbar zu machen und so seine Eigenversorgung zu erhöhen, rückt der Einsatz von Wasserstofftechnologien in den Fokus.

Im Rahmen des Projekts „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 (EBI), der Landkreis Gifhorn, die HYCON GmbH und die Stadtwerke Karlsruhe GmbH. Die MTU Friedrichshafen GmbH wird als assoziierter Partner mitwirken. Ziel ist es, Industrie und Gewerbe sowie die angeschlossene Infrastruk-

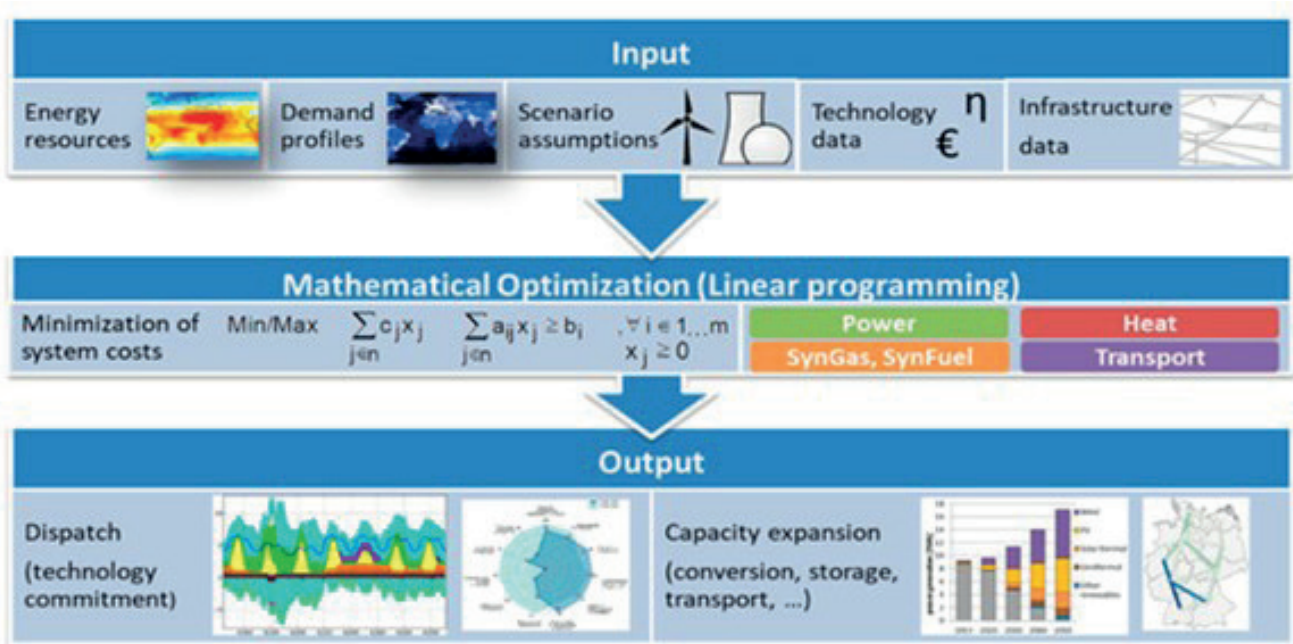


ABBILDUNG 25: STRUKTUR DER TECHNO-ÖKONOMISCHEN ENERGIESYSTEMMODELLIERUNG IM PROJEKT FAHRPLAN GASWENDE. QUELLE: SCHAFFERT ET AL. ENERGIES 2021, 15, 1174. <https://doi.org/10.3390/en15031174>

tur für eine flexible H₂-Bereitstellung tauglich zu machen bzw. zu untersuchen, welche Maßnahmen dafür notwendig sind und wie diese in der Umsetzung performen. Ferner sollen die umgesetzten Optionen in einer übergeordneten Betrachtung verglichen, ausgewertet und für eine Übertragung auf andere Standorte bzw. Gewerbecluster verallgemeinert sowie mit weiteren Optionen erweitert werden. Die Untersuchungen sollen Effizienz, Hemmnisse sowie Erfahrungen beim Aufbau und Betrieb dokumentieren, sodass mögliche Nachahmer davon profitieren können.

Das Teilvorhaben des GWI hat den Schwerpunkt auf der wissenschaftlichen Begleitung der Implementierung von Wasserstoff in das Gewerbecluster Gifhorn und die Begleitung der Versuchsplattform in Herten. Hierbei wird das GWI einen digitalen Zwilling für den Standort Gifhorn entwickeln, um eine techno-ökonomische Analyse mit dem Zweck der Übertragung auf andere Standorte bzw. ähnliche Cluster und Technologiekombinationen durchzuführen. Ziel ist es die THG-Minderungen und das Kosten-Nutzen-Verhältnis bewerten zu können sowie eine intelligente Anlagenbetriebsstrategie zu entwickeln.

abbildbaren Sektoren (GHD, Industrie) mittels einer smarten Infrastruktur gesammelt und an ein zentrales Datenbanksystem übertragen.

