

Überlegungen zum sicheren Netzbetrieb am Beispiel des Hamburger Wasserstoff-Industrie-Netzes

Maria Rosenfeldt*

Wasserstoff / Gasnetz Hamburg GmbH
Hamburg, Deutschland

*maria.rosenfeldt@ausbildung.gasnetz-hamburg.de

Kurzfassung – Die Schaffung eines nationalen Wasserstoffmarktes erfordert den Ausbau einer Wasserstoffinfrastruktur mit einem Transport- und einem Verteilnetz für Wasserstoff. Der Standort Hamburg spielt hierbei durch seine Hafenanlage und als Industriestandort eine entscheidende Rolle, um einen Wasserstoffhochlauf zu ermöglichen. Wie im Erdgasnetz muss der Gasnetzbetreiber die Sicherheit auch mit Wasserstoff gewährleisten können. Hierbei sind die Unterschiede zwischen Erdgas und Wasserstoff zu beachten. Diese wirken sich auf die einzusetzende Sensorik für die Gasdetektion aus, aber auch auf die Kernfrage der Odorierung, welche eine primäre Sicherheitsmaßnahme ist, um rechtzeitig Personen bei einem Gasaustritt zu warnen. In diesem Beitrag soll beschrieben werden, welche Möglichkeiten zur Detektion von Wasserstoff möglich sind. Zudem soll diskutiert werden, ob eine effektive Odorierung eines Wasserstoffnetzes möglich ist. Anhand des Hamburger Wasserstoff-Industrie-Netzes wird ein Ausblick gegeben, wie sich ein sicherer Netzbetrieb mit Wasserstoff erreichen lässt.

Stichworte – Wasserstoff-Industrie-Netz, Sicherheitsmanagement, Wasserstoffsensoren, Odorierung

NOMENKLATUR

HH-WIN	Hamburger Wasserstoff-Industrie-Netz
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
IPCEI	Important Projects of Common European Interest
GDRA	Gasdruckregelanlage
GÜST	Gasübernahmestation
HL	Gassensitiver Halbleiter
WL	Wärmeleitung
WT	Wärmetönung
IR	Infrarotsensor
FID	Flammen-Ionisations-Detektor
THT	Tetrahydrothiophen
TBM	Tertiärbutylmerkaptan
NB	Odoriermittel mit 78 % 2-methylpropanethiol, 22 % dimethyl Sulphide

I. EINLEITUNG

Das Hamburger Wasserstoff-Industrie-Netz HH-WIN ist die zukünftige Netzinfrastruktur Hamburgs für grünen

Wasserstoff, welche lokale Erzeugung, Pipelineimporte und Seemporte mit den lokalen Abnehmern aus Industrie- sowie Transport- und Mobilitätssektor verknüpft. Umgesetzt wird das Projekt von der Gasnetz Hamburg mit Unterstützung einer IPCEI-Förderung (Important Projects of Common European Interest). Das Ziel dieses Bauvorhabens ist die Schaffung einer diskriminierungsfreien Netzinfrastruktur, welche den regionalen Hochlauf des Wasserstoffmarktes ermöglicht.

Ab 2030 sollen so Hamburger Industrieunternehmen mit grünem Wasserstoff versorgt und ein Drittel des Erdgasverbrauches eingespart werden [1]. Über die Funktion eines Industrienetzes hinaus soll HH-WIN auch die Grundlage für die mittel- und langfristige Versorgung von Quartieren und Wärmekraftwerken mit grünem Wasserstoff zur Nutzung für Raumwärme legen. Nach Ausbau des Industrienetzes sollen weitere Netz-Cluster für die Bedarfe zur Nutzung von Wasserstoff in Gewerbe und Haushalten an das Netz angeschlossen werden, um mittels Wasserstoffs nicht nur die Transformation in der Großindustrie, sondern auch in diesen Sektoren weitere CO₂-Einsparungen zu ermöglichen. Die Netzkunden, welche die Einspeiser und Abnehmer von Wasserstoff darstellen, besitzen je nach Anwendung unterschiedliche Anforderungen an den Wasserstoff. Zudem besitzt Wasserstoff andere Eigenschaften als Erdgas, weshalb ein anderes Handling seitens der Transport- und Verteilnetzbetreiber erforderlich ist. Einige Aufgabenbereiche für den Wasserstoff-Verteilnetzbetrieb sind daher im Unterschied zu Erdgasverteilnetzen neu zu gestalten.

Eines dieser Aufgabenbereiche ist die Gewährleistung eines sicheren Netzbetriebs, da beim Betreiben von gastechnischen Infrastrukturen Gefährdungspotentiale bestehen, welche von Personen, durch Umwelteinflüsse oder den Anlagenkomponenten der Gasinfrastruktur ausgehen können.

