



Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.

DAS ENERGIE-INSTITUT IN ESSEN

www.gwi-essen.de

TÄTIGKEITSBERICHT 2018

GAS- UND WÄRME-INSTITUT ESSEN E.V.



INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeiner Überblick	4
Bildungswerk	7
Prüflaboratorium	9
Marktraumumstellung	11
Forschung und Entwicklung	12
Industrie- und Feuerungstechnik	12
Brennstoff- und Gerätetechnik	19
Publikationen und Vorträge	27
Impressum	32



ALLGEMEINER ÜBERBLICK

Das Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (GWI) kann auf ein erfolgreiches und ereignisreiches Jahr 2018 zurückblicken.

Das GWI positioniert und präsentiert sich verstärkt als „technischer“ Komplett Dienstleister sowie als Mittler zwischen der grundlagenorientierten Forschung an Hochschulen und Universitäten und der praktischen Anwendung in der Industrie. Anregungen und Methoden aus der Forschung werden auf ihre Praxistauglichkeit geprüft und in enger Kooperation mit Partnern aus Industrie und Forschung in Industrieprozesse eingeführt. Dieser Know-how- und Wissenstransfer ist essentiell für eine nachhaltige

Entwicklung aller Beteiligten und ist zentraler Bestandteil des GWI-Netzwerks. Das GWI versteht sich als Brancheninstitut und entwickelt sich immer mehr zu einem anwendungstechnischen Energie-Institut weiter (Gas, Wärme, Strom). Für die Zukunft wird und will sich das GWI als „Das Energie-Institut in Essen“ in der Branche entsprechend darstellen.

Mit den zentralen Bereichen Forschung & Entwicklung, Prüflabor, Marktraumumstellung sowie Beratung und Weiterbildung arbeitet das GWI gemeinsam mit seinen Mitgliedern und Kunden an der Zukunftsfähigkeit der Energiebranche in einem sich rasant verändernden Umfeld, vgl. **Abbildung 1**.



1) Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik an der Universität Duisburg-Essen

2) Stabstelle Vorstand (Nachfolge ab 01.01.2019: Dr. Manfred Lange)

Abbildung 1: Organisation des GWI

Der langjährige Koordinator für Forschung & Entwicklung Hr. Dr.-Ing. habil. Ahmad Al-Halbouni wurde zum 31.12.2018 in den wohlverdienten Ruhestand verabschiedet. Seine Nachfolge tritt Hr. Dr. rer. nat. Manfred Lange an, der sich seit April 2018 auf diesen Wechsel vorbereiten konnte.

Durch die enge Verzahnung der interdisziplinär aufgestellten Bereiche versteht sich das GWI als Motor für Innovationen und Umsetzbarkeit. Gestützt auf

die Kompetenz und das Know-how der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Neutralität in der Branche bringt sich das GWI als technologisch fundierte „Stimme pro Gas“ aktiv in die öffentliche Diskussion ein.

Das Themenspektrum ist breit gefächert und reicht von der Gebäudeenergieversorgung über Gewerbe bis hin zu industriellen Anwendungen. Der Gesamtsystemaspekt bestimmt nun das „Denken“, z.B. in der

Gebäudeenergieversorgung verliert die Gebäudehülle ihre Bedeutung als Bilanzgrenze, die vorgelagerten Netze dagegen gewinnen an Bedeutung. Neben innovativen Technologien werden umfassende Informations- und Kommunikationselemente immer bedeutender.

Die wirtschaftlichen Rahmendaten des GWI haben sich wie in den Jahren zuvor weiter positiv entwickelt.

Die ambitionierte Jahresplanung 2018 wurde sowohl hinsichtlich der Gesamterträge als auch des Gesamtergebnisses übertroffen. Die Personalentwicklung ist seit Beginn der DVGW-Innovationsoffensive 2010 und gestärkt durch die F&E-Aktivitäten im Land NRW und im Bund sowie als Dienstleister im Bereich der Marktraumumstellung weiter sehr erfreulich, ebenso wurde die Anzahl der Studenten weiter deutlich erhöht (zurzeit 14), s. **Abbildung 2**.

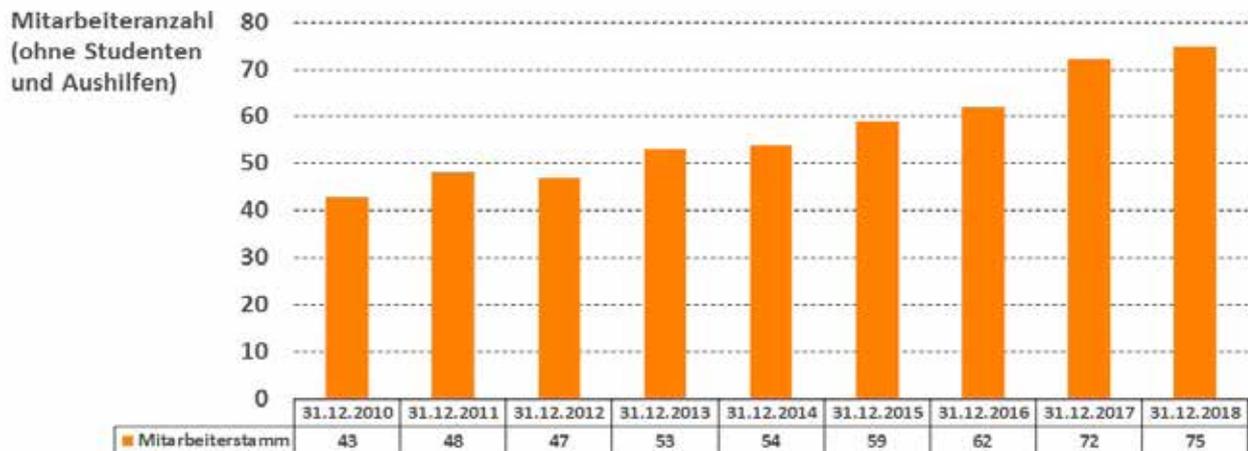


Abbildung 2: Entwicklung der Mitarbeiterzahlen im GWI

Garant für diesen wirtschaftlichen Erfolg, welcher die nachhaltige Gestaltung der Zukunftsfähigkeit des Instituts sichert, sind die auf dem umfassenden Know-how der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter basierenden erfolgreichen Projektakquisitionen in der Forschung & Entwicklung sowie in den Bereichen der Weiterbildung, Prüfung und Marktraumumstellung.

Die Forschungsabteilungen Brennstoff- und Gerätetechnik sowie Industrie- und Feuerungstechnik konnten diverse Projektanträge zu den strategischen Themenfeldern, z.B. Sektorenkopplung, Power-to-X, Gebäudeenergieversorgung, Energiespeicher (Wärme und Strom), Wasserstoff und Konvergenz der Netze (Gas, Wärme und Strom) einreichen und auch neue Forschungsprojekte im Jahr 2018 starten, u.a.:

- Kompetenz-Zentrum Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme (Aufbau eines Elektrolyseurs, einer Methanisierung und einer KWK-Anlage für den Betrieb mit H₂-reichen Gasgemischen), Start 01.07.2018, 36 Monate (MWIDE - Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes NRW),
- Aufbau und Betrieb einer LNG-Technikumsanlage, Start 01.03.2018, 12 Monate (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Projektträger InnoKom),
- Direkteinsatz von Rohbiogas in der Metallurgie zur Senkung der CO₂-Emissionen - Auswirkungen von variablen Rohbiogasmengen und schwankenden Methangehalten auf die Produktqualität und Prozessstabilität, Start 01.05.2018, 30 Monate (AiF - Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen),
- Energieeffizienzsteigerung in der Aluminiumindustrie durch Abwärmenutzung mittels innovativer Regeneratorkreisläufe, Start 01.08.2018, 36 Monate (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Projektträger PtJ),
- Deutschlandweite, hochauflösende Analyse zum Modal-Switch in Wohngebäuden und Wohnquartieren mittels KWK(K)-Anlagen in den nächsten 20 Jahren sowie die Definition von Zielwerten für technische Anforderungen und Biogasanteil für die Gastechnik unter Berücksichtigung unterschiedlicher Förderprogramme, Start 01.09.2018, 18 Monate (DVGW G201817).

Die Aktivitäten der Abteilungen Prüflabor und Marktraumumstellung waren im Wesentlichen geprägt durch:

- Beratungstätigkeiten verschiedener Versorgungsunternehmen und Stadtwerke zu Netzthemen, Innovationen und industrieller Gasanwendung,
- Beratung von Netzbetreibern zum Thema der Marktraumumstellung,
- Durchführung des Projektmanagements und der Qualitätssicherung in Anpassungsprojekten,
- Durchführung von Prüfungen von gastechischen Produkten und Erarbeitung von Gutachten im Prüflabor,
- Mitarbeit in der Weiterentwicklung des DVGW-Regelwerkes, z.B. DVGW G 680 „Umstellung und Anpassung von Gasgeräten“ und DVGW G 695 „Qualitätssicherung von Erhebungs-, Anpassungs- und Umstellungsmaßnahmen bei Gasgeräten“,
- Durchführung des DVGW-Forschungsprojekts „Untersuchung der Gasgeräteanpassung im Zuge der Marktraumumstellung unter besonderer Berücksichtigung des Sonderfalls „Handwerklicher Umbau“ (G201724), Start 01.02.2018, Dauer 9 Monate.

Das GWI wird das Jahr 2019 verstärkt für die Akquisition weiterer Forschungsprojekte nutzen, um die strategischen Themen weiter auszubauen und das Know-how sowie den Wissenstransfer zu verstetigen. Hier bieten sich u.a. durch das 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung hervorragende Ansätze für praxisnahe Verbundforschungsprojekte.

Neben verschiedenen Veröffentlichungen und Vorträgen hat das GWI wiederum die E-world energy & water in Essen genutzt, um die Leistungen und Dienstleistungsangebote einem breiteren Fachpubli-

kum vorzustellen. Auf der Tagung in Berlin präsentierte das GWI auf dem DVGW-Gemeinschaftsstand Forschungsschwerpunkte sowie aktuelle Themen der Branche.

Mit dem seit Jahren anhaltenden Wachstum an Personal sowie breit aufgestellten Themen sind zunehmend Engpässe aufgetreten. Das Institutsgelände, das im Jahr 1970 erworben und 1999 um das Forschungs- und Entwicklungszentrum erweitert wurde, lässt mittlerweile keine Erweiterungsmöglichkeiten mehr zu, s. **Abbildung 3**.



- Das Grundstück an der Hafenstrasse wurde 1970 erworben und bezogen.
- 1. Erweiterung 1999 mit Ziel 2-Mitteln der EU zum Aufbau des Forschungs- und Entwicklungszentrums.
- Von der Stadt Essen 2018 erworbenes Grundstück für die 2. Erweiterung 2019 des GWI.

Abbildung 3: Historie der GWI-Erweiterungen an der Hafenstraße

Daher wurde ein unmittelbar zur Hafestraße angrenzendes Grundstück mit einer Fläche von 1.113 m² von der Stadt Essen erworben, um darauf ein Schulungs- und Verwaltungszentrum zu errichten. Das Neubauvorhaben „Schulungs- und Verwaltungszentrum“ stellt einen wichtigen Schritt in die nachhaltige Sicherung und Weiterentwicklung der Weiterbildung dar. Hier verzeichnet das GWI seit vielen Jahren einen kontinuierlichen Anstieg sowohl an Teilnehmerzahlen als auch an der Anzahl der Veranstaltungen selbst. Die über Jahre gewachsene und weit über das GWI-Gelände verstreute Infrastruktur (Hörsäle, Seminarräume, Praxisschulungsanlagen, Kantine) ist stark in die Jahre gekommen und wird einer modernen Weiterbildungseinrichtung nicht mehr gerecht.

Die Planungen hatten sodann zum Ziel, die erforderliche

Infrastruktur auf einer Ebene mit einem klaren Kommunikationskonzept und optimierten Organisationsstrukturen zusammenzuführen. Neben einer organisatorisch verbesserten Abwicklung von Seminaren und Veranstaltungen können dann Paralleltermine ausgeweitet sowie die Teilnehmeranzahl erhöht werden. Nach Fertigstellung wird das alte Verwaltungsgebäude abgerissen und bietet weitere Erweiterungsmöglichkeiten, z.B. wird das Prüflabor frei gewordene Hallenbereiche durch den Umzug der Praxisschulungsanlagen für Prüfungserweiterungen nutzen.

Die grundlegenden Planungen wurden abgeschlossen (**Abbildung 4 und 5**), der Bauantrag wurde im Dezember 2018 bei der Stadt Essen eingereicht, der Baubeginn soll im 2. Quartal 2019 erfolgen.



Abbildung 4: GWI-Neubauvorhaben, Ansicht von der Hafestraße



Abbildung 5: GWI-Neubauvorhaben, Ansicht vom GWI-Gelände auf den Hörsaalbereich

BILDUNGSWERK

Das Bildungswerk des Gas- und Wärmeinstituts kann erneut auf ein sehr erfolgreiches Jahr zurückblicken. Trotz eines starken Wettbewerbs im Weiterbildungsbereich, ist die starke Position des GWI-Bildungswerks bei unseren Zielgruppen gut verankert. Die Erlöse aus unseren Weiterbildungsveranstaltungen dienen satzungsgemäß dazu, die gemeinnützigen Aktivitäten des Instituts zu unterstützen, vor allem im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen. Im Gegensatz zu rein kommerziellen Veranstaltungen werden diese Gelder damit zur Lösung der Zukunftsaufgaben der Branche verwendet, eine Tatsache, die von unseren Mitgliedsunternehmen und Kunden immer wieder als sehr positiv bewertet wird.

Ein wichtiger Grund für den Erfolg dürfte auch darin bestehen, dass die GWI-Veranstaltungen immer wieder aktuelle Diskussionen und neue Themen aufgreifen und mit erfahrenen Referenten besetzen können. Im Berichtsjahr sind hier erneut unsere Aktivitäten im Bereich der Marktraumumstellung und der L-H-Anpassungsmaßnahmen zu nennen. Eine jährliche Fachtagung führt seit einiger Zeit die Experten in diesem Themenbereich zusammen, diese bewährte und erfolgreiche Tagung wurde im Berichtsjahr erstmals als Gemeinschaftsveranstaltung mit dem DVGW durchgeführt. Unsere GWI-eigenen Fachleute zu diesem Themenbereich sind einerseits konkret im Bereich des Projektmanagements und der Qualitäts-



Abbildung 6: Luftaufnahme des GWI-Gelände

sicherung tätig, andererseits arbeitet das GWI mit bei der Erstellung der Regelwerke und in weiteren Gremien, die sich mit übergeordneten und allgemeinen Fragen befassen. Neben Fragen der konkreten und vor allem organisatorischen Projektabwicklung ist auch immer die Kompetenz des GWI als technisches Institut gefragt, wenn es um die Anpassung von Gasverbrauchseinrichtungen geht, bis hin zur Energieeffizienz von Gasanwendungen. Fragen, die nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche und politische Aspekte berühren.

Neben den Diskussionen und Analysen im Rahmen unserer Fachtagungen, haben wir darüber hinaus einige konkrete Praxismodule zur Schulung der Monteure für die L-H-Anpassung entwickelt. An den Schulungsanlagen in den Labors des GWI können die Teilnehmer konkrete Situationen aus dem Berufsalltag systematisch erarbeiten und üben. Ziel ist häufig die Zertifizierung als Anpassungsunternehmen, zu der entsprechend qualifiziertes Personal gehört.

