



EINSPEISUNG VON WASSERSTOFF IN DIE GASNETZE

WIE ERNEUERBARE ENERGIEN DIE GASWELT VERÄNDERN

**PRODUKT MANAGEMENT
VERSION 03**

Honeywell

AGENDA

- Kontext - Dekarbonisierung des Energiesystems
- Die Idee - Nutzung des etablierten Gasnetzes zur effizienten Speicherung erneuerbarer Energien
- Auswirkungen auf die Gasversorgung - Einfluss auf Versorgungsnetze, Messtechnik und nachgelagerte Prozesse
- Aktivitäten bei Honeywell-Elster
- Anhang: Projekte, Quellenverzeichnis

KONTEXT

Dekarbonisierung des Energiesystems

KONTEXT

Dekarbonisierung des Energiesystems, um festgelegte Klimaschutzziele zu erreichen

Wesentliche Maßnahmen, um die Aufgabe zu erfüllen:

- Stromerzeugung auf nahezu ausschließlich erneuerbare Energien (EE) umstellen.
- Verkehrssektor stößt keine Treibhausemissionen mehr aus; er wird auf den Einsatz von Strom und/oder Wasserstoff umgestellt.
- Industrie weitgehend dekarbonisieren und in weiten Teilen elektrifizieren (inkl. Prozesswärme).
- Wärmewende im Haushalts- sowie Gewerbe und Dienstleistungsbereich umsetzen.

Dazu ist erforderlich:

- Massiver Ausbau der regenerativen Stromerzeugung (insbesondere Windkraft, on-shore und off-shore); der erzeugte Strom kommt auch in den Bereichen Industrie & Verkehr zum Einsatz.
- Starker Ausbau der Stromübertragungskapazitäten, um den Strom dort hin zu transportieren, wo er gebraucht wird.
- Speichertechnologien ausbauen, um auch in windschwachen und sonnenarmen Zeiten die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

KONTEXT

Wo kommt das Gasnetz ins Spiel?

- Die Elektrifizierung – direkt oder indirekt über Wasserstoff, andere synthetische Gas oder synthetische Kraftstoffe – kann sowohl in der Industrie als auch im Verkehr erst dann erfolgen, wenn entsprechende Mengen an erneuerbarem Strom zur Verfügung stehen.
Dies erfordert ausreichende Kapazitäten zum Transport und der Speicherung.
- Eine Option hierzu ist die Kopplung zwischen den Sektoren Strom und Gas über die **Power-to-Gas Technologie**: Der Transport und die Speicherung der elektrischen Energie erfolgt dabei in Form von Wasserstoff oder synthetischem Methan (synthetic natural Gas; SNG) im Erdgasnetz.

DIE IDEE

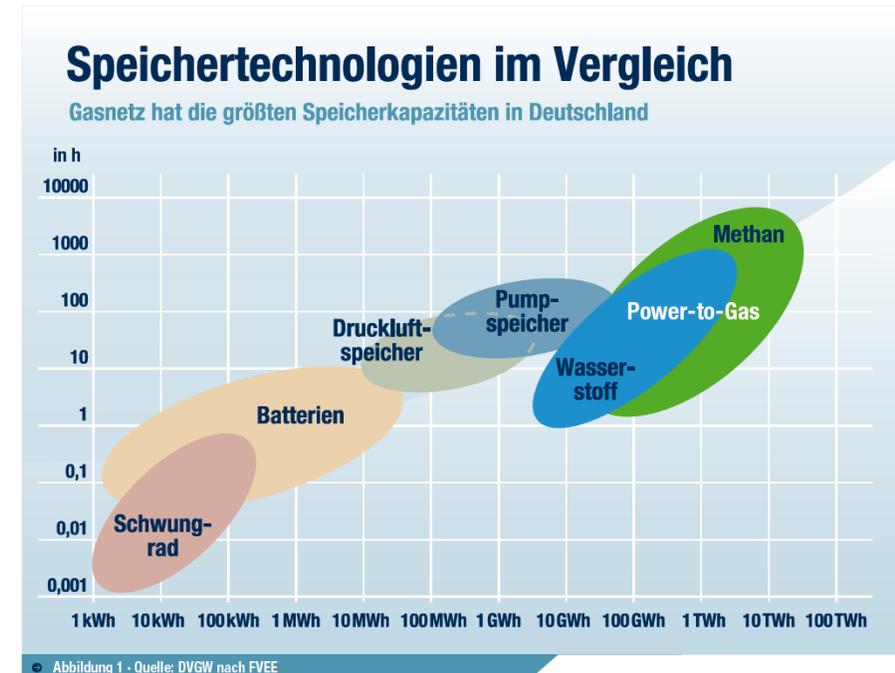
**Nutzung des etablierten Gasnetzes zur
effizienten Speicherung erneuerbarer Energien**

DIE HERAUSFORDERUNG

- Regenerative Stromerzeugung ist im höchsten Maße schwankend und nicht am Verbrauch orientiert.
- Die Einspeisung von Strom aus Wind und Sonne übersteigt zeitweise die Nachfrage mit dem Ergebnis, dass nicht nur konventionelle Kraftwerke heruntergefahren, sondern auch Windräder und Solaranlagen vom Netz genommen werden müssen.
- Das Problem ist, dass Strom bis dato nicht über einen längeren Zeitraum und in großem Maßstab gespeichert werden kann.
- Bislang erprobte Konzepte, wie beispielsweise Pumpspeicher-Kraftwerke, unterirdische Druckluftspeicher, die Idee von Elektroautos als mobile Netzspeicher oder die Entwicklung riesiger Lithium-Ionen-Batterien, können nur einen kleinen Teil der in Zukunft benötigten Speicherkapazitäten realisieren.

EIN WICHTIGER BEITRAG ZUR LÖSUNG

- Power-to-Gas als Bindeglied zwischen Strom- und Gasnetzen zur Nutzung von Wind- und Sonnenstrom in den Sektoren Mobilität, Wärme, Industrie und Stromerzeugung.
- Das deutsche Gasleitungsnetz stellt mit fast 500.000 Kilometer ein riesiges und flächendeckend vorhandenes Speichermedium dar. Es transportiert derzeit jährlich fast 1.000 Milliarden Kilowattstunden Energie in Form von Erdgas und Bio-Erdgas (ca. die doppelte Energiemenge des deutschen Stromnetzes).
- Zusätzlich können in unterirdischen Gasspeichern knapp 230 Milliarden Kilowattstunden eingelagert werden (fast 25 Prozent des deutschen Gasabsatzes); die Kapazität soll bis 2020 auf 300 Milliarden Kilowattstunden steigen.