Verantwortlichkeiten und Vorgehen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit in der Gasversorgung einschließlich eines Managements von Risiken und des Ableitens von Sicherheitskonzepten sind in Regelungen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) vorgegeben. Über ein Risikomanagement werden mögliche Risiken erfasst, analysiert, bewertet und anschließend entsprechende Gegenmaßnahmen erstellt, um das Eintreten eines Gefahrenszenarios zu mindern. Die Beurteilung, ob der sichere Netzbetrieb durch die eingesetzten Maßnahmen im Sicherheitskonzept gewährleistet wird, erfolgt durch den Verteilnetzbetreiber [2]. Dieser ist in der Nachweispflicht, dass alles Mögliche unternommen wurde, um ein Eintreten eines Gefahrenszenarios zu verhindern. Ein sich aus der

Risikomanagementbetrachtung ergebendes Sicherheitskonzept ist dabei stets individuell für das zu betrachtende Netz ausgelegt, und es lässt sich keine pauschale Sicherheitslösung für Wasserstoffverteilnetze erstellen. Je nach Art der Wasserstoffabnehmer, der Lage des Wasserstoffnetzes und der Betriebsweise können sich unterschiedliche Gefahrenszenarien und Risikopotentiale entwickeln. Beziehen überwiegend Abnehmer den Wasserstoff, welche geringe Handlungskompetenzen und Erfahrungen mit Gasnetzen besitzen, dann sollten zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen implementiert werden, da der Abnehmer dann als Laie gilt. Sollte das Gasnetz teilweise durch öffentliches Gebiet verlaufen, muss auch hier entsprechend ein hoher Sicherheitsstandard geschaffen werden, da das Eintreten eines potenziellen Gefahrenszenarios im öffentlichen Raum eine höhere Auswirkung haben könnte. Auch sollte hier ein Schutz des Gasnetzes gegen das Einwirken Dritter mitbedacht werden. Je nach Druckstufe des Wasserstoffnetzes sind zudem unterschiedliche Vorgaben hinsichtlich des sicheren Netzbetriebes einzuhalten. Die Erarbeitung und Anpassung des technischen Regelwerkes für das Transportmedium Wasserstoff erfolgt im DVGW und wird kontinuierlich auf alle relevanten Regelungen für Wasserstoff-Transport- und -Verteilnetze ausgeweitet.

Der Umgang mit möglichen Leckagen und Undichtigkeiten ist ein Teilaspekt der Netzsicherheit und ein Aufgabenbereich der Gasrohrnetz- und Anlagenüberprüfung. Als wesentliche Ursachen für Leckagen am Rohrnetz sind Korrosion, Leitungsbrüche und undichte Verbindungen zu nennen [3]. Bei Gasdruckregelanlagen (GDRA) und Gasübernahmestationen (GÜST) können die Anlagenteile anfällig für einen Gasaustritt und Undichtigkeiten sein.

Anhand des Beispiels von HH-WIN soll ein Ausblick gegeben werden wie die Sicherheit bei zukünftigen Wasserstoff-Verteilnetzen aussehen könnte.

II. UNTERSCHIEDE ZWISCHEN ERDGAS UND WASSERSTOFF

Die Erstellung von Sicherheitskonzepten im Bereich gastechnischer Infrastrukturen basiert auf jahrzehntelanger Erfahrung. Sicherheitskonzepte für Erdgasnetze lassen sich jedoch nicht analog auf den Transport und die Verteilung von Wasserstoff anwenden, da sich die Eigenschaften beider Medien voneinander unterscheiden.

Die wesentlichen Unterschiede liegen in den stofflichen Eigenschaften, den Anforderungen der Netzkunden bezüglich des Wasserstoffes sowie in den Anforderungen des vorgelagerten Netzbetreibers. Diese Unterschiede stellen neue Anforderungen an die Warnsensorik und die Sensorik zur Leckagedetektion. Als wichtige Maßnahme gilt zudem in der Erdgaswelt die Odorierung (Zusatz geruchsintensiver Substanzen, sogenannter Odoriermittel, insbesondere als Beimengung zu Gasen ohne signifikanten Eigengeruch), welche sicherstellen soll, dass im Fall von Gasleckagen von jedem Menschen ein Gasaustritt an dem typischen „Gasgeruch“ erkannt werden kann. Eine Odorierung bei Wasserstoff ist prinzipiell möglich, jedoch ist diese mit erheblichen Nachteilen in Bezug auf die technische Realisierung und der Kosten verbunden. Es ist zu diskutieren, ob die Odorierung von Wasserstoff umsetzbar ist oder ob sich ein alternatives Konzept erstellen lässt, welches dieselben Sicherheitsstandards erfüllt.