Generell streben wir bei unseren Veranstaltungen einen hohen Praxisbezug an, wobei sich theoretische Inhalte mit praktischen Demonstrationen und Übungen an den Schulungsanlagen des GWI verbinden. Besonders hervorzuheben ist dabei die Möglichkeit, aktuelle Diskussionen der Branche durch praktische Vorführungen unmittelbar zu veranschaulichen. Derzeit begleiten wir in einem Schwerpunkt die Thema-

tik der Montage von mechanischen, lösbaren Verbindungen bei Rohren und Gasanlagen durch konkrete Übungen für die Praktiker in unseren Versuchshallen. Aus diesem Praxisbezug heraus, wo bestimmte Situationen nicht nur theoretisch besprochen, sondern auch sehr konkret an einer Anlage erfahren und erlebt werden, entstehen regelmäßig sehr interessante Diskussionen, die viel zum Erfolg einer Veranstaltung beitragen.

Das DVGW-Regelwerk und die Arbeit in den Gremien des DVGW sind für die Veranstaltungen des GWI von großer Bedeutung. Die konkrete und ehrenamtliche Mitarbeit bei der Regelwerkserstellung bietet die Möglichkeit, bei der Konzeption von Schulungsveranstaltungen nicht nur den offiziellen Text der Arbeitsblätter zu berücksichtigen, sondern vor allem auch die Diskussionen und Hintergründe vor der Regelwerksverabschiedung und -veröffentlichung mit einfließen zu lassen.

Auch aus der Perspektive des DVGW sind die Veranstaltungskonzepte des GWI sehr interessant, weil auch durch die Arbeit des Instituts das reine Regelwerk handhabbar gemacht wird auf Basis konkreter Projekterfahrungen und der Spiegelung an den Alltagserfahrungen in den Unternehmen.

Diese Transformierung der technischen Regeln in die Praxis ist auch deswegen von Bedeutung, weil das

DVGW-Regelwerk und seine Anwendung in vielen Unternehmen und Institutionen, vor allem außerhalb des eigentlichen Gasfachs, nicht von vornherein als gegeben akzeptiert ist. Hier existieren mit der aktuellen Betriebssicherheits- und Gefahrstoffverordnung, den zugehörigen technischen Regeln sowie mit der zunehmenden europäischen Normung wei-



Abbildung 7: Praxisschulung an einer Gasdruckregelanlage

tere gewichtigere Regelwerke, die deutlich im Wettbewerb zur Relevanz der DVGW-Arbeitsblätter stehen. Um hier Akzeptanzproblemen und einer Abschwächung des anerkannt hohen sicherheitstechnischen Niveaus des DVGW Regelwerks entgegenzuwirken, ist das GWI als Partner sehr wichtig. Einerseits, aufgrund seines direkten Zugangs zu den Unternehmen

als praxisorientiertes Forschungsinstitut und andererseits, aufgrund der Tatsache als neutrales Institut nicht offensichtlich Partei zu sein, weil das GWI kein eigenes Regelwerk vermarkten muss und damit nicht die Gefahr gegeben ist, als parteiisch zu gelten.

Sehr positiv können wir vermerken, dass wir in unseren Veranstaltungen regelmäßig einen sehr interessierten und kompetenten Teilnehmerkreis begrüßen können. Es ist daher selbstverständlich, dass wir auch nach unseren Veranstaltungen für unsere Teilnehmer beratend tätig sind, z.B. bei Fragen zur Interpretation des Regelwerks oder zur Weiterentwicklung des technischen Sicherheitsmanagements in den Unternehmen. Teilweise entwickeln sich aus den Diskussionen mit den Teilnehmern aber auch konkrete Projekte, wie z.B. eine Reihe von Schadensbegutachtungen und rechtlichen Einschätzungen in Anlagen der Netzbetreiber, in der Industrie und in Kraftwerken, die sowohl zu gutachterlichen Stellungnahmen im Hinblick auf die Anlagensicherheit als auch zu entsprechenden Schulungen führen. Dazu gehört auch die Ursachenanalyse bei Unfällen. Hier bewährt sich dann die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Tätigkeitsfelder im GWI, Forschung, Prüfung und Weiterbildung. Gefragt sind bei den Kunden vor allem pragmatische Lösungen, die ohne großen Aufwand umsetzbar sind. Diese Schulungs- und Beratungsprojekte, die sowohl organisatorischer als auch technischer Natur sind, nutzen dabei Synergieeffekte zwischen den unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern des Gas- und Wärme-Instituts.

PRÜFLABORATORIUM PRÜFLABORATORIUM

Das GWI-Prüflaboratorium konnte im Jahr 2018 seine gesteckten Ziele erreichen, insbesondere konnte das Auftragsvolumen im klassischen Prüfgeschäft deutlich verbessert werden. Der wesentliche Grund hierfür lag an der Durchführung etlicher Prüfaufträge im Rahmen der Umstellung von der Gasgeräte-richtlinie auf die neue, seit dem 21. April 2018 geltende Gasgeräteverordnung. Das Angebot zur Prüfung von KWK-Anlagen besteht weiterhin, hier war aber im Jahr 2018 eine große Zurückhaltung seitens der Hersteller bemerkbar. Auf dem Gebiet der Akustikprüfungen wurden weitere Geräteprüfungen durchgeführt, hier konnte sich das GWI-Prüflaboratorium mit seiner messtechnischen Ausrüstung und Know-how bei verschiedenen Herstellern gut positionieren.

Die durch die DAkkS-Akkreditierung des GWI-Prüflaboratoriums vorgegebenen Qualitätsstandards werden konsequent angewendet und kontinuierlich verbessert. 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 Wärmegeräten sowie diverse Bauprodukte im Bereich der Abgas-technik.

Ein weiteres Angebot – wie auch schon in der Vergangenheit – liegt in der Kapazitätsunterstützung

von Herstellern in Form von entwicklungsbegleitenden Prüfungen.

Weiterhin ist das GWI-Prüflaboratorium mit der Pflege der DVGW-Anpassungsdatenbank betraut. Hier wird das Know-how des Prüflaboratoriums sowie der F&E-Abteilungen permanent und gezielt eingesetzt, um die Anpassungsdatenbank auf einem qualitativ hochwertigen Stand zu halten. Durch diese „Pflegearbeiten“ wird gewährleistet, dass der Datenbestand immer besser und genauer wird. Dies stellt eine Grundvoraussetzung für eine hohe Akzeptanz dieser Branchenlösung dar. Für diese umfassenden und verantwortungsvollen Arbeiten wurde eigens ein Mitarbeiter abgestellt, um einen effizienten und reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

In der Marktraumumstellung ist das GWI-Prüflaboratorium weiterhin zu allen Fragestellungen rund um die Gerätetechnik für Netzbetreiber und auch für das GWI-Projektmanagement beratend tätig.

Im Rahmen der betrieblichen Forschung Gas des DVGW wurde 2018 das DVGW-Forschungsvorhaben (G 201724) mit dem Titel „Untersuchung der Gasgeräteanpassung im Zuge der Marktraumumstellung unter besonderer Berücksichtigung des Sonderfalls „Handwerklicher Umbau“ bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen.

Im DVGW-Regelwerk zur Marktraumumstellung fehlt derzeit eine eindeutige Betrachtung zur Anpassung von Gasgeräten, welche sich außerhalb der einschlägigen Gasgeräteherhebung und Anpassung bewegen, d.h. nicht eindeutig über die DVGW-Anpassungsdatenbank als Standardfall zuordnen und anpassen lassen. Die Stückzahl der im Rahmen des Forschungsvorhabens als „Bewertungsfall“ definierten Gasgeräte ist zwar sehr gering, dennoch bedarf es an dieser Stelle einer einheitlichen Vorgehensweise für zukünftige Gasgeräteanpassungen. Zu diesen Bewertungsfällen zählen unter anderem jene Gasgeräte, bei denen beispielsweise der Hersteller nicht mehr existent ist oder der Herstellersupport eingestellt wurde. Im Hinblick auf das zurzeit in Überarbeitung befindliche Arbeitsblatt DVGW G 680 „Umstellung und Anpassung von Gasgeräten“ sollte eine einheitliche Vorgehensweise definiert und die Anpassung der benannten Bewertungsfälle näher untersucht werden.

Neben einer Unterscheidung dieser Bewertungsfälle in einer entsprechend ausgearbeiteten Bewertungsmatrix, wurde im Rahmen des vorliegenden Vorhabens die Anpassung unterschiedlicher Gasge-

räte mit vom Hersteller abweichenden Umrüstteilen untersucht. Dabei wurden parallel zu den originalen Umrüstteilen (vorzugsweise entsprechende Düsen) sowohl Fremdfabrikate als auch Eigenbauten in Form von aufgebohrten Flüssiggasdüsen oder Vorsatzdüsen beim Betrieb verwendet. Zusätzlich zur Messung

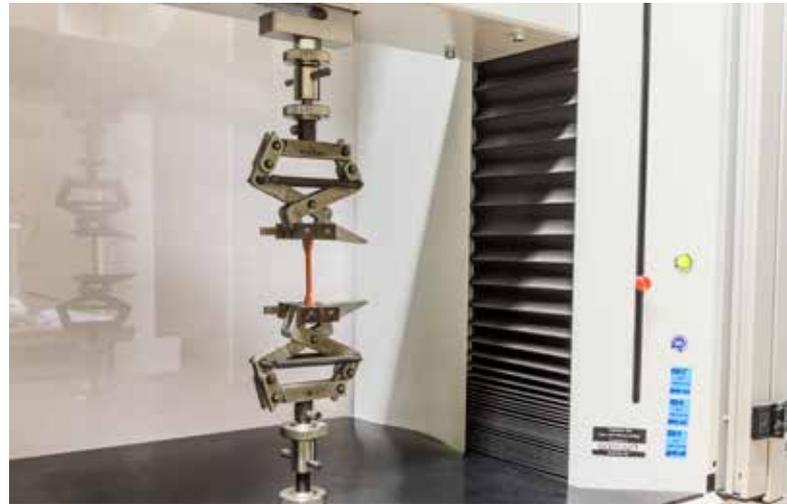


Abbildung 8: Prüfung der Mindestzugfestigkeit von Elastomerwerkstoffen

der Verbrennungshygiene wurden die Auswirkungen der abweichenden Düsen auf die Brennstabilität, das Zündverhalten und andere Auffälligkeiten überprüft. Im Zuge der Laboruntersuchungen wurde festgestellt, dass sieben der zwölf betrachteten Geräte vergleichbare Werte hinsichtlich der Verbrennungshygiene von den verwendeten Fremddüsen und Eigenbauten zu den Originalen aufwiesen und weder Auffälligkeiten bezüglich der Brennstabilität noch des Zündverhaltens zu verzeichnen waren. Bei zwei Geräten konnte mit entsprechend baugleichen Fremddüsen ein unbedenklicher Betrieb festgestellt werden, jedoch reagierten diese Geräte mit kritischen Abgaswerten empfindlich auf eine Anpassung mit Vorsatzdüsen. Bei drei der untersuchten Gasgeräte wird dringend von einer Anpassung mit den beschriebenen Verfahren abgeraten, da kritische Werte der Verbrennungshygiene sowie Auffälligkeiten hinsichtlich der Brennstabilität festgestellt wurden.

Die Bewertungsfälle, welche zu einer der beschriebenen Vorgehensweisen führen, wurden in der genannten Bewertungsmatrix differenziert. In Abhängigkeit der vorliegenden Datenlänge kann anhand der aufgeführten Maßnahmen der einzelnen Fälle ein strukturiertes Vorgehen und eventuell eine abschließende Anpassung der als Bewertungsfall deklarierten Gasgeräte erzielt werden.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erziel-

ten Messergebnisse und Empfehlungen gelten ausschließlich für die untersuchten Gasgeräte in der beschriebenen Konfiguration und erhalten keine Allgemeinverbindlichkeit. Ferner wird vorausgesetzt, dass sich die betroffenen Geräte in einem technisch einwandfreien Zustand befinden und keine Bedenken bezüglich der Gerätesicherheit festzustellen sind. Dieses Vorhaben dient als Orientierung hinsichtlich der Einzelbewertung der im Feld anzutreffenden Gasgeräte und soll eine Vorgehensweise für eine mögliche Anpassung der zuvor als nicht anpassungsfähig deklarierten Gasgeräte definieren.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass jedes

Gerät einer Einzelbewertung bedarf und mit dem Hintergrund erfahrener Anpassungsunternehmen und Monteure, einzelne Gasgeräte auch dann sicher angepasst werden können, falls die Datenlage nicht eindeutig ist oder der Herstellersupport eingestellt wurde. Es wird herausgestellt, dass jeder Eingriff in den Gasgerätebetrieb sowohl mit dem Eigentümer als auch mit dem zuständigen Netzbetreiber abgestimmt werden muss.

Die angesprochene Bewertungsmatrix wurde bereits bei der zurzeit stattfindenden Überarbeitung des DVGW-Arbeitsblattes G 680 berücksichtigt.

MARKTRAUMUMSTELLUNG

Seit 2014 begleitet das GWI erfolgreich die Marktraumumstellung in den Bereichen Projekt- und Qualitätsmanagement. Die Abteilung Marktraumumstellung wurde am 01.07.2017 aufgestellt und besteht zurzeit aus 17 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.

Laut dem aktuellen Netzentwicklungsplan Gas 2018 sind 10 Bereiche in den Versorgungsgebieten der Gasunie Deutschland, Open Grid Europe, Thyssengas und Nowega bereits umgestellt. Die Umstellung erfolgte im Zeitraum 2015 bis 2017, dabei wurden insgesamt 110.000 Gasgeräte angepasst.

In den Jahren 2015 bis 2017 betreute das GWI 23.600 Gasgeräte in den Erhebungs-, Anpassungs- und Schaltphasen, hier waren die Pilotprojekte der Heidjers Stadtwerke GmbH in Schneverdingen und Stadtwerke Böhmetal GmbH in Walsrode sowie die Gasversorgung Grafschaft Hoya und das Netzgebiet der Gelsenwasser Energienetze GmbH betroffen. Die H-Gas Schaltungen in den vier Versorgungsgebieten verliefen ohne besondere Vorkommnisse, die Anpassung der Gasgeräte wurde innerhalb der Plansetzung von 6 Wochen nach den H-Gas Schaltungen abgeschlossen.

In den Jahren 2016 bis 2018 hat das GWI für die Celle Uelzen Netz GmbH die Erhebung, Anpassung und H-Gas Schaltung von 51.105 Gasgeräten begleitet. Eine der großen Herausforderungen dabei war es, 2018 die Netze in zwei H-Gas Schaltungen planmäßig umzustellen. Auch hier konnte das GWI-Projektmanagement seine Ziele erfüllen und zusätzlich viele neue Erkenntnisse in der MRU gewinnen.

Das stetige Kontrollieren der ausgeführten Erhebungs- und Anpassungsarbeiten, eine sorgfältige Überwachung aller Projektphasen mit den einzelnen Prozessstufen sowie das Implementieren von Qualitätsvorgängen sind wesentliche Bestandteile im Projekt. Hierbei werden alle Projektphasen durch Qualitätssicherungsvorgänge kontinuierlich begleitet, analysiert und überwacht.

Erworbene Erkenntnisse und Erfahrungen aus den MRU-Projekten, wie z.B. das Anpassen von Brennwertgeräten vor der Schaltung fließen in die Weiterentwicklung des DVGW-Regelwerks sowie in laufende Forschungsprojekte ein.