Entladezeit und Speicherkapazität verschiedener Stromspeichersysteme (Deutschland)
Quelle: DVGW-Information [1]

»Eine Kopplung von Strom und Gasnetz ist deutschlandweit die einzige Möglichkeit, erneuerbare Energien langfristig und in großem Maßstab zu speichern und zu nutzen.«

Dr.-Ing. Michael Sterner, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)

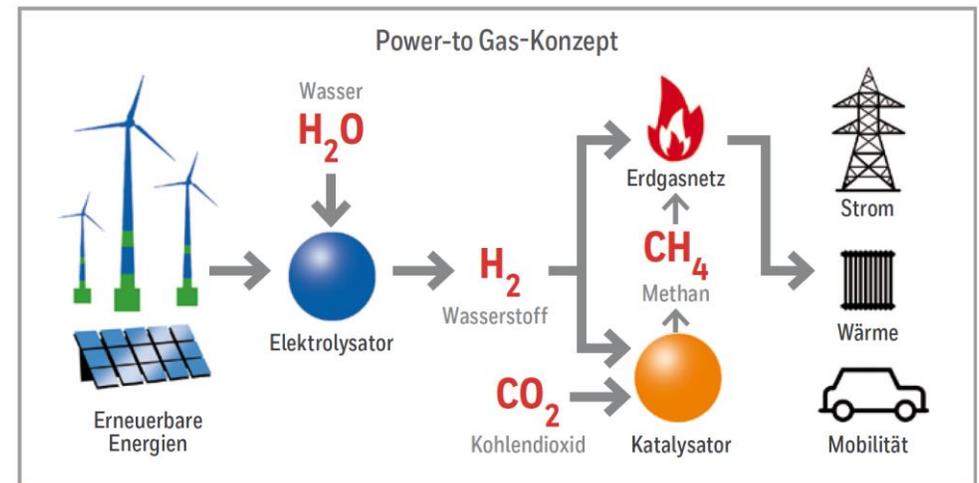
DER PROZESS: ELEKTROLYSE & METHANISIERUNG

Erster Umwandlungsschritt: Elektrolyse

- Wirkungsgrad: mindestens 80 Prozent
- Einziges Nebenprodukt: reiner Sauerstoff
- Einspeisung in das Erdgasnetz in begrenzten Mengen, hauptsächlich weil Wasserstoff eine wesentlich geringere Energiedichte als Methan aufweist.

Möglicher zweiter Umwandlungsschritt: Methanisierung

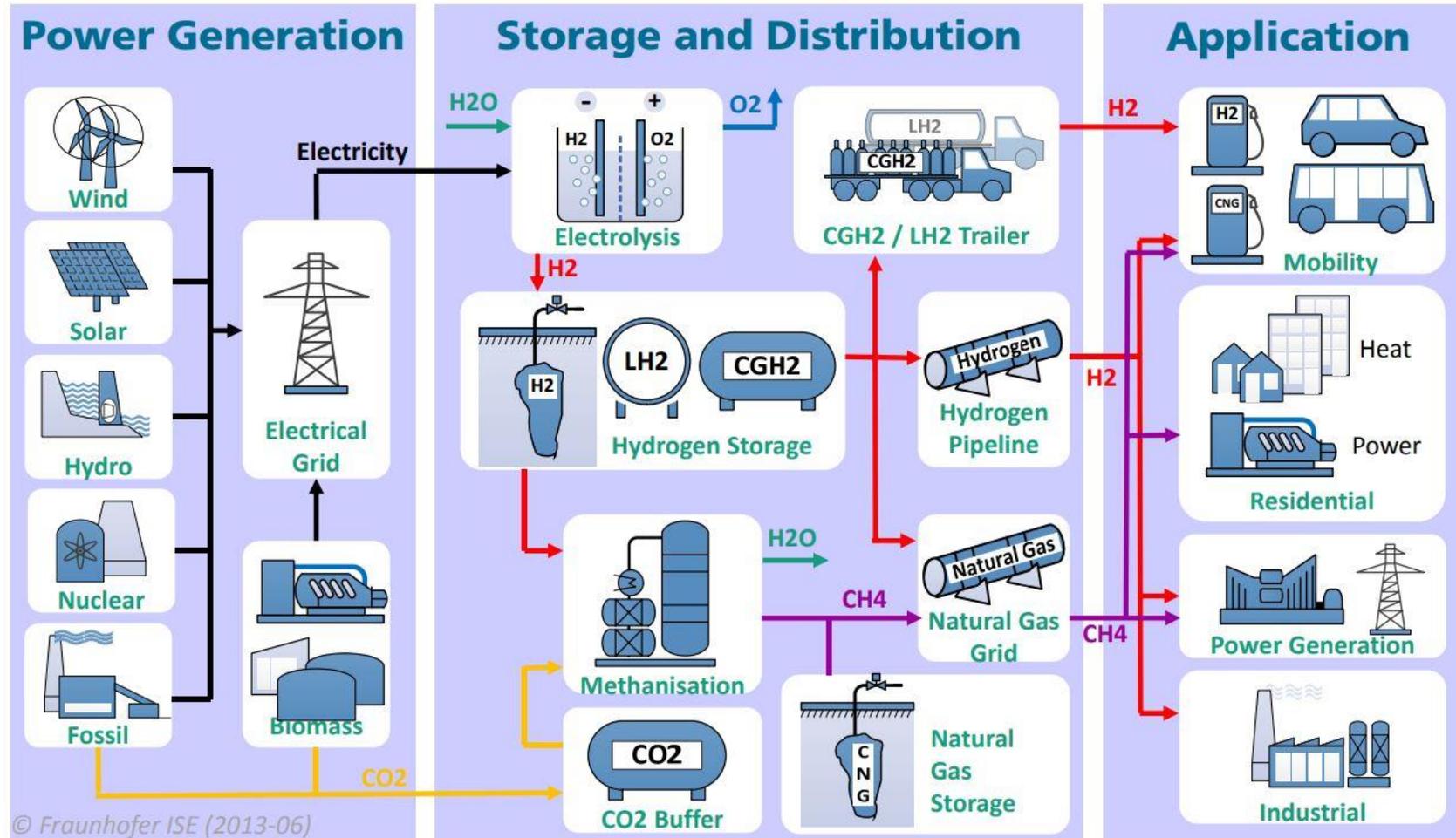
- Gesamtwirkungsgrad: ca. 60 Prozent.
- Verwendung von Kohlendioxid z.B. aus der Industrie
- Nebenprodukt: Wasser ($\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$)
- Erzeugtes Methan ist voll kompatibel mit Erdgas in den Netzen und kann so ohne jegliche Einschränkung verwendet werden.
- Methanisierung nur dann sinnvoll, wenn die Einspeisung von Wasserstoff an ihre Grenzen stößt.