Nachdem bereits die Erfassung des elektrischen Stromverbrauchs fertiggestellt werden konnte, wurde im Jahr 2020 ein Konzept zur Erfassung der Gasflüsse am GWI erstellt. Dabei wurde ein Augenmerk auf die Verwendung von verschiedenen Messtechnologien gelegt, d. h. neben Balgengas- und Turbinenradzählern wird für die industrieähnlichen Anwendungen am GWI auch ein Ultraschallgaszähler zum Einsatz kommen. Die Installation der Zähler wird durch die Firma Gasklar aus Wiesmoor durchgeführt und vermutlich zur Jahresmitte 2022 erfolgen. Die anfallenden Messdaten werden dann in die bestehende Messdateninfrastruktur integriert. Die Messdaten werden durch modulare Software digital und automatisiert erfasst und an das zentrale Datenbanksystem basierend auf einer PostgreSQL-Datenbank mit TimeScaleDB Erweiterung, die sich ideal für Zeitserien eignet, weitergeleitet. Auf diese Weise stehen die Messdaten der Energieflüsse für unsere F&E-Vorhaben und zur Visualisierung mit web-basierte Dashboards zur Verfügung.

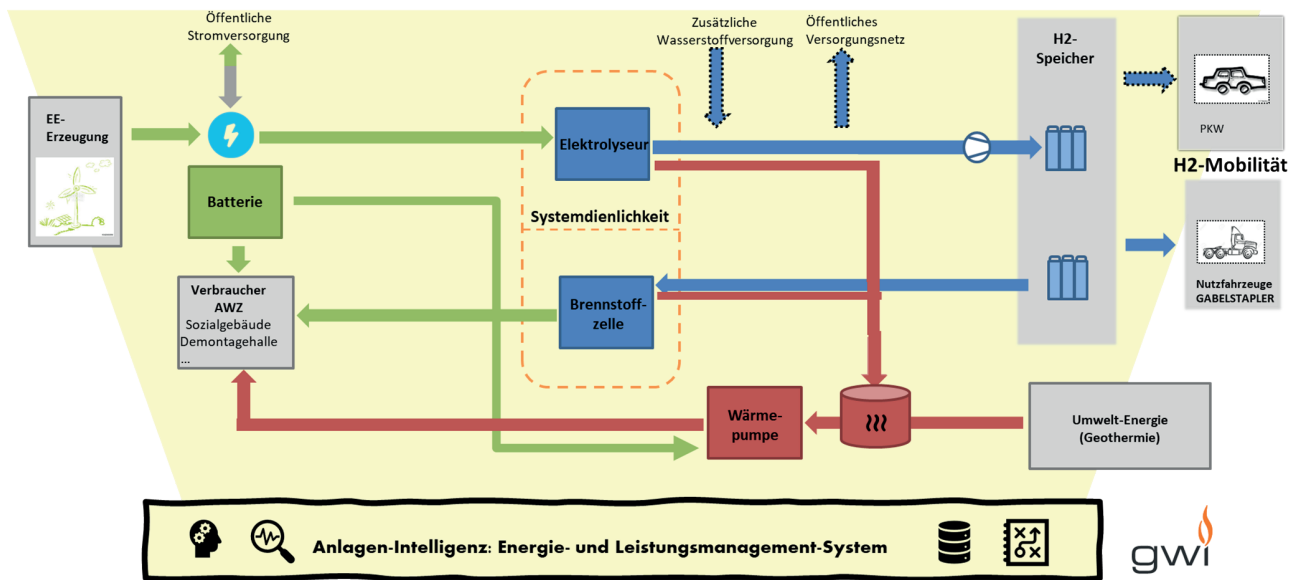


ABBILDUNG 26: WASSERSTOFFBASIERTES, INTEGRIERTES STROM- UND WÄRMEENERGIESYSTEM

Im Rahmen des Projektes „TrafoKommunE“ wird ein Living Lab am GWI aufgebaut, welches als Reallabor der Forschung und als technologischer Schaukasten für kommunale Partner der Energiewende dient. Dazu werden die Verbrauchsdaten der am Standort vorhandenen Einzeltechnologien (KWK, Wärmepumpen, Batteriespeicher, SOFC, LNG-Tank etc.) und

Neben dem Monitoring des Energieverbrauchs am GWI steht die digitale Infrastruktur des Living Labs auch anderen Projekten zur Verfügung. So hat das GWI in Kooperation mit der D0data GmbH im Rahmen des Projekts „IQDortmund“ die Übertragung von Echtzeitdaten einer Fernwärmeübergabestation über LoRaWAN und verschlüsseltem MQTT an das

Living Lab realisiert. Dafür wurde ebenfalls ein Dashboard entwickelt, welches neben der Datenvisualisierung auch erste Ansätze zur statistischen Analyse ermöglicht.

Des Weiteren steht das GWI im engen Austausch mit den Forschungspartnern. So wurde beispielsweise das EnergyLab 2.0 des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) besucht und neben interessanten Eindrücken konnten auch Impulse für das Living Lab gesammelt werden.

bung erbracht werden. Denn dieser ist der notwendige Entwicklungsschritt, um hybride SOFC-Systeme zeitnah als zentrale Komponente eines nachhaltigen und resilienten Energiesystems zu etablieren.

