

# Grüne Gase/Wasserstoff im Verteilnetz -Transformationspfad zur H<sub>2</sub>-Readiness

**Holger Dörr, Torsten Lotze, Thomas Ewest, Matthias Brune, Angela Brandes, Frederik Brandes, Martin Kronenberger und Nils Janßen**

Wasserstoff, Erdgas, Brennwert, Wobbe-Index, Einspeisung

Die Wasserstoffbeimischung zu Erdgas bietet eine Ad-hoc-Möglichkeit, um erneuerbaren Wasserstoff einer breiten Verwendung zuzuführen und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Gassektor zu reduzieren. Im vorliegenden Beitrag wurde vor allem aus netztechnischer Sicht untersucht, welche Aufgabenstellungen eine Beimischung von bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff zu Erdgas sich für den Gasverteilnetzbetreiber ergeben. Zu den Aufgaben zählen die Feststellung der Wasserstoffverträglichkeit des Gasnetzes bis zur Hauptabsperreinrichtung. Zur Gasinstallation mit den Gasgeräten muss auch eine Eignungseinschätzung für die Wasserstoffbeimischung vorliegen. Des Weiteren ist eine Wasserstoffeinspeiseanlage zu errichten und im Betrieb auch eine fiskalisch korrekte Gasabrechnung sicherzustellen. Die Ergebnisse zur Feststellung der Wasserstoffverträglichkeit des Gasnetzes werden vorgestellt. Es werden auch die Ergebnisse der Ersterhebung der Gasinstallationen mit den Gasgeräten und dem Prüfgas G 222 zusammengefasst und bewertet. Diese Untersuchung wurde detailliert für ein Gasverteilnetz in der Modellregion Fläming im Netzgebiet der Avacon Netz GmbH durchgeführt. Eine Übertragbarkeit der Methodik bzw. der Erkenntnisse auf andere Gasnetze im Netz der Avacon Netz GmbH wird geprüft.

## Green gases/hydrogen in the distribution network

Hydrogen blending with natural gas offers an ad-hoc possibility to make renewable hydrogen widely available and to reduce CO<sub>2</sub> emissions in the gas sector. In this article, the tasks that arise for the gas distribution network operator when adding up to 20 percent by volume of hydrogen to natural gas were investigated, primarily from the point of view of a network operator. The tasks include determining the hydrogen compatibility of the gas network up to the gas house lead-in. A suitability assessment for hydrogen admixture must also be available for the gas installation with the gas appliances. Furthermore, a hydrogen injection system must be installed and fiscally correct gas billing must also be ensured during operation. The results for determining the hydrogen compatibility of the gas network are presented. The results of the initial survey of the gas installations with the gas appliances and the test gas G 222 are also summarised and evaluated. This investigation was carried out in detail for a gas distribution network in the Fläming model region in the network area of Avacon Netz GmbH. A transferability of the methodology and the findings to other gas grids in the grid of Avacon Netz GmbH is being examined.

### 1. Einführung

Um auch im Gassektor die klimapolitischen Ziele zu erreichen, muss der fossile Energieträger Erdgas zunehmend durch erneuerbare Gase substituiert werden. Die volatile Einspeisung von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in das Erdgasnetz ist eine Ad-hoc-Möglichkeit, um die

CO<sub>2</sub>-Emissionen in großen Teilen des Bestands, insbesondere im Wärmemarkt, zu reduzieren. Wasserstoff ist nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 260 ein Zusatzgas für die 2. Gasfamilie und ein Grundgas für die neu eingeführte 5. Gasfamilie [1]. Da bei 20 Vol.-% H<sub>2</sub>-Beimischung die untere Grenze der relativen Dichte von 0,55 unterschritten wird,



den Gasinstallationen. Bis zur Hauseinführung sichtete der Netzbetreiber die Komponenten im Verteilnetz gemäß der Dokumentation im Gasnetzplan. Ab der Hauseinführung wurden der Typ der Hauptabsperreinrichtung, der Gasdruckregler, der Gaszähler und, soweit vorhanden, der Gasströmungswächter durch das GWI erhoben, die Daten durch das EBI gesichtet an den Netzbetreiber übermittelt.

Es traten bei der Verträglichkeits- bzw. Eignungsfeststellung zwei Herausforderungen auf. Die erste Herausforderung betrifft das Regelwerk, das aktuell erst die Wasserstoffbeimischung zu Erdgas bzw. von trockenem Wasserstoff als 5. Gasfamilie in der frisch novellierten G 260 [1] als zukünftige Teile der öffentlichen Gasversorgung [4, 5] implementiert. Teilweise laufen in Ergänzung zu zahlreichen Forschungsvorhaben, z. B. [6, 7], auch Untersuchungen, an denen unter anderem die im Projekt beteiligten Forschungsinstitute EBI und GWI beteiligt sind, um die Anforderungen und Prüfgrundlagen an die Nutzung von wasserstoffhaltigen Gasen in der öffentlichen Gasversorgung anzupassen. Aus diversen Projekten, z. B. [7], liegen bereits viele Kenntnisse, Ergebnisse und Erfahrungen für Wasserstoffkonzentrationen von 20 Vol.-%, 30 Vol.-% und 100 Vol.-% vor, um verlässliche Aussagen zur Materialbeständigkeit (z. B. [8-10]), Dichtigkeit (z. B. [11]) oder auch zu Verbrennungseigenschaften (siehe Abschnitt 5, z. B. [6, 12]) geben zu können. Für Gasnetzbetreiber sind zahlreiche Kenntnisse im „H<sub>2</sub>-Kompendium VNB“ [13] kompiliert, die auf die Gasnetzkomponenten und Betriebsbedingungen im Gasnetz abgestimmt sind.

Die zweite Herausforderung lag in der Zugänglichkeit von Daten. Nicht jede Komponente im Netzplan oder auch die durch das GWI fotografierten Hauptabsperreinrichtungen ließen eine eindeutige Zuordnung zu einer Typangabe oder auch nur Herstellerangabe zu. Ohne genaue Angaben muss in diesen Fällen eine Übertragbarkeit von bekannten vergleichbaren Komponenten auf die undeclarierte Komponente geschlossen werden, die nicht ohne ein gastechnisches Zertifikat in den Markt für Gasnetzkomponenten gekommen sein sollte.

Bei der Erhebung werden neben den Komponenten des Netz- bzw. Messstellenbetreibers (Hauptabsperreinrichtung, Gasdruckregler, Gaszähler) alle Komponenten ab der Hauptabsperreinrichtung aufgenommen und im Rahmen der Sichtprüfung werden die Leitungssysteme auch mit einem Gasspürgerät auf Dichtheit der Gasinstallation geprüft. Die Dichtungsmaterialien im Gasnetz und in der Gasinstallation werden auch bei Wasserstoffbeimischungen bis 100 Vol.-% als geeignet eingestuft (z. B. [7, 13]). Die betrachteten Dichtungssysteme umfassen unter anderem die im Gewinde dichtende Rohrverbindungen nach EN 751-Normfamilie, Flachdichtungen nach DIN

3535-6, Elastomerdichtungen nach EN 549, EN 682, EN 13787 (2017 zurückgezogen, nun integriert in EN 334), Klemm- und/oder Schneidringverschraubungen nach z. B. DIN 3387-1.

### 3.1 Gasverteilnetz

Das Gasverteilnetz nach der Einspeiseanlage erstreckt sich über ca. 44 km PE-Rohr und ca. 1 km Stahlrohr. Als Werkstoffe werden für die Kunststoffrohre PE 80, PE 100 und PE 100-RC eingesetzt, bei denen unter den Einsatzbedingungen bezüglich Druck und Temperatur keine Einschränkungen selbst für 100 Vol.-% H<sub>2</sub> gesehen werden. Diese Einschätzung aus diversen Untersuchungen wird auch durch den Kunststoffrohrverband (KRV) in seiner Stellungnahme zur Wasserstoffintegrität von Kunststoffrohren und Formteilen vertreten [14]. Da die Streckgrenze des Stahlrohres unter 360 N/mm<sup>2</sup> und der Betriebsdruck unter 16 bar liegt, sollte keine technisch relevante Versprödung durch Wasserstoff und somit keine Einschränkung hinsichtlich eines Wasserstoffesatzes gegeben sein [15, 16].