Power to Gas Konzept

Quelle: Elster-Journal 01/2019 [2]

DER PROZESS: VON DER ERZEUGUNG BIS ZUR VERWENDUNG



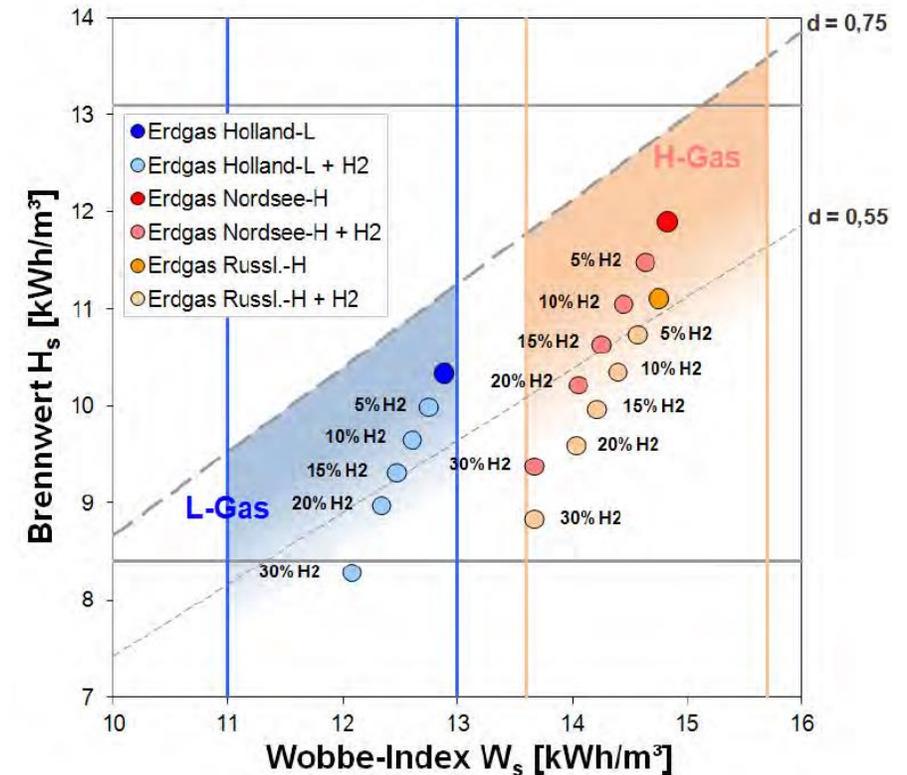
Quelle: Fraunhofer ISE-Homepage [3]

AUSWIRKUNGEN AUF DIE GASVERSORGUNG

**Einfluss auf Versorgungsnetze, Messtechnik
und nachgelagerte Prozesse**

EIGENSCHAFTEN VON WASSERSTOFF

- Volumenbezogener Brennwert: ca. 1/3 von Erdgas
- Dichte: ca. 1/7 von Methan, ca. 1/10 von Luft
- Wärmeleitfähigkeit: hoch; ähnlich wie Helium
- Diffundiert sehr schnell durch poröse Materialien oder auch durch kleinste Undichtigkeiten.
- Gemische von Wasserstoff mit Luft oder besonders auch mit reinem Sauerstoff sind sehr explosiv (Knallgas)

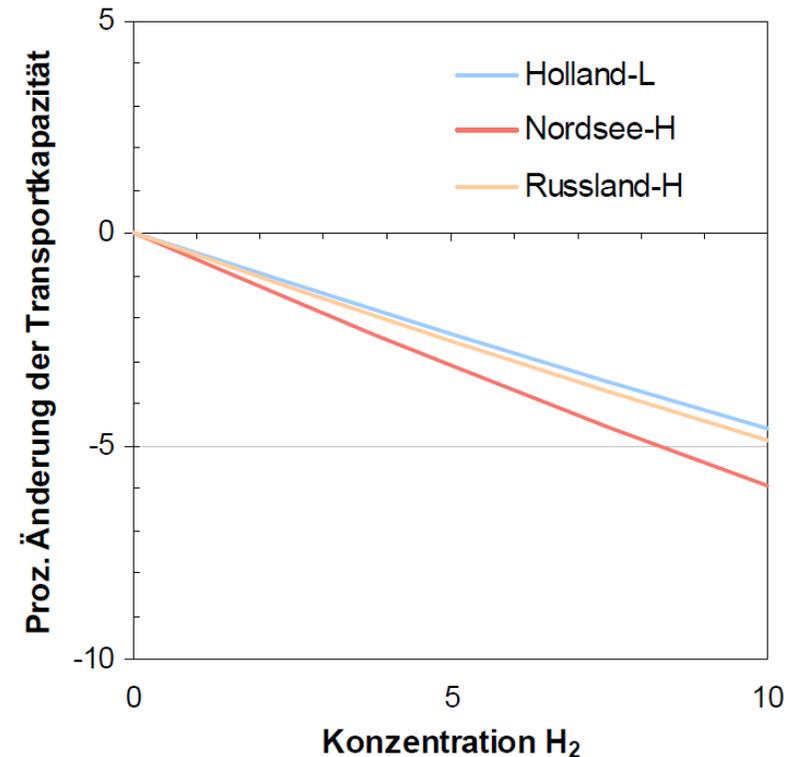


Veränderung der Gasbeschaffenheitskennwerte (Wobbe-Index, Brennwert, relative Dichte) in Abhängigkeit der H₂-Konzentration für drei verschiedene Erdgase

Quelle: DVGW-Studie [4]