Der Bau der Anlage wird im Rahmen des Projektes „**Demo Hybrid-SOFC**“ mit rund 6 Mio. € aus Mitteln des Operationellen Programms EFRE NRW 2014 - 2020 und des Landes NRW gefördert. Das Projekt ist eines von zwei Verbundprojekten unter dem Dach des Virtuellen Instituts | KWK.NRW, in dem die For-

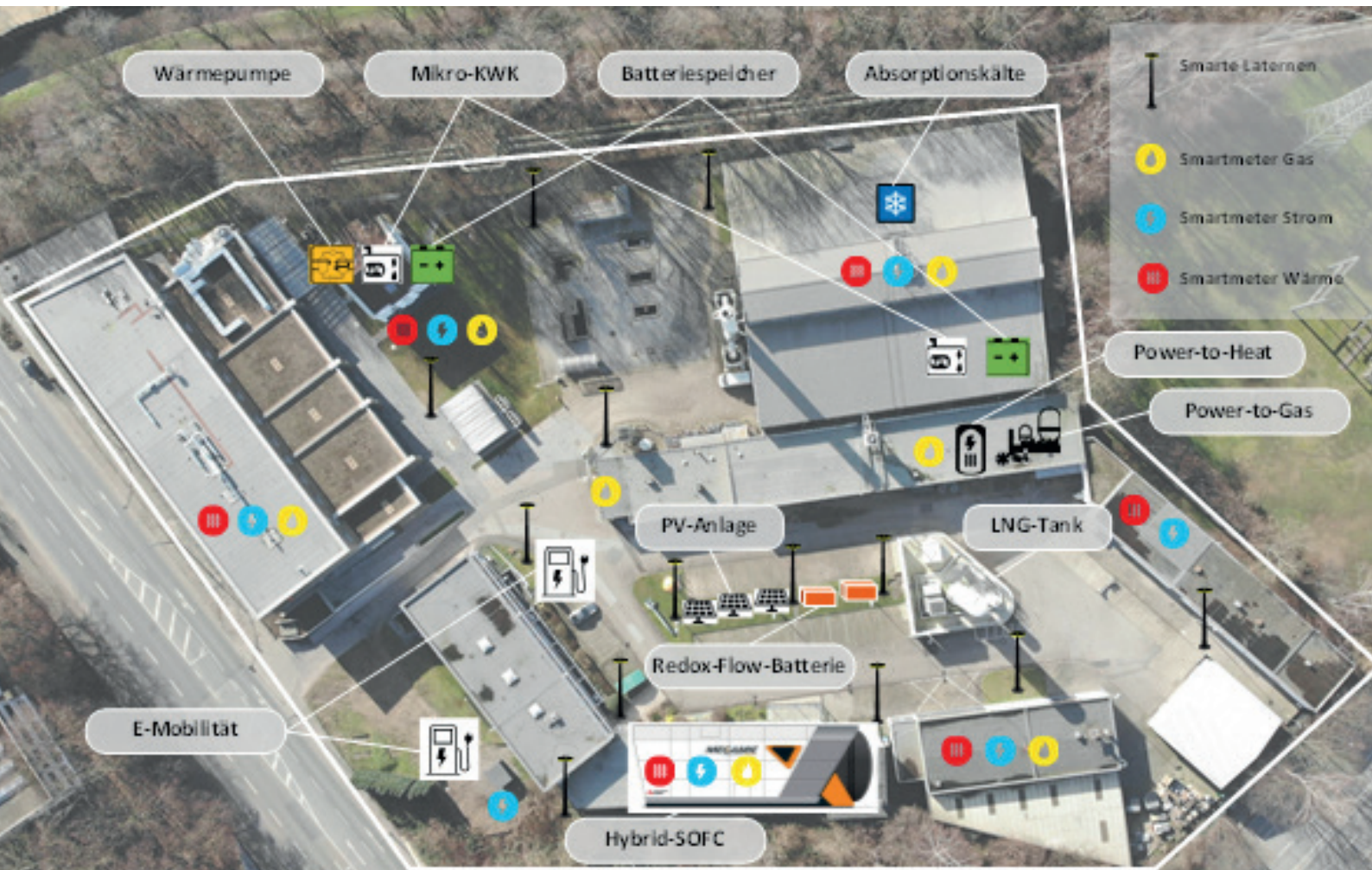


ABBILDUNG 27: LIVING LAB AM GWI

Im Mai 2021 wurde am GWI zusammen mit der Mitsubishi Power Europe GmbH der Bau des europaweit ersten Hybrid-SOFC-Systems begonnen. Die Demonstrationsanlage wurde mit moderner Mess-, Informations- und Kommunikationstechnik ausgestattet und in die Forschungsinfrastruktur des GWI, das LivingLab, eingebunden. So kann der Pilotbetrieb nach der Inbetriebnahme im Juni 2022 wissenschaftlich begleitet und der Nachweis der Flexibilitäts- und CO₂-Minderungspotenziale in einer realen Betriebsumge-

schungspartner aktuelle Fragestellungen zur Energieversorgung mittels flexibler Brennstoffzellen-Konzepte bearbeiten.