Folgende Tätigkeiten führt das GWI durch:

- Technische Beratung und organisatorische Unterstützung von Netzbetreibern zur Vorbereitung, Begleitung und Abschluss der Marktraumumstellung
- Technische Beratung von Industrie- und Gewerbetreibenden bei der Organisation und Durchführung



Abbildung 9: Abgasuntersuchung bei einer Qualitätsicherung

- Durchführung von Qualitätskontrollen nach Arbeitsblatt DVGW G 695 (A) „Qualitätssicherung von Erhebungs-, Anpassungs- und Umstellungsmaßnahmen bei Gasgeräten“
- Unterstützung der Netzbetreiber bei der Entscheidung zum handwerklichen Umbau von älteren Gasgeräten
- Unterstützung bei der Auswahl und Weiterentwicklung der eingesetzten Software
- Pflege der DVGW-Anpassungsdatenbank
- Einbindung des GWI-Prüflabors bei Fragestellungen rund um die Gerätezulassung
- Schulung von Monteuren gemäß Merkblatt DVGW G 106 (M) „Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte für den Gasgeräteumbau im Rahmen einer Änderung der Gasbeschaffenheit; Schulungsplan“
- Erstellung von Arbeitsunterweisungen für Anpassungsmonteure
- Erstellung von Schulungskonzepten bei schlechtem r-Wert
- Durchführung von Schulungen vor Ort
- Durchführung von Info-Veranstaltungen für VIU, Schornsteinfeger, Bürgermeister und RLM – Kunden

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

INDUSTRIE- UND FEUERUNGSTECHNIK

Die Arbeiten der Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik (IFT) am GWI decken ein weites Spektrum an Aufgaben und Fragestellungen ab, von der „klassischen“ angewandten Verbrennungsforschung mit Schwerpunkten wie der Reduktion von Schadstoffemissionen (NO_x ist nach wie vor ein zentrales und aktuelles Thema) oder der Verbesserung von Prozesseffizienz und -flexibilität bis hin zu aktuellen Themen, die sich aus veränderten politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für industrielle Gasverbraucher ergeben. Auch die „Energiewende“ mit den daraus resultierenden Forderungen nach einer verstärkten Einbindung erneuerbarer Brenngase wie Biogas oder „grünem“ Wasserstoff, der Dekarbonisierung von Prozesswärme oder hybriden Heizsystemen für Industrieprozesse, bringt neue Themen und Aufgaben für die Abteilung mit sich.

Der kombinierte Einsatz von experimentellen Untersuchungen im semi- oder voll-industriellen Maß-

stab, an den Brennerprüfständen oder vor Ort beim Anlagenbetreiber, mit detaillierten numerischen Simulationen ist ein entscheidender Weg, um sich anwendungsnahe und lösungsorientiert alten und neuen Herausforderungen im Bereich der industriellen Gasnutzung zu stellen.

Das Jahr 2018 stand für die IFT im Zeichen der Modernisierung der Versuchsanlagen, um für die kommenden Fragestellungen: Wasserstoffzumischung zum Erdgas, Einsatz erneuerbarer Gase in Verbrennungsprozessen usw. gewappnet zu sein.

Modernisierung der Versuchsstände

Im Rahmen einer umfangreichen Investitionsmaßnahme werden die Versuchsstände der IFT modernisiert. Die erste Versuchsanlage steht ab jetzt wieder für die Untersuchung von Brennersystemen zur Verfügung. Der Hochtemperaturofen „Roter Ofen“ ist ausgelegt für eine Brennerleistung von bis zu 1,2 MW



Abbildung 10: Modernisierung der IFT-Versuchshalle, (Quelle: GWI)

und einer maximalen Ofenraumtemperatur von $1.600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Brenneruntersuchungen am Hochtemperaturofen können wahlweise mit Luft, reinem Sauerstoff, Mischungen aus beiden Medien oder sauerstoffangereicherterem Abgas durchgeführt werden. Der gasbeheizte Hochtemperaturluftvorwärmer „EcoReg“ liefert Lufttemperaturen von bis zu $1.250\text{ }^{\circ}\text{C}$ und verfügt nach einem Retro-Fit über eine moderne SPS (S7). Die Infrastruktur des Technikums stellt Luftmengen von bis zu $1.900\text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ zur Verfügung. Für detaillierte Untersuchungen von luftgestuften Brennern ist weiterhin eine sekundäre Verbrennungsluftstrecke vorhanden. Die Einstellung der nötigen Oxidator Mengen erfolgt rechnergesteuert mittels Frequenzumrichter für Verbrennungsluft und über Massendurchflussregler für Sauerstoff. Zur Abbildung einer Wärmesenke (Wärmegut) und zur Konditionierung der Ofenraumtemperatur ist die Ofenanlage mit einem Rückkühlwerk ausgestattet, welches über insgesamt fünf Wärmetauscher dem Ofenraum definierte Wärmemengen entnimmt. **Abbildungen 10 und 11** verdeutlichen die Modernisierung.

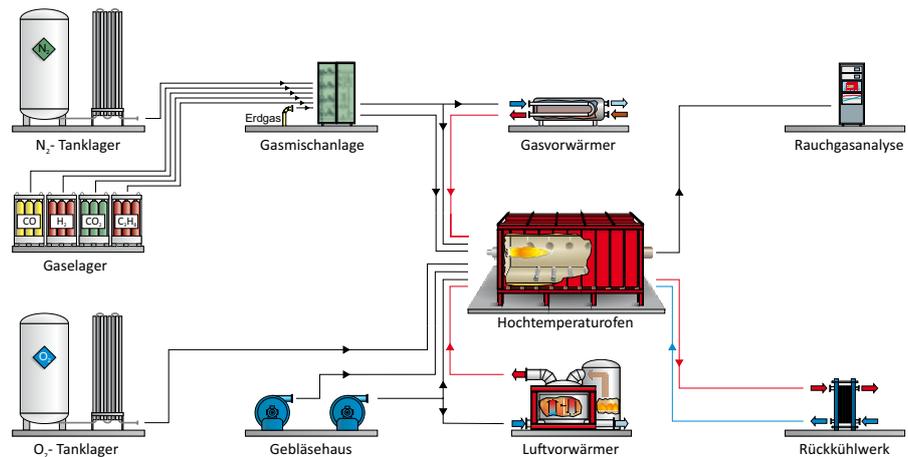


Abbildung 11: schematisches Fließbild der Hochtemperaturanlage „roter Ofen“, (Quelle: GWI)

Neue Gasmischanlage für große Brennerleistungen

Die eigens für die hohen Ansprüche des Versuchsbetriebs konzipierte Gasmischanlage ermöglicht die Herstellung synthetischer Gasgemische aus Erdgas, Wasserstoff (H_2), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Stickstoff (N_2) in größeren Gas Mengen. Je nach erforderlicher Gaszusammensetzung können Versuche mit niederkalorischen Gasen bei Brennerleistungen von bis zu 1 MW durchgeführt werden. Die Einstellung der jeweiligen Gasvolumenströme erfolgt über Massendurchflussregler, die zentral von einem Rechner angesteuert werden. Es besteht ferner die Möglichkeit, eine zweite Gasmischanlage zu integrieren, um die jeweiligen Mess- und Regelbereiche im unteren Bereich zu erweitern und Propan (C_3H_8) zu nutzen. Durch diese Kombination ist es somit möglich, auch Kleinstmengen beizumischen. Eine sekundäre Versorgungsleitung für brenngasgestufte Brenner sowie eine Gasvorwärmung wurden ebenfalls vorgesehen.

Aluminium

Die Aluminiumnachfrage weltweit ist weiterhin steigend. Die ausgesprochen guten Materialeigenschaften (wie gute elektrische Leitfähigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, geringes Gewicht, Witterungsbeständigkeit und eine auf das Gewicht bezogene hervorragende Festigkeit) machen Aluminium zu einem unverzichtbaren und zukunftsorientierten Material mit zahllosen Einsatzgebieten, wie der Verkehrs- (Automobil, Zug, Flugzeug, etc.) und der Verpackungsindustrie (Lebensmittel, Medizin, Kosmetik, etc.) oder dem Bauwesen. Gerade zur Verwirklichung der Ziele der Energiewende ist Aluminium ein unverzichtbarer Werkstoff.

Das GWI beschäftigt sich in zwei aktuellen Forschungsvorhaben einerseits mit dem Einsatz erneuerbarer Gase, speziell Rohbiogas, in der NE-Metallindustrie (Projekt MetaCOO) und andererseits in einem zweiten Forschungsvorhaben mit der Entwicklung eines innovativen Brennersystems für das Einschmelzen von Sekundäraluminium (Projekt AluRegBre).

Ziel des Forschungsvorhabens MetaCOO ist die deutschlandweite Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Biogas in industriellen Thermoprozessanlagen der Metallindustrie. Ausgehend von den Standorten und Kenndaten der Thermoprozessanlagen und Biogasproduktionsstätten werden zunächst die grundsätzliche Eignung sowie die notwendigen Aufbereitungsschritte für die Zuführung beispielsweise in Schmelzöfen der NE-Metallindustrie untersucht, siehe z.B. **Abbildung 12**. Zudem wird die Einbindung möglicher Biogasanlagen am Standort

der metallurgischen Industrie ermittelt. Darüber hinaus sollen die Auswirkungen auf verschiedene metallische Erzeugnisse mittels einer mobilen Versuchsanlage an mindestens einem Biogasstandort untersucht und die gewonnenen Erkenntnisse auf die einzelnen Prozessschritte des industriellen metallurgischen Prozesses übertragen werden. Dazu werden die Beeinflussung einzelner Prozesskenngrößen durch den Einsatz von Rohbiogas zur Wärmeerzeugung sowie deren komplexe und miteinander gekoppelten Wirkungsmechanismen betrachtet. Die Messung entsprechender Kenngrößen, soweit technisch und räumlich möglich, die numerische Simulation der Einflüsse auf Atmosphäre, Strömung, Wärmeübertragung und Temperatur sowie die Erstellung

detaillierter Energiebilanzen ermöglichen es, für den industriellen Herstellungsprozess relevante Aussagen über den Rohbiogaseinsatz und die Betriebsparameter zu treffen.

Das Ziel des Forschungsvorhabens AluRegBre besteht in der Steigerung der Energieeffizienz bei der Sekundäraluminiumherstellung durch die Entwicklung eines flexiblen, umschaltbaren, regenerativen Low-NO_x-Brenners. Hierbei soll ein Brennerkonzept entwickelt werden, dass flexibel für den jeweiligen Aggregatzustand (fest / flüssig) des Sekundäraluminiums eine optimierte Flammenform herstellt. Der Vorteil der unterschiedlichen Flammenformen liegt in der Erhöhung der Tonnage, Vermeidung von Ab-

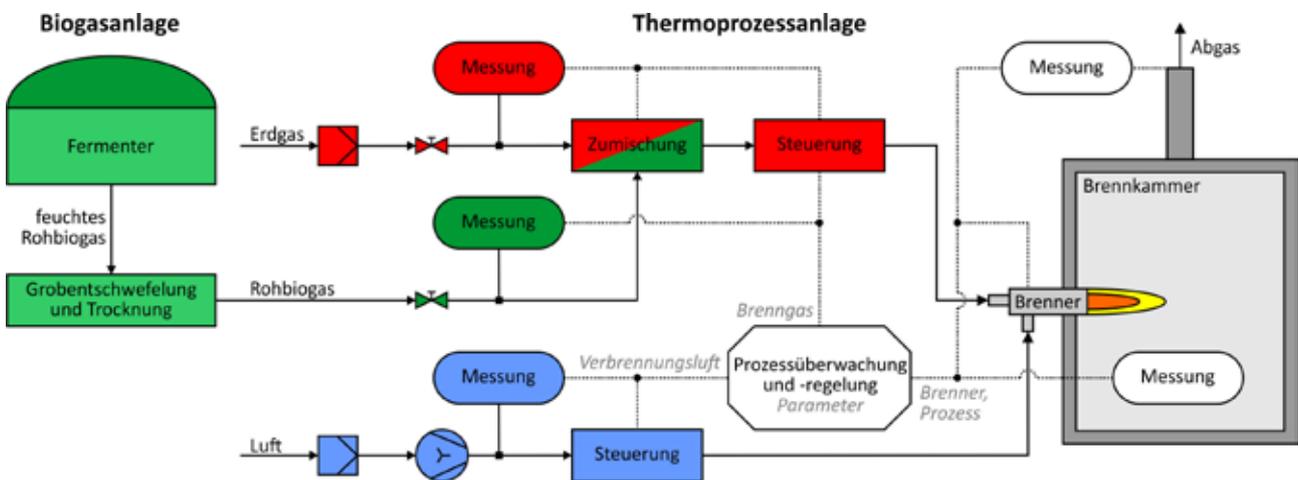
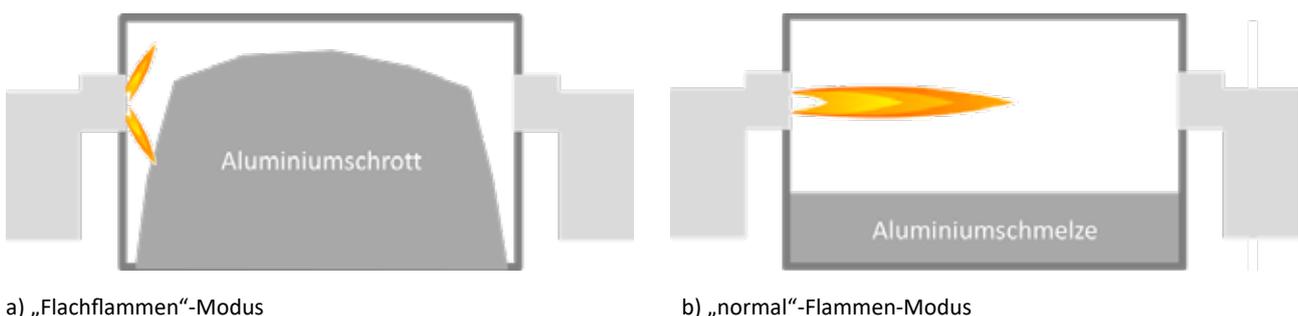


Abbildung 12: Analyse der Prozessschritte metallurgische Verfahren hinsichtlich der Eignung für die Substitution von Erdgas durch (Roh-)Biogas (Quelle: GWI)

brandverlusten und der damit resultierenden Energieeffizienz im Vergleich zur aktuellen Situation in der industriellen Praxis. Der innovative Kern liegt hierbei in einer Kombination aus einem Verbrennungssystem mit einer sehr flachen Flamme und einem Brennersystem, das aus der gewohnten „langen“, das Schmelzbad abdeckenden, Flamme besteht (siehe **Abbildung 13**).

Gasbeschaffenheit

Ein zentrales Thema, das bei vielen Forschungsprojekten der Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik im Fokus stand, sind Schwankungen der lokalen Erdgasbeschaffenheiten und ihre Auswirkungen auf industrielle Verbrennungsprozesse. Die Entwicklungen an den nationalen und internationalen Erdgasmärkten aufgrund sich verändernder politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen haben



a) „Flachflammen“-Modus

b) „normal“-Flammen-Modus

Abbildung 13: Geplante Entwicklung eines umschaltbaren regenerativen Brenners (Quelle: GWI)

nicht nur für die Gaswirtschaft Auswirkungen, sondern auch für Endverbraucher. Dies gilt insbesondere für Verbraucher in Industrie und Kraftwerkstechnik, bei denen Erdgas auf sehr kontrollierte Weise verwendet wird und die sich durch strikte Anforderungen an Effizienz, Schadstoffemissionen, und, in der produzierenden Industrie, Produktqualität auszeichnen. Prognosen sagen voraus, dass diese Endverbrauchssektoren für den Gasmarkt in Zukunft immer weiter an Bedeutung gewinnen werden, sowohl in Deutschland, aber auch weltweit.

Aufgrund der aktuellen Entwicklungen zeichnet sich ab, dass auch in Deutschland die Schwankungen der lokalen Erdgasbeschaffenheit in Stärke und Häufigkeit weiter zunehmen werden. Die Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik untersuchte daher in den letzten Jahren im Rahmen zweier Forschungsprojekte die Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsschwankungen auf industrielle Feuerungsprozesse in der Thermoprozesstechnik und entwickelte Lösungsansätze, um solche Schwankungen ohne Einbußen bei Effizienz, Produktqualität und Schadstoffemissionen zu kompensieren. Beide Projekte wurden in 2018 erfolgreich abgeschlossen und die Abschlussberichte wurden veröffentlicht.