A. Sicherheitsrelevante Eigenschaften von Wasserstoff und Erdgas im Vergleich

Genauso wie bei Erdgas handelt es sich bei Wasserstoff um ein farbloses und geruchsloses Gas, welches eine geringere Dichte als die Umgebungsluft aufweist. Somit lassen sich Sicherheitseinrichtungen wie Gaswarnsysteme, welche meist an GÜST angebracht werden, ebenfalls an der Raumdecke installieren. Zusätzlich ist Wasserstoff ein ungiftiges Gas, welches nicht grundwasserbelastend wirkt und dessen einziges Produkt bei einer Verbrennungsreaktion Wasser ist. Ein Austritt an Wasserstoff hinsichtlich der Auswirkung auf die Umwelt ist neutral im Gegensatz zu Erdgas [4].

Eine Herausforderung stellt die Explosionsfähigkeit von Wasserstoff dar. Ein explosionsfähiges Medium besitzt immer einen Explosionsbereich, welcher durch eine untere und eine obere Explosionsgrenze gekennzeichnet wird. Die untere Explosionsgrenze von Wasserstoff beträgt vier Volumenprozent (4 Vol.-%) in Luft und ist dem Wert von Erdgas ähnlich. Ein Wasserstoff-Luft-Gemisch ist jedoch noch bis 77 Vol.-% zündfähig bevor es übersättigt ist. Bei Erdgas besteht hingegen ab 16,5 Vol.-% keine explosionsfähige Atmosphäre mehr. Daraus ergibt sich, dass für eine Verbrennung von Wasserstoff weniger Sauerstoff als für die Verbrennung von Erdgas benötigt wird. Jedoch sorgt die Diffusionsfähigkeit des Wasserstoffes dafür, dass im Vergleich zu anderen entzündlichen Kraftstoffen wie Propan oder Benzin, das Risiko der Ausbildung einer explosionsfähigen Atmosphäre viel geringer ist. Die kleine Molekülgröße des Wasserstoffes und der hohe Diffusionskoeffizient ermöglichen eine schnelle Verflüchtigung des Wasserstoffes [4]. In abgeschlossenen Räumen kann diese Eigenschaft des Wasserstoffes auch einen Nachteil darstellen, da im Falle einer Leckage sich schneller ein explosionsfähiges Gemisch ausbildet. Zu beachten ist zusätzlich die niedrige Zündenergie des Wasserstoffes, welche eine Zehnerpotenz kleiner ist als bei Methan [5].

Bei der Verbrennung von Wasserstoff bildet sich eine schwache blaue Flamme aus, welche bei Tageslicht kaum erkennbar ist. Die Flamme gibt nur eine geringe Wärmestrahlung ab [4]. Ein Wasserstoffbrand könnte also unter bestimmten Bedingungen schwieriger zu detektieren sein als ein Erdgasbrand.

TABELLE I zeigt nachfolgend die Eigenschaften des Wasserstoffes im Vergleich zu anderen Kraftstoffen auf.

TABELLE I: VERGLEICH WASSERSTOFF, METHAN (GASE BEI 0 °C UND 1.013 MBAR) UND FLÜSSIGE KRAFT-STOFFE (BEI 25 °C) [5]

Eigenschaft	Wasserstoff		Methan		Benzin	Diesel
	gasförmig	flüssig (LH2)	gasförmig	flüssig (LNG)	flüssig	flüssig
Dichte (Luft: 1,3 kg/m ³)	0,09 kg/m ³	0,071 kg/l @ -253 °C	0,72 kg/m ³	0,42 kg/l @ -162 °C	≈ 0,75 kg/l	≈ 0,85 kg/l
Brennwert massenbezogen [MJ/kg]	141,8		55,5		≈ 43,5	≈ 45,4
Brennwert Volumenbezogen [kWh]	3,54/m ³	2,79/l	11,1/m ³	6,5/l	≈ 9,0/l	≈ 10,4/l
Zündtemperatur [°C]	585		595		200-410	220
Mindestzündenergie [mJ]	0,016		0,2		0,24 ^(a)	–
Diffusionskoeffizient in Luft [m ² /s] @ 20 °C	6,9·10 ⁻⁵		2,2·10 ⁻⁵		0,67·10 ⁻⁵ ^(b)	–
Schallgeschwindigkeit [m/s] (Luft: 343 m/s)	1.280		466			
Wärmeleitfähigkeit [mW/m·K] (Luft: 26,2)	186		34,1			
Untere Explosionsgrenze, UEG [Vol.-%]	4		4,4		1,4	0,6
Obere Explosionsgrenze, OEG [Vol.-%]	77		16,5		7,6	7,5

^(a) Heptan-Luft Gemisch, ^(b) n-Heptan Dampf

B. Warn- und Detektionssensorik von Wasserstoff und Erdgas im Vergleich

Die Messprinzipien für die Warnsensorik und Detektionssensorik von Wasserstoff weichen aufgrund der unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften von Wasserstoff und Erdgas voneinander ab und sind daher unterschiedlich zu gestalten.