Das System, das aus einer tubularen SOFC und einer nachgeschlagenen Mikrogasturbine besteht, wird in die Energieinfrastruktur des GWI und in die vorgelagerten Netze integriert. Dazu wird eine neue Transformatorstation errichtet und die Gasübergabestation so umgebaut, dass das System sowohl mit Erdgas

aus dem öffentlichen Netz als auch mit LNG aus dem lokalen Tank versorgt werden kann. So wird zum einen die Eigenversorgung des Standortes mit Strom und Wärme ermöglicht als auch die Stromeinspeisung in das öffentliche Netz.

bundprojekt „iFlex KWK 4.0“ in die Modellierung des Systems und in die Simulation dessen im Kontext einer nachhaltigen und resilienten Energieversorgung von Quartieren und von industriellen Insellösungen ein. Durch die Einbindung des Hybrid-SOFC-Systems

in das Living Lab des GWI werden die dazu benötigten zeitlich hochaufgelösten Informationen bereitgestellt. Des Weiteren wird der Zugriff auf die Betriebsdaten in Echtzeit ermöglicht, sodass Optimierungsansätze in Bezug auf das Anlagenmanagement aus dem Betrieb abgeleitet werden.

Auch der Einsatz unterschiedlicher Brenngase steht zunehmend im Fokus der Energiewirtschaft und



ABBILDUNG 28: HYBRID-SOFC-SYSTEM AUF DEM GWI-GELÄNDE

Ziel des aktuellen FuE-Projektes ist es, die Effizienz und Flexibilität hybrider SOFC-Systeme zu ermitteln, da diese von besonderer Wichtigkeit für ein nachhaltiges und resilientes Energiesystem sind. Im Fokus stehen das An- und Abfahrverhalten sowie der Betrieb in Teillast. Diese sind sowohl aus Hersteller- als auch aus Betreibersicht von besonderer Bedeutung, da es in Japan zwar diverse kommerzielle Anwendungen gibt, das System aber für den deutschen Markt adaptiert werden musste. Unter anderem wurde eine Fernwirktechnik ergänzt, die dem Netzbetreiber die Begrenzung der Einspeiseleistung ermöglicht. Ziel dieses ersten Projekts ist der Nachweis der Anlagenflexibilität, der CO₂-Minderungspotenziale im stationären und instationären Betrieb und damit der Nachweis, dass hybride SOFC-Systeme für den dezentralen Einsatz im deutschen Energiesystem qualifiziert sind.

Neben den experimentellen Untersuchungen finden weitere Forschungsaktivitäten auf Basis analytischer und modellbasierter Methoden statt. Die am Standort generierten Betriebsdaten fließen dazu im Ver-

-politik. Entsprechend müssen Hersteller belastbare Aussagen zur Funktionalität, Robustheit und Anlageneffizienz zu diversen oder sogar schwankenden Gasqualitäten treffen können. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Substitution von (leitungsgebundenem) Erdgas durch LNG, Biogas und vor allem regenerativ erzeugte Brenngase, wie synthetisches Methan (engl. synthetic natural gas; SNG). Die Beimischung von Wasserstoff, welcher mittels Elektrolyse CO₂-neutral bereitgestellt werden kann, ist heute bereits bis zu 20 % möglich und stellt einen zukünftigen Entwicklungsschwerpunkt von Mitsubishi und dem GWI dar.

Am Beispiel des Fernwärmenetzes der Stadt Dortmund werden in „IQDortmund“ die Potenziale und Herausforderungen der Transformation für Wärmenetze aufgezeigt. In Kooperation mit der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW21) wird sich dabei eine Steigerung der Effizienz des aktuellen und geplanten Wärmenetzes zum Ziel gesetzt. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es einer grundlegenden Analyse des Versorgungsgebietes der DEW21,

um anhand dieser eine Energiesystemmodellierung des Wärmenetzes durchzuführen. Hierzu wurde in „IQDortmund“ eine Toolchain entwickelt mit der es möglich wurde das Versorgungsgebiet der DEW21 zu modellieren und dynamisch zu simulieren.

Zunächst wird hierzu anhand einer grundlegenden Analyse der aktuelle Wärmebedarfs sowie in Rücksichtnahme von Sanierungsquoten der zukünftige Wärmebedarf der Gebäude scharf ermittelt. Ebenfalls erfolgt eine Analyse geografischer Besonderheiten und städtebaulicher Strukturen. Anhand dieser Analyse kann somit beispielsweise die für die Wärmenetzplanung wichtige Liniendichte hochaufgelöst ermittelt werden und weitere potenzielle Erschließungsgebiete bestimmt werden (siehe Abbildung 29). Anschließend wird der Wärmebedarf der einzelnen Gebäude verwendet, um für die Simulation notwendigen Lastprofile zu erstellen. Zusätzlich wird mittels dieser Analyse für geplante zukünftige Er-

schließungsgebiete der Trassenverlauf des zukünftigen Wärmenetzes ermittelt bzw. optimiert.

Im Anschluss der grundlegenden Analyse erfolgt die Modellierung des Wärmenetzes im aktuellen Zustand sowie für zukünftige Ausbauszenarien (2035, 2045). Hierzu wurde die in „IntegraNet I“ entwickelte Modellbibliothek hinsichtlich der Simulation großer Wärmenetze optimiert, erweitert und für die Modellierung angewandt. Im Zuge dessen ist es gelungen, das gesamte Versorgungsgebiet der DEW21 dynamisch zu simulieren. Im weiteren Verlauf des Projektes erfolgen tiefgehende Analysen und Optimierungen hinsichtlich verschiedener Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz des aktuellen und geplanten Wärmenetzes. Ergänzend können auf Grundlage des dynamischen Modells Untersuchungen hinsichtlich der Resilienz des Dortmunder Wärmenetzes auf Ausfallsituationen von Wärmeerzeugern untersucht werden.