EINFLUSS AUF DIE VERSORGUNGSNETZE – TRANSPORTKAPAZITÄT

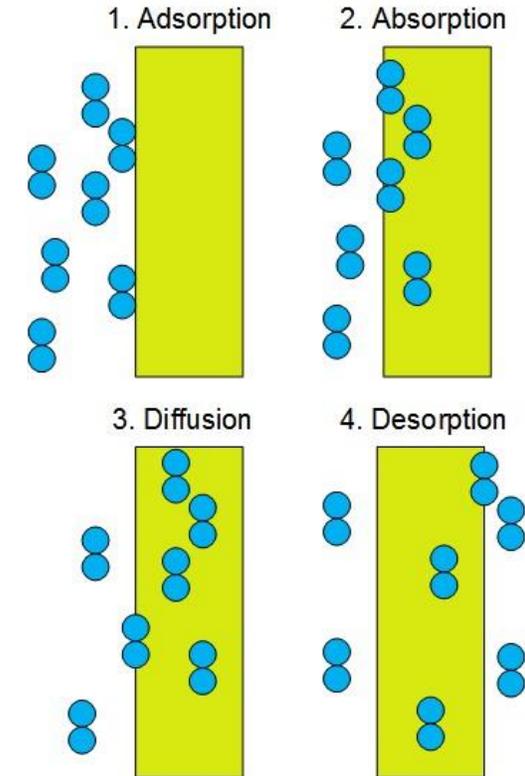
- Aufgrund der niedrigen Energiemenge pro Volumen von Wasserstoff reduziert sich die transportierbare Leistung einer Pipeline.
- Die Reduzierung der Transportkapazität bei 10% Wasserstoff beträgt ca. 5%-6% (je nach Erdgastyp).
- Dies kann zum Teil durch eine Erhöhung der Volumenrate (höherer Druckgradient) ausgeglichen werden. Hierzu sind aber höhere Verdichterleistungen (ca. 25%) erforderlich, die sich negativ auf die Energieverluste auswirken.



Prozentuale Änderung der Transportkapazität in Abhängigkeit der H₂-Konzentration für drei verschiedene Erdgase
Quelle: DVGW-Studie [4]

EINFLUSS AUF DIE VERSORGNUNGSNETZE – PERMEATION

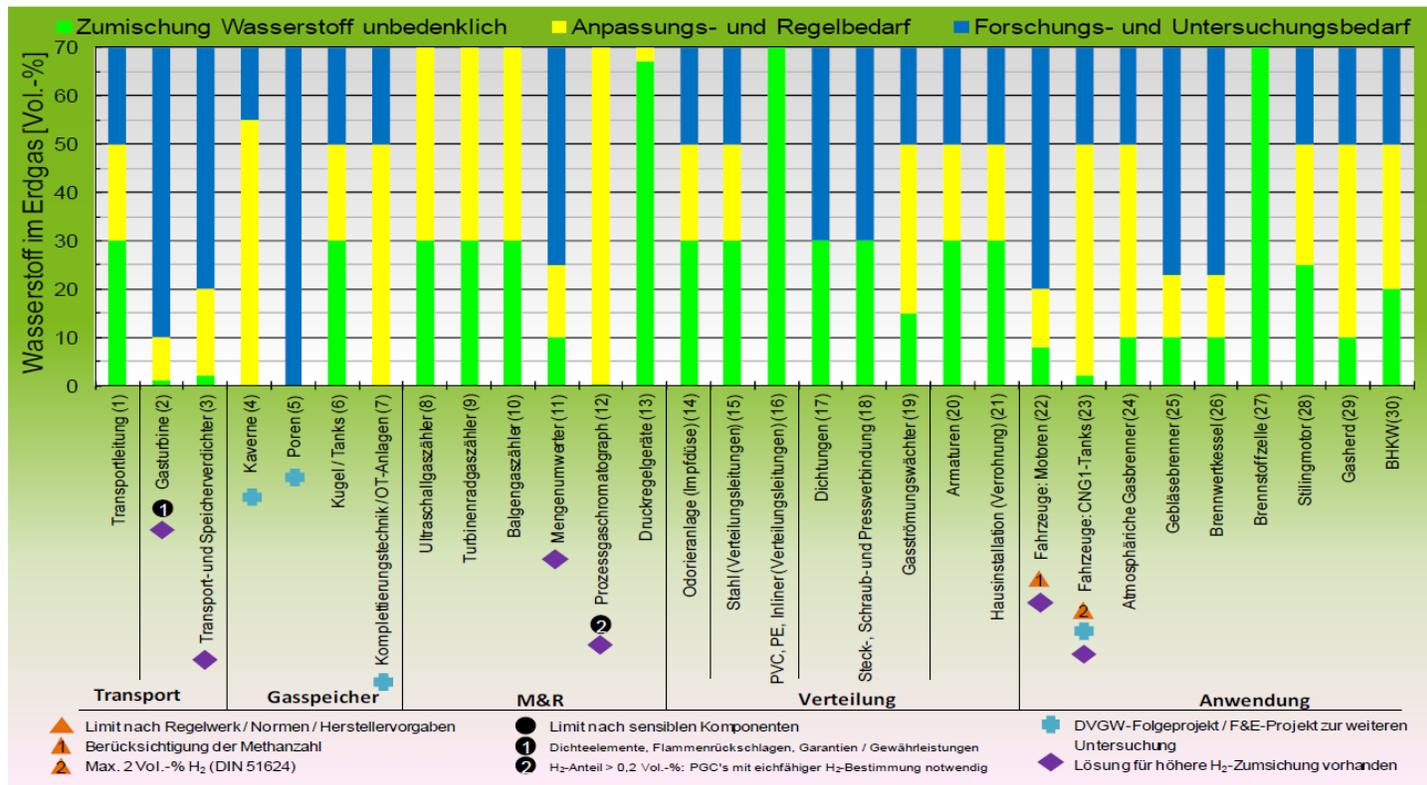
- Das Durchdringen (Permeation) von Wasserstoff durch Stahl- und Kunststoff-Rohrleitungen, Verbindungstechnik, Dichtungen und Membranen kann zu Versprödungen und daraus resultierenden Materialschäden führen.
- Die physikalische Beeinträchtigung erfolgt über den Eintrag atomaren Wasserstoffs.
- Innerhalb von Gitterfehlstellen und Zonen höchster elastischer und plastische Spannungen wird Wasserstoff bevorzugt aufgenommen.
- Diese Zonen können Ausgangspunkte möglicher Rissbildungen oder Rissfortschritts sein.
- Daher ist die Verwendung optimierter Materialien erforderlich.