Das erste Projekt ist die DVGW-Hauptstudie „Gasbeschaffenheit – Phase 2“ [1]: Aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Phase wurden in diesem

Projekt anhand von volkswirtschaftlichen und technischen Betrachtungen Lösungsansätze aufgezeigt, um Gaswirtschaft und Endverbraucher auf deutlich stärker variierende lokale Gasbeschaffenheiten vorzubereiten und einen für alle Stakeholder verträglichen Gasbeschaffenheitsbereich zu definieren. Des Weiteren wurden zahlreiche Endanwendungen, von diversen Heizungssystemen aus der häuslichen Gasverwendung über Gasturbinen bis hin zu verschiedenen industriellen gasbefeuerten Prozessen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit in Bezug auf Gasbeschaffenheitsschwankungen bewertet. **Abbildung 14** zeigt in einer Ampeldarstellung die Einschätzungen, wie empfindlich verschiedene großtechnische Feuerungsprozesse auf Veränderungen im lokalen Heizwert oder Wobbe-Index in Bezug auf Prozesseffizienz, Produktqualität und Sicherheit (im Sinne von Emissionen und thermischer Überlastung) reagieren. Bezogen wird die Veränderung dabei immer auf das Gas, für das der Prozess ursprünglich eingestellt wurde.

Das zweite Forschungsprojekt, das sich mit dem Thema „Erdgasbeschaffenheit“ auseinandersetzte, ist das Projekt „GasQualitaetGlas“, ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes Drei-Jahres-Projekt, welches in 2018 erfolgreich abgeschlossen wurde. Während sich das DVGW-Projekt mit allen Endverbrauchssektoren sowie wirtschaftlichen Analysen beschäftigte, konzentrierte sich „GasQualitaetGlas“ auf die gasbefeuerten Prozesse in

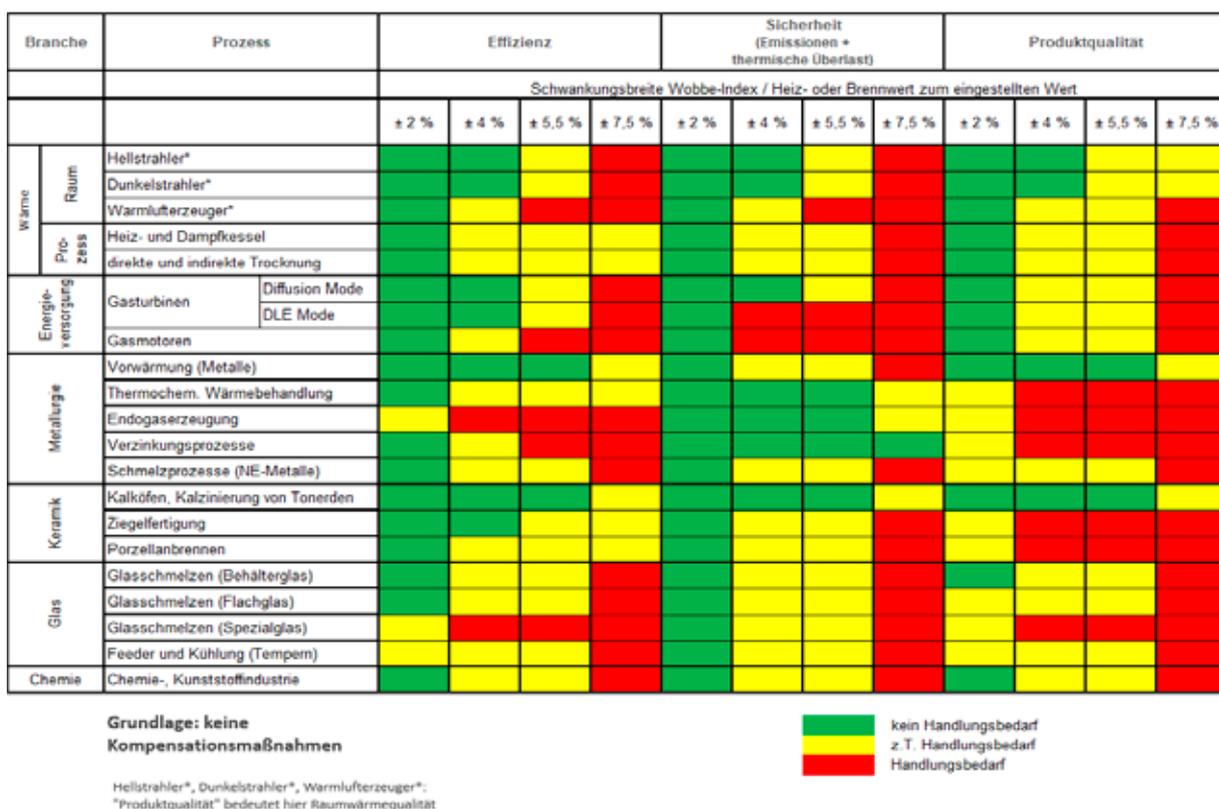


Abbildung 14: Einschätzung verschiedener Gasverwendungssysteme aus Industrie und Kraftwerkstechnik in Bezug auf schwankende Gasbeschaffenheiten [1] Seite 15 | 36

der Glasindustrie, eine Branche, die in der Regel als besonders empfindlich in Bezug auf Gasbeschaffenheitsschwankungen eingeschätzt wird (s. **Abbildung 14**) und die Erarbeitung konkreter Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen.

Mit Hilfe umfangreicher Simulationen, Messungen sowohl an den Prüfständen des GWI als auch vor Ort bei Glasherstellern sowie statistischen Erhebungen an dreizehn Glasstandorten überall in Deutschland wurde untersucht, auf welche Weise variable Erdgaszusammensetzungen sich auf die verschiedenen Prozessschritte in der Glasindustrie auswirken und mit welchen Schwankungen Produzenten in Deutschland derzeit bereits konfrontiert werden. Da die Vor-Ort-Messung von lokalen Gasbeschaffenheiten eine wesentliche Grundvoraussetzung für Kompensationsstrategien bei industriellen Feuerungsprozessen ist, wurden zudem verschiedene am Markt erhältliche, als auch sich im Prototypenstadium befindliche Gasbeschaffenheitsmesskonzepte für ihre Eignung in

den rauen Bedingungen in der Glasindustrie getestet und regelungstechnische Kompensationsstrategien entwickelt. Das Projekt wurde vom Gas- und Wärme-Institut in Kooperation mit der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie e.V. (HVG), dem VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI) und der STG Combustion Control GmbH & Co KG durchgeführt.

Abbildung 15 zeigt die im Rahmen des Projekts ermittelten Gasbeschaffenheitsverteilungen an verschiedenen Standorten in Deutschland für Erdgas H, erhoben über einen Zeitraum von bis zu drei Jahren (2015 - 2018). Die schwarzen Linien geben den Gültigkeitsbereich des deutschen Regelwerks für H-Gase wieder.

Die Abbildung belegt, dass bereits heute Betreiber von Thermoprozessanlagen überall in Deutschland mit schwankenden Erdgasbeschaffenheiten konfrontiert werden und sich entsprechend vorbereiten sollten.

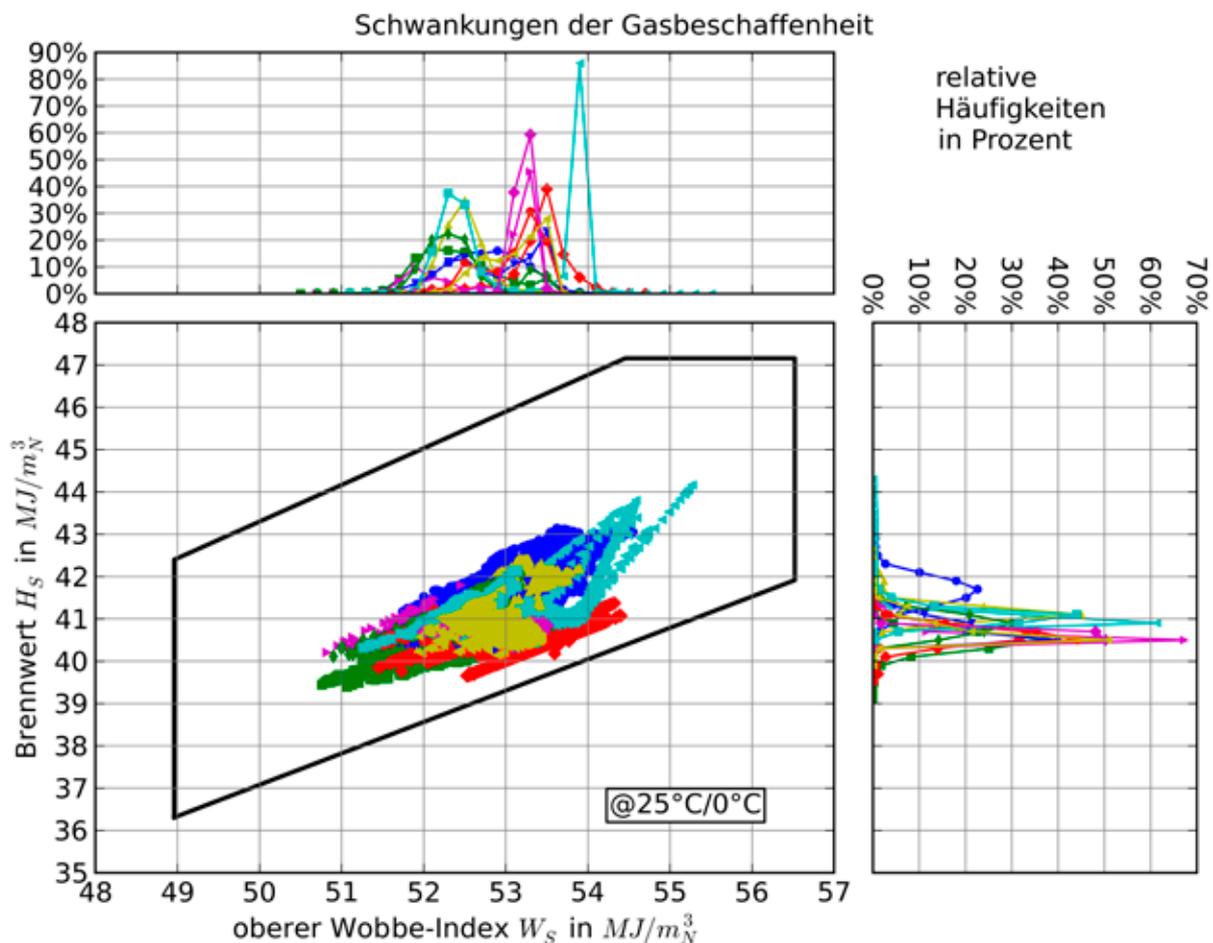


Abbildung 15: Brennwert und Wobbe-Index der untersuchten Standorte im H-Gas-Gebiet mit Häufigkeitsverteilungen des Brennwertes und des Wobbe-Index. Bezug der Häufigkeiten auf die Anzahl der Stundenmittelwerte je Standort [2]

In **Abbildung 16** wurden die erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse zusammengefasst und die relevanten Mess- und Regelgrößen aufgeführt.

Allgemein und generell kann folgendes festgestellt werden:

- „Feed forward“-Regelung (vor dem Verbrennungsprozess) und „feed back“-Regelung (nach dem Verbrennungsprozess) der Anlagen und Prozesse müssen kombiniert und aufeinander abgestimmt werden, da ansonsten gegenläufige oder falsche Regelungseffekte auftreten können
- **KEINE** feste Verhältnisregelung:
Luft- und Gasvolumenströme müssen separat regelbar sein, Gas- und Luftstrecken mit entsprechenden (regelbaren) Armaturen und Messmöglichkeiten ausstatten.

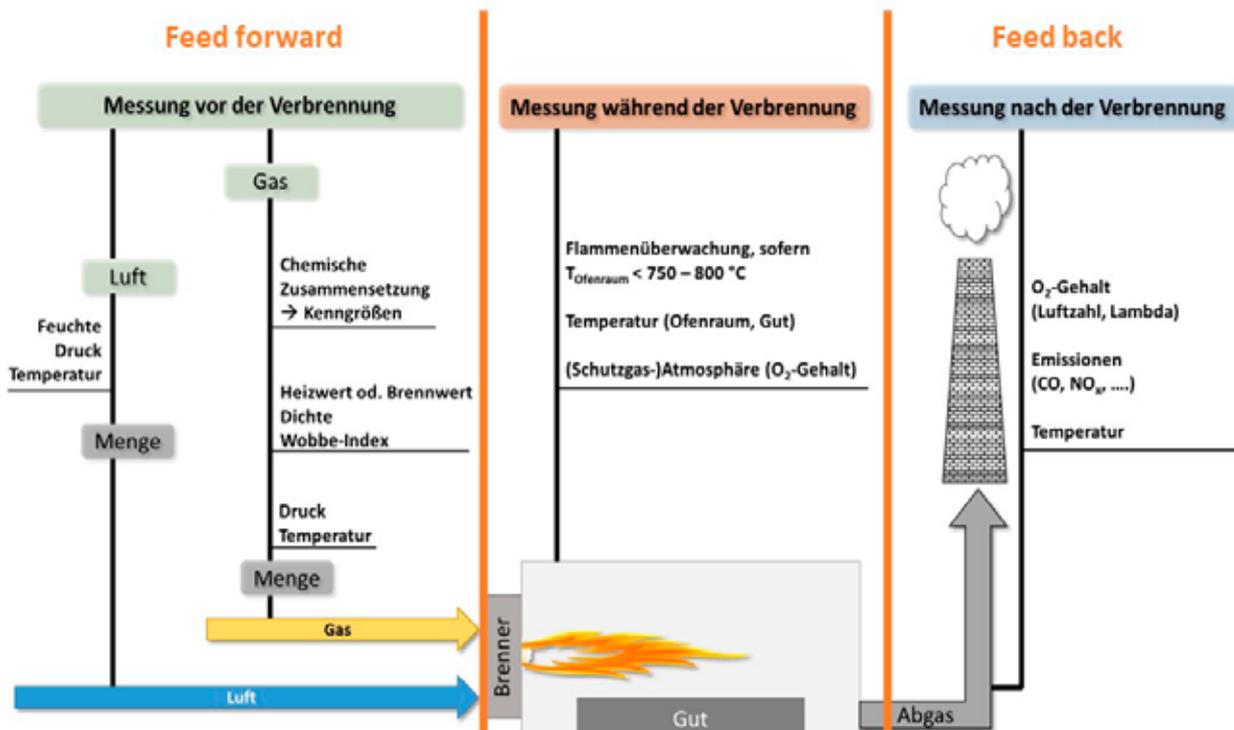


Abbildung 16: Mess- und Regelungsmöglichkeiten in einem industriellen Thermoprozess auf Basis der Ausarbeitung der SVG (Quelle: GWI/HVG)

Abgeschlossen wurde das Projekt „GasQualitaet-Glas“ durch einen eintägigen Workshop (s. **Abbildung 17**), auf dem die wesentlichen Ergebnisse des Projekts der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt wurden. Die mehr als 70 Teilnehmer wurden nicht nur über die Arbeiten und Erkenntnisse des Projektes informiert. Beiträge namhafter Referenten aus dem Chemie-, Stahl-, Keramik- und Gasturbinenbereich und ihre jeweiligen Erfahrungen zum Thema Gasbeschaffenheitsschwankungen und Einbindung erneuerbarer Energien in das Gasnetz ergänzten die Veranstaltung.

Auch auf der glasstec 2018 in Düsseldorf, der weltweit größten Messe der internationalen Glasindustrie, stellte das GWI die Ergebnisse im Rahmen eines Symposiums und seine Aktivitäten und Dienstleistungsangebote mit einem Messestand vor.