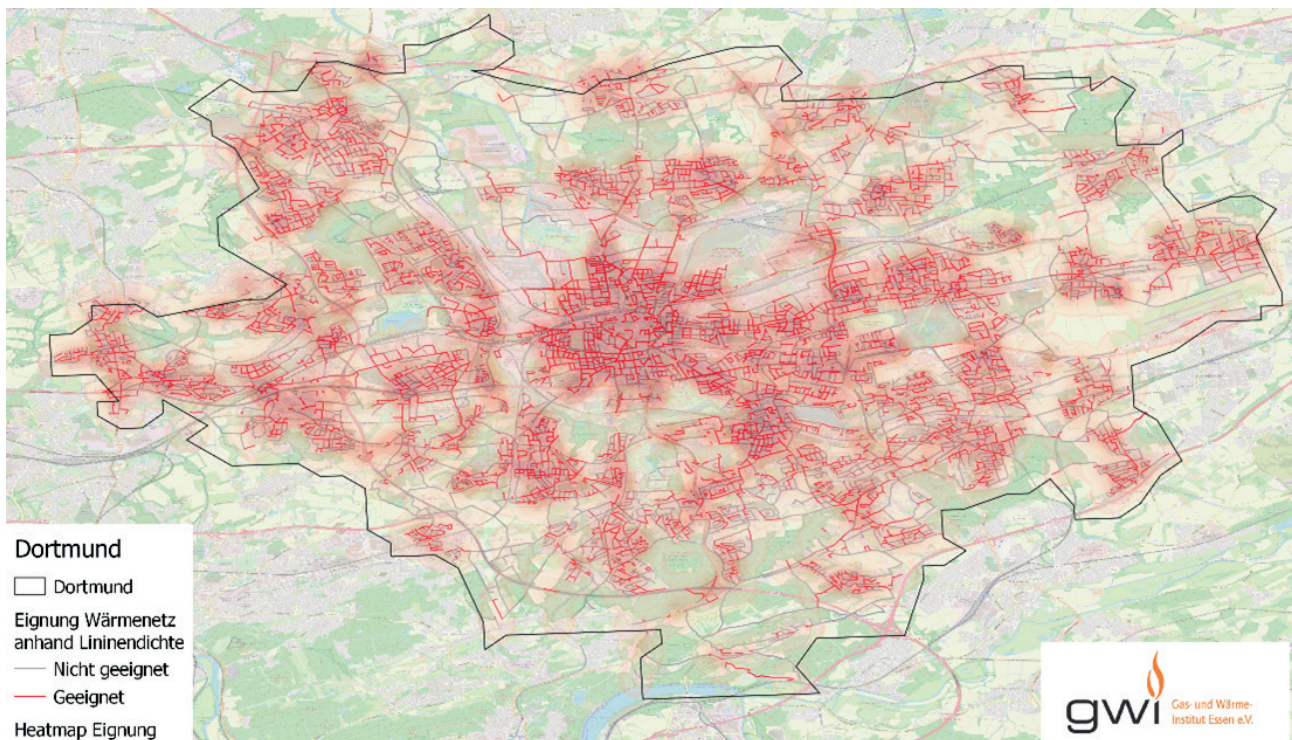


ABBILDUNG 29: EIGNUNG DORTMUNDER STRASSEN ANHAND IHRER WÄRMELINIENDICHTE FÜR WÄRMENETZE

PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

Veröffentlichungen 2021

Huber, A., Flayyih, M., Burmeister, F., Lange, M., Albus, R., Görner, K.: Efficient design of experiments for a time intensive dynamic simulation of a grid-driven micro-CHP unit | EuroHeat&Power 11/2021

Nowakowski, T., Schneider, T., Giese, A., Rimpel, E., Martl, M., Bem, T.: Steigerung der Energieeffizienz durch die Nutzung heißer Kühlluft mit einem neuen Verbrennungskonzept | Prozesswärme 02/2021

Lucke, N.: 3 Fragen an Nadine Lucke
"Wir testen Systemflexibilität mit hybrider Brennstoffzelle" | energate 03/2021

Senner, J.: "Wir zeigen, welche unterschiedlichen Technologien dem Energiesystem der Zukunft helfen können." | Interview SINTEG - BMWi 2021

Bär, K., Leiblein, J., Graf, F., Kühn, M., Bäuerle, M., Müller, S., Benthin, J.: Erste Ergebnisse des DVGW-Leitprojektes "Roadmap Gas 2050"
Teil 1: Vergleich von H₂-Bereitstellungsoptionen | ewp 04/2021

Burmeister, F., Tali, E., Giese, A., Pietsch, P., Dörr, H.: Erste Ergebnisse des DVGW-Leitprojektes "Roadmap Gas 2050"
Teil 2: Untersuchungsergebnisse zur H₂-Verträglichkeit von Gasanwendungen | ewp 05/2021

Grube, E., Heinrich, P., Röder, M., Steyer, N.: Untersuchungen zum Direkteinsatz von Biogas in Metallurgiebetrieben | Biogas Journal 4/2021

Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K.: Grüner Wasserstoff: Dekarbonisierung von Prozesswärme | GIESSEREI – Die Zeitschrift für Technik, Innovation und Management 09/2021

Leicher, J., Islami, B., Giese, A., Görner, K., Overath, J.: Wasserstoff in der Glasindustrie: HyGlass – Prozesswärme für industrielle Anwendungen | HZwei – Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen, Heft 04 10/2021