Vereinfachte Darstellung der 4 Einzelvorgänge der Permeation
Quelle: DBI [5]

EINFLUSS AUF DIE MESSTECHNIK – ÜBERSICHT

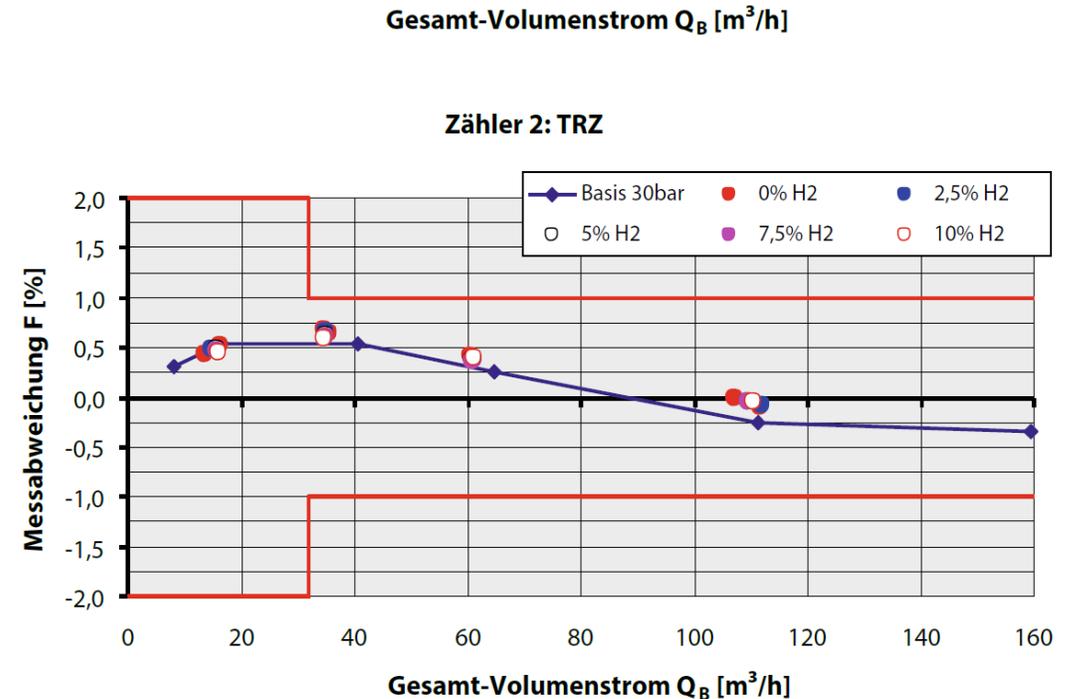
- Man geht im allgemeinen davon aus, dass die bestehende Infrastruktur weitgehend für ca. 10 Vol-% Wasserstoff im Erdgas geeignet ist.
- Forschungsbedarf besteht bei z.B. Erdgasspeichern, Gasturbinen, Erdgastanks.



Überblick: H₂-Toleranz ausgewählter Elemente im Erdgasnetz
Quelle: DVGW-Studie [4]

EINFLUSS AUF DIE MESSTECHNIK – TRZ & DKZ

- Turbinenrad- und Drehkolbengaszähler werden auch bei hohen H₂-Konzentrationen als generell geeignet eingeschätzt.
- Untersuchungen sind hinsichtlich Messgenauigkeit bei schwankenden Gasbeschaffenheiten sowie Langzeitbeständigkeit, Permeation und dynamischem Verhalten bei höheren Drücken erforderlich.
- Q_{min} wird sich durch das niedrigere Antriebsdrehmoment bei TRZ bzw. die niedrigere Kraft auf den Kolben bei DKZ bei gleichem Durchfluss erhöhen.
- Q_{max} wird durch die Grenzdrehzahl bestimmt und ändert sich nicht.



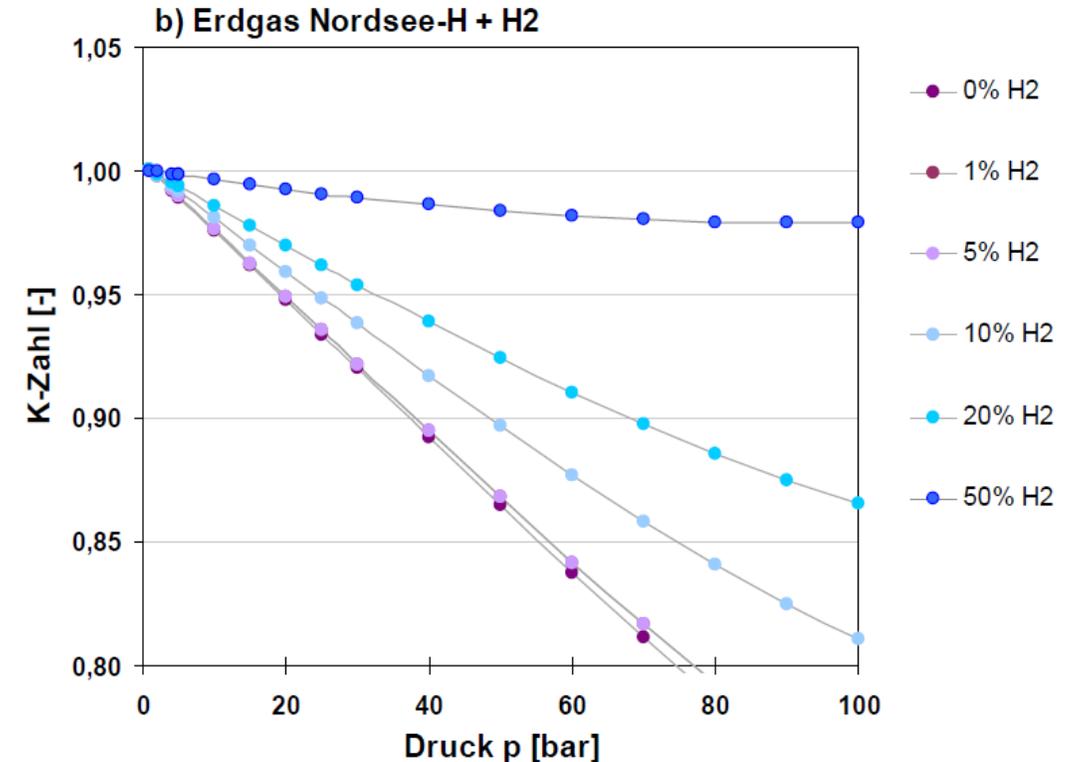
Messabweichung in Abhängigkeit des H₂-Gehaltes
Quelle: gwf 2013 - Einfluss von Wasserstoff auf die Hochdruckfehlerkurve von Erdgaszählern

EINFLUSS AUF DIE MESSTECHNIK – ULTRASCHALLZÄHLER

- Ultraschallgaszähler sind für die Messung von 10 Vol.-% H₂ im Rahmen der Eichfehlergrenze geeignet.
- Theoretisch auch für 100 Vol.-% geeignet.
- Anpassung auf die Dichte des Gasgemischs ist vorzunehmen (Kalibrierung mit H₂).
- Niedrigere Dichte von H₂ führt zu höheren Schallgeschwindigkeiten mit Einfluss auf das Ultraschallsignal; ggf. sind Anpassungen an der Parametrierung erforderlich.