Der Einsatz von Sensorik an den unterschiedlichen Komponenten des Transportnetz- und Verteilnetzinfrastruktur bleibt sowohl beim Erdgas als auch beim Wasserstoff gleich. Entlang des Rohrnetzes müssen regelmäßige Überprüfungen auf Leckagen durchgeführt werden. Dazu gehört die oberirdische Überprüfung und falls dabei das Gerät auf austretendes Gas anschlägt, wird eine Überprüfung der Bodenluft durchgeführt, um die Leckagestelle zu lokalisieren. Eine oberirdische Überprüfung auf Erdgas erfolgt häufig mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) oder mit einem gassensitiven Halbleiter (HL).

Bei FID's handelt es sich um Detektoren, welche zur Konzentrationsbestimmung von Kohlenwasserstoffen eingesetzt werden. Hierbei werden mit einer Flamme die zugeführten Kohlenwasserstoffe ionisiert und in ein elektrisches Feld geleitet. Als Ausgangsgröße erhält man einen elektrischen Strom, welcher proportional zur Konzentration ist [6]. Das Messprinzip ist somit für Wasserstoff nicht geeignet, jedoch gibt es schon etablierte Wasserstoffsensoren, welche zum Beispiel auf dem HL-Prinzip beruhen und sich stattdessen zur oberirdischen Überprüfung einsetzen lassen.

Neben dem Rohrnetz müssen noch die Schieberarmaturen, welche über Abdeckkappen zugänglich sind, auf Dichtigkeit untersucht werden. Diese werden häufig mit Detektoren geprüft, welche auf dem Messprinzip HL oder Wärmetönung (WT) funktionieren. Das Messprinzip der Wärmetönung ist die Messung der Verbrennungswärme eines Gases mit Hilfe eines Feststoffkatalysators. Beide Messprinzipien lassen sich auch auf Wasserstoff anwenden [3].

Eine weitere Maßnahme, welche vor allem bei Transportnetzbetreibern Anwendung findet, ist das Lokalisieren von Leckagen durch Infrarotsensoren, welche am Fahrzeug oder Hubschrauber angebracht werden. Hier ist zu beachten, dass Wasserstoff nicht infrarotaktiv ist [5].

Die kritischen Anlagenteile der Anlagenräume wie GÜST oder GDRA werden auch mit entsprechenden Sensorik-Handgeräten in regelmäßigen Zeitabständen überprüft. Neben den wiederkehrenden Prüfungen werden die GÜST noch mit Gaswarnsystemen überwacht, aus dem Grund, dass das Gas an den Gasübernahmestationen nicht odoriert ist. Das passiert mit Punktsensoren, welche im Raum installiert sind. Diese Systeme sind meist als eine Kombination verschiedener Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien wie HL, WT oder WL (Wärmeleitfähigkeit) und unterschiedlicher Messgröße ausgelegt. Bei der Messung mit Hilfe eines WL-Sensors wird die Wärmeleitfähigkeit des Gases zu einem Referenzgas gemessen [3]. Auch hinsichtlich Punktsensoren für Wasserstoff gibt es etablierte Produkte am Markt. TABELLE II zeigt je Einsatzfall die verschiedenen Messgeräte zur Erdgasdetektion auf.

TABELLE II: GASKONZENTRATIONSMESSGERÄTE GEMÄß BEIBLATT 1 ZU DVGW-HINWEIS G465-4 [3]

Gaskonzentrationsmessgeräte gemäß DVGW - Hinweis G 465 - 4							
Wesentliche Einsatzfälle und Grundanforderungen für das Gasfach							
Einsatzfall / Bezeichnung	Symbol	Wirkprinzip	Messbereich	Ex-Schutz	Signale		
					Bereich CH ₄	akustisch	optisch
Oberirdische Überprüfung		FID HL	1 ppm - 2,0 Vol.-%	nein	variabel wählbar: Empfehlung 10 ppm	ja	(ja)*
Prüfung Bodenluft		WL IR	0,1 - 100 Vol.-% mit CO ₂ - Nachweis und -kompensation	nein		nein	nein
Prüfung Hohlraum		HL (WT)* WL	1 - 1000 ppm 0,1 - 100 Vol.-%	passiv	0,44 - 2,2 Vol.-% 2,2 - 4,4 Vol.-% 4,4 - 100 Vol.-%	nein nein nein	Blinken Festsignal Festsignal
Prüfung Haus		HL (WT)* WL	1 - 1000 ppm 0,1 - 2,2 Vol.-% (2,2 - 4,4 Vol.-%)*	passiv	1 - 1000 ppm 0,1-0,44 Vol.-% 0,44 - 2,2 Vol.-% >2,2 Vol.-%	konzentrations- abhängiges Signal	nein Blinken Festsignal
Spülen Gasreinheit		WL	0,1 - 100 Vol.-%	passiv		nein	nein
Überwachung Arbeitsraum		WT	1 - 100 % UEG	aktiv	1 - 10 %UEG	nein	nein
					10 - 20 %UEG	Vorsignal	Vorsignal
					< 50 %UEG	Hauptalarm	Hauptalarm
					(100 % UEG)*	(Daueralarm)*	