Gräf, D., Marscheski, J., Ibing, L., Hucklebrink, D., Fiebrandt, M., Hanau, G., Bertsch, V.: What drives ca-

capacity degradation in utility-scale battery energy storage systems? The impact of operating strategy and temperature in different grid applications | Journal of Energy Storage 11/2021

Fiebrandt, M., Röder, J., Wagner, H.-J.: Minimum loads of coal-fired power plants and the potential suitability for energy storage using the example of Germany | Wiley Online Library 12/2021

Schwarz, S., Gerstein, D., Gröschl, F., Bartsch, V., Graf, F., Lucke, N., Leicher, J., Burmeister, F., Giese, A., Bäuerle, M., Albus, R., Kukuk, J. S.: GAS | BWK BD. 73 (2021) NR. E-PAPER-SPECIAL

Görner, K., Albus, R.: Tätigkeitsbericht 2019/2020 | 2021

Vorträge und Poster 2021

Leicher, J.: Gas quality/hydrogen: Impact on combustion processes and principles of mitigation | Prime Mover's Group 02/2021

Senner, J., Fehler, A.: SINTEG Projekt DESIGNETZ - Blaupause für das Stromnetz der Zukunft | FGH Jubiläums-Fachtagung - "Energiesysteme 2050 - Szenarien zur Sektorenkopplung", online 03/2021

Giese, A.: Wasserstoff vs. Erdgas – Einsatz in der Glasindustrie | Fachausschuss Glas 03/2021

Görner, K.: Energiewende Industrie | Energiewende Industrie 03/2021, online

Giese, A.: Effizienzsteigerung in der Thermoprozessindustrie mit Hilfe der additiven Fertigung | Energiewende Industrie 03/2021, online

Leicher, J.: Grüner Wasserstoff als Brennstoff für die Glasindustrie | Energiewende Industrie 03/2021, online

Görner, K.: GWI - Institut und Arbeitsgebiete | CIVITAS connect 03/2021

Görner, K.: H₂: Herstellung und Verwendung in verschiedenen Sektoren | DFK-Webinarreihe zum Thema Wasserstoff 03/2021

Senner, J.: Flexibilität – „Überall-Dezentral-Vielseitig“ | Designnetz-Abschlussveranstaltung 03/2021

Görner, K.: Wasserstoff ist die Basis der Energiewende | H₂-Beirat der Stadt Essen 04/2021

Giese, A.: Einsatz von erneuerbaren Gasen in der Industrie zur Reduzierung der CO₂-Emissionen am Beispiel Wasserstoff - Wasserstoff im Erdgas – Auswirkungen auf die industriellen Verbrennung - | Hütentag, 04/2021, Online

Giese, A.: Auswirkungen auf Industrielle Gasanwendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der Glasindustrie | Modulreihe Wasserstoff - Zukunft in der Energiewirtschaft- DVGW - H₂ Kompetenznetzwerk in der Beruflichen Bildung 07/2021 - online

Görner, K.: Sector Coupling Energy-Chemistry - Challenges and Chances | VGB Congress 2021 09/2021

Fiehl, M., Schneider, T., Giese, A., Görner, K., Feller, B., Moldovan, D.-A., te Kaat, J.: Rekuperatorbrenner aus dem 3D-Druck zur effizienten Wärmerückgewinnung | 30. Flammentag 09/2021, Hannover

Schneider, T.: Rekuperatorbrenner aus dem 3D-Druck zur effizienten Wärmerückgewinnung | 30. Flammentag 09/2021, Hannover

Görner, K.: Wasserstoff, Power-to-X, Sektorenkopplung - Zentrale Elemente einer erfolgreichen Energiewende | 34. UDE-Universitätswochen 10/2021, Moers

Görner, K.: Wasserstoffinfrastruktur - Optionen und Herausforderungen | UAR-Workshop: Wasserstoff als Chance für das Ruhrgebiet 11/2021

Görner, K.: Pre-Engineering-Studie: Gas-KWK im Vergleich | RRP-Workshop: Projects for Future 11/2021

Görner, K.: RRP Think Tank für die Herausforderungen von morgen | RRP-Workshop: Projects for Future 11/2021

Lucke, N.: Virtuelles Institut | KWK.NRW Neue Forschungsinfrastrukturen im virtuellen Netzwerk | 1. Workshop der Fördermaßnahme „Forschungsinfrastrukturen“ des Landes NRW 04/2021

Giese, A., Overath, J., Islami, B.: HyGlass - Hydrogen utilization in the glass industry as a possibility to re-

duce CO₂ emissions

HyGlass - 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" | 94. Glastechnische Tagung 05/2021 - online

Leicher, J., Giese, A., Islami, B., Görner, K., Overath, J.: HyGlass - Hydrogen utilization as a decarbonization measure for the glass industry | glass international: Hydrogen in Glass Manufacturing 06/2021

Giese, A., Overath, J., Islami, B.: HyGlass Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase " | Essener Energieforum 2021 06/2021

Leicher, J., Islami, B., Giese, A., Görner, K., Overath, J.: Klimafreundliche Prozesswärmeerzeugung durch Wasserstoff in der Glasindustrie: Das Projekt HyGlass | 3. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium 10/2021