EINFLUSS AUF DIE MESSTECHNIK – MENGENUMWERTUNG (K-ZAHL)

- AGA8:
 - Bei einer geforderten Messunsicherheit von 0,1% (z.B. gemäß DVGW-Arbeitsblatt G 486) bis maximal 10 mol% anwendbar.
 - Auch für höhere Stoffmengenanteile von H₂ anwendbar, allerdings mit deutlich höheren Messunsicherheiten.
- SGERG-88: Bis maximal 10 mol% anwendbar.
- GERG2004: Für bis zu 40 mol% Anteil geeignet (z.B. in Deutschland formal noch nicht für die Abrechnung zugelassen).
- Gemäß MID können auch alternative K-Zahl-Verfahren verwendet werden (z.B. K-Zahl-Tabelle).

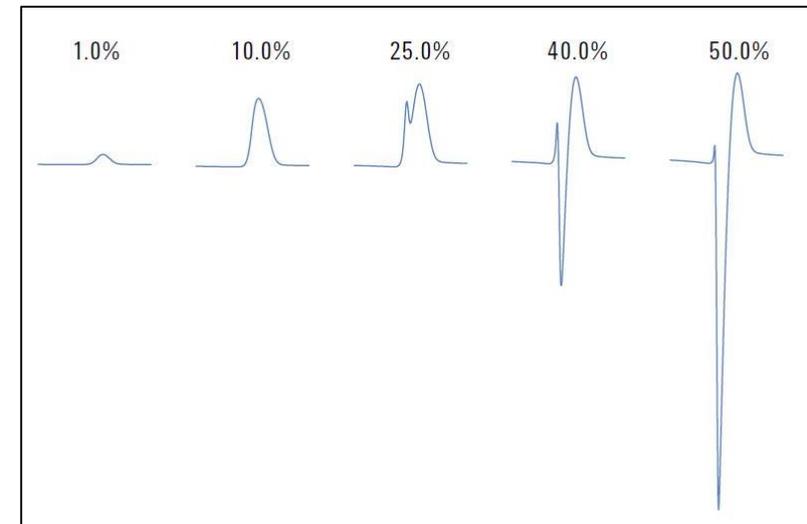


K-Zahlen (GERG2004) für Erdgas Nordsee-H mit
Zumischungen von Wasserstoff in Abhängigkeit des Druckes
(t=10°C)

Quelle: DVGW-Forschungsbericht [6]

EINFLUSS AUF DIE MESSTECHNIK – PROZESSGASCHROMATOGRAPH

- Aufgrund der ähnlichen Wärmeleitfähigkeitswerte von Helium und Wasserstoff, kann Wasserstoff bei Verwendung von Helium als Trägergas durch einen TCD relativ schlecht detektiert werden.
- Wird an Stelle von Helium Argon als Trägergas verwendet, so verringert sich die Empfindlichkeit für die anderen Gaskomponenten erheblich um den Faktor 5 bis 10.
- Darüber hinaus stellt sich ab einer gewissen Wasserstoffkonzentrationen im Trägergas-Komponenten-Gemischs und der damit verbundenen Änderung der Wärmeleitfähigkeit eine nichtlineare Reaktion und eine Inversion des Peak-Maximums ein.
- Erhöht sich die Wasserstoffkonzentration weiter, führt dies zu einem Nulldurchgang und einer negativen Reaktion auf den Detektor.

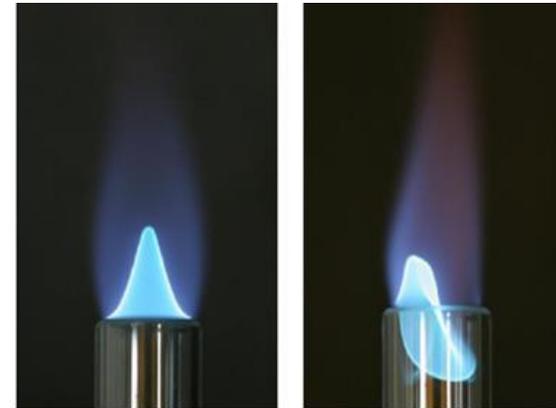


Peak-Form zunehmender Wasserstoffkonzentrationen mit Helium-Trägergas
Source: Agilent [7]

EINFLUSS AUF NACHGELAGERTE PROZESSE

Gasturbinen

- Die H₂-Konzentration ist in der Regel auf 1-5 Vol.-% limitiert, um den Brenner nicht zu beschädigen.
- Grund: Zunahme der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit mit der Gefahr eines Flammenrückschlags (Flash Back) und thermische Überlastung von Brennkammerkomponenten / Instabilität der Flamme mit Gefahr des Flammenverlusts (Flame out)



Erdgasfahrzeuge

- In Deutschland limitiert auf 2 Vol.-% H₂-Konzentration entsprechend der Kraftstoffnorm (DIN 51624 – Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge)
- Kein technisches Limit; wurde aus den Zulassungsbestimmungen für CNG-Fahrzeuge in Europa (ECE-Richtlinie R110) übernommen und in die deutsche Norm überführt.

AKTIVITÄTEN BEI HONEYWELL-ELSTER

UNTERSUCHUNGEN ZU DEN THEMEN SICHERHEIT & PERFORMANCE

1. Sicherheit:

- Gasbeständigkeit von Materialien z.B. Gehäusen, Dichtungen, Drucksensoren
- Sicherheitsfunktionalität z.B. von Druck-Reglern
- PED-Zulassungen
- Zulassungen für explosionsgefährdete Bereiche: z.B. Explosionsgruppe (H2: ATEX IIc)

2. Performance:

- Funktionsgenauigkeit (Messtechnik, Druckregelung, Energieberechnung etc.)
- Langzeitstabilität
- Einfluss auf Q_{min} und Q_{max}
- Metrologie-Zulassungen, z.B. MID
- Typenschild
- Kalibrierung

3. Produktion / Prüfung:

- Prüfstände mit H2 z.B. für Leckage-Test

MECHANISCHE GASZÄHLER – EIGNUNG FÜR 10% WASSERSTOFF

			Zulassungen	Kommentar
Sicherheit	Explosionsschutz		ATEX	o.k.
	Festigkeit	Material	PED Modul B	o.k.
		Produktion	PED Modul D	o.k.
Eigenschaften	Messgenauigkeit	Niederdruck	MID	o.k.
		Hochdruck	MID	o.k.
Produktion	Dichtheitsprüfung			o.k.
Inbetriebnahme	Dichtheitsprüfung			o.k.
Langzeitverhalten	Material	Dichtheit		o.k.
		Eigenschaften		o.k.

