



---

## Sachstand

---

### Grenzwerte für Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in der Erdgasinfrastruktur

---

## Grenzwerte für Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in der Erdgasinfrastruktur

Aktenzeichen:	WD 8 - 3000 - 066/19
Abschluss der Arbeit:	7.6.2019
Fachbereich:	WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Kapazitäten</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Fazit</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>9</b>

## 1. Einleitung

Wasserstoff, der durch Wasserelektrolyse erzeugt worden ist, und synthetisch erzeugtes Methan<sup>1</sup> können ins Erdgasnetz eingespeist werden, Methan in unbegrenzter Menge. Bei Wasserstoff, der mittels Elektrolyse erzeugt wurde, liegen die Grenzen derzeit bei 1-10 Volumenprozent [Vol.-%].<sup>2</sup>

„Grundsätzlich kann Wasserstoff als gasförmiger Energieträger mittels des Erdgasnetzes transportiert werden. Da § 3 Nr. 10c EnWG [Energiewirtschaftsgesetz] Wasserstoff und Synthesegas in Form von Power-to-Gas als Biogas definiert und Biogas nach den Maßgaben der Arbeitsblätter G 260 und G 262 [des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW)] vollumfänglich in die Erdgasnetze eingespeist werden kann, stellt sich die Frage der Netzverträglichkeit. Insbesondere Vermischungsnotwendigkeiten von Wasserstoff mit Erdgas als Voraussetzung für Höchstquoten von Wasserstoff in Erdgasnetzen machen die Einspeisung von Wasserstoff in absatzschwache Gasverteilernetze derzeit noch problematisch.“<sup>3</sup>

---

1 durch Methanisierung bzw. „Power-to-Gas“

2 Der gesetzlich zulässige Anteil für das Zumischen von Wasserstoff in die Erdgasinfrastruktur liegt derzeit bei fünf Volumenprozenten, wobei eine Toleranzerhöhung auf zehn Volumenprozenten anvisiert ist. Quelle: M. Henel, G. Müller-Syring (2014). „Abschlussbericht – Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen“ S. 43 DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1\\_02\\_12.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1_02_12.pdf)

Volk, G., gwf-Gas (2014). "Wasserstoff in Erdgasnetzen", gwf - Gas | Erdgas, 03/2014, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH

Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Seite 430

bizz energy (2016). „Sicherheit: Forscher untersuchen Wasserstoff in Erdgasleitung“, <https://bizz-energy.com/sicherheit-forscher-untersuchen-wasserstoff-erdgasleitung> vom 23.8.2016

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2019). Presseinformation „Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern“, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09 - Wasserstoff technisch verankern.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09-Wasserstoff-technisch-verankern.pdf)

3 „Der Unterschied zwischen Biogas und Gas liegt darin, dass bei Biogas der Wasserstoff mittels überwiegend erneuerbarem Strom hergestellt werden muss, um als Biogas qualifiziert werden zu können, während dies bei der Gasdefinition nicht zwingend der Fall sein muss.“

Volk, G., (2013). „Ökonomisch-juristische Analyse von Power-to-Gas im Energierecht“, Recht der Energiewirtschaft (RdE) Heft 9, 2013, S. 361 ff zitiert in: Volk, G., gwf-Gas (2014). "Wasserstoff in Erdgasnetzen", gwf - Gas | Erdgas, 03/2014, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2018). „Power to Gas - Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan“, [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/MarktgebieteGas\\_KOV/PowerToGas/PowerToGas\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/MarktgebieteGas_KOV/PowerToGas/PowerToGas_node.html) vom 1.8.2014

„Die Gegebenheiten und Anforderungen in den Gasfernleitungs- und –verteilernetzen sind lokal und regional stark unterschiedlich, weshalb die Prüfung einer Einspeisemöglichkeit des Zusatzgases Wasserstoff in das Gasnetz individuell vorgenommen werden muss.“<sup>4</sup>

Die vorliegende Arbeit behandelt Verwendungsmöglichkeiten und –grenzen von Wasserstoff in der Erdgasnetzinfrastuktur.