HL – gassensitiver Halbleiter, WT – Wärmetönung, WL – Wärmeleitfähigkeit, IR – Infrarotsensor, (*) optional möglich

Weiterhin für Wasserstoff interessant sind zudem akustische Sensorik und Flammendetektoren. Beide Arten der Sensorik werden in der Erdgaswelt nicht verwendet. Akustische Sensorik ist in Deutschland nicht weit verbreitet. Flammendetektoren werden aufgrund der gut sichtbaren Erdgasflamme nicht eingesetzt.

Ein akustischer Sensor, der für die Detektion von Wasserstoff geeignet ist, ist der Ultraschallsensor. Beim Ausströmen von Gas wird ein charakteristischer Pfeifton erzeugt, welcher im Ultraschallbereich liegt. Durch Begrenzung des Frequenzbereichs werden Umgebungsgeräusche ausgeblendet und es kann mit einem entsprechenden Mikrofon das Leck lokalisiert werden. Die Anwendung dieses Sensors ist nicht geeignet bei kleinen oder diffusiven Lecks [5].

Falls ein Risiko von Wasserstoffbränden bestehen sollte, ist es sinnvoll Flammendetektoren zu installieren, da die Wasserstoffflamme bei Umgebungslicht schwer für das menschliche Auge wahrnehmbar ist. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht als einziges Verbrennungsprodukt Wasser. Dabei kommt es zu einer Emission von IR- und UV-Strahlung im diskreten Bereich, welche von einem UV/IR-Flammendetektor erfasst werden können. Problematisch ist, dass sich die Infrarotregion von Wasser teilweise mit dem

Infrarotspektrum von Sonnenlicht überschneidet, weshalb der Einsatz von solchen Flammendektoren mit einer hohen Fehlalarmrate verbunden sein kann [7].

C. Odorierung von Wasserstoff und Erdgas im Vergleich

Als eine Sicherheitsmaßnahme für die öffentliche Gasversorgung gilt die Odorierung. Dabei wird das Gas mit einem Warngeruch (Odorstoff) versehen, damit der „gastechische Laie“ durch die Wahrnehmung des Geruches frühzeitig ein Austreten an Gas zum Beispiel an undichten Hausinstallationen oder Gasverbrauchseinrichtungen, erkennen kann. Diese Maßnahme findet ihre Anwendung eher beim Privatverbraucher als bei Industriebetrieben. Auf das Odorieren von Werksanlagen kann demnach verzichtet werden, solange die Sicherheit durch andere Maßnahmen gewährleistet werden kann. Teilweise kann die Odorierung auch dazu dienen Leckagen an erdverlegten Gasleitungen zu erkennen. Hierbei ist zu beachten, dass der Odorstoff vom Erdboden sorbiert wird [8].

Das Hamburger Erdgasnetz wird zum größten Teil odoriert, da es sich um Verteilnetz handelt, welches unter anderem auch Privatverbraucher mit Erdgas versorgt. Demensprechend müssen die Vorgaben des DVGW erfüllt werden. Gasfernleitungsnetzbetreiber sind von der Vorgabe zu odorieren ausgeschlossen, da es sich hierbei um ein Transportnetz handelt, welches größtenteils über nicht-öffentliches Gebiet führt.

Es gibt eine Vielzahl von Odorstoffen, welche für Erdgas auf dem Markt verfügbar sind. Die meisten davon sind schwefelbasiert, da Schwefelverbindungen einen sehr strengen Geruch besitzen und sich so leichter als Warngeruch wahrnehmen lassen. Zusätzlich gibt es auch schwefelfreie Odoriermittel, welche auf aliphatischen Kohlenwasserstoffen basieren. Diese fallen in der Wahrnehmung eher schwächer aus, da der Geruch eher was klebstoffähnliches hat, dafür sind sie aber weniger umweltbelastend als schwefelhaltige Odormittel. Neben dem Schutz der Öffentlichkeit und der Leckagelokalisierung bringt eine Odorierung noch weitere Vorteile. Auch auf Baustellen, welche an oder neben Gasleitungen stattfinden, kann der Geruch in der Nähe befindliche Personen warnen und so rechtzeitig die Baustelle geräumt werden. Trotzdem kann es hier dazu kommen, dass das Odormittel sich durch die Windverhältnisse schnell verflüchtigt. Somit ist es nicht die primäre Funktion dieser Sicherheitsmaßnahme.