Konferenzbeiträge, Gremienarbeit, Praxistagungen



Abbildung 17: Die Organisatoren des Workshops „Gasbeschaffenheitsschwankungen in der Prozessindustrie - Hintergründe, Auswirkungen, Lösungsansätze“ (v.l.n.r.: Bernhard Fleischmann (HVG), Anne Giese (GWI), Bernhart Stranzinger (BFI), Peter Hemmann (STG))

Neben der Bearbeitung von öffentlich geförderten Forschungsprojekten und der industriellen Auftragsforschung, spielt die Dissemination von aktuellen Projektergebnissen auf nationalen und internationalen Konferenzen sowie die aktive Mitarbeit in relevanten Gremien im In- und Ausland eine wichtige Rolle für das GWI. Eine vollständige Übersicht der Veröffentlichungen aus der Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik ist der Veröffentlichungsübersicht zu entnehmen, wobei zwei Konferenzbeiträge an dieser Stelle besonders hervorgehoben werden, da sie die Aktivitäten der Abteilung in Bezug auf das hochaktuelle Thema Wasserstoff beleuchten. Besonderes Interesse besteht hierbei in der Einspeisung von Wasserstoff im Rahmen von „power-to-gas“, ihre Auswirkungen auf erdgasbefeuerte Industrieprozesse und geeignete Kompensationsansätze. Die Ergebnisse des AiF-geförderten Forschungsvorhabens „Untersuchungen der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischung ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen“ wurden auf der IFRF-Konferenz in Sheffield (IFRF: International Flame Research Foundation) als Keynote Lecture und der 27th World Gas Conference in Washington D.C. einem internationalen Publikum vorgestellt. Des Weiteren waren an der Erstellung des Reports des IGU-Committees „Utilization“ Mitarbeiter des GWI maßgeblich beteiligt.

Auf europäischer Ebene wurden die Ergebnisse der deutschen Gasbeschaffenheitsstudien in die momentan laufende EU Pilot Study 2.0 „Gas Quality“ eingebracht. Auch die Auswertung der europäischen Umfragen zum Thema wurden durch das GWI begleitet, insbesondere im Bereich der industriellen Erd-

gasnutzung, einem Sektor, der für die deutschen und europäischen Gasmärkte immer mehr an Bedeutung gewinnt. Aktuelle Ergebnisse der deutschen Untersuchungen wurden auf einem Arbeitstreffen der EASEE-gas (EASEE: European Association for the Streamlining of Energy Exchange) in Brüssel vorgestellt.

Zudem ist die Abteilung für Industrie- und Feuerungstechnik im Rahmen von MARCOGAZ, dem technischen Verband der europäischen Gaswirtschaft, aktiv, auch hier vor allem im Kontext des Themas „Gasbeschaffenheit“ und des Einsatzes erneuerbarer Gase wie Biogas und Wasserstoff. So war Anfang Oktober 2018 die MARCOGAZ-Arbeitsgruppe „Gas Quality/Biogas“ beim GWI zu Gast (s. **Abbildung 18**). Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe wurden die Aktivitäten des GWI in praktisch allen Bereichen der Gasverwendung, von der häuslichen Gasnutzung über die industrielle Gasnutzung bis hin zu aktuellen Themen der Energiewende, etwa power-to-gas und Sektorenkopplung, vorgestellt.

Die traditionelle, jährliche Praxistagung des GWI „Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen“ fand 2018 zum neunten Mal und zum ersten Mal vollständig am GWI statt. Die zweitägige Veranstaltung kombiniert traditionell die Grundlagen der Verbrennung, der Schadstoffbildung, der Brennertechnik und der Regelung von Feuerungssystemen mit aktuellen Beiträgen aus der Industrie, in denen renommierte Experten über neue industrielle Trends, Technologien und Aufgabenstellungen sprechen - ein Konzept, das sich über die Jahre bewährt hat. Abgerundet wurde die Veranstaltung dieses Jahr durch eine Werksbesichtigung bei der TRIMET Aluminium S.E. und Führungen und Demonstrationen der IFT-Versuchsanlagen (s. **Abbildung 19**). Bei gutem Essen konnten abends die Diskussionen zwischen Referenten und Tagungsteilnehmern fortgesetzt werden. Auch in 2019 soll die erfolgreiche Veranstaltung Praxistagung am Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. (26.-27. März 2019) weitergeführt werden.

Im Anschluss zur Praxistagung fand die 2. Informationsveranstaltung über die Auswirkungen der Marktraumumstellung von L- auf H-Gas für industrielle Gasverbraucher statt, ebenfalls ein hochaktuelles Thema, mit dem sich das GWI ausgiebig beschäftigt.



Abbildung 18: Besuch der MARCOGAZ-Arbeitsgruppe „Gas Quality / Biogas“ am GWI (Oktober 2018)



Abbildung 19: Impressionen von der 9. Praxistagung „Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen“

BRENNSTOFF- UND GERÄTETECHNIK

Der Zielkorridor für die zukünftige Struktur der Energieversorgung ist durch das „Pariser Übereinkommen“ und die daraus abgeleiteten Rahmenbedingungen auf Bundesebene vorgegeben. Schlagworte wie „De-Fossilisierung“, „De-Karbonisierung“, Kohleausstieg, Digitalisierung, Elektromobilität und eine nahezu vollständige Treibhausgasneutralität mit einem Maximalanteil erneuerbarer Energien (EE) bis zum Jahr 2050 erfordern heute eine strategische Aufstellung, um Lösungen für die zukünftigen Anforderungen bereitzuhalten. Auf diesem Weg gilt es durch Optimierung von Nutzungsgraden, von Technologieketten sowie Verknüpfungen von Sektoren, Primärenergieträger auszutauschen, erneuerbare Energien (EE) zu maximieren und beides in den Sektoren Wohnen, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), Industrie und Mobilität zu koppeln und die Möglichkeiten der Digitalisierung zu nutzen. Die CO₂-Emissionsreduktion ergibt sich automatisch und wird durch den zunehmenden Einsatz EE, C-neutraler Kraft- und Brennstoffe und letztlich nicht eingesetzter Energie bestimmt.

Die Entwicklung des bestehenden, von fossilen Energieträgern dominierten Energieversorgungssystems zu einem klimaneutralen System mit einem größeren Anteil erneuerbarer Energien hat sich bis dato stetig entwickelt. Die Identifikation der optimalen Pfade im Zielkonflikt einer zugleich versorgungssicheren, ökologischen und ökonomischen Bereitstellung ist in vol-

lem Gange und stellt sowohl einzelne Energieträger als auch Technologien auf den Prüfstand.

Der klassische Energieträger Gas in Form von Erdgas und Biogas, CNG (Compressed Natural Gas) und LNG (Liquefied Natural Gas) für den Mobilitäts- bzw. Transportsektor oder als Wasserstoff aus der Elektrolyse mit elektrischer Energie aus Windkraftanlagen –Power-to-Gas (PtG)– liefert in Ergänzung zu und in Kombination mit den regenerativen Energien und mit seinen vielfältigen, kopplungsfähigen Anwendungstechnologien zur Wärme- und Strombereitstellung einen wesentlichen Beitrag zu Versorgungssicherheit, Klimaschutz und ökonomischer Realisierbarkeit. Über den Power-to-Gas-Pfad kann die Gasinfrastruktur als Energiespeicher für überschüssige, regenerative Energien dienen. Wasserstoff, CNG, LNG und verflüssigtes Biogas (LBG) können Feinstaub- und NO_x-Emissionen im Mobilitätssektor reduzieren. Die optimierte Abstimmung auf die jeweiligen Anwendungen und die konsequente Nutzung der Synergien in Kombination traditioneller, als auch erneuerbarer Energien führt auf hocheffiziente Gas-Plus-Technologien und in größeren, vernetzten Strukturen auf ein flexibilisiertes Energieversorgungssystem mit Optionen wie Power to Gas (PtG), Power-to-Fuel (PtF), Power-to-Chemicals (PtC), Power-to-Heat (PtH) und virtuellen Kraftwerken, z.B. Brennstoffzellenspeicherkraftwerke.

Teil der Lösung sind adaptive Sektorkopplungssysteme, die die nicht immer gleichzeitige Verfügbarkeit der EE und die Bedarfe an elektrischer Energie, Wärme und Treibstoffen bei möglichst umfassender Integration der EE und möglichst geringem Primärenergieeinsatz durch traditionelle Energieträger verbinden. Eine adaptive Sektorkopplung setzt die gleichzeitige Betrachtung aller Netze voraus – Strom-, Gas- und Wärmenetze – verknüpft mit der entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).

Eine zur Berücksichtigung all dieser Aspekte themenstrategische Ausrichtung kann am besten an einem visionären Projekt verdeutlicht werden, welches im Folgendem kurz skizziert werden soll.

Beschreibung sämtlicher Energieströme und –quellen, differenziert nach Energieträger und Prozessen, mit systemanalytischer Einbettung, betrachtet in Deutschland und der EU. Erfassung der Erzeugungs- und Bedarfsprofile der Sektoren Industrie, GHD, Wohnen und Mobilität sowie Verortung via Geoinformationssystemen (GIS). Schichten der einzelnen Ebenen und Ableitung von Sektorkopplungsmöglichkeiten bis auf Region-/ Stadt-/ Quartiersebene. Berücksichtigung der Flexibilisierungsmöglichkeiten in der Industrie, Integration EE in allen Sektoren, Wärme- und Kälteversorgungskonzepte (Nah- und Fern). Optimierung/Digitalisierung von Energieerzeugungs- und Bezugskonzepten von Betrieben und Wohnblocks/Quartieren. Integration von Geschäftsmodellen für alle Akteure unter Berücksichtigung von sozialer Akzeptanz/Finanzierbarkeit. Technologisch werden Brennstoffzellen, Wärmepumpen, Systeme wie Triple-Cycle, größere KWK(K), Gaskraftwerke sowie E-Mobility, PtG und insbesondere PtH im Vordergrund gesehen. Das Thema LNG/CNG, bzw. LBG/Bio-CNG sind zusätzlich bei der Frage Feinstaub/NO_x mit zu berücksichtigen. Optionen der Vernetzung unter Verwendung von PtX sind in **Abbildung 20** schematisch dargestellt.

Die Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik ist im Jahr 2018 mit einer Vielzahl an Projekten erfolgreich für die o. g. und folgende Themen aufgestellt:

- Adaptive Energiesysteme, Sektorenkopplung, KW(K)K, therm.-und elektr. Speicher, Systemanalyse, GIS, Quartierslösungen, Simulation von gekoppelten Wärme-, Strom- und Gasnetzen,

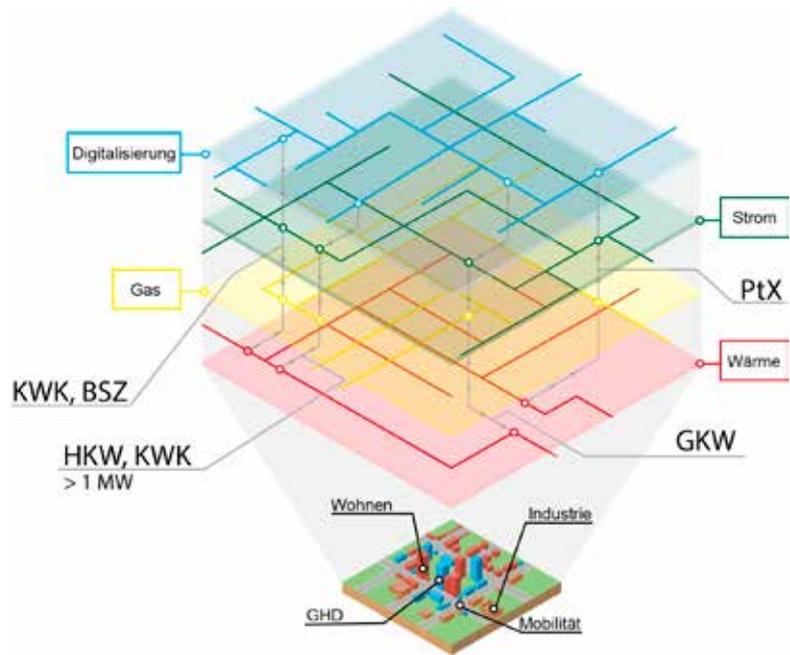


Abbildung 20: Darstellung des Technologie-Mixes in den Sektoren und Netzebenen (Quelle: GWI)

- Integration von Mobilitätslösungen und Digitalisierungsansätze
- PtX, Flexibilisierungsoptionen, Gasbeschaffheitsfragen, insbesondere im Bereich der Einspeisung und Verwendung von EE-Gasen in den einzelnen Sektoren, LNG/LBG, Biogase inkl. Wasserstoff, Feldtest-Monitoring

Mit den Abteilungen IFT (Industrielle Feuerungstechnik), PL (Prüflabor) und Bildungswerk bestehen Schnittstellen bei den Themen Flexibilisierungsoptionen, Netzen, Gasbeschaffheit, L-H-Anpassung und LNG.

Das Thema der Gasbeschaffheitserkennung für Regelungsstrategien wird in der Abteilung Brennstoff- und Gerätetechnik zum Beispiel im AIF-Projekt Smart Gas (Erweiterung eines integrierten Sensorsystems, das mittels thermischer Messprinzipien bei variablen Zusammensetzungen die Gasbeschaffheit sowie die Dichte von Brenngasen bestimmt) behandelt.

Das Hauptprojekt zum Virtuellen Institut (2015-2018) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner und Frau Janina Senner wurde im Herbst 2018 abgeschlossen. Der komplette Abschlussbericht mit ausführlicher Systemanalyse, Pfaduntersuchungen und experimentellen Ergebnissen steht unter <http://strom-zu-gas-und-waerme.de> zum Download bereit. Darüber hinaus ist auch eine Broschüre mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Arbeiten und Ergebnisse zum Projekt verfügbar.

In den Projekten rund um das „Virtuelle Institut –

Strom zu Gas und Wärme“ untersuchen sieben Forschungsinstitute unterschiedliche Flexibilitätsoptionen von Demand-Side-Management bis hin zu Power-to-X-Technologien in einem integrierten Strom-, Gas- und Wärme-System. Detaillierte Systemanalysen, Untersuchungen in Laboranlagen und der Versuchsbetrieb einer Demonstrationsplattform sind Bestandteile der Projektreihe.

Im Jahr 2018 wurde das Nachfolge-Projekt „Kompetenzzentrum“ Virtuelles Institut – Strom zu Gas und Wärme“ (EFRE-0400111) bewilligt. Dieses wird gefördert durch das „Operationelle Programm zur

Förderung von Investitionen in Wachstum und Beschäftigung für Nordrhein-Westfalen aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung“ (OP EFRE NRW) sowie durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Das Projekt wird gemeinsam mit den in **Abbildung 21** aufgeführten Partnern bearbeitet.

Die Institute widmen sich u.a. den Themen Systemanalysen für eine nachhaltige Transformation des Energiesystems, Aufbau intelligenter Heizungssysteme



Abbildung 21: Partner des Kompetenzzentrums Virtuelles Institut – Strom zu Gas und Wärme

me für den Haushalt, experimenteller Arbeiten zur Optimierung der Flexibilität von Elektrolyse- und Methanisierungsverfahren sowie Entwicklung eines PtX-Verfahrens zur Herstellung von Butadien. Des Weiteren ermöglicht das Projekt den Aufbau und die Demonstration mehrerer, unterschiedlicher Anlagen in einer sicheren Versuchs-Infrastruktur. In einer neu gestalteten Versuchshalle am GWI werden unterschiedliche Anlagen zur Energiebereitstellung und -speicherung im kleintechnischen Maßstab mit dem Ziel der Erprobung und der Optimierung eines Gesamtsystems betrieben. Aktuell befinden sich ein PEM-Elektrolyseur-Teststand (FZJ), eine katalytische Methanisierung (ZBT) und eine KWK-Anlage (GWI) im System. Um einen möglichst flexiblen Betrieb für alle Anlagen zu gewährleisten, ist eine VE-Wasser-Aufbereitungsanlage, eine Flaschengas-Versorgung (N₂, CO₂, H₂ und CO₂) und ein Gasspeicher für das er-

zeugte, erneuerbare Methan Teil des Betriebskonzepts.