Die Eignung von Elastomeren und Schmierstoffen, wie sie insbesondere in Armaturen eingesetzt werden, für den Einsatz mit Wasserstoff kann auf Basis der Literatur (z. B. [8-10]) bezüglich der Materialverträglichkeit gegeben werden. Bei großflächigen (Druckregler-) Membranen aus Elastomeren geraten aktuell die Permeations- und Alterungseigenschaften gegenüber Wasserstoff aber auch Methan stärker in den Fokus, um Entwicklern aussagekräftige Kennzahlen für ein besseres Membrandesign zu geben.

Die Gesamtzahl der Armaturen im Gasnetz beträgt 104 Stück. Die Armaturen umfassen vor allem Hausanschluss- und Streckenschieber und zwei Gaskugelhähne.

Die Anforderungen zur Materialbeständigkeit und Funktion in trockenen wasserstoffhaltigen Gasen für Armaturen werden zurzeit im Regelwerk implementiert. Die mit dem Gas in Berührung kommenden Materialien für Elastomerdichtungen (NBR), Stützhülsen, Keilführungen (POM), Spindeln, Spindellagerungen, Keilmuttern, PE-Rohrenden (PE 100), Gehäusebeschichtungen (Epoxidharz) sind über Materialsteckbriefe im H<sub>2</sub>-Kompendium VNB [13] und die umfangreiche Literatur (z. B. [8-10]) bewertet worden.

Das technisch-physikalische Funktionsprinzip für Kugelhähne und Schieber als Absperrorgane ist weitgehend gasartenunabhängig, nur die Durchflusskennlinie verändert sich gegenüber Methan geringfügig. Im geschlossenen Zustand bleibt die Absperrfunktion gewahrt. Technisch dichte Systeme, das gilt sowohl für die äußere als auch innere Dichtheit, für Erdgas bleiben dies auch bei Beimischung von Wasserstoff bzw. Einsatz von reinem Wasserstoff [7], wenngleich eine geringfügig höhere

Fließrate gegenüber Erdgas/Methan zu erwarten ist (um den Faktor 1,3 höher für Leckagen mit laminar-viskoser Strömung [7, 17]). Somit sind die Armaturen für den Einsatz von Wasserstoff und von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen geeignet. Eine Wasserstoffbeimischung von bis zu 20 Vol.-% sieht auch der Hersteller des hauptsächlich im Gasnetz vertretenen Schiebers hinsichtlich des technisch-physikalischen Funktionsprinzips ohne Anpassungen an das Produkt als unbedenklich an.

Um dies mit Messdaten auch für die Bestandsarmaturen zu belegen, werden vor der Einspeisung fünf Armaturen stichprobenartig ausgebaut, untersucht und die Ergebnisse mit den Herstellern diskutiert.

Das eingesetzte Odoriermittel Spotleak® 1005 ist nach allgemeinem Kenntnisstand gegenüber Wasserstoff beständig. Des Weiteren hat Wasserstoff keinen olfaktorischen Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit bzw. Riechbarkeit des Gases. Effekte durch die Wasserstoffbeimischung sollten sich nur aufgrund des Verdünnungseffektes des unodorierten Wasserstoffs zu odoriertem Erdgas ergeben, dabei soll die Mindestodoriermittelkonzentration nicht unterschritten werden. Um dies zu berücksichtigen, wird ein Messgerät zur kontinuierlichen Erfassung und Überwachung der Odoriermittelkonzentration nach der Einspeiseanlage eingebaut.

Im betrachteten Gasverteilnetz konnte nach den bisherigen Analysen keine Kontraindikation für den Einsatz von Wasserstoff gemäß der neuen 5. Gasfamilie nach DVGW G 260 [1] oder von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen gefunden werden [13, 7, 9, 10, 18].

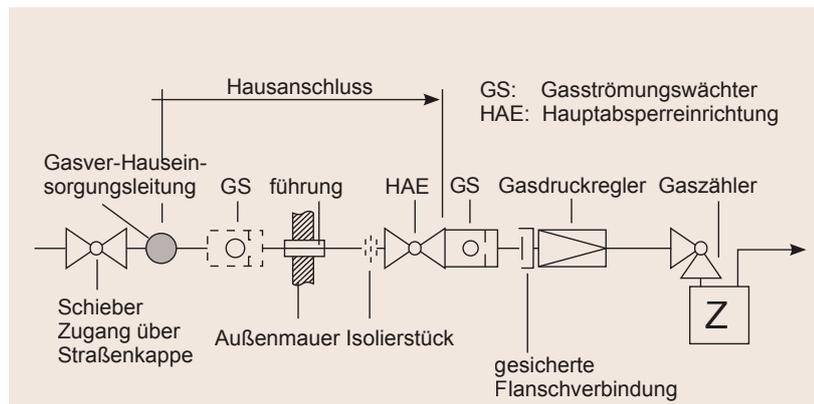
Zusätzliche Gasnetzüberprüfungen nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 465-1 sollen die Einspeisephasen begleiten, um den einwandfreien Netzbetrieb mit den Messergebnissen zu dokumentieren.

### 3.2 Komponentenbewertung des Gasnetzbetreibers in der Gasinstallation

Die vom Gasnetzbetreiber bewerteten Komponenten der Gasinstallation umfassen neben dem Netzteil Hauseinführung mit Hauptabsperreinrichtung (HAE), den Gasdruckregler, den Gaszähler und soweit vorhanden einen Gasströmungswächter (GS) vor dem Gaszähler. Nach der HAE werden die Leitungen, Armaturen und das Gasgerät der Hausinstallation zugerechnet und vom Netzbetreiber bis auf den Gasdruckregler, Gaszähler und mögliche GS nicht betrachtet, dieser Teil wird in Abschnitt 5 behandelt.

#### 3.1.1 Hauseinführung mit Hauptabsperreinrichtung (HAE)

Die aktuelle Auswertung aus der Ersterhebung ergab bei knapp über 300 Gasinstallationen, dass für ungefähr 50 % zumindest die Herstellerangabe der HAE erkennbar war.



**Bild 2:** Typisches Schema für einen Hausgasanschluss mit den vom Gasnetzbetreiber betrachteten Komponenten

Es wurden vor allem HAE der Hersteller Schuck, RMA, Puspas, ASP vorgefunden. Die Hersteller Schuck und RMA geben für die aktuellen HAE an, dass die im Produkt verbauten und mit dem Gas in Berührung kommenden Materialien für alle Erdgas-Wasserstoff-Gemische sowie für reinen Wasserstoff beständig sind.

Laut der Hersteller ist das technisch-physikalische Funktionsprinzip (Kugelhahn/Ventil als Absperrorgan der HAE) nicht gasartenunabhängig. Das Funktionsprinzip hängt wie bereits bei den Kugelhähnen und Schiebern im Gasnetz aufgeführt von den physikalischen Eigenschaften des Fluids Gas (Dichte bzw. relative Dichte, Viskosität) und den Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur, Durchfluss) ab. Aufgrund der verwendeten Materialien und Bauarten wird bei der Bestandsanalyse ein Analogieschluss bezüglich Materialverträglichkeit und Funktion auf die HAE anderer Hersteller vorgenommen. Durch die Wasserstoffbeimischung von 20 Vol.-% oder 30 Vol.-% sind laut der Hersteller keine Anpassungen für HAE erforderlich.

#### 3.1.2 Gasdruckregler

Die Gasdruckregler konnten bei der Ersterhebung alle mit Hersteller- und Typangabe aufgenommen werden. Als Hersteller waren in alphabetischer Reihenfolge Actaris, Elster, GMT, Kromschroder, RMA, Rombach, Schlumberger und Schlumberger Rombach mit ihren Haushaltsgasdruckreglern vertreten. Auch hier ist die Bewertung analog der HAE: Es gibt keine Kontraindikationen bezüglich der Materialverträglichkeit oder Funktion bei der Wasserstoffbeimischung bis mindestens 30 Vol.-% [13]. Die Reglerkennlinie kann sich abhängig vom Wasserstoffgehalt aufgrund der veränderten Eigenschaften des Fluids etwas ändern, ohne aber die Sicherheit negativ zu tangieren.