## 2. Kapazitäten

Wasserstoff kann derzeit nur begrenzt der Erdgasinfrastruktur zugemischt und ausschließlich in Kavernenspeichern gelagert werden, da er zu den Zusatzgasen gehört und sich in der chemischen Zusammensetzung, sowie den Brennstoffeigenschaften des Gasgemisches vom vorhandenen Erdgas im Netz unterscheidet. Damit können sich Auswirkungen auf angeschlossene kritische Gasanwendungen ergeben.<sup>5</sup>

Es gibt auch jahreszeitlich bedingte Abhängigkeiten. In den verbrauchsarmen Sommermonaten geht mit einem geringen Durchsatz eine verminderte Fließgeschwindigkeit einher. Bei einer geringen Fließgeschwindigkeit ist bei einer ausschließlichen Einspeisung von Wasserstoff keine gute Durchmischung mit dem vorhandenen Erdgas gegeben, dadurch kann es zu Wasserstoffblasen kommen, was wiederum sehr hohe Wasserstoffkonzentrationen im Erdgasnetz bedeutet.

Zudem gibt es nach DVGW-Regelwerk „Arbeitsblatt G 262“ Restriktionen. In der DIN 51624 ist beispielsweise der Grenzwert für Wasserstoff wegen der Tanks in Erdgasfahrzeugen mit 2 Vol.-% angegeben. Da Gasturbinen mit schadstoffarmen Vormischbrennern „empfindlich“ auf Wasserstoff reagieren können, setzen Gasturbinenhersteller die Grenze bei 5 bzw. auch 1 Vol.-%. Auch in Untertageporenspeichern ist Wasserstoff nicht ganz unproblematisch. Wasserstoff lässt sulfatreduzierende Bakterien wachsen. Der Biogasanteil von 5 Vol.-% sollte deshalb in Untertageporenspeichern nicht überschritten werden.<sup>6</sup> Bei einer 1%igen Wasserstoffbeimischung kann jeder Gasspeicher genutzt werden.<sup>7</sup>

---

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2018). „Positionspapier zur Anwendung der Vorschriften der Einspeisung von Biogas auf die Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan in Gasversorgungsnetze“, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung\\_Wasserstoff\\_u\\_synth\\_Methan/PosPapier2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung_Wasserstoff_u_synth_Methan/PosPapier2014.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

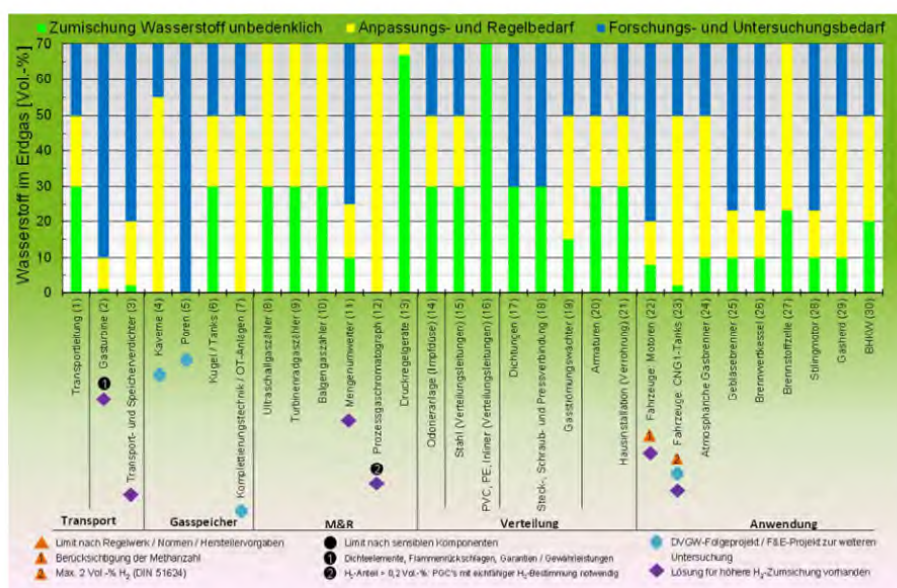
4 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, Seite 430

5 Bundesnetzagentur (BNetzA), FNB Gas, prognos (2017). „Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Gas 2018-2028 der Fernleitungsnetzbetreiber“, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP\\_2018/Szenariorahmen/SzenariorahmenNEPGas2018\\_final.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP_2018/Szenariorahmen/SzenariorahmenNEPGas2018_final.pdf?__blob=publicationFile&v=2), Seite 48

6 Volk, G., gwf-Gas (2014). "Wasserstoff in Erdgasnetzen", gwf - Gas | Erdgas, 03/2014, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH

7 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014 Seite 415

Die technischen Hintergründe hinsichtlich der Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastrukturkomponenten von Rohrleitungen, Gasturbinen, Verdichtern, Untergrundspeichern, Ultraschall-, Turbinen- und Balgengaszählern, Mengenumwertern, Gasdruckregelanlagen und Armaturen, Gashausinstallationen und Gasströmungswächtern, häuslichen Gasendgeräten, industriellen Endanwendungen, Erdgas-Tanks und Tankstellen und Gasmotoren und Eigenschaften wie Transportkapazität und Permeation sind in einer Studie aus dem Jahr 2013 ausführlich beschrieben worden. Die folgende Abbildung stellt die wesentlichen Elemente der Erdgasinfrastruktur und der recherchierten Grenzen der Wasserstoffverträglichkeit dar. Die Aus- und Bewertung von vorhandenen Daten umfasste dabei einen Konzentrationsbereich von 0 bis 70 Vol.-% Wasserstoff. Die Autoren sind der Meinung, dass die Eignung einzelner Elemente der Versorgungskette für höhere Wasserstoff-Konzentrationen durchaus möglich scheint, dies aber im Einzelfall geprüft werden müsse. Im Gegensatz dazu ist auch zu berücksichtigen, dass weitere Forschungsergebnisse zeigen, dass entscheidende Bauteile und Infrastrukturbestandteile nicht im erwarteten Maße Wasserstoff-tolerant sind. Die Abbildung verdeutlicht, bei welchen Komponenten noch Anpassungs- und Forschungsbedarf besteht.<sup>8</sup>



**Abbildung 1: Überblicksmatrix: H<sub>2</sub>-Toleranz ausgewählter Elemente im Erdgasnetz**

„Beispielsweise ist im Verkehrssektor zu beachten, dass Erdgas als Kraftstoff keinen höheren Wasserstoffanteil als 2 Vol.-% enthalten darf, da es bei höheren Konzentrationen zu einer Versprödung der Stahl tanks von CNG - Fahrzeugen kommen kann.“<sup>9</sup>

8 Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2013). „Abschlussbericht – Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz“, Kapitel 1 „Wasserstoff (H<sub>2</sub>)-Toleranz des Erdgasnetzes“, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1\\_07\\_10.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1_07_10.pdf) Seite 24-29 vom 19.2.2013

9 Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014 Seite 429

Ein ausführlicher Bericht aus dem Jahr 2014 behandelt die einzelnen technischen Komponenten der Erdgasinfrastruktur und ihre Wasserstofftoleranz. Das Kapitel 3 beschreibt detailliert den Wissenstand zur Wasserstofftoleranz für beispielsweise Ferngasleitungen, Gasturbinen, verschiedene Speicherarten, Prozesschromatographen, Rohrleitungen unterschiedlicher Materialien, Dichtungen, Verbindungen, Erdgastankstellen, Brenner und Erdgasfahrzeugen.<sup>10</sup>

Ein Abschlussbericht aus dem Jahr 2017 über die Untersuchungen der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischung ins Erdgasnetz speziell für industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen fasst die Veränderungen, die sich bei der Verbrennung von wasserstoffreichen Erdgasen für den Verbrennungsprozess ergeben, zusammen und nennt die für die Gewährleistung eines störungsfreien und effektiven Betriebs von Thermoprozesanlagen wichtigen Parameter, geeigneten Techniken und Lösungsstrategien. Die folgenden Grafiken zeigen die Limitierungen der Gasbeschaffenheit in deutschen Erdgasnetzen und die möglichen Wasserstoffzumischungen und die mögliche Wasserstoff-Einspeisung als Zusatzgas in Abhängigkeit des Grundgases. Je nach Herkunft, Brennwert bzw. hochkalorischem (H-Gas) und niedrig kalorischem Gas (L-Gas) ist der Grenzwert nach Wobbe-Index unterschiedlich.<sup>11</sup>

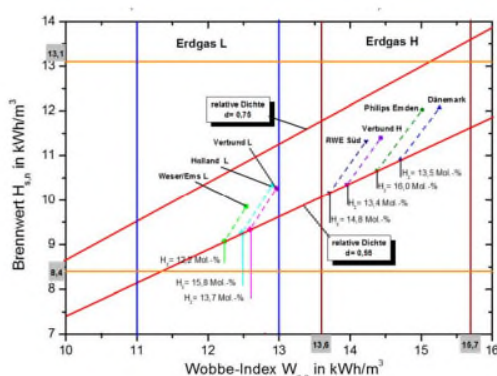


Abbildung 3: Limitierungen der Gasbeschaffenheit im deutschen Erdgasnetzen nach G260 [17] und mögliche Wasserstoffzumischungen (Quelle: GWI)