Die Anlagen lassen sich jeweils autark betreiben, um den jeweiligen Forschungspartnern individuelle Versuchsabläufe zu gewährleisten. Ein Ziel ist jedoch der gemeinsame Betrieb der Anlagen im Verbund. Interessante Forschungsaspekte sind dabei zum einen die technischen Herausforderungen im gemeinsamen Betrieb, die Optimierung der Gesamtbetriebsstrategie und die Weiterentwicklung der einzelnen technischen Komponenten.

Für 2019 ist die Implementierung einer PtH-Anlage sowie die visuelle Anbindung an das GWI-Demonstrationshaus geplant, in welchem weitere innovative Heizungssysteme aufgebaut werden.

Das Monitoring, die Steuerung und die Regelung der

Anlage sind zentral in einer Leitwarte aufgesetzt. Diese ermöglicht, individuelle Sollwertgrößen an die Anlagen zu senden und Messwerte über die Versuchsreihen zu erfassen. Um den Demonstrationscharakter zu erhöhen, kann die Gesamtanlage auch mit regionalen Lastprofilen betrieben werden. Dazu wurde am GWI ein Programm entwickelt, das verschiedene Kombinationen an Flexibilisierungsmöglichkeiten für ausgewählte Regionen und Kreise in NRW analysiert. Dabei wird aufgrund von hinterlegten, regionalen Endenergieverbrauchs- und Lastdaten ermittelt, welche Potentiale hinsichtlich der Flexibilitätsoptionen PtH und PtG jeweils mit der Option Wasserstoffnutzung in Industrie und Verkehr oder der Einspeisung von Erneuerbarem Wasserstoff oder Methan in jeweiligen Erdgasnetz vorliegen. Dies ist besonders für die Regionen interessant, in denen schon heute viel erneuerbarer Strom erzeugt wird und EE-Anlagen aberegelt werden müssen.

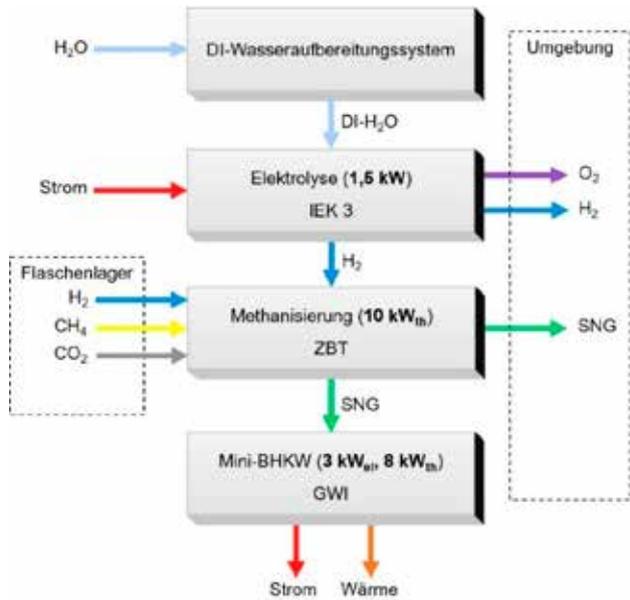


Abbildung 22: Stoffstromdiagramm der aktuell aufgebauten Anlagen

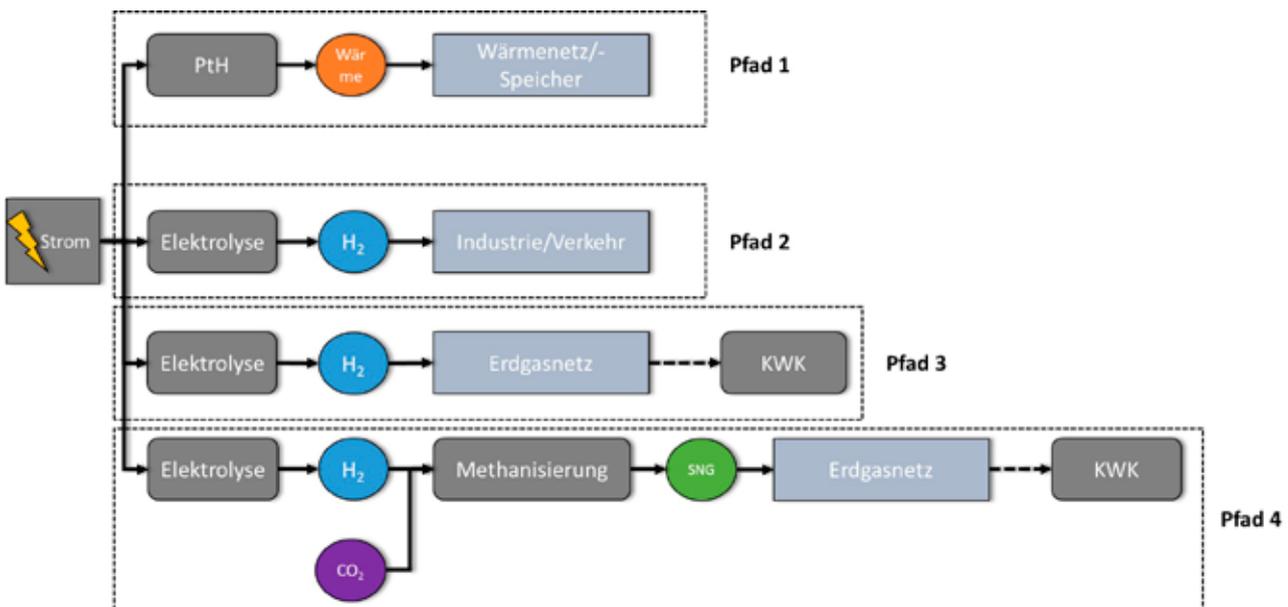


Abbildung 23: Technologiepfade der in der Demonstrationshalle implementierten Energieflexibilitätsoptionen

Das Kompetenzzentrum „Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme“ versteht es als strategische Aufgabe, die praktischen und theoretischen Ergebnisse interessierten Unternehmen zur Verfügung zu stellen, um die Innovationsfähigkeit der Unternehmen in den Schlüsseltechnologien der Energieversorgung zu stärken. Darüber hinaus stellt die gemeinsam errichtete, experimentelle Forschungsinfrastruktur mit unterschiedlichen Systemkomponenten eine gute Plattform zur weiteren umsetzungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsarbeit dar. Diese kann sowohl von Forschungsinstituten als auch von wirtschaftlichen Unternehmen zur Optimierung ihrer Systemkomponenten genutzt werden.

In Folge der NRW-Projekte „100-KWK-Anlagen in Bottrop“ und „roadmap KWK.NRW – Einsatz von KWK-Technologien in NRW – Detailfragestellungen und Forschungsagenda“ wurden die Aktivitäten zu KWK und Sektorkopplung mit den Projekten „demoKWK3.0 - wissenschaftliche Begleitung zur ganzheitlichen Evaluation des Anlagenpools aus 100 KWK-Anlagen in Bottrop“ und „Transfer4.0@KWK.NRW“ weitergeführt.

Mitte 2017 wurde das Projekt „KWK plus Speicher, Anlagen- und Betriebsoptimierung zur Flexibilisierung des KWK-Betriebs mit innovativen Speichertechnologien“ gestartet. Mittlerweile wurde der



Abbildung 24: Panorama der Demonstrationshalle am GWI

erste Batteriespeicher mit hochrangigen Vertretern aus Stadt und Land sowie der EnergieAgentur.NRW im Dezember 2018 in Betrieb genommen. Das Projekt führt das Anlagen-Monitoring aus dem Projekt „100 KWK-Anlagen in Bottrop“ über zusätzliche Heizperioden weiter und beinhaltet die Integration, den Betrieb und die Einbindung in das messtechnische Monitoring von bis zu 20 marktverfügbaren Stromspeichern mit unterschiedlichen Kapazitäten in KWK-Systeme im Projektgebiet. Ziel ist eine Verminderung der Stromeinspeisung bzw. Erhöhung der Eigennutzung des KWK-Stroms. Weitere Themen sind die Weiterentwicklung, Herstellung und Untersuchung der Zell-Chemie in Abhängigkeit der Anforderungen an Stromspeicher beim Einsatz mit KWK, die Bewertung der Wirtschaftlichkeit und eine sozialwissenschaftliche NutzerInnen-Analyse zur standardisier-



Abbildung 25: Pressetermin zur Inbetriebnahme des ersten Batteriespeichers am 13.12.2018. Quelle: EnergieAgentur.NRW

ten Erfassung von strom- und heizungsbezogenen psychologischen Variablen. Das Projekt wird zusammen mit dem Batterieforschungsinstitut (meet), der Hochschule Ruhr-West (HRW), der TU Dortmund und InnovationCity Management (ICM) durchgeführt. Bis zum Ende des Jahres 2018 wurde knapp ein Drittel der geplanten Batteriespeicher installiert.

Darüber hinaus wird das Projekt „Energiewabe InnovationCity“ als ein Demonstrator ins Projekt DESIGNETZ eingebracht. Übergeordnetes Ziel des Demon-

strators „Energiewabe InnovationCity“ ist die Analyse und Bewertung eines potenziellen Wärmemarkts, welcher von einem größeren Anteil dezentraler, häuslicher Mikro-KWK geprägt ist. Dies erfolgt u.a. durch die aktive Einbindung von bis zu 15 KWK-Geräten aus dem bereits bestehenden Hebelprojekt „100 KWK in Bottrop“ in DESIGNETZ. Ziel ist die Flexibilisierung aktiver Erzeuger von Strom (nicht nur Last-Element) zur Ergänzung der Netz-Stabilisierungsmaßnahmen auf der Anschlussebene und die Untersuchung des Beitrags dieser Technologien für das Gesamtsystem. Die Anforderungen für die technische Umsetzung wurden identifiziert und abgestimmt sowie die ersten Prüfungen hierzu am Teststand durchgeführt. Derzeit werden die Nutzungsvereinbarungen mit den potentiellen Mitmachern im Projekt abgeschlossen.

Das Ziel von DESIGNETZ ist die Erstellung einer Blaupause für das Stromnetz der Zukunft und eine gelungene Energiewende. Dafür soll das intelligente Stromnetz der Zukunft Schwankungen der Stromerzeugung aufgrund von zum Beispiel Wind- und Sonnenenergie flexibel ausgleichen. Es werden verschiedene Wege, Flexibilität zu ermöglichen, in etwa 30 Demonstrations- und Hebelprojekten betrachtet. Ziel ist die Gewährleistung von Versorgungssicherheit, während gleichzeitig der Netzausbau möglichst geringgehalten werden soll, damit die Energiewende kosteneffizient gelingt.

Das GWI legt im Rahmen des Gesamtprojektes seinen Schwerpunkt auf der Erfassung und Charakterisierung der individuellen Demonstrator-Technologien, unter anderem, um deren Flexibilitätspotenziale im Hinblick auf das gesamte Flexibilitäts-Portfolio vergleichbar zu machen. Dies beinhaltet die Koordination der verschiedenen Demonstratoren und Hebelprojekte, sowie die Auswertung verschiedener Daten und Erfahrungen, die im Projekt gesammelt werden.

In einem weiteren Bundesprojekt erfolgt eine integrierte Betrachtung von Strom-, Gas- und Wärmesystemen zur modellbasierten Optimierung des Energieausgleichs- und Transportbedarfs innerhalb der deutschen Energienetze – IntegraNet (<https://www.integranet.energy/>).

Hier werden u.a. gekoppelte Strom-, Gas- und Wärmenetze auf Quartiersebene simuliert, um das lokale und nationale Potential für netzintegrierende, strom-, gas- und wärmebasierende Ausgleichstechnologien zu ermitteln. Hierzu ist es unter anderem erforderlich, dass Modelle für die Simulation von Wärmenetzen optimiert bzw. modelliert werden.

Entgegen der für Wärmenetzsimulationen üblichen Rohrnetzmodelle mit Diskretisierung, wurde im Rahmen des Projektes ein Rohrmodell anhand des sogenannten Pfropfenstrom-Ansatzes (engl. PlugFlow) nach [Hei17] modelliert und mit Messdaten validiert.

Bei diesem Ansatz werden Temperaturdynamik und Wärmeverlust über die Verweilzeit des Wärmeträgers im Rohr bestimmt. Die Diskretisierung innerhalb einzelner Rohrmodelle entfällt, wobei die Diskretisierung des Wärmenetzes durch Teilabschnitte mit einer beliebigen Anzahl von Rohrmodellen realisiert werden kann. Dieser Ansatz ist für die Simulation von Wärmenetzen, gegenüber Rohrmodellen mit Diskretisierung, bezüglich Genauigkeit und Rechenzeit überlegen (siehe **Abbildung 26**).

Das modellierte Rohrmodell wurde bereits für die Simulation eines Quartiers mit kaltem Nahwärmenetz und dezentralen Wärmepumpen angewandt, um das Potential für Power-to-Heat mit Photovoltaik (PV) zu untersuchen. Aufgrund der gegensätzlichen Natur von Wärmebedarf und Stromerzeugung von PV-Anlagen, ist das Potenzial von Wärmepumpen zur Senkung der negativen Residuallast gering (siehe **Abbildung 27**).

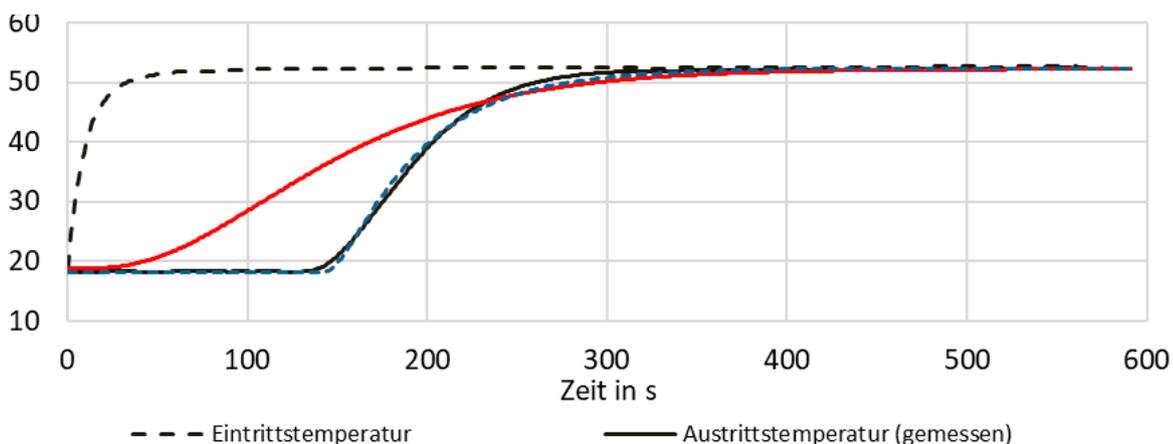


Abbildung 26: Ergebnis der Simulation eines 39 m langen Rohres mit Temperaturanstieg für ein diskretisiertes Rohrmodell und das neue Rohrmodell. Messdaten aus [Hei17]

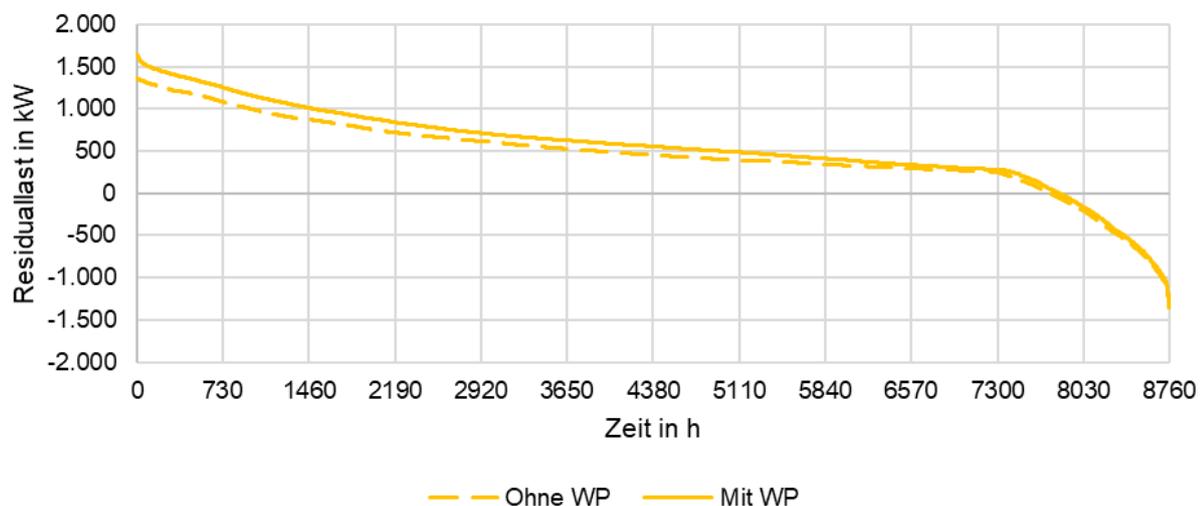


Abbildung 27: Verteilung der Residuallast über das Jahr mit und ohne Wärmepumpen-Strombezug (WP)

[Hei17] Heijde, B.; Fuchs, M. et al.: Dynamic equation-based thermo-hydraulic pipe model for district heating and cooling systems in: Energy Conversion and Management, 151. Jg., 2017, S.158-169. DOI – 10.1016/j.enconman.2017.08.072

Im EU-Projekt STORE&GO (<http://www.storeandgo.info>) arbeitet das GWI federführend eine Potenzialstudie für die Chancen von Power-to-Gas und Methanisierung in Europa aus.