Lange, M., Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Key applications and technologies of hydrogen for driving the decarbonization of energy-intensive sectors HyGlass-Project: Hydrogen utilization as a decarbonization measure for the glass industry | Korean-German Business and Technology Seminar 09/2021

Giese, A.: Auswirkungen auf Industrielle Gasanwendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der Glasindustrie | Modul 4. Wasserstoff in der Gasanwendung 12/2021

Lange, M.: Erfahrungen mit H₂ Nutzungen im Versorgungsbereich Verteilnetz | SWaktiv: Wasserstoff - Eine gute Idee für die Energiewende? 09/2021 - online

Leicher, J., Cigarida, H., Talie, E., Schaffert, J., Giese, A., Burmeister, F., Görner, K.: Untersuchungen zu den Auswirkungen der Wasserstoffeinspeisung in Erdgas auf Verbrennungsprozesse in der häuslichen und gewerblichen Gasverwendung | 30. Deutscher Flammentag zur nachhaltigen Verbrennung 09/2021, Hannover

Giese, A.: Auswirkungen auf industrielle Gasanwendungen der Thermoprozesstechnik am Beispiel der Glasindustrie | Modul 4. Wasserstoff in der Gasan-

wendung 10/2021

Giese, A.: Ergebnisse der Verbrennung von Wasserstoff zur Erzeugung von Wärme in der Glasherstellung | Wissenschaft trifft Wirtschaft: Forschung für eine klimaneutrale Industriezukunft 10/2021

Giese, A.: Gas in zukünftigen Energiesystemen - Einsatz erneuerbarer Gase in der Thermoprozessindustrie - | VGB-Fachtagung 09/2021

Giese, A.: Wasserstoffeinsatz in der Glasindustrie | VAIS-Webinar: Wasserstoff in der Glasindustrie 09/2021

Giese, A.: Wasserstoff in der Thermoprozesstechnik | Industrielle Brenntechnik und nachhaltige Wärmeerzeugung 11/2021, Linz

Giese, A., Overath, J., Fleischmann, B.: HyGlass - aktuelle Ergebnisse des BV Glas/GWI Forschungsprojektes zur Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie | AK Energie und Klimapolitik 09/2021

Giese, A.: HyGlass - erste Erkenntnisse des BV Glas/GWI Forschungsprojektes zur Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie | AK Energie und Klimapolitik 03/2021

Lucke, N.: Virtuelles Institut | KWK.NRW Rückblick - Einblick - Ausblick | 6. Workshop Virtuelle Institute, Workshop der EA.NRW 11/2021 - online

Senner, J.: "Rück- und Ausblick" beim Virtuellen Institut - Strom zu Gas und Wärme | 6. Workshop Virtuelle Institute, Workshop der EA.NRW am 11/2021 - online

Röder, M., Kaiser, J., Möntmann, D., Grote, M., Giese, A., Görner, K.: Entwicklung eines Brennersystems für den Einsatz regenerativer Brennstoffe der 3. Generation - Untersuchung des Verbrennungsverhaltens bei hohen Wassergehalten | 30. Deutscher Flammentag, Leibniz Universität Hannover 09/2021, Hannover-Garbsen

Kaiser J., Röder, M., Möntmann, D., Grote, M., Giese, A., Görner, K.: Entwicklung eines Brennersystems für regenerative Brennstoffe der 3. Generation mit integriertem Verdampfungskonzept für Flüssigbrennstoffe | 3. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium, 10/2021

Leicher, J.: THyGA Workshop WP3: Input from combustion theory | Online Workshop, 12/2021

Giese, A., Overath, J.: HyGlass Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase" | Effiziente Nutzung von Wasserstoff in der Glas-, Keramik-, Papier- und NE-Metallindustrie 11/2021

Giese, A.: Technischer Einsatz von Wasserstoff in Industrie und Energieerzeugung | Im Fokus: Wasserstoff - Live-Workshop 11/2021

Giese, A., Overath, J.: HyGlass Wasserstoffnutzung in der Glasindustrie als Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und des Einsatzes erneuerbarer Gase" | IN4climate.NRW - Vernetzungstreffen Wasserstoff zur Prozesswärmeerzeugung 08/2021, Gelsenkirchen

Albus, R.: Übersicht Brennstoffzellen-Technologien im kleinen Leistungsbereich. Gasturbinen und KWK-Anlagen im Kontext einer Wasserstoffwelt | Experten-Workshop des Netzwerks Kraftwerkstechnik 02/2021

Albus, R.: Living Lab – Vernetzte Energiewende durch intelligente Infrastruktur. DIGITAL CITY – Straßenbeleuchtung als Player, Infrastruktur-Säule Straßenbeleuchtung | Chancen für die Smart City, 02/2021

Albus, R.: Potential und Perspektiven von Gas-Plus-Technologien | Gaskursus des Engler-Bunte-Instituts 03/2021

Albus, R.: Wasserstoff in der Anwendung für Haushalt und Industrie - F&E-Aktivitäten auf dem Weg zu 100 % Wasserstoff | DVGW-Technikforum Wasserstoff 04/2021

Albus, R.: Auswirkungen von grünen Gasen auf Industrieprozesse | 60min:Greentech.Ruhr 05/2021

Albus, R.: Herausforderung der Peak-Phase der Marktraumumstellung aus Sicht des GWI | Expertendiskussion der Dienstleistungsinitiative Erdgasumstellung 05/2021