### 3.1.3 Gasströmungswächter im Hausanschluss und in der Gasinstallation

Gasströmungswächter sollen den Gasdurchfluss sperren, wenn ein Schließdurchfluss, z. B. durch eine Leitungsbeschädigung, überschritten wird [19]. Da Gasströmungswächter (GS) erst im Jahr 2004 eingeführt worden sind, wurden ungefähr bei einem Drittel der Anlagen GS unter anderem der Hersteller Bee, GMT, Mertik Maxitrol, Plasson, RMA, und Seppelfricke vorgefunden. Bei neueren Gasdruckreglern sind die GS häufig integriert. Teilweise wurden mehrere GS in einer Gasinstallation mit Hausanschluss in Reihenschaltung verschaltet, eine häufige Kombination war: Ein GS integriert in der HAE, ein GS integriert im Gasdruckregler und ein GS nach dem Gaszähler. Die in der Gasinstallation verbauten GS sind entsprechend der DIN 30652-1 bzw. DVGW VP 305-1 „Gasströmungswächter für Gasinstallation“ vom Typ K zertifiziert und weisen häufig Überströmöffnungen auf. Die GS in der Hausanschlussleitung mit HAE waren vom Typ C und Z gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 5305-2. Die Beständigkeit und die Funktion werden bis 20 Vol.-% und in Untersuchungen bis 30 Vol.-% H<sub>2</sub> bei allen eingesetzten GS gewährleistet sein, wobei die Funktion selbst vor allem von der ordnungsgemäßen Anlagenauslegung abhängt.

### 3.1.4 Gaszähler

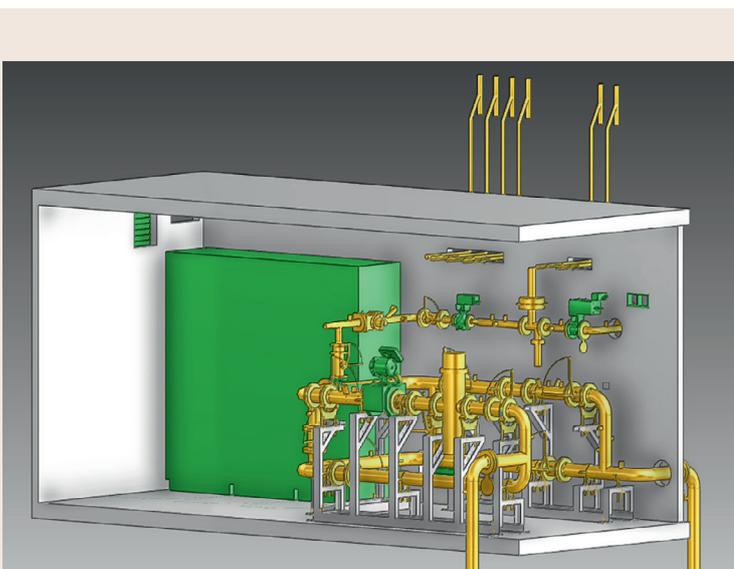
Im Netzgebiet wurden fast ausschließlich Einrohr-/Einstutzen-Balngaszähler der Zählergrößen G2,5, G4, seltener G6 und jeweils in einem Fall G16 und G25 vorgefunden. Vier Ultraschallzähler der Zählergröße G4 werden vor Beginn der Einspeisung gegen Balngaszähler aus-

getauscht. In einem gewerblichen Betrieb werden noch zwei Drehkolbenzähler der Zählergröße G65 eingesetzt. Von der Materialverträglichkeit werden alle Gaszählertypen als geeignet für den Kontakt mit Wasserstoff eingestuft [7]. Auf Basis des Arbeitsprinzips sollten die Balngaszähler und die Drehkolbenzähler auch den metrologischen Anforderungen für eine fiskalische Gasmengenmessung genügen [7]. Eine metrologische Absicherung mit dem Ziel einer Unbedenklichkeitsbescheinigung nach TR G 19 [20] durch die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig erfolgt im parallelen DVGW-Projekt H<sub>2</sub>-Messrichtigkeit. Die Unbedenklichkeitsbescheinigungen nach TR G 19 für die in einem Netzgebiet eingesetzten Gaszähler ist eine Forderung der Eichbehörden, um auch bei der Wasserstoffbeimischung von 20 Vol.-% eine fiskalisch korrekte Gasabrechnung gewährleisten zu können.

## 4. Einspeiseanlage

Die Einspeiseanlage wird nah an der jetzigen Gasdruckregelstation bei Schoppsdorf errichtet, um von dort die Einseiteneinspeisung in das ausgewählte Gasnetz vornehmen zu können. Für die Wasserstoffversorgung per LKW-Trailer wurde ein entsprechendes Grundstück mit Zufahrt vorbereitet. Diese Form der Wasserstoffversorgung wurde gewählt, um sich vollständig auf die Untersuchung des Gasnetzes und der Gasverwendungstechnik bei der Einspeisung konzentrieren zu können.

Die Anlagentechnik befindet sich in einem 20ft-Container und umfasst zwei Erdgasschienen und eine Wasserstoffschiene (siehe **Bild 3**). Die obere Erdgasschiene für den Beimischbetrieb enthält eine Erdgasvolumenstrommessung, die als Master für die Konzentrationsregelung der Wasserstoffbeimischung dient. Die zweite Erdgasschiene ist ein absperrender Bypass, wenn kein Wasserstoff beigemischt wird und keine Erdgasvolumenstrommessung notwendig ist. Die Wasserstoffschiene beginnt mit einem Gasdruckregelventil und einem Mengenregelventil, die als sogenannte Slave-Aktoren in der Master-Slave-Konzentrationsregelung die Wasserstoffbeimischung dynamisch an den wechselnden Erdgasdurchfluss anpasst. Dabei hält die Konzentrationsregelung die Wasserstoffkonzentration gemäß der Vorgabe konstant. Die Vorgaben sind entsprechend den Einspeisephasen 10 Vol.-%, 15 Vol.-% und 20 Vol.-% H<sub>2</sub>. Die Wasserstoffschiene mündet in die obere Erdgasschiene und über einen statischen Mischer wird eine homogene Vermischung von Wasserstoff im Erdgas sichergestellt. Vor dem Austritt der Mischgasleitung aus dem Container wird über einen stationären Wasserstoffsensoren vom Typ HyOptima 1700 die H<sub>2</sub>-Konzentration gemessen und der Messwert zur Konzentrationsrege-



**Bild 3:** Die Einspeiseanlage im 20-ft Container

lung und als Teil der Sicherheitskette zur Anlagenüberwachung verwendet (**Tabelle 1**).

## 5. Erhebungen der Gasinstallationen mit den Gasgeräten

Alle Gasinstallationen mit den Gasgeräten wurden vorab der Wasserstoffbeimischungen erhoben, um den Zustand der Installationen und der Gasgeräte festzustellen. Des Weiteren sollte die einwandfreie und sichere Funktion auch bei der Zielkonzentration von 20 Vol.-% H<sub>2</sub> in Erdgas sichergestellt werden. Dabei wurden alle Gasinstallationen einer Einzelfallprüfung unterworfen, um den Anforderungen bei Unterschreitung der relativen Dichtegrenze von 0,55 des Abschnitts 4.2.2 des DVGW-Arbeitsblattes G 260 „Gasbeschaffenheit“ [2] Rechnung zu tragen, die Novellierung des Arbeitsblattes erschien während der Erstellung dieses Artikels [1]. In einem mit Experten aus dem Gasfach und den Herstellern abgestimmten Sicherheitskonzept wurden die Erhebungsparameter festgelegt, um jede Anlage bezüglich des Beimischbetriebs bewerten zu können. Auch die Einzelgeräteevaluation wurde in einem Arbeitskreis mit den Geräteherstellern auf Basis der FMEA- (Failure Mode and Effects Analysis-) Methodik systematisiert, um vergleichbare Risikoprioritätszahlen für mögliche H<sub>2</sub>-Effekte auf das jeweilige Gasgerät zu ermitteln. Dabei flossen unter anderem die Ergebnisse aus den abgeschlossenen DVGW-Forschungsprojekten „Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz“ [6] und „Sicherheitskonzept TRGI - Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI“ [7] und von laufenden Untersuchungen wie dem DVGW-Forschungsvorhaben „Roadmap Gas 2050“ oder dem EU-Projekt „THyGA“ ein.