STORE&GO ist das derzeit größte europäische Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Power-to-Gas-Prozess der Methanisierung. Das 28 Mio. € Projekt unter Co-Finanzierung der EU (Fördernummer 691797) demonstriert diese Zukunftstechnologie an drei Standorten in Europa. **Abbildung 28** zeigt den Betrachtungsraum und die Partner im Konsortium.

Im Projekt werden sowohl lokale industrielle, als auch biologische CO₂-Mengen mit hoher Ortsauflösung inventarisiert und im Rahmen einer geoinformatischen Studie mit lokalen EE-Potenzialen verschnitten. Dazu wurden zum Beispiel über 91.000 heute bereits installierte Windkraftanlagen in die Studie einbezogen.



Abbildung 28: Projektpartner im STORE&GO-Konsortium

Die Analysen ergeben für die europäischen Regionen Schlüsselindustrien, deren (prozessbedingtes) CO₂ für die Erzeugung von synthetischem Methan wichtig werden könnte und zeigen detailliert auf, welche Standorte z.B. durch eine lokale Verfügbarkeit von EE-Angebot, CO₂ und anderen Kriterien bereits heute ideale Voraussetzungen für die großtechnische Energiespeicherung durch Power-to-Gas bieten. **Abbildung 29** zeigt als Beispiel die CO₂-Emissionen in Europa für die NUTS 2-Regionen (Nomenclature des unités territoriales statistiques).

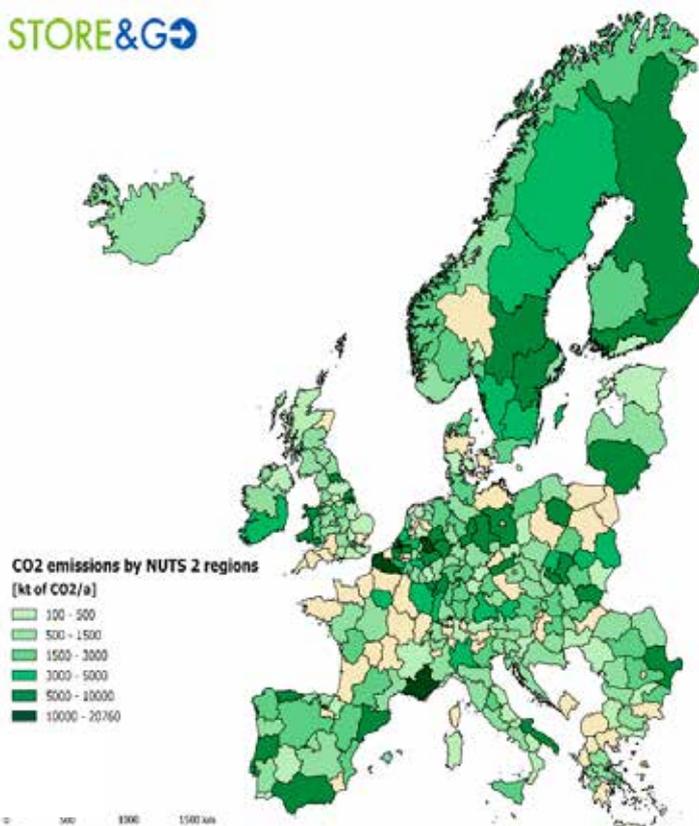


Abbildung 29: CO₂-Emissionen in den NUTS 2 Regionen (Nomenclature des unités territoriales statistiques)

Ein weiteres Projekt aus dem Themenumfeld Energiespeicher/Flexibilitäten ist das Projekt EnerPrax (Energiespeicher in der Praxis: <http://energiespeicher.nrw/>). Hier wird der Betrieb von Energiespeichern für den Bioenergiepark Saerbeck in Nordrhein-Westfalen und vergleichbare Kommunen untersucht. Bilanziell übersteigt die lokale Erzeugung von erneuerbarem Strom aus PV und Wind mittlerweile den Strombedarf der Gemeinde Saerbeck. In Phasen einer Überdeckung des Strombedarfs wird der überschüssige Strom aktuell in die übergeordnete Netzebene gespeist und in andere Regionen verteilt. Durch den voranschreitenden Ausbau von EE-Erzeugungsanlagen wird es aber zukünftig immer häufiger Situationen geben in denen eine räumliche Verteilung von EE-Strom nicht mehr ausreichend ist und eine zeitliche Verschiebung von Strommengen notwendig ist. Für den zeitlichen

Ausgleich werden unterschiedliche Speichertechnologien benötigt, die im Projekt EnerPrax in einem Energiespeichersystem miteinander verknüpft werden. Bei den Speicheranlagen handelt es sich um zwei Batteriespeicher (Speicherkapazität von 2 x 18 kWh), einer Redox-Flow-Batterie (Speicherkapazität von 125 kWh) und einem PEM-Elektrolyseur (1 m³ Wasserstoff pro Stunde). Ziel ist es, durch die Kombination von unterschiedlichen Speichern, die jeweiligen Stärken der Technologien gezielt zu nutzen, um ein optimiertes Gesamtspeichersystem zu realisieren. So besitzen die Kurzzeitspeicher einen guten Wirkungsgrad und eine hohe Dynamik, während sich der Elektrolyseur als Langzeitspeicher (Einspeisung des Wasserstoffs ins Erdgasnetz) durch eine große Speicherkapazität auszeichnet. Ein intelligentes Speichermanagement stellt dabei eine zentrale Anforderung an das Projekt, um die Synergien des Gesamtsystems möglichst effizient nutzen zu können.

Das GWI stellte mit dem PEM-Elektrolyseur 2018 –neben der Redox-Flow-Batterie– eine Speichertechnologie im Bioenergiepark auf und konnte diese erfolgreich in Betrieb nehmen. Die Batterien folgten im Januar 2019, sodass eine Gesamtinbetriebnahme der kleintechnischen Anlage im 1. Quartal 2019 angestrebt wird. Darüber hinaus wird die Technikumsanlage der Fachöffentlichkeit und interessierten Bürgerinnen und Bürgern demonstriert und dessen Nutzen für die Gesellschaft erläutert, – wie beispielsweise dem Tag der offenen Tür des Bioenergieparks am 08. und 09. September 2018 in Saerbeck.

Mit dem Projekt LNG-PILOTS ist das GWI bei einem Niederländisch-Deutschen Kooperationsprojekt zur Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen für den Einsatz von LNG/LBG beteiligt. Zudem ist das GWI seit 2018 Mitglied des Fachausschusses Mineralöl- und Brennstoffnormung – FAM im Normenausschuss Materialprüfung (NMP) des DIN geworden. Das GWI hat in 2018 zum fünften Mal den Workshop „LNG Roadmap – LNG as a driving force for cross-border cooperation within the EU“ zusammen mit der EnergieAgentur.NRW ausgerichtet, – die Veranstaltung für 2019 ist in Planung.

Im Projekt LNG-PILOTS hat das GWI Analysen zu ökonomischen und ökologischen Vorteilen durch den Einsatz von LNG als alternativer Kraftstoff für den Schwerlastverkehr abgeschlossen. Hier wurden drei Analysen angefertigt, welche zum einen die ökologischen Folgen von Prozessen beschreiben, als auch

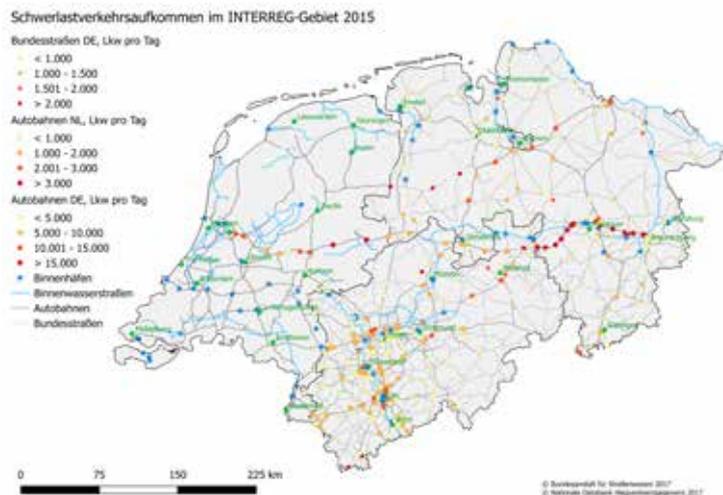


Abbildung 30: Verkehrsaufkommen durch den Schwerlastverkehr im betrachteten Gebiet

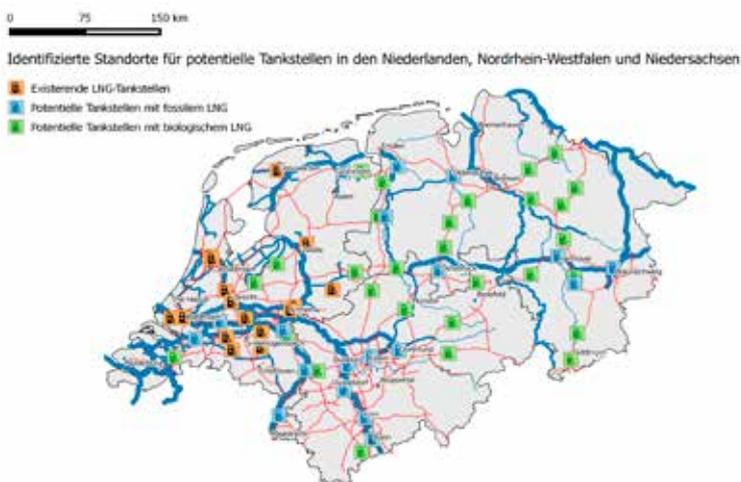


Abbildung 31: Potenzielle Standorte für LNG-Tankstellen, eigene Darstellung [Quelle GWI]

die zumeist direkt damit verbundenen energetischen Aufwendungen darstellen. Diese sind eine Well-to-Tank-Analyse, eine angeschlossene Tank-to-Wheel-Analyse mit den betrachteten Anwendungen, die Zusammenführung beider in einer Well-to-Wheel-Analyse sowie ein einbeziehendes Life Cycle Assessment. Des Weiteren ist eine Potentialanalyse zu den aktuellen und zukünftigen (bis 2030) Standorten für die Erweiterung der Infrastruktur durchgeführt worden. Die Analyse basiert auf dem Verkehrsaufkommen in Niedersachsen, NRW und NL. **Abbildung 30** zeigt den Schwerlastverkehr auf Autobahnen und Bundesstraßen sowie Binnenwasserstraßen mit

Binnenhäfen (potentielle Belade- und Entladestationen). Die Analysen zeigen, dass durch einen Einsatz von Bio-LNG es darüber hinaus zu einer weiteren erheblichen CO₂-Reduzierung kommen könnte. Dazu wurde eine Potentialanalyse für BioLNG für das INTERREG-Gebiet durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse für das betrachtete INTERREG-Gebiet sind **Abbildung 31** zu entnehmen.

PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

Veröffentlichungen

Albus, R.; Görner, K.: Tätigkeitsbericht 2017 Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

Albus, R.: Erkenntnisse aus vier Jahren L-/H-Gas-Marktraumumstellung – Ist die Branche für die nächste Phase gerüstet? energie | wasser-praxis 4/2018

Albus, R.: Stand der L-/H-Gas Marktraumumstellung, gwf Gas + Energie 4/2018

Garzon-Real, J., Dahlmann, B., Zdrallek, M., Hüttenrauch, J., Wupperfeld, M., Benthin, J., Heyer, A., Burmeister, F., Albus, A., Köppel, W., Peters, K.: Entwicklung und Validierung eines kombinierten Strom- und Gasnetzautomatisierungskonzepts auf Verteilnetzebene, gwf Gas + Energie, 10/2018, S. 68-81

Görner, K. et al: Sector coupling - Options and chances for the energy sector, electrify europe, 19./21.06.2018, Wien

Fischedick, M., Schoof, R., et al (Görner, K.): Sektorenkopplung als Herausforderung und Chance für das Energieland NRW, EnergieAgentur.NRW-Broschüre (erschienen 2018)

Graf, F., Linke, G., Gröschl, F., Wetzel, U., Brandes, F., Walter, M., Gerstein, D., Bartsch, V., Krause, H.; Burmeister, F.: Gas, BWK 70 (2018), Nr. 5, S. 82-101

Leicher, J., Giese, A., Görner, K., Fleischmann, B.: Does biogas co-firing in glass melting reduce CO₂ emissions, Glass International, 09/2018, S. 41-44

Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K.: Hydrogen in natural gas: how does it impact industrial end users?, 27. World Gas Conference, Washington D. C., 25.-29.06.2018

Lindenberger, D., Helgeson, B., Paulus, S., Peter, J., Polissadov, A., Welder, L., Stenzel, P., Hehemann, M., Müller, M., Ebersbach, M., Knicker, F., Markewitz, P.,

Robinius, M., Emonts, B., Stolten, D., Pesch, T., Koj, J. C., Jochum, O., Marzi, T., Unger, C., Schaffert, J., Senner, J., Brücken, N., Praefke, H., Tsiklios, C., Zejnulahu, B., Fiebrandt, M., Görner, K., Albus, R., Muhler, M., Gödde, J., Berger, C., Ruland, H., Merten, F., Schneider, C., Schüwer, D., Buddeke, M., Nebel, A., Scholz, A., Hanke, T., Fischedick, M., Lemken, D., Oberschachtsiek, B., Meijer, T., Theves, L., Gardemann, U., Steffen, M., Heinzl, A.: Virtuelles Institut "Strom zu Gas und Wärme" Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System, Broschüre, 09/2018