MECHANISCHE GASZÄHLER – EIGNUNG FÜR 20% WASSERSTOFF

			Zulassungen	Kommentar
Sicherheit	Explosionsschutz		ATEX	prüfen
	Festigkeit	Material	PED Modul B	o.k.
		Produktion	PED Modul D	o.k.
Eigenschaften	Messgenauigkeit	Niederdruck	MID	Messbereich
		Hochdruck	MID	o.k.
Produktion	Dichtheitsprüfung	Helium oder Luft?		prüfen
Inbetriebnahme	Dichtheitsprüfung	Gas?		prüfen
Langzeitverhalten	Material	Dichtheit		
		Eigenschaften		

GASBESCHAFFENHEITSMESSUNG – STATUS

EnCal 3000:

- H₂-Messung verfügbar: EnCal 3000 e-Gas bis zu 5 mol%, EnCal 3000 Quad bis zu 10 mol%
- Erweiterung auf 20 mol% für EnCal 3000 Quad in Bearbeitung

EnCal 3000 proChain

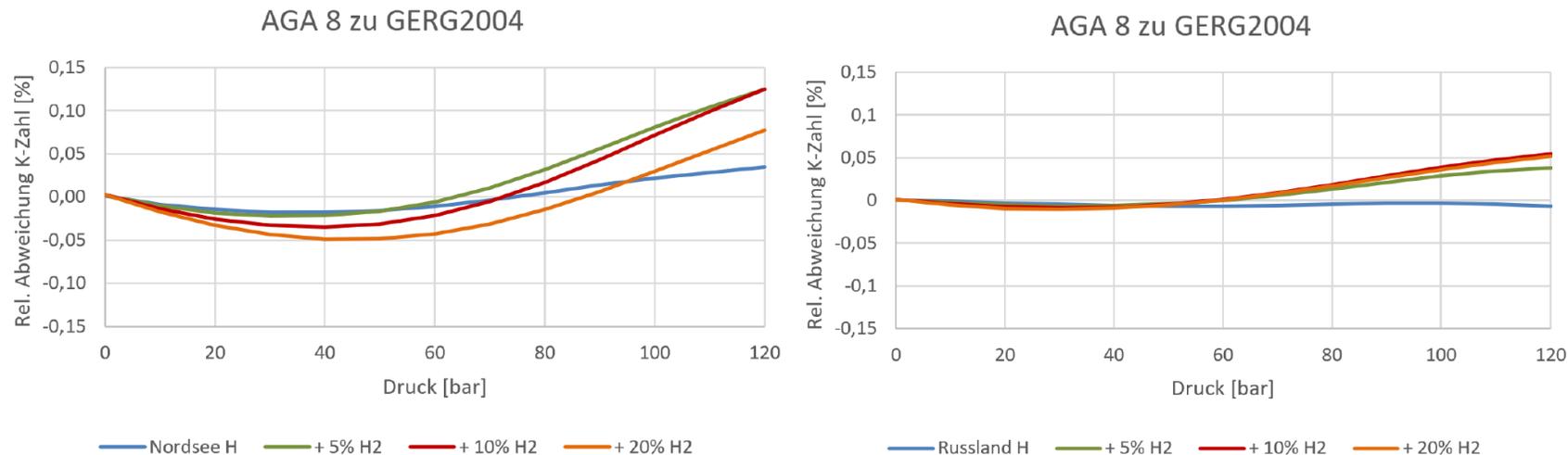
- Bisher ausschließliche Anwendung ist C6 +
- Wasserstoff-Tauglichkeit im Rahmen der nächsten Erweiterungen geplant

GasLab Q2:

- Einsetzbar bis 0,1 mol% Wasserstoff
- Höhere Anteile beeinflussen das Analysemodell und verursachen erhebliche Ungenauigkeiten
- Untersuchungen zur Erweiterung der Wasserstoffverträglichkeit laufen

K-ZAHL-BERECHNUNG IN MENGENUMWERTERN – STATUS

- Zusammen mit OGE und PTB Untersuchungen zur Verwendbarkeit der AGA8 für Erdgas mit einem Anteil von > 10 mol% H₂.
- OGE-Berechnungen zur Kompressibilitätszahl nach AGA8 und GERG2004 mit höheren H₂-Anteilen bei typischen Gasvektoren: Die größten Abweichungen ergeben sich - wie erwartet - bei hohen Drücken, aber die relativen Abweichungen halten sich auch bei H₂-Stoffmengenanteilen von $>10\%$ in Grenzen. **Nordsee H** **Russland H**



Rel. Abweichung K-Zahl AGA8 zu GERG2004 [%]; T=10°C Quelle: Fr. Füllbeck, OGE / Workshop H₂, 5.9.2019

K-ZAHL-BERECHNUNG IN MENGENUMWERTERN – STATUS

- Bei 100% Wasserstoff freie K-Zahl-Tabelle (AFB ‚K aus Tabelle‘) in enCore-Geräten verwendbar.
- MID-Zulassung für FC1 vorhanden.
- MID- bzw. PTB-Zulassung für ZM1 und BM1 geplant.

H2					
610A870A	-25	0	25	50	75
1	1,0006	1,0006	1,0006	1,0006	1,0005
10	1,0065	1,0062	1,0059	1,0056	1,0053
30	1,0195	1,0186	1,0177	1,0168	1,0159
50	1,0329	1,0313	1,0297	1,0281	1,0266
75	1,05	1,0474	1,0448	1,0423	1,0401
100	1,0675	1,0637	1,0601	1,0567	1,0536



Description

Number **T10434** revision 5
Project number 1902124
Page 2 of 6

Software part	Version	Checksum
Gas Quality Application Function Block	01-00-C	620D285C
	02-00-E	F65E6ED5
	02-06-B	77A2051C
	03-00-C	B9CADD5D
	03-08-A	DCEAC7C0
	03-12-B	2A8E492E
Table Z Application Function Block	03-00-A	FF48B3BB
	03-03-A	70406B20
	03-06-B	3C966F95
Flow Conversion Application Function Block	01-00-C	05D6A298
	02-01-C	DF5B7846
	02-05-D	848E39FD
	03-00-C	7F8AEAF5
	03-07-A	F706E911
	03-10-C	E80B09B2

The software versions and checksums can be read on the information display by activating the "i"-button in the device's home display, followed by the "Software status" hyperlink.