Die Erhebungen umfassten die Sichtprüfung der Gasinstallation, eine Gebrauchsfähigkeitsprüfung bezüglich der Dichtheit, den Betrieb der Gasgeräte bei Volllast und soweit möglich bei Minimallast. Die Sichtprüfung erfasst auch die verbauten Leitungsmaterialien mit den Armaturen. Die Hauptabsperreinrichtung, der Gasdruckregler, der Gaszähler, das Gasgerät und ggf. vorhandene Gasströmungswächter werden mit Typangabe protokolliert. Der Betrieb des Gasgerätes teilt sich in drei Messphasen: In der 1. Messphase lief das Gasgerät mit dem Erdgas aus dem Gasnetz, um die einwandfreie Funktion festzustellen. In der 2. Messphase wurde über einen Prüfgasadapter das Prüfgas für Flammenrückschlag G 222 mit 23 Vol.-% H<sub>2</sub> in Methan auf das Gasgerät gegeben, um in der abschließenden 3. Messphase im Betrieb wieder mit Erdgas die ursprünglich vorgefundene Funktion bei der 1. Messphase nachzuweisen. Beim Betrieb in allen Messphasen

**Tabelle 1:** Kenndaten der Einspeiseanlage, alle Druckangaben sind Überdrücke, alle Volumenstromangaben bei Normbedingungen

<b>Auslegungsdruck DP</b>	16 bar
<b>Auslegungsdruck Ausgang</b>	1 bar
<b>Betriebsdruck OP</b>	700 bis 800 mbar
<b>minimaler Volumenstrom</b>	50 m <sup>3</sup> /h
<b>maximaler Volumenstrom</b>	550 m <sup>3</sup> /h

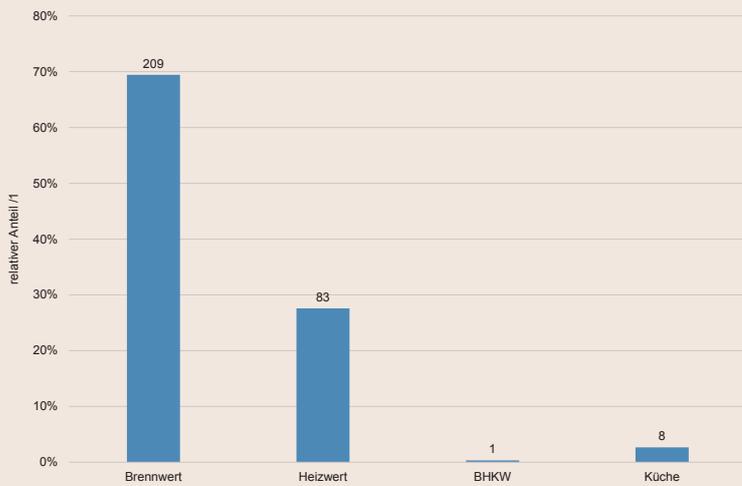
wurde jeweils auf Auffälligkeiten auch beim Zünden geachtet, quantitativ wurden die Emissionen mit den Abgasmesswerten für Abgastemperatur, Restsauerstoff, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> und die Verbrennungslufttemperatur erfasst. Die Gebrauchsfähigkeitsprüfung schloss die Erhebung ab, dabei wurden auch unbeschränkt gebrauchsfähige Anlagen bezüglich des Messwerts unter einem 1 l/h als Messwert aufgelöst. Die umfangreiche Erhebung dauerte meistens um die 2 h, das anonymisierte Erhebungsprotokoll mit über 100 Eingabefeldern wurde bei der DVGW-Forschungsstelle am EBI ausgewertet. Die jeweiligen Hersteller erhielten die Erhebungsdaten zu ihren Gasgeräten, um auch deren Einschätzung für die Einzelfallprüfungen berücksichtigen zu können. Die Gaskunden freuten sich vor allem über eine kostenfreie Überprüfung ihrer Anlage.

Der ausgewählte Bestand in der Modellregion Fläming war bei Erstellung des Artikels fast vollständig erhoben und spiegelte den Erhebungsstand Mitte August 2021 wider. Weitere Geräte aufgrund von Neubauten oder Heizungsmodernisierungen werden fortlaufend erhoben und der Einzelfallprüfung unterzogen.

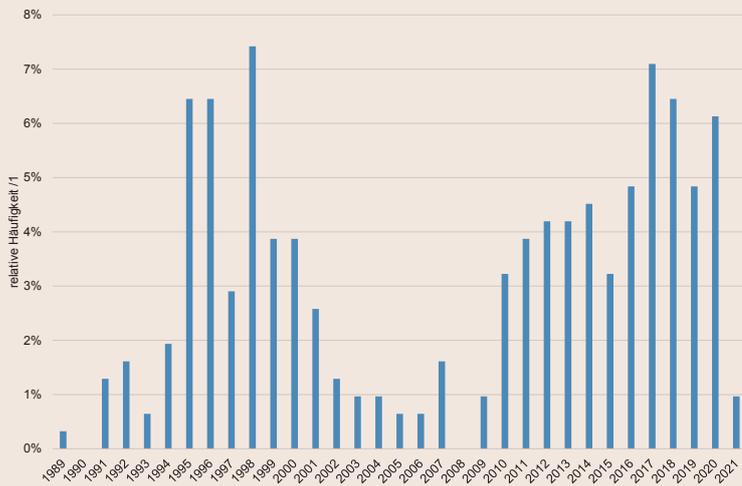
Aktuell wurden 301 Gasgeräte erhoben, davon konnten 209 Geräte als Brennwertgeräte, 83 als Heizwertgeräte, acht Gasküchengeräte und ein kleines Blockheizkraftwerk klassifiziert werden, siehe **Bild 4**. Die Gasgeräte verteilten sich über 27 Hersteller bzw. Marken, davon entfallen fast 80 % des Bestands auf vier Marken. Zahlreiche Hersteller waren nur mit einzelnen Gasgeräten in der Modellregion vertreten.

**Bild 5** zeigt die Altersverteilung der im Durchschnitt 13,5 Jahre alten Gasgeräte, die sich in zwei Moden einteilt. Der erste Modus von Anfang der 1990er Jahre bis ca. 2006 kann als Aufbauphase im 1994/95 errichteten Gasnetz eingestuft werden, nach 2006 konnte an der Altersverteilung neben Neuanlagen aus einem Neubaubereich auch ein Modus vor allem aufgrund von Heizungsmodernisierungen mit Austausch von Altgeräten beobachtet werden.

Die Belastungsverteilung der Gasgeräte zeigt **Bild 6**, der Mittelwert lag bei 21,7 kW und nur drei Gasgeräte



**Bild 4:** Anlagenverteilung der erhobenen Gasgeräte in der Modellregion Fläming



**Bild 5:** Bimodale Altersverteilung der Gasgeräte in der Modellregion Fläming



**Bild 6:** Verteilung der Belastungen der Gasgeräte

wiesen Belastungen oberhalb von 70 kW bis maximal 190 kW auf. Das spiegelte die Bebauungsstruktur in der Modellregion Fläming mit vornehmlicher Wohnbebauung in Form von Ein- und Zweifamilienhäusern wider.