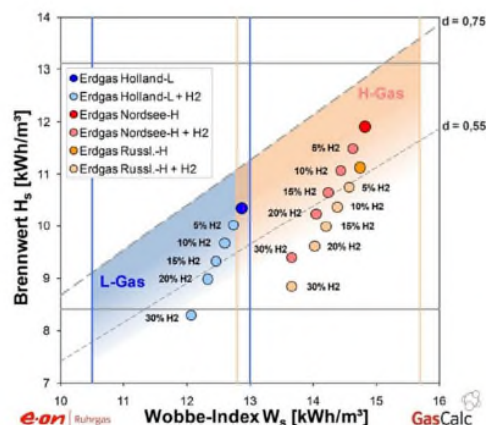


Abbildung 4: Mögliche H₂-Einspeisung als Zusatzgas in Abhängigkeit des Grundgases [21]

10 Henel, M., Müller-Syring, G. (2014). „Abschlussbericht – Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen“ S. 43 DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfach, [https://www.dvgw.de/meldien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1\\_02\\_12.pdf](https://www.dvgw.de/meldien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1_02_12.pdf), Kapitel 3

11 Industrielle Gemeinschaftsforschung (iGF) (2017). Schlussbericht „Untersuchungen der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischung ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen“ [https://www.gwi-essen.de/fileadmin/dateien/abschlussberichte/2017/18518N\\_H2\\_Subabschluss\\_korr.pdf](https://www.gwi-essen.de/fileadmin/dateien/abschlussberichte/2017/18518N_H2_Subabschluss_korr.pdf)

Zurzeit gibt es in Deutschland zwei verschiedene Erdgassorten, die sich im Brennwert unterscheiden und in getrennten Netzen transportiert werden. Ab 2029 soll kein niederländisches Gas (L-Gas) mehr eingesetzt werden. Etwa ein Viertel der deutschen Haushalte wird bis dahin auf H-Gas umgestellt. Dafür werden die Netze und die angeschlossenen Gasverbrauchsgeräte an die Versorgung mit H-Gas angepasst. L-Gas hat einen geringeren Methangehalt und deshalb einen geringeren Brennwert als H-Gas. Quelle: Bundesnetzagentur (BNetzA) (2019). „Umstellung von L- auf H-Gas“, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/NetzanschlussUndMessung/UmstellungGasbeschaffenheit/UmstellungGasqualitaet-node.html>

Nach Aussage des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) soll die bestehende Gasinfrastruktur für eine schrittweise Erhöhung des Wasserstoffanteils und das DVGW-Regelwerk weiterentwickelt werden. Bisher lässt das Regelwerk 10 Vol.-% Wasserstoff im Gasnetz zu, zukünftig sollen 20 Vol.-% Wasserstoffeinspeisung erreicht werden. Schätzungen des DVGW gehen von möglichen 50 Prozent „grünen Gasen“ aus. Entsprechende netz- und geräteseitige Anpassungen wie beispielsweise andere Werkstoffe in Verdichtern, Heizkesseln oder Fahrzeugtanks müssen vorgenommen werden.<sup>12</sup>

Das Umweltbundesamt (UBA) schreibt in seiner Roadmap „Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors“ zusammenfassend über Wasserstoffnetze und -beimischungen: „Welche Rolle Wasserstoff künftig im Gesamtsystem spielen soll, ist noch weitgehend unklar. Weder ist geklärt, inwieweit eine erhöhte Beimischung von Wasserstoff in die bestehenden Gasnetze angestrebt werden soll, noch, ob und in welchem Umfang Wasserstoffnetze durch Neuaufbau oder Umwidmung bestehender Netze benötigt werden. Da sowohl eine erhöhte Beimischung als auch Neuaufbau und Umwidmung von Netzen in substantiellem Umfang enorme Transformationsbedarfe mit sich bringen, ziehen sie sich potenziell über Jahrzehnte hin. Diesbezüglich ist auf politischer Ebene die Entwicklung einer Wasserstoffstrategie bzgl. Beimischung und Netzaufbau von Nöten, welche insbesondere klare Leitplanken für die angestrebte Form der Wasserstoffnutzung vorgibt.“<sup>13</sup>

### 3. Fazit

Aus chemisch-technischer Sicht einiger Betreiber ist die Einspeisung in die Erdgasinfrastruktur noch nicht abschließend in allen Einzelaspekten geklärt, und es besteht weiterhin Bedarf an Entwicklungsaktivitäten und Regelungsanpassungen. Die Auffassungen hängen auch von der Prozesskette des Wasserstoffs, z.B. Elektrolyseverfahren oder Methanisierung, von den Endverbrauchern und von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab.