Moser, A., Kellermann, J., Wahl, M., Schaffert, J., Zdrallek, M., Wolter, D., Möhrke, F., Hüttenrauch, J.: Potentialstudie von Power-to-Gas-Anlagen in deutschen Verteilungsnetzen, DVGW energie|wasser-praxis, 01/2018, S. 48-49

"Schweitzer, J., Bruun, J., Leicher, J.: World wide study of the impact of gas quality variations on appliances (and utilisation), World Gas Conference 2018, Washington DC, USA, 2018

Unterberger, A., Röder, M., Giese, A., Al-Halbouni, A., Kempf, A. M., Mohri, K.: 3D instantaneous reconstruction of turbulent industrial flames using Computed Tomography of Chemiluminescence (CTC)", Journal of Combustion, vol. 2018, Article ID 5373829, 6 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5373829>

Wenzel, M., Flayyih, M., Lange, M., Benthin, J., Burmeister, F., Albus, R., Görner, K.: KWK-Anlagen in ganz Bottrop, UmweltMagazin 10-11/2018

Wenzel, M., Flayyih, M., Lange, M., Benthin, J., Burmeister, F., Albus, R.: 100 KWK-Anlagen für Bottrop, VGB Powertech, 06/2018, S. 84-87

Vorträge und Poster

Albus, R.: Zukünftige Rolle der Gastechnologien. Fachtagung „Energie Umwelt Zukunft“, Fachforum Erdgas, Leipzig, 25.01.2018

Albus, R.: Potenzial und Perspektiven von Gas-Plus-Technologien. Gaskursus 2018, Karlsruhe, 13.04.2018

Albus, R.: Überarbeitung der DVGW G 695 „Qualitätskontrolle von Umstell- und Anpassungsmaßnahmen bei Gasgeräten“. L/H-Fachtagung des GWI und DVGW, Melle-Osnabrück, 13.06.2018

Albus, R., Oehler, H.: Voranpassung von Brennwertgeräten - Eine detaillierte Betrachtung von Bosch-Thermotechnik GmbH, L/H-Fachtagung des GWI und DVGW, Melle-Osnabrück, 13.06.2018

Albus, R.: Erkenntnisse aus vier Jahren L/H-Gasumstellung. Erfahrungsaustausch der Chemiker und Ingenieure des Gasfaches, Karlsruhe, 21.09.2018

Benthin, J., Heyer, A., Hüttenrauch, J., Dahlmann, B., Garzon Real, J., Zdrallek, M., Peters, K.: Unified Gas and Electricity Distribution Grid Control, 3rd Hybrid Power Systems Workshop 2018, Teneriffa, 08.-09.05.2018

Burmeister, F., Korsten, L. Schaffert, J.: Scenarios for the mobility sector with LNG and LBG, 5. LNG Roadmap, Düsseldorf, 29.05.2018

Giese, A., Fleischmann, B.: Das Projekt „GasQualitätGlas“ Ergebnisse, Workshop Erdgasbeschaffenheitsschwankungen in der Prozessindustrie, Düsseldorf, 22.11.2018

Giese, A., Fleischmann, B.: Rohbiogaszumischung an einer Glasschmelzwanne – Umsetzung – Herausforderung und Erkenntnisse, Bioenergieforum NRW 2018, Gelsenkirchen, 27.06.2018

Giese, A.: Einfluss der Gasbeschaffenheit auf Industrieprozesse, Fachausschuss 20 der AWT, Bremen, 24.04.2018

Giese, A.: Grundlagen der Brennertechnik, 9. Praxistagung „Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen Essen, 13.03.2018

Giese, A.: Erdgasbeschaffenheit - Hintergründe, Stand, Ergebnisse laufender FuE-Projekte, AK Energie des BV Glas, Düsseldorf, 11.04.2018

Giese, A.: Forschungsförderung für kleine Unternehmen über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), Gründungstreffen des Forums Kleine Unternehmen & Startups, Frankfurt, 09.08.2018

Görner, K.: Sector coupling - Options and chances for the energy sector, electrify europe, 19.-21.06.2018, Wien

Görner, K.: Virtuelles Institut KWK.NRW, EnergieAgentur.NRW NW KWT, AG3-Sitzung, GWI, 22.02.2018

Görner, K.: Die Energiewende - Herausforderungen und Beiträge zur Lösung aus verschiedenen Sektoren, GWI-Seminar: Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen 2018, GWI, Essen, 14.03.2018

Görner, K.: Power2X technologies and sector coupling, VGB TG "Power Plant Concepts", GWI, Essen, 18.04.2018

Görner, K.: Pre-Engineering-Studie zur Flexibilisierung von Kraftwerken, EnergieAgentur.NRW, NW KWT Jahrestagung, Hotel Bredeneby, Essen, 30.08.2018

Görner, K.: Sector coupling - Options and chances for the energy sector, VGB Congress 2018, Munich, 13.09.2018

Gils, H.C., Gadrian, H., Schaffert, J., Tali, E., Köppke, M.: Einbindung des Gassektors in ein zeitlich und räumlich hoch aufgelöstes Energiesystemmodell, Workshop: Verbindung von Gesamtsystemoptimierung und Wirtschaftlichkeit bei der Sektorkopplung; Fraunhofer Forum, Berlin, 07.12.2018

Leicher, J., Fiehl, M., Islami, B., Giese, A., Görner, K., Fleischmann, B.: Industrial Process Heating: a new route for biogas utilization?, 26th European Biomass Conference & Exhibition, Kopenhagen, 14.-17.05.2018

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: CO₂ Emissions Reduction in the Glass Melting Process by Co-Firing of Biogas or Hydrogen, GlassTrend Seminar "How to face the technological challenges of the Paris climate agreement?", Würzburg, 17.04.2018

Leicher, J., Giese, A., Görner, K.: Modeling of natural gas/oxygen flames in thermal processing industries, 2. OxyFlame Workshop, Bochum, 14.-15.02.2018

Leicher, J., Giese, A.: Gasbeschaffenheiten - Grundlagen, Hintergründe, EU-Aktivitäten, Workshop Erdgasbeschaffenheitsschwankungen in der Prozessindustrie, Düsseldorf, 22.11.2018

Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K.: Hydrogen in natural gas: how does it impact industrial

- end users?, 27. World Gas Conference, Washington D. C., 25.-29.06.2018
- Leicher, J., Nowakowski, T., Giese, A., Görner, K.: Power-to-gas and hydrogen admixture into the natural gas grids: impact on industrial firing systems, IFRF Members' Conference 2018, Sheffield, 30.05.2018
- Leicher, J.: GasqualitaetGlas: Impact of natural gas quality on glass manufacturing and compensation strategies, glasstec 2018, Düsseldorf, 23.-26.10.2018
- Leicher, J.: Grundlagen der Verbrennung, 9. Praxistagung des GWI "Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen", Essen, 13.03.2018
- Leicher, J.: Schadstoffbildung und -minderung bei Verbrennungsprozessen, 9. Praxistagung des GWI "Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen", Essen, 13.03.2018
- Leicher, J.: Industrielle Gasnutzung: Ein Blick in die Zukunft, 9. Praxistagung des GWI "Effiziente Brennertechnik für Industrieöfen", Essen, 14.03.2018
- Leicher, J.: H-Gas im Wandel: veränderliche Gasbeschaffenheiten, Wasserstoff und industrielle Erdgasnutzung, 2. Informationsveranstaltung "L-/H-Marktraumumstellung für Industrie- und Kraftwerkstechnik", Essen, 15.03.2018
- Leicher, J.: L- und H-Gas: Unterschiede und Auswirkungen auf industrielle Feuerungsprozesse, 2. Informationsveranstaltung "L-/H-Marktraumumstellung für Industrie- und Kraftwerkstechnik", Essen, 15.03.2018
- Leicher, J.: CFD Modeling of Industrial Furnaces, Cast Link Belt Furnace Symposium, Düsseldorf, 13.04.2018
- Möntmann, D., Grote, D., Diarra, M., Röder, M., Giese, A., Al-Halbouni, A.: Entwicklung eines Feuerungssystems zur Erzeugung industrieller Prozesswärme aus biogenen Brennstoffen, DECHEMA - Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppen Mehrphasenströmungen (MPH), Wärme- und Stoffübertragung (WSUE), Computational Fluid Dynamics (CFD), Hochtemperaturtechnik (HTT), Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung (AuW), Kristallisation (KRI) und Partikelmesstechnik (PMT), Bremen, 06.-09.03.2018
- Naendorf, B.: Flanschverbindungen – DVGW Fachinformation Nr. 19, DVGW Netzmeister Erfahrungsaustausch, 21. Feb. 2018, Gelsenkirchen
- Naendorf, B.: Aus Hausanschluss wird Netzanschluss - DVGW G 459-1, 1. Kompetenztag Netzanschluss und Hauseinführung, 26.04.2018, Bochum
- Naendorf, B.: Handwerklicher Umbau – Aktueller Stand der Diskussion und erste Ergebnisse des GWI-Forschungsprojekts, Praxistage Marktraumumstellung (L-/H-Gas), 13.06.2018, Osnabrück
- Naendorf, B.: Aktuelle Diskussionen zur Marktraumumstellung, DVGW Bezirksgruppe Köln, 19.06.2018, Köln
- Naendorf, B.: Sachkundigenschulung Durchleitungsdruckbehälter – DVGW G 498, E.DIS Netz GmbH, 12.10.2018, Altentreptow
- Naendorf, B.: Moderne Instandhaltungskonzepte für die Gas-Anlagentechnik, Weiterbildung Erdgastankstellen, Stadtwerke ETO, 30 Okt. 2018 und 12.11.2018, Essen
- Naendorf, B.: Umgang mit Sicherheitsabsperungen, Sicherheitsschulung Kraftwerksbetrieb, Mark-E Kraftwerk Cuno, 21.11.2018, Hagen
- Naendorf, B.: Flanschverbindungen und moderne Instandhaltungskonzepte bei Gasanlagen; DVGW Sachkundigen Erfahrungsaustausch, 22.11.2018, Lahnstein
- Röder, M., Giese, A., Al-Halbouni, A., Möntmann, M., Grote, D., Diarra, D.: Combustion System for Gaseous and Liquid Biofuels with Low Pollutant Emissions, 26th European Biomass Conference & Exhibition, Copenhagen, 14.-17.05.2018
- Schaffert, J., Karjunen, H.: Coupling of the Energy Networks via Power-to-Gas – Geographical analysis and the role of intermediate CO₂ storage, IRES, Düsseldorf, 15.03.2018
- Schaffert, J.: Energiewende - Potenziale von Gasen und der Gasinfrastruktur, Gasinfrastruktur 10. TRGI-Expertenforum, Essen, 06.11.2018
- Schaffert, J.: Power-to-Gas als Flexibilitätstechnologie im zukünftigen Energiesystem, Energy Science Day, Universität Duisburg-Essen, Duisburg, 09.10.2018
- Senner, J.: Vorstellung der Demonstrationshalle vom Virtuellen Institut Strom zu Gas und Wärme, Gasinfrastruktur 10. TRGI-Expertenforum, Essen, 06.11.2018

Senner, J.: Vorstellung der Demonstrationshalle vom Virtuellen Institut Strom zu Gas und Wärme, Experten-Gruppe „Power-Gas-Strom“ der Energie-Agentur NRW, Duisburg, 30.10.2018

Abschlussberichte

Benthin, J., Heyer, A., Lange, M., Wortmann, B., Biddart, C., Köppel, W., Erler, R., Heinrich, P., Raabe, T.: Vorstudie zu Energieeffizienzpotentialen im Gewerbe-Handel-Dienstleistungs-Sektor im Hinblick auf CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Gas-plus Technologien, Abschlussbericht, DVGW, DVGW-Förderkennzeichen G 8/01/16-A, www.dvgw-forschung.de, 2018

Dahlmann, B., Garzón-Real, J., Hüttenrauch, J., Wupperfeld, M., Köppel, W., Benthin, J., Heyer, A.: Kombinierte Gas- und Stromnetzautomatisierung auf Verteilnetzebene, "Abschlussbericht, DVGW, DVGW-Förderkennzeichen G 201616 (G 3/01/16), www.dvgw-forschung.de, 2018"

Giese, A., Leicher, J., Nowakowski, T., Fleischmann, B., Löber, N.-H., Stranzinger, B., Bialek, S., Hemmann, P., Treu, C.: Gasbeschaffenheitsschwankungen - Erarbeitung von Kompensationsstrategien für die Glasindustrie zur Optimierung der Energieeffizienz, "Abschlussbericht, BMWi/PtJ Förderkennzeichen 03ET1296 A - D, 2018"

Görner, K., Lindenberger, D.: Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme - Flexibilisierungsoptionen im Strom-Gas-Wärme-System, Abschlussbericht, Management Summary, 2018

Krause, H., Werschy, M., Giese, A., Leicher, J., Dörr, H.: Hauptstudie Gasbeschaffenheit - Phase II, Abschlussbericht, DVGW, DVGW-Förderkennzeichen G1/01/15-C-, www.dvgw-forschung.de, 2018

Moreira, N., Buchet, P., Kemp, B., Krishina, I., Leicher, J., Mirzaei, B., Sung, L.J., Lehmkuhl, W.A., Osumi, S.: Gas Utilization Committee Study Group: Industrial Utilization Committee "Natural gas: the essential fuel for industry in a sustainable future, Final Report, International Gas Union, 2018

Röder, M., Giese, A., Möntmann, M., Grote, M., Dirra, D.: Entwicklung eines Kombi-Biobrenners zur Erzeugung industrieller Prozesswärme – Kombi-Brenner für flüssige und gasförmige Biobrennstoffe, Abschlussbericht, AiF-Forschungsvorhaben (IGF-Nr. 18188 N) 2018

Studentische Arbeiten

Behlke, M.: Potentialanalyse der im Projekt „Virtuelles Institut Strom zu Gas und Wärme“ betrachteten Flexibilitätsoptionen für NRW, Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Energietechnik; 11/2018, Essen

Djukow, M.: Modellierung und Simulation gekoppelter Strom- und Gasverteilnetze, Masterarbeit, Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme; 01/2018, München

Heckschen, M.: Erzeugung von synthetischen Profilen zur Beschreibung des energetisch relevanten Verhaltens von Hausbewohnern mittels Markov-Monte-Carlo-Simulation Bachelorarbeit, Universität Duisburg - Essen, Fakultät für Physik, 07/2018

Huismann, P.: Modellierung der netzgebundenen Wärmeversorgung in Quartieren, Masterarbeit, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Energietechnik; 09/2018, Essen

Korsten, L.: Technische und ökonomische Auswirkungen alternativer Kraftstoffe auf die Entwicklung des zukünftigen regionalen Verkehrssystems, Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Physik; 02/2018, Essen

Kubik, S.: Potentialanalyse und Dimensionierung von Batteriespeichern für Mikro-Blockheizkraftwerke, Bachelorarbeit, Hochschule Ruhr West, Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen - Energiesysteme, 04/2018, Bottrop

Muntaseer, A.: Local and Global Sensitive Analysis to Simplify a Residential Building Model - Dynamic Simulations with Modelica, Masterarbeit, Fachhochschule Südwestfalen, Systems Engineering and Engineering Management; 06/2018, Soest

Ruppert, S.: Modellierung eines denkmalgeschützten Quartiers und Simulation der quartiersinternen Energieflüsse“, Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen - Fakultät für Physik; 09/2018, Duisburg

Schieweck, T.: Alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien für den Schwerlastverkehr in Deutschland – ökologische und ökonomische Analyse, "Masterarbeit, Hochschule Ruhr West, Technisches Produktionsmanagement Institut Maschinenbau; 09/2018, Essen"

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(0)201 3618-0
F: +49(0)201 3618-111
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(0)201 3618-0*

*Tätigkeitsbereich 2018 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.
Hafenstraße 101 | 45356 Essen

T: +49(0)201 3618-0
F: +49(0)201 3618-111
E: info@gwi-essen.de