Die Gasinstallationen mit den Gasgeräten wurden wie vorgefunden erhoben, es wurden keine Geräteeinstellungen geändert! Die Prüfungen der 301 Gasgeräte vor Ort ergaben bislang 14 Mängelkarten, davon entfielen 8 auf zu hohe CO-Emissionen, wobei 7 im Erdgasbetrieb und 1 im Prüfgasbetrieb auftraten. Die restlichen Mängel betrafen die Gasinstallation vor allem mit korrodierten Leitungen, einer beschränkten Gebrauchsfähigkeit oder einer unzulänglichen Verbrennungsluftzufuhr. Alle Mängel wurden behoben. Die Mängelrate aufgrund zu hoher Emissionen liegt bei 2,7 % im Bereich der Zentralinnungsverband- (ZIV-) Daten des Schornsteinfegerhandwerks [21]. In einigen Fällen wurden Auffälligkeiten, die noch keinen formalen Mangel darstellten, in Zusammenarbeit mit den Herstellern behoben, da die Einzelfallprüfungen strengere Kriterien an die Verbrennungsgüte anlegten als bei den Baumusterprüfungen bzw. den Überprüfungen durch die Schornsteinfeger.

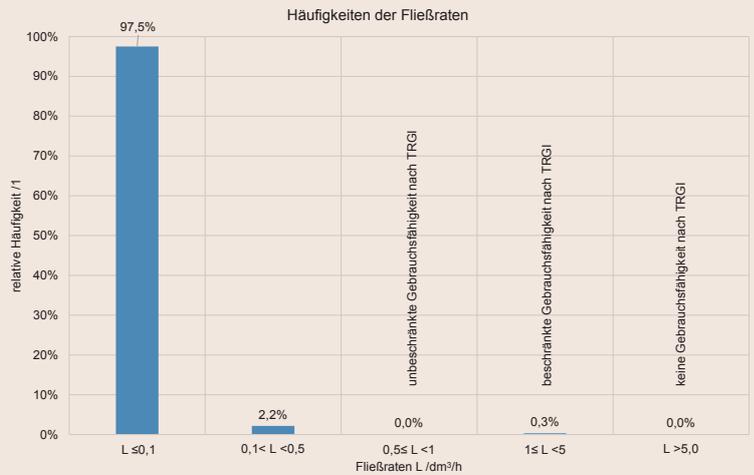
Die Messergebnisse der Emissionsmessungen wurden für die beiden Verbrennungsgüteparameter CO und NO<sub>x</sub> als Häufigkeitsverteilungen zusammengefasst. Die Häufigkeitsverteilungen sollen die mehreren Hundert Abgasmesswerte (bei Volllast über 900) als aussagekräftige Darstellungen über Konzentrationsklassen zusammenfassen. Die unverdünnten CO-Emissionen lagen bei den Volllastmessungen mit Erdgas im Mittel bei 50 Vol.-ppm und mit Prüfgas G 222 bei 31 Vol.-ppm, was qualitativ auch durch die Häufigkeitsverteilung in **Bild 8** angedeutet wird. Durch den Wasserstoffanteil von 23 Vol.-% in G 222 verbesserte sich der Ausbrand und die CO-Emissionen wurden um 38 % reduziert. Bei Teil-/Minimallast lagen die CO-Emissionen im Mittel bei 11 Vol.-ppm für Erdgas und um 10 % niedriger bei 10 Vol.-ppm für Prüfgas G 222, was den positiven Effekt von Wasserstoffbeimischungen auf die Verbrennungsgüte auch bei dieser Untersuchung bestätigte. Die Flammen werden bei H<sub>2</sub>-Beimischung magerer und man sieht auch einen ähnlichen Trend wie bei CO in **Bild 9** für die Stickoxidemissionen. Im Volllastbetrieb mit Erdgas wurden im Mittel unverdünnt 40 Vol.-ppm NO<sub>x</sub> gemessen. Bei Umstellung auf das Prüfgas G 222 reduzierten sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen um 26 % auf 30 Vol.-ppm (**Bild 6**). Unter Minimallast emittierten die Gasgeräte analog zu den CO-Emissionen nochmals weniger NO<sub>x</sub> als unter Volllast. Hier fiel die Reduktion um 31 % von im Mittel 21 Vol.-ppm NO<sub>x</sub> im Erdgasbetrieb auf 14 Vol.-ppm NO<sub>x</sub> im Prüfgasbetrieb ebenfalls deutlich aus. Die Zündung mit G 222 wies erwartungsgemäß aus vielfältigen Untersuchungen u. a. in [6] keine Auffälligkeiten auf.

Die Gebrauchsfähigkeitsmessungen der Gasinstallation zeigt **Bild 7** als Häufigkeitsverteilungen der Fließraten (L) durch Leckagen mit Unterteilung der unbeschränkten Gebrauchsfähigkeit in drei Klassen: bis 0,1 dm<sup>3</sup>/h, 0,1 < L < 0,5 dm<sup>3</sup>/h und 0,5 ≤ L < 1,0 dm<sup>3</sup>/h. Die Messungen ergaben nur eine beschränkte Gebrauchsfähigkeit mit 3,9 l/h Fließrate, 99,7 % der Anlagen wiesen Fließraten kleiner 0,5 dm<sup>3</sup>/h auf. Im Mittel lag die Fließrate bei 27 ml/h, davon waren allein 47 % durch die eine Gasinstallation mit der beschränkten Gebrauchsfähigkeit zurückzuführen. Der Mangel der beschränkten Gebrauchsfähigkeit wurde aufgrund der Mängelkarte behoben. Die Gebrauchsfähigkeitsprüfung wurde mit Erdgas durchgeführt, bei 20 Vol.-% H<sub>2</sub>-Beimischung würde sich die Fließrate aufgrund der Zusammensetzung ändern. Bei einem typischen laminar-viskosen Fluss an der Leckagestelle erhöht sich die mittlere Fließrate um knapp 4 % von 27 ml/h auf 28 ml/h (z. B. [17, 22]).

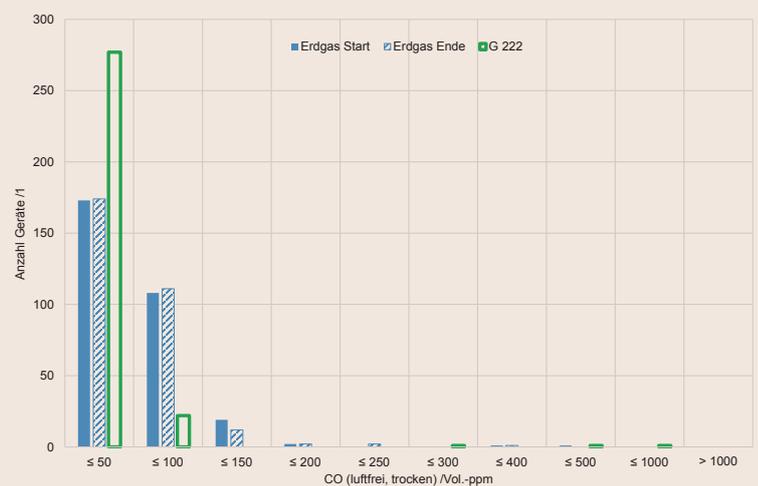
Insgesamt konnten die über 300 bislang erhobenen Gasinstallationen mit den Gasgeräten und den eingeleiteten Maßnahmen bei den wenigen Mängelfällen fast zu 100 % positiv im Sinne der Einzelfallprüfung bewertet werden. Zu beachten ist dabei, dass die Gasinstallationen mit den Gasgeräten wie vorgefunden erhoben und nicht bezüglich der Einstellungen verändert worden sind. In vier Fällen werden Altgeräte durch Neugeräte ersetzt und die Heizungsanlagen modernisiert. Die ausgebauten Altgeräte sollen noch im Labor auf den Betrieb mit Wasserstoffbeimischungen geprüft werden.

### 6. Zeitplan der Einspeisung

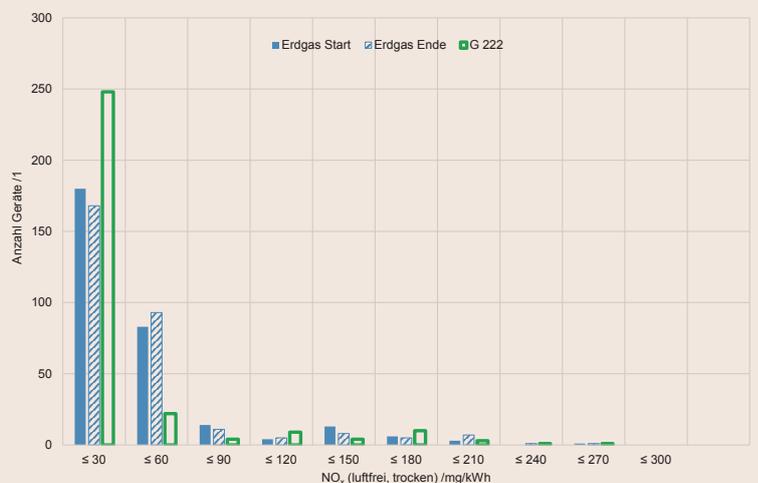
Die Einspeisung von Wasserstoff in der Modellregion Fläming ist über die zwei Heizperioden 2021/22 und 2022/23 in Stufen von 10 Vol.-%, 15 Vol.-% und 20 Vol.-% H<sub>2</sub>-Beimischung geplant. Ende 2021 wird in der ersten Stufe 10 Vol.-% Wasserstoff über ca. vier Wochen dem Erdgas beigemischt. Bei ca. 1/3 der Gasgeräte werden Stichprobenmessungen bezüglich der Verbrennungsgüte mit Messungen des tatsächlichen Wasserstoffgehalts vor Ort durchgeführt, um die Einspeisung wissenschaftlich bei allen Einspeisestufen zu begleiten. Die Wasserstoffmessung vor Ort mit einem portablen Messgerät trägt der Netzatmung und der nicht unterbrechungsfrei gestalteten Wasserstoffversorgung analog dem Vorgängerprojekt [6] Rechnung. Neben Stundenwerten für die Gasbeschaffenheit seitens des Netzbetreibers werden zusätzlich punktuell Gasproben gezogen, um auch die Erdgaskomponenten im Gemisch mit Wasserstoff zu bestimmen. Sollten keine Auffälligkeiten bei den Stichproben oder bei der 24/7-Störungsstelle des Netzbetreibers auftreten, kann die nächste Einspeisestufe mit 5 Vol.-% höherer Wasserstoffbeimischung bis maximal 20 Vol.-%



**Bild 7:** Relative Häufigkeiten der gemessenen Fließraten bei den Gebrauchsfähigkeitsprüfungen mit einer Mängelkarte wegen beschränkter Gebrauchsfähigkeit



**Bild 8:** Häufigkeitsverteilung der CO-Messwerte (luftfrei, trocken) bei Volllast für alle drei Messphasen



**Bild 9:** Häufigkeitsverteilung der NO<sub>x</sub>-Messwerte (luftfrei, trocken) bei Volllast für alle drei Messphasen

gestartet werden. Die 15 Vol.-% Beimischphase ist für Anfang Februar bis Anfang März 2022 geplant. Nach einer Auswertephase soll die Zielkonzentration von 20 Vol.-% H<sub>2</sub> ab Mitte/Ende März 2022 für vier Wochen dem Erdgas beigemischt werden. Eine weitere 20 Vol.-% Einspeise-phase soll auch in der Heizperiode 2022/23 über mehrere Wochen folgen. Neben einer möglichst gleichförmigen Beimischung sind auch volatile Einspeisungen vorgesehen, um die volatilen Erneuerbaren Energien als Wasserstoffquellen zu emulieren und die Effekte von schwankenden H<sub>2</sub>-Gehalten im Bestand zu untersuchen.

## 7. Öffentlichkeitsarbeit

Bereits zu Beginn des Projektes wurde identifiziert, dass die transparente Öffentlichkeitsarbeit insbesondere in Richtung Netzanschlussnehmer eine zentrale Rolle einnimmt, da ohne die Bereitschaft der Netzanschlussnehmer dieses Projekt nicht umsetzbar ist.

Daher wurden das lokale SHK-Handwerk, die Schornsteinfeger und die Netzanschlussnehmer vorab umfangreich informiert, um mit den Ersterhebungen, die seit Oktober 2020 durchgeführt werden, das umfassende Sicherheitskonzept umzusetzen.

Für die SHK-Installateure und Schornsteinfeger gab es separate Informationsveranstaltungen, in denen das Thema Wasserstoff und die Auswirkungen auf den Gerätebetrieb und die Verbrennung vertieft wurden.

Die Teilnahmebereitschaft erwies sich bisher dank der Informationsstrategie gegenüber den beteiligten Netzanschlussnehmern als sehr hoch. Es gab zwei Informationsveranstaltungen mit großer Resonanz.

Die erste im September 2020, um das Projekt und die Grundlagen vorzustellen. Hier wurden folgende Themenschwerpunkte als Metaplanwände präsentiert:

- Wasserstoff – ein Schlüssel der Energiewende
- Technische Rahmen des Projektes
- Geräteprüfung und -erfassung – was passiert in Ihrem Haushalt
- Energieverbrauch und Abrechnung

Eine weitere Veranstaltung fand im September 2021 statt. Hier lag der Fokus auf dem bisher erreichten Projektstatus und dem Ausblick sowie den geplanten Stichprobenüberprüfungen während der Einspeisephasen. Hier wurden folgende Themenschwerpunkte präsentiert:

- Projektstand Wasserstoff im Gasnetz
- Geräteprüfung und Mängelbeseitigung
- Beobachtung im Einspeisebetrieb

Die Kommunen in der Modellregion wurden intensiv in die Öffentlichkeitsarbeit mit eingebunden und stehen zu 100 % hinter dem Projekt. Nicht nur die Bürgermeister,

sondern auch der Landrat sehen mit diesem Projekt die Modellregion Fläming als ein Aushängeschild für die lokale Nutzung erneuerbarer Energien.

Da klimapolitisch Wasserstoff aktuell im Fokus steht, wurden zahlreiche Artikel zum Stand des Projektes nicht nur in der Fachpresse, sondern auch in der Tages-/Lokalpresse veröffentlicht. Kontinuierlich wurde und wird auf zahlreichen Veranstaltungen der Stand des Projektes präsentiert. Zudem sind weitere Informationen auf den Internetseiten des DVGW und der Avacon zu diesem Projekt zu finden.

## 8. Überblick zu Projekten mit Wasserstoffbeimischungen zu Erdgas

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches konnte in einem Forschungsverbund mit weiteren Projektpartnern zwischen Anfang 2014 und Mitte 2015 in Deutschland erstmalig die Einspeisung von bis zu 10 Vol.-% Wasserstoff in einem Erdgasverteilnetz demonstrieren [6]. Der Feldversuch wurde in den nordfriesischen Gemeinden Klanxbüll und Neukirchen zusammen mit dem Gasnetzbetreiber Schleswig-Holstein Netz AG aus der E.ON-Gruppe unter Koordination durch das EBI und mit dem Partner GWI durchgeführt. Die Projektschwerpunkte gliederten sich in zwei Blöcke mit dem 1. Block theoretische und experimentelle Absicherung im Labor und auf Prüfständen vor Einspeisebeginn und dem 2. Block die Einspeisung als Feldversuch. In Labor- und Prüfstandsuntersuchungen konnte an 10 kommerziell erhältlichen Gasgeräten die Wasserstoffbeimischung bis mindestens 30 Vol.-% Wasserstoff ohne Auffälligkeiten getestet werden. Auch bei zwei Stirling-Systemen und einem Brennwertgerät als Versuchsstand zu diversen Verbrennungsregelungen konnten bis zu 40 bzw. 55 Vol.-% H<sub>2</sub>-Beimischung realisiert werden. Die H<sub>2</sub>-Beimischung verbesserte dabei den Ausbrand, die CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen sanken analog den hier gefundenen Ergebnissen. Beim Feldversuch waren die Ermittlung der Akzeptanz der Kunden, die Erlangung von Kenntnissen des Netzbetriebs, das Monitoring der Funktion der Gasgeräte und die Prüfung der Abrechenbarkeit des geänderten Brennwertes des Erdgas-Wasserstoff-Gemisches Schwerpunkte der Untersuchungen. Der Wasserstoff wurde dabei während der Einspeisephase dänischem H-Gas beigemischt und fast 180 Gasgeräten zugeführt. Im Ergebnis konnte sowohl im Labor als auch im Feldtest nachgewiesen werden, dass die Gerätenutzung durch die Wasserstoffbeimischung von 10 Vol.-% beim Endkunden und bis mindestens 30 Vol.-% im Labor nicht beeinträchtigt wurde [6].