\* \* \*

---

12 Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2019). Presseinformation „Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern“, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09\\_-\\_Wasserstoff\\_technisch\\_verankern.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09_-_Wasserstoff_technisch_verankern.pdf)

VDI Nachrichten (2019). „Praxistest für Wasserstoffnetze“, vom 24.5.2019 Nr.21/22 Seite 18

13 Umweltbundesamt (UBA) (2019). „Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-15\\_cc\\_12-2019\\_roadmap-gas\\_2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-15_cc_12-2019_roadmap-gas_2.pdf) Seite 207

s.a. Kapitel 5.3.3 „Exkurs: Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur“ Seite 168 und Kapitel 6.3.4 „Leitplanken für die Nutzung von E-Methan“, Seite 204



#### 4. Quellenverzeichnis

bizz energy (2016). „Sicherheit: Forscher untersuchen Wasserstoff in Erdgasleitung“, [https://bizz-energy.com/sicherheit\\_forscher\\_untersuchen\\_wasserstoff\\_erdgasleitung](https://bizz-energy.com/sicherheit_forscher_untersuchen_wasserstoff_erdgasleitung) vom 23.8.2016

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2018). „Positionspapier zur Anwendung der Vorschriften der Einspeisung von Bio-gas auf die Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan in Gasversorgungsnetze“, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung\\_Wasserstoff\\_u\\_synth\\_Methan/PosPapier2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/Gas/Einspeisung_Wasserstoff_u_synth_Methan/PosPapier2014.pdf?__blob=publicationFile&v=1)

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2018). „Power to Gas - Einspeisung von Wasserstoff und synthetischem Methan“, [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/MarktgebieteGas\\_KOV/PowerToGas/PowerToGas\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/MarktgebieteGas_KOV/PowerToGas/PowerToGas_node.html) vom 1.8.2014

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2019). „Umstellung von L- auf H-Gas“, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/NetzanschlussUndMessung/UmstellungGasbeschaffenheit/UmstellungGasqualitaet-node.html>

Bundesnetzagentur (BNetzA), FNB Gas, prognos (2017). „Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Gas 2018-2028 der Fernleitungsnetzbetreiber“, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP\\_2018/Szenariorahmen/SzenariorahmenNEPGas2018\\_final.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP_2018/Szenariorahmen/SzenariorahmenNEPGas2018_final.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2013). „Abschlussbericht – Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz“, Kapitel 1 „Wasserstoff (H<sub>2</sub>)-Toleranz des Erdgasnetzes“, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1\\_07\\_10.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1_07_10.pdf) vom 19.2.2013

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2019). Presseinformation „Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern“, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09\\_-\\_Wasserstoff\\_technisch\\_verankern.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/2019-04-09_-_Wasserstoff_technisch_verankern.pdf)

Henel, M., Müller-Syring, G. (2014). „Abschlussbericht – Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen“ S. 43 DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfach, [https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1\\_02\\_12.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g1_02_12.pdf)

Industrielle Gemeinschaftsforschung (iGF) (2017). Schlussbericht „Untersuchungen der Auswirkung von Wasser-stoff-Zumischung ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen“ [https://www.gwi-essen.de/fileadmin/dateien/abschlussberichte/2017/18518N\\_H2\\_Subst\\_abschluss\\_korr.pdf](https://www.gwi-essen.de/fileadmin/dateien/abschlussberichte/2017/18518N_H2_Subst_abschluss_korr.pdf)

Sterner, M., Stadler, I. (2014). „Energiespeicher“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014,

Umweltbundesamt (UBA) (2019). „Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-15\\_cc\\_12-2019\\_roadmap-gas\\_2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-15_cc_12-2019_roadmap-gas_2.pdf)

VDI Nachrichten (2019). „Praxistest für Wasserstoffnetze“, vom 24.5.2019 Nr.21/22 Seite 18

Volk, G., (2013). „Ökonomisch-juristische Analyse von Power-to-Gas im Energierecht“, Recht der Energiewirtschaft (RdE) Heft 9, 2013

Volk, G., gwf-Gas (2014). "Wasserstoff in Erdgasnetzen", gwf - Gas | Erdgas, 03/2014, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH