

Was ist Wasserstoff und wie kann er erzeugt werden?

Webinar "Öhringer Wasserstoff-Insel"

Dr. Holger Dörr

1

Chemisch-physikalische Grundlagen – ein Vergleich von Wasserstoff mit Erdgas

- Wasserstoff – molekular H_2 : Element mit der Ordnungszahl 1, atomare Masse 1,00784 u → molekulare Masse 2,02 g mol⁻¹
 - Dichte: 0,0899 kg m⁻³ bei 273 K (geringste Dichte aller Gase)
 - Siedepunkt: -252 °C
 - hohe thermische Stabilität des Moleküls H_2 : Wasserstoff ist stabiles Molekül und gut lagerbar
- Methan – Verbindung CH_4 : molekulare Masse 16,04 g mol⁻¹
 - Dichte: 0,72 kg m⁻³ bei 273 K
 - Siedepunkt: -162 °C
 - thermische Stabilität geringer als H_2
- Wasserstoff ist nach DVGW G 260 ein Zusatz- und kein Austauschgas!

2

Chemisch-physikalische Grundlagen – ein Vergleich von Wasserstoff mit Erdgas

- ☉ Wasserstoff ist als Bestandteil von Stadtgas (CH₄/H₂/CO) ein alter Bekannter

Gas	Explosionsgrenzen* x _i in Vol.-%		LOC*	Brennwert** H _{s,n}	Wobbe-Index** W _{s,n}	Rel. Luftbedarf
	UEG	OEG	Mol-%	kWh/m ³		1
100 % CH ₄	4,2	16,6	10,1	11,06	14,85	100%
10 Vol.-% H ₂ in CH ₄	4,2	18,2	9,6	10,12	14,40	91%
25 Vol.-% H ₂ in CH ₄	4,2	21,2	9,1	9,18	13,95	81%
50 Vol.-% H ₂ in CH ₄	4,0	29,0	7,9	7,30	13,07	63%
100 % H ₂	4,1	77,0	4,3	3,54	13,43	25%

Quellen

* SCHRÖDER, V., 2016. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 2539, Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen, BAM, Berlin

** DIN EN ISO 6976:2016

keine CO₂-
Emissionen



3

Chemisch-physikalische Grundlagen – ein Vergleich von Wasserstoff mit Erdgas ff.

- ☉ Sicherheitstechnische Kenngrößen der Reingase (UEG, OEG, LOC s.o.)

Kenngröße	H ₂	CH ₄
Maximaler Explosionsdruck /bar	8,3	8,1
K _G -Wert /bar m ⁻¹ s ⁻¹	800	52
Normspaltweite /mm	0,29	1,14
Mindestzündenergie /mJ	0,017	0,23
Zündtemperatur /°C	560	595
Explosionsgruppe	II C	II A
Adiabate Flammentemperatur /°C	2096	1979
Flammgeschwindigkeit* /cm/s	195-270	35 -45

graduelle
Unterschiede