Im Energiepark Mainz, welcher von den Stadtwerken Mainz betrieben wird, wird seit Mitte 2017 mithilfe einer

Power-to-Gas Anlage Wasserstoff produziert, welcher u.a. in das örtlich angrenzende Gasverteilnetz eingespeist wird. Durch die insgesamt drei installierten Elektrolyseeinheiten kann Strom von bis zu drei 2-MW-Windrädern in Wasserstoff umgewandelt werden. Im Mainzer Stadtteil Ebersheim wird den Bürgerinnen und Bürgern dadurch Wasserstoff zum Heizen und Kochen zur Verfügung gestellt, welcher dem Erdgas mit einem Anteil von bis zu 10 Vol.-% zugemischt wird. Hervorzuheben ist, dass sich für die Ebersheimer Bevölkerung analog zum Feldtest in Klanxbüll/Neukirchen nichts bei der Nutzung geändert hat [22]. Die Bestandsgeräte arbeiten bezüglich der Wasserstoffbeimischung störungsfrei.

Auf der Wattenmeerinsel Ameland wurde in den Jahren 2007 bis 2011 in einem lokal begrenzten Gasverteilnetz mit insgesamt 14 Anschlussnehmern erstmalig bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff eingespeist [23]. Der umweltfreundlich produzierte Wasserstoff wurde ausgewählten und neuen Gasherden und Gasheizungen zugeführt, sodass deren Wasserstoffverträglichkeit vorab hinlänglich getestet werden konnte. Es konnten während des Feldversuches sehr positive Ergebnisse erzielt werden, da die neuen Bestandsgeräte in der Werkseinstellung als auch das Gasnetz einwandfrei und sicher funktionierten. Die Hausbewohner konnten zudem keine Komforteinbußen feststellen [23].

In Großbritannien ist in 2017 das Projekt HyDeploy mit einer Zielkonzentration von 20 Vol.-% gestartet [24]. Das Projekt ist in drei Phasen gegliedert, die sich an den Einspeisezonen orientiert. In der ersten Phase erstreckt sich die Einspeisung im Bereich der Keele University mit ca. 100 Wohn- und 30 Universitätsgebäuden, wo im Oktober 2019 mit wenigen Prozenten Wasserstoffbeimischung der Einspeisebetrieb begonnen wurde. Der Wasserstoff wurde vor Ort in einem Elektrolyseur erzeugt und bislang bis max. 15 Vol.-% dem Erdgas beigemischt [24]. In der 2. Hälfte 2021 soll die Beimischung in einem Bestandsgebiet mit fast 670 Haushalten und einigen gewerblichen bzw. kulturellen Objekten starten und sich über 10 Monate bis zur Zielkonzentration von 20 Vol.-% erstrecken. Eine weitere Ausdehnung ist in der dritten Phase geplant [24]. Mit der Begleitforschung und dem Laborprogramm in der Startphase, den zwei Phasen am Start des Einspeisebetriebs mit Stichprobenmessungen ähnelt HyDeploy dem Vorgehen des DVGW mit den beiden Einspeiseprojekten in Klanxbüll/Neukirchen und den laufenden Untersuchungen in H<sub>2</sub>-20.

Parallel zu dem Pilotvorhaben H<sub>2</sub>-20 läuft das Projekt „Wasserstoff-Insel Öhringen“ des Netzbetreibers Netze BW. In einem deutlich kleineren Gasnetzbereich in Öhringen mit ca. 30 Gasgeräten soll bis zu 30 Vol.-% H<sub>2</sub> dem Erdgas beigemischt werden, um eine nochmals höhere CO<sub>2</sub>-Einsparung verglichen mit H<sub>2</sub>-20 zu testen. Die Was-

serstoffbereitstellung soll über einen Elektrolyseur mit einem Pufferbehälter erfolgen. Die Gasgeräte im Bestand sollen vor der Erhebung gewartet und bezüglich der Gas-Luft-Verbundeinstellung auf die Werksvorgabe eingestellt werden. Methodisch ähnelt das Vorgehen stark dem von H<sub>2</sub>-20, da es auch sicherheitstechnisch durch EBI begleitet wird und die Projektteams einen regelmäßigen Austausch pflegen.

In einem weiteren Innovationsprojekt, welches sich in Rozenburg (Niederlande) derzeit in der Durchführung befindet, wird seit Sommer 2019 bis 2023 in einem Wohngebäudekomplex reiner Wasserstoff verwendet. Im Rahmen des Demonstrationsprojektes werden zwei für das Projekt installierte Wasserstoffkessel auf ihre Wasserstoffeignung hin untersucht. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen dem Redaktionsteam noch keine belastbaren Ergebnisse vor [25].

Im Rahmen des EU-Forschungsvorhaben mySMART-Life wurde in 2020 in Hamburg-Bergedorf eine Wasserstoffbeimischanlage errichtet, die eine Beimischung bis zu 30 Vol.-% Wasserstoff zu Erdgas für die Gasversorgung des Quartiers „Am Schilfpark“ ermöglichen soll [26]. Das HanseWerk hat in 2020 einen Feldtest zu einem Wasserstoff-Blockheizkraftwerk in Hamburg-Othmarschen gestartet, bei dem 100 % Wasserstoff eingesetzt wird [27]. Noch am Start befindet sich das Hamburger Wasserstoffprojekt „Hamburg Green Hydrogen Hub“ am Kraftwerksstandort Hamburg-Moorburg [28]. Hier sollen nennenswerte H<sub>2</sub>-Erzeugungskapazitäten aufgebaut werden, die bei industriellen Nutzern, in der Nahwärme, im Verkehr bzw. in ein Wasserstoffnetz eingespeist werden sollen.

Die Liste der Wasserstoffprojekte ließe sich fortsetzen und zeigt das zunehmende Interesse am Energieträger Wasserstoff und die Dynamik im Energiesektor an.

## 9. Zusammenfassung und Fazit

Anhand der durchgeführten Bauteil- und Komponentenanalysen im ausgewählten Gasnetz in der Modellregion Fläming kann nach heutigem Wissensstand eine Beimischung von bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff ohne netztechnische Änderungen freigegeben werden. Während der Einspeisephasen werden ergänzende Gasnetzüberprüfungen gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt DVGW G 465-1 durchgeführt. Die Analyse des Gasnetzes zeigte sogar auf, dass eine Beimischung auch von bis zu 30 Vol.-% H<sub>2</sub> oder der Gasnetzbetrieb mit reinem Wasserstoff gemäß der neuen 5. Gasfamilie nach DVGW G 260 [1] möglich wäre.

Herausfordernder bleiben die über 300 Gasinstallationen mit den Gasgeräten, die unter anderem mit einem wasserstoffhaltigen Prüfgas erhoben wurden. Die Analy-

sen des Projektteams und der Hersteller zeigen für fast alle Anlagen eine uneingeschränkte Eignung für eine Einspeisung von bis zu 20 Vol.-% H<sub>2</sub> auf. Um die Untersuchungen im Feld abzusichern, werden vier Altgeräte ausgebaut und Labortests unterzogen. Wie in früheren Untersuchungen konnte beim Gerätetest vor Ort ohne Änderung der Geräteeinstellung wieder beobachtet werden, dass durch die Wasserstoffbeimischung die CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen deutlich reduziert werden können. Dies führt im Vergleich zu reinem Erdgasbetrieb neben der CO<sub>2</sub>- Reduzierung zu einer weiteren Umweltentlastung beim Betrieb mit Gas aus Wasserstoff und Erdgas.

Mit der Fertigstellung der neuen Einspeiseanlage und nach Abschluss der letzten Ersterhebungen kann der Beginn des Einspeisebetriebs ab Ende 2021 wie geplant starten. Die Einspeisephasen werden mit einem Messprogramm begleitet und erstrecken sich bis in die Heizsaison 2022/23. Die umfassende Öffentlichkeitsarbeit wird kontinuierlich im Projekt fortgeführt.