Während beim Hamburger Erdgasnetz die Odorierung eine effektive Sicherheitsmaßnahme darstellt, gibt es wesentliche Nachteile bei der Odorierung von Wasserstoffnetzen. Studien hinsichtlich Kriterien zur Wahrnehmung und zur Stabilität von Odoriermitteln in der Wasserstoffmatrix zeigen, dass sowohl schwefelhaltige Odoriermittel als auch schwefelfreie beide Kriterien erfüllen. Das HYPOS-Projekt, bei welchem ein Wasserstoffdorf im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen errichtet wurde, um neue Erkenntnisse hinsichtlich Wasserstoffinfrastrukturen zu gewinnen, hat diese Thematik erforscht. Ein Teil der Forschung bestand aus einer Mini-Deodorieranlage, welche schwefelfreies und schwefelarmes Odoriermittel in ein Wasserstoffverteilstromnetz hinzudosierte. Durch olfaktorische Untersuchungen und Odoriermittelkonzentrationsmessungen wurde die Wahrnehmung und Stabilität untersucht [9].

Neben diesen beiden Faktoren ist zusätzlich auch die Verträglichkeit der am Netz angeschlossenen industriellen

Anlagen gegenüber odoriertem Wasserstoff zu untersuchen. Je nach industriellem Prozess sind unterschiedliche Qualitätsanforderungen an den Wasserstoff gefragt. Die industriellen Abnehmer lassen sich grob in drei Gruppen einteilen, die in der ISO/DIS 14687 spezifiziert sind:

- Grad A: Abnehmer die den Wasserstoff zur Wärme- / Dampferzeugung verwenden, für Hauswärme (Blockheizkraftwerke) oder als Prozessgas (z.B. bei der Direktreduktion in der Produktion von „grünem“ Stahl), benötigen eine Gasreinheit von 98 mol%
- Grad B: Überwiegend Abnehmer aus der chemischen Industrie, welche katalytische Prozesse betreiben und eine Gasqualität von 99,9 mol% benötigen
- Grad C: Im Bereich Luft- und Raumfahrt für Ground-Support-Systeme, Antriebstechnik oder Fahrzeuge mit Reinheitsanforderungen von 99,995 mol%
- Grad D: Brennstoffzellenanwendungen, welche meistens im Bereich Mobilität Anwendung finden, benötigen eine Gasreinheit von 99,97 mol%

Innerhalb der Grade sind weitere Grenzwerte definiert, unter anderem für Schwefel und Kohlenwasserstoffe. Die Schwefelverbindungen, welche in gebräuchlichen Odoriermitteln, wie Tetrahydrothiophen (THT) und Tertiärbutylmerkaptan (TBM) vorliegen, wirken bei katalytischen Prozessen als Katalysator-Killer, was zu einer Verschlechterung des Prozesses führt. Bei Brennstoffzellen führen Schwefelverbindungen zu einer Degradierung und zu einem Spannungsabfall der Zelle, weshalb auch hier das Zuführen von schwefelhaltigem odoriertem Wasserstoff vermieden werden sollte. Auch schwefelfreies Odoriermittel zeigt bei Brennstoffzellen Effekte der Degradierung auf.

Die Auswirkungen von Odoriermitteln wurden in der britischen Projektstudie Hy4Heat untersucht. Verschiedene Odoriermittel und potenzielle neue Odoriermittel wurden in der Studie auf ihre Eigenschaften hin getestet. Dazu gehörte auch das Untersuchen der ausgewählten Stoffe hinsichtlich ihrer Wirkung auf Brennstoffzellen. Neben THT wurden auch schwefelfreie Odoriermittel auf Acrylat-Basis betrachtet [10]. In ABBILDUNG 1 ist der Spannungsverlauf einer Brennstoffzelle über die Zeit geplottet. Zu erkennen ist, dass schwefelhaltige Odoriermittel (THT und NB) einen deutlich stärkeren Spannungsabfall verursachen als die schwefelfreien Stoffe. Dennoch ist bei allen Mitteln ein Spannungsabfall festzustellen.

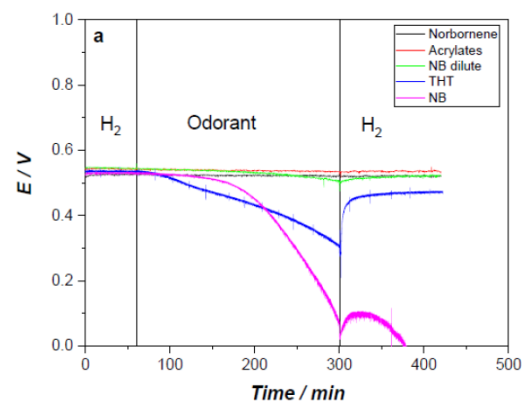


ABBILDUNG 1: MESSUNG DER ZELLSPANNUNG EINER BRENNSTOFFZELLE NACH ZUGABE VERSCHIEDENER ODORIERMITTEL [10].