1.2.2 Conversion
The conversion is performed according to the following formula stated below:

Compression

The compression factor Z/Z_b can be programmed in the EVCD as a fixed value or is **calculated by interpolation from a table which is programmed in the EVCD** or it can be calculated on the basis of the following algorithms:

- NEN-EN-ISO 12213-3 – SGERG88 (mol%CO₂, mol%H₂, H_s and d or p_b) or
- NEN-EN-ISO 12213-3 – AGA8 DC92 (detailed composition) or
- AGA-NX19

Z	compression factor at base conditions	compression factor at measurement conditions
-	-	-

1.2.3 Compression

The compression factor Z/Z_b can be programmed in the EVCD as a fixed value or is calculated by interpolation from a table which is programmed in the EVCD or it can be calculated on the basis of the following algorithms:

- NEN-EN-ISO 12213-3 – SGERG88 (mol%CO₂, mol%H₂, H_s and d or p_b) or
- NEN-EN-ISO 12213-2 – AGA8 DC92 (detailed composition) or
- AGA-NX19

ANHANG

PROJEKTE, QUELLENVERZEICHNIS

PROJEKT ELEMENT EINS (GASUNIE, TENNET UND THYSSENGAS)

https://thyssengas.com/files/thyssengas/user_upload/downloads/presse/pressemitteilungen/2018/20181016_PM-Gasunie-TenneT-Thyssengas-Power-to-Gas-Pilot-Element1.pdf

Projekthintergrund:

- Speichertechnologie für erneuerbaren Strom / grüne Sektorkopplung mit Power-to-Gas

Projekthinhalt:

- Strom- und Gasnetzbetreiber planen Bau einer 100 MW Power-to-Gas-Anlage in Niedersachsen
- Anlage soll Sektoren Energie, Verkehr und Industrie koppeln
- Stromnetze stabilisieren und die Abregelung von Windenergie begrenzen

Details:

- Bau der bis dato größten deutschen Power-to-Gas Anlage (100 MW) zur Umwandlung von Offshore-Windstrom aus der Nordsee in Wasserstoff
- Ziel: Erschließung neuer Speicherpotenziale für Strom aus erneuerbaren Quellen.
- Sektorkopplung: Transport über bestehende Gasleitungen für Wärme, Wasserstoff-Tankstellen für Mobilität, Speicherung in Kavernen für Industrie
- Weniger Ausbau im Stromnetz erforderlich

PROJEKT METHANISIERUNGSANLAGE IN FALKENHAGEN

<https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-26032019-falkenhagen-geht-in-betrieb/>

Projekthintergrund:

- Internationales Forschungsprojekts STORE&GO
- Demonstration der technischen Machbarkeit des Power-to-Gas-Prozesses von der Elektrolyse über die Methanisierung bis zur Einspeisung von „grünem“ Gas in das Erdgasnetz

Projekthinhalt:

- Umwandlung regenerativ erzeugten Wasserstoffs mit CO₂ aus einer Bio-Ethanol-Anlage zu Methan (synthetischem Erdgas).
- Die beim Prozess entstehende Wärme wird von benachbarten Furnierwerk genutzt.

Details:

- Anlage produziert pro Tag bis zu 1.400 Kubikmeter synthetisches Methan (SNG), was in etwa einer Energiemenge von 14.500kWh entspricht.
- Produkt vielfältig einsetzbar zum Beispiel als Kraftstoff, zur Erzeugung von Wärme und Strom in Kraftwerken oder im Haushalt und als Rohstoff für die chemische Industrie. Eröffnet gleichzeitig durch die uneingeschränkte Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur neue Möglichkeiten für den Transport und die Speicherung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

PROJEKT H21 LEEDS CITY GATE PROJECT

<http://www.northerngasnetworks.co.uk/2016/07/watch-our-h21-leeds-city-gate-film/>

Projekthintergrund:

- Dekarbonisierung des Gasnetzes zur Reduzierung der CO₂-Emissionen

Projekthinhalt:

- Die ehrgeizigen Pläne, wesentliche Teile des britischen Gasnetzes auf 100% Wasserstoff umzustellen, wurden von einem Projektteam unter der Leitung von Northern Gas Networks am 11. Juli 2016 in Westminster auf den Weg gebracht.
- Umstellung des britischen Gasnetzes auf Wasserstoff ist wichtiger Schritt, um die Ziele zur Reduzierung der CO₂-Emissionen zu erreichen. Derzeit stammen über 30% aller Kohlenstoffemissionen im Vereinigten Königreich aus dem Heizen und Kochen im Haushalt. Durch Umstellung auf Wasserstoffgas werden die Wärmeemissionen um mindestens 73% gesenkt.

Details:

- Wasserstoff zum Heizen und Kochen (Wasserstoffbrenner und Kocher erforderlich)
- Nieder- und Mitteldruckleitungen werden ersetzt: Eisen- durch Polyethylen-Rohre
- Wasserstoff wird in Salzkavernen gespeicherter Wasserstoff; separate H₂-Transportleitung
- 3 Jahre für den Umbau in den Sommermonaten geplant

QUELLENVERZEICHNIS

[1] DVGW-Infobroschüre „Mit Gas-Innovationen in die Zukunft!“

https://www.wvgw.de/dyn_pdf/gas_innovation/files/ib_internet.pdf

[2] Elster Kundenmagazin 01/2019 – Power-to-Gas Konzept

https://www.elster-instromet.com/assets/downloads/Profiles-Journale/Journal_2019_1.pdf

[3] Fraunhofer ISE – Homepage „Power-to-Gas“

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/wasserstofftechnologien-und-elektrische-energiespeicher/elektrolyse-und-power-to-gas/power-to-gas.html>

[4] DVGW-Studie „Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz“

<https://www.dvgw.de/leistungen/forschung/forschungsberichte/dvgw-forschungsbericht-g-10710/>

[5] DBI GUT

<https://www.dbi-gut.de/umwelt.html>

[6] DVGW-Forschungsbericht „Einfluss von Wasserstoff auf die Energiemessung und Abrechnung“

https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g3_02_12.pdf

[7] Agilent Applikationsbericht (Englisch)

<https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-3199EN.pdf>

**THANK
YOU**

Honeywell