Das Pilotvorhaben H<sub>2</sub>-20 kann vom Umfang und der Zielkonzentration als ein Leuchtturmprojekt in einer Reihe von vorgestellten Wasserstoffeinspeiseprojekten genannt werden, um die Umsetzbarkeit und Chancen dieses Ad-hoc-Ansatzes zur Minderung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von Erdgas hier mit Schwerpunkt Wärmemarkt zu fördern. Die vorhandene Infrastruktur kann dafür bereits jetzt genutzt werden. Die Bewohner können ihre Heizung wie gewohnt mit Erdgas oder mit bis zu 20 Vol.-% Wasserstoffbeimischung betreiben.

#### Literatur

- [1] DVGW e. V.: DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“, Bonn: DVGW, 2021
- [2] DVGW e. V.: DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“, Bonn: DVGW, 2013
- [3] DVGW e.V.:DVGW-Arbeitsblatt G 262 Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung, Bonn: DVGW e.V., 2011
- [4] DVGW e.V.: Leitfaden H<sub>2</sub>-Readiness Gasanwendung, Bonn: DVGW e.V., 2021
- [5] DVGW e.V.: H<sub>2</sub> -Leitfaden Gasinfrastruktur, Bonn: DVGW e.V., 2021
- [6] Dörr, H.; Kröger, K.; Nitschke-Kowsky, P.; Senner, J.; Tali, E. und Feldpausch-Jägers, S.: Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz – Auswirkungen auf den Betrieb von Gasanwendungstechnologien im Bestand, auf Gas-Plus-Technologien und auf Verbrennungsregelungsstrategien, DVGW e.V., Bonn, 2016
- [7] Scholten, F.; Dörr, H. und Werschy, M.: Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI, Bonn: DVGW e.V., 2018
- [8] DECHEMA: Korrosions- und chemische Beständigkeit von Werkstoffen, DECHEMA-WERKSTOFFTABELLE 53. Ergänzungslieferung Wasserstoff, DECHEMA, Frankfurt a.M., 200
- [9] San Marchi, C. und B. Somerday, B.: Technical Reference for Hydrogen Compatibility of Materials, Sandia Report SAND2012-7321, Sandia National Laboratories, Albuquerque/Livermore, USA, 2012
- [10] NASA: NASA, SAFETY STANDARD FOR HYDROGEN AND HYDROGEN SYSTEMS, report NSS 1740.16,NASA, Houston, 1997
- [11] Cox, K. E. und Williamson Jr., K. D.: Hydrogen: Its Technology and Implications, Volume IV Utilization of Hydrogen, Boca Raton, Florida: CRC Press, 1979
- [12] Hermanns, R. T. E.: Laminar Burning Velocities of Methane-Hydrogen-Air Mixtures, Universität Eindhoven, Eindhoven, 2007
- [13] DBI: H<sub>2</sub>-Kompendium VNB - Produkt-SB: Kompendium Wasserstoff in Gasverteilnetzen,DBI, Leipzig/Freiberg, 2021.
- [14] Redmann, A.: Einfluss von Wasserstoff auf Kunststoffrohre und Formteile untersucht: Wasserstoffintegrität belegt, 3R Rohre - Fachzeitschrift für sichere und effiziente Rohrleitungssysteme, pp. 92 - 95, 26 04 2021.
- [15] ASME: ASME Code for Pressure Piping, B31, Hydrogen Piping and Pipelines, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2011
- [16] EIGA: HYDROGEN TRANSPORTATION PIPELINES, European Industrial Gases Association (EIGA), Brüssel, 2004
- [17] W. U. u. G. V. H. Rottländer: Grundlagen der Lecksuchtechnik, Oerlikon Leybold Vaccum GmbH, 2014
- [18] Melaina, M. W.; Antonia, O. und Penev, M.: Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues, NREL US Department of Energy, Denver, Colorado, 2013
- [19] DVGW: Technische Regel - DVGW-Arbeitsblatt G 600 Gasinstallation, Bonn: DVGW e.V., 2018
- [20] PTB: Technische Richtlinien, Messgeräte für Gas G 19 - Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz, Braunschweig: PTB, 2014
- [21] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralin-nungsverband (ZIV): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks 2019,“Zentralinnungsverband (ZIV), Sant Augustin, 2020
- [22] M. S. AG: Langfristige Zukunft für den Energiepark Mainz, 18. 03. 2018. [Online]. Available: <https://www.energiepark-mainz.de/aktuelles>. [Zugriff am 07. 09. 2021]
- [23] Kippers, M. J.; De Laat, J. C. und Hermkens, R. J. M.: Pilot Project on Hydrogen Injection in Natural Gas on Island of ameland in the Netherlands, International Gas Union Research Conference 2011, Seoul, Südkorea, 2011
- [24] HyDeploy Consortium: HyDeploy - Hydrogen is vital to tackling climate change, 2021. [Online]. Available: <https://hydeploy.co.uk/>. [Zugriff am 16 09 2021]
- [25] Stedin.net: Waterstof in Rozenburg Met Power to Gas, 2018. [Online]. Available: <https://www.stedin.net/over-stedin/duurzaamheid-en-innovaties/een-nieuw-energiesysteem/power2gas>. [Zugriff am 07 09 2021]
- [26] mySMARTLife Consortium: mySMARTLife: Wärme aus Wasserstoff, 2020. [Online]. Available: <https://www.gasnetz-hamburg.de/fuer-die-zukunft/wasserstoff/mysmartlife>. [Zugriff am 16 09 2021]
- [27] HanseWerk: HanseWerk Natur startet Feldtest: Wasserstoff-Blockheizkraftwerk in Hamburg geht in Betrieb, 2020. [Online]. Available: <https://www.hansewerk.com/de/ueber-uns/hansewerk-aktuell/pressemitteilungen/hansewerk-natur-startet-feldtest--wasserstoff-blockheizkraftwerk.html>. [Zugriff am 16 09 2021]

[28] Vattenfall: Vattenfall - Unsere Aktivitäten im Bereich Wasserstoff, 2021. [Online]. Available: <https://group.vattenfall.com/de/zukunft/wasserstoff>. [Zugriff am 16 09 2021]

[29] Dörr, H.: Theoretische Betrachtung von Gasarteneffekten bei Leckagen, DVGW-Forschungsstelle, Karlsruhe, 2019

Autor:innen



**Dr. Holger Dörr**  
 DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-  
 Institut des KIT |  
 Karlsruhe |  
 Tel.: XXXXXXX |  
 doerr@dvgw-ebi.de



**B.Sc Nils Janßen**  
 GWI Gas- und Wärme-Institut Essen |  
 Essen |  
 Tel.:XXXXXXXX |  
 EMailXXXXX



Dipl.-Ing. (FH) **Angela Brandes**  
 Avacon Netz GmbH |  
 Salzgitter |  
 Tel.: +49 53 41 86 71-3 67 16 |  
 angela.brandes@avacon.de



**Frederik Brandes**  
 DVGW-Hauptgeschäftsstelle |  
 Bonn |  
 Tel.: XXXXXXXXX |  
 E-Mail XXXXXXX



**Dr. Matthias Brune**  
 Avacon Netz GmbH |  
 Salzgitter |  
 Tel.: +49 53 41 86 71 - XXXXX |  
 E-MailXXXXXXXX



Dipl.-Ing (FH) **Torsten Lotze**  
 Avacon Netz GmbH |  
 Salzgitter |  
 Tel: +49 0 53 41 86 71 – 3 61 12 |  
 torsten.lotze@avacon.de



Dipl.-Ing. **Martin Kronenberger**  
 GWI Gas- und Wärme-Institut Essen |  
 Essen |  
 Tel.:XXXXXXXX |  
 EMailXXXXX



Dipl.-Ing. (FH) **Thomas Ewest**  
 Avacon Netz GmbH |  
 Salzgitter |  
 Tel: +49 0 53 41 86 71 – XXXXXX |  
 E-Mail: XXXXXXX