TABELLE III zeigt die Spannungsabfälle der einzelnen Odoriermittel nach einer Zudosierung von vier Stunden auf. Auch die auf Acrylat-basierenden Odoriermittel weisen mit einem Abfall von $10 \text{ mV} \pm 2 \text{ mV}$ eine Degradierung auf. Jedoch müssten weitere Langzeittests schwefelfreier Mittel folgen, um die genauen Auswirkungen auf eine Brennstoffzellenanwendung zu untersuchen.

TABELLE III: SPANNUNGSABFALL DER BRENNSTOFFZELLE PRO ODORIERMITTEL [10]

Identifizier	Cell voltage loss after 4 h (mV)
Norbornene	5 ± 2
Acrylates	10 ± 2
NB dilute	40 ± 2
THT	225 ± 2
NB	460 ± 2

Aus den Ergebnissen der Untersuchung lässt sich folgern, dass der Einsatz von Odoriermitteln an einem Wasserstoff-Industrie-Netz, an welchem unter anderem Kunden aus Mobilität und chemischer Industrie angeschlossen sind, ungeeignet ist. Andernfalls wäre eine Deodorierung (Entfernung der Odorstoffe aus dem Gas) vor den Anlagen solcher Abnehmer notwendig.

Ein weiterer Nachteil der Odorierung, welcher sich aus der Beschaffenheit des Netzes ergibt, ist die Notwendigkeit der Deodorierung bei der Rückspeisung an den vorgelagerten Netzbetreiber. Laut dem DVGW ist ein Fernleitungsnetzbetreiber nicht verpflichtet zu odorieren, sodass in Deutschland das Fernleitungsnetz unodoriert bleibt. Die Notwendigkeit der Rückspeisung von Wasserstoff zum vorgelagerten Netzbetreiber ergibt sich aus den Flexibilisierungsbedarfen von HH-WIN. Bei einer hohen Produktion der Wasserstoffherzeuger und einer geringen Abnahme, würden die Netzpufferung und sonstige Lastenmanagementmaßnahmen nicht ausreichen, um den Wasserstoff zwischenspeichern zu können. Ein Teil des Wasserstoffes muss ins vorgelagerte Netz zurückgespeist werden. Wäre das Gas odoriert, hätte dies zur Folge, dass eine großskalige Deodorieranlage zwischengeschaltet werden müsste. Die Realisierung einer ganzheitlichen Aufreinigungslösung für Wasserstoffabnehmer mit Grad D und für den Fall der Rückspeisung, ist technisch aufwändig und mit einem hohen Kostenfaktor verbunden.

Eine erfolgreiche Odorierung von HH-WIN ist auf Grund des technischen Aufwandes und der Kosten schwierig zu realisieren, weshalb es sich lohnt über eine alternative Strategie nachzudenken.

III. AUSBLICK AUF DIE ZUKÜNFTIGE SICHERHEITSSTRATEGIE VON HH-WIN

Der Vergleich zwischen den sicherheitsrelevanten Eigenschaften von Erdgas und Wasserstoff zeigt, dass für Wasserstoff das Sicherheitskonzept überdacht werden muss.

Als Herausforderung gilt vor allem die im Vergleich zur Handhabung von Erdgas noch nicht vorhandene Praxiserfahrung zum sicheren Netzbetrieb eines öffentlichen Wasserstoff-Verteilnetzes, sodass es für den DVGW schwierig ist konkrete Standards zu setzen. Sind bereits einige Regelwerke schon für die Nutzung von Wasserstoff in öffentlichen Verteilnetzen angepasst worden, so sind, u.a.

gestützt auf Erfahrungen aus Forschungsprojekten, noch weitere sicherheitsrelevante Vorgaben für Wasserstoff zu gestalten.

Es ist zudem zu beachten, dass Wasserstoff durch seine stofflichen Eigenschaften andere Warn- und Detektionssensorik erfordert als dies bei Erdgas der Fall ist. Die Erfahrungen mit Wasserstoffsensoren sind bei den Sensorikherstellern vorhanden, da Wasserstoff schon vor Beginn der Energiewende als Prozessgas verwendet wurde und auch hier Schutzmaßnahmen an Transportleitungen und Anlagen notwendig waren. Eine Maßnahme wird es also sein, Neubeschaffungen von Wasserstoffgaswarnsystemen und Handgeräten zu tätigen.

Eine Grundsatzfrage des Sicherheitskonzepts von HH-WIN ist die Odorierung. Während der DVGW für ein Industrienetz nicht explizit vorschreibt, Odorierung als Maßnahme einzusetzen, handelt es sich trotzdem um eine verbreitete Sicherheitsmaßnahme in der Erdgaswelt und kann netznahe Personen bei einem Gasaustritt alarmieren. Des Weiteren ist auf Langzeit vorgesehen, dass Netz zu den Privathaushalten zu erweitern. Ab da würde die DVGW-Regelung G280 greifen und das Verteilnetz müsste odoriert werden [8]. Als alternative Maßnahme um den selben Sicherheitsstandard zu erhalten, wie mit Odorierung, könnten an den GDRA und sämtlichen Industriegasanlagen Gaswarnanlagen installiert werden.

Des Weiteren können die Prüfintervalle für das Ablaufen der Netzabschnitte und die Inspektion der daran befindlichen Armaturen (wie zum Beispiel Schieberarmaturen) erhöht werden. Um Personalkosten und Zeit bei dieser Inspektion einzusparen, lassen sich diese Arbeiten am Erdgasnetz und am Wasserstoffnetz zusammenlegen, da die Trassen teilweise parallel verlaufen. Die Nicht-Odorierung erfordert auch das Erstellen neuer Arbeitsanweisungen und Schulungen für Mitarbeiter. Einerseits, um mit den neuen Handgeräten umzugehen, aber auch zur Sensibilisierung, dass Wasserstoff geruchslos ist.

Längerfristig könnte für die an HH-WIN angeschlossenen Industriekunden eine Odorierung unterbleiben und eine dezentrale Odorierung nur an dem Teil des Wasserstoff-Verteilnetzes eingeplant werden, welches Gewerbe, Quartiere und Haushalte versorgt. Somit würde das Industrienetz odorfrei bleiben, während im Bereich Verteilnetz und der daran angeschlossenen Haushaltskunden, das Gas odoriert würde. In diesem Fall kann auf eine aufwändige Deodorierung verzichtet werden und es erleichtert die Erfüllung der Qualitätsanforderungen von Kunden aus dem Mobilitätssektor und von Kunden aus der chemischen Industrie.

LITERATUR

- [1] „Hamburger Klimaplan - Zwischenbericht zur Umsetzung 2022“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/16881602/ca46e59aa39a3c09fe9ce32d5d1feee7/data/d-zwischenbericht2022.pdf>
- [2] „Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW G 1001 (A): Sicherheit in der Gas- und Wasserstoffversorgung; Risikomanagement von gastechischen Infrastrukturen im Normalbetrieb“. März 2023.
- [3] M. Ulbrich, N. Jänchen, und Gaswärme-Institut Essen, Hrsg., *Grundlagen und Praxis der Gasrohrnetz-Überprüfung*, 3. Aufl. in Praxiswissen Gasfach. Essen: Vulkan-Verl, 2008. [Online]. Verfügbar unter: https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=jFuSbT5Zhk4C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Grundlagen+und+Praxis+der+Gasrohrnetz%3%BCberpr%C3%BCfung&ots=MpO_a8Bf&sig=8J7eS8a63mo-

WKuje00544pVPe#v=onepage&q=Grundlagen%20und%20Praxis%20der%20Gasrohrnetz%C3%BCberpr%C3%BCfung&f=false

- [4] K. S. V. Santhanam, R. J. Press, M. J. Miri, A. V. Bailey, und G. A. Takacs, *Introduction to hydrogen technology*, Second edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017.
- [5] R. Neugebauer, Hrsg., *Wasserstofftechnologien*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2022. doi: 10.1007/978-3-662-64939-8.
- [6] S. Ziesche u. a., „Flammenionisationsdetektor mit interner Gasversorgung in Mehrlagenkeramiktechnologie“, Fraunhofer IKTS, KROHNE Messtechnik GmbH, KROHNE Innovation GmbH. Zugegriffen: 27. Juni 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.directindustry.de/industrie-hersteller/flammenionisationsdetektor-95810.html>
- [7] MSA - The Safety Company, „UV/IR Detectors for Flame Detection - Principles of Operation“, *AZoSensors.com*, 15. September 2018. <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1327> (zugegriffen 27. Juni 2023).
- [8] „Technische Regel - Arbeitsblatt DVGW G 280 (A): Gasodorierung“. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Dezember 2018.
- [9] „HYPOS H2-NETZ - Entwicklung innovativer Infrastrukturen zur Versorgung von Verbrauchern im Wasserstoffdorf: Abschlussbericht“, DBI Gas und Umwelttechnik GmbH, 2022. doi: 10.2314/KXP:1814972749.
- [10] Dr. Arul Murugan, „Project closure report Hydrogen Odorant and Leak Detection Part 1, Hydrogen Odorant“, SGN. [Online]. Verfügbar unter: <https://sgn.co.uk/sites/default/files/media-entities/documents/2020-11/00%20Hydrogen%20Odorant%20Final%20Report%20v10.pdf>