Albus, R.: Die Marktraumumstellung in der Umsetzung – Hintergründe, Vorbereitung und Durchführung | Fachveranstaltung der DVGW Bezirksgruppe 06/2021, Duisburg

Albus, R.: Gasanwendung auf dem Weg zur H₂-Readiness - Aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven | Gesundheitstechnische Gesellschaft e. V. 06/2021

Albus, R.: Zukunft des Energieträgers Gas | Rhein Ruhr Power Top Thema 09/2021

Albus, R.: Status H₂-Readiness Gasanwendung in der Gebäudeenergieversorgung | DVGW Modulreihe Wasserstoff | Zukunft in der Energiewirtschaft, Modul 4: Wasserstoff in der Gasanwendung – Auswirkungen auf Bauteile und Gasgeräte 10/2021

Albus, R.: Klimaschutz mit Gas (CO₂-Minderungs- und Vermeidungskosten von Sanierungsmaßnahmen) | Online-Fachforum im Rahmen der gat | wat 2021 10/2021

Albus, R.: H₂-Readiness von Gasbrennwertgeräten | Impulsvortrag zur Podiumsdiskussion der gat | wat 2021: Effizienz und Nachhaltigkeit im Wärmemarkt, 11/2021

Abschlussberichte 2021

Schaffert, J., Fischer, P., Leicher, L., Burmeister, F., Flayyih, M., Cigarida, H., Albus, R., Görner, K., Milin, P., Carpentier, S., Krishnaramanujam, K., Bohms, O.B., Endisch, J., de Wit, K., Geerts, E., Schweitzer, J.: THyGA project: Impact of hydrogen admixture on combustion processes – Part II: Practice

Flayyih, M., Schaffert, J., Burmeister, F., Albus, R., Görner, K., Milin, P., Carpentier, S., Krishnaramanujam, K., Endisch, J., de Wit, Kris, Geerts, E., Schweitzer, J.: THyGA project: Market segmentation of domestic and commercial natural gas appliances

Schaffert, J., Flayyih, M., Burmeister, F., Albus, R., Görner, K., Milin, P., Schweitzer, J.: THyGA project: Testing programme for hydrogen tolerance tests of domestic and commercial natural gas appliances

Leicher, J., Schaffert, J., Carpentier, S., Albus, R., Görner, K.: THyGA project: Impact of hydrogen admixture on combustion processes - Part I: Theory

Röder, M., Giese, A., Steyer, W., Heinrich, P., Grube, E.: Direkteinsatz von Rohbiogas in der Metallurgie zur Senkung der CO₂-Emissionen - Auswirkungen von variablen Rohbiogasmengen und schwankenden Methangehalten auf die Produktqualität und Prozessstabilität - MetaCOO

Wenzel, M., Scholten, J. Frankenhoff, F., Flayyih, M., Heyer, A., Bäuerle, M., Burmeister, F., Albus, A., Görner, K., van Haaren, A., Kubik, S., Kannenberg, Y., Rahmouni, I., Heckschen, M., Scholten, L., Stemmer, H., Kakk, U., Schillings, M., Kwyas, M., Grinewitschus, V., Grimmelt, M., Fromm, O., Weichert, A., Börner, M., Winter, M., Hunecke, M., Nies, M., Heppner, H.: Anlagen- und Betriebsoptimierung zur Flexibilisierung des KWK-Betriebs mit innovativen Speichertechnologien - KWK plus Speicher

Lucke, N.: Wissenschaftlich-experimentelle Integration, Demonstration, Evaluation und Analyse "idea" von nachhaltigen und innovativen Brennstoffzellen-Anwendungen für Insel-Energie-Systeme "SUNIES"

Wortmann, B. Burmeister, F., Albus, R., Dörr, H., Nie, Y., Schreiber, T., Müller, D., Witte, N., Verheyen, O., Heinrich, P., Wenzel, T., Pietsch, Ph.: Smart District 2: Entwicklung von Konzepten und Projektskizzen zur Sektorenkopplung in Quartieren

Schneider, T., Fiehl, M., Giese, A., Feller, B., Moldovan, D.-A., te Kaat, J.: Entwicklung eines additiv gefertigten rekuperativen Brennersystems zur Effizienzsteigerung und Schadstoffreduzierung (Akronym: AdReku)

Studentische Arbeiten 2021

Deev, V.: Die Auswirkung der Wasserstoffbeimischung auf den Betrieb eines Heizungsgerätes der häuslichen Anwendung mit Bezug auf die Abgasemissionen

Jurchuk, E.: Analyse der Auswirkung unterschiedlicher Wasserstoffkonzentrationen auf einen Gasnetzabschnitt mittels dynamischer Simulation

Arnoldi, L.: Energetischer und ökologischer Vergleich unterschiedlicher KWK-Technologien in Kombination mit Batteriespeichersystemen in Einfamilienhäusern

Redicker, C.: Power-to-X als Flexibilitätsoption – Simulation einer Laboranlage und Übertragung auf einen größeren Anlagenverbund mit regionalen Energiedaten

Wieland, D.: Entwicklung eines Modells zur Prognose des Wärmenetzausbaus mittels geografisch aufgelöster Analyse der Erzeuger- und Verbraucherstruktur

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 2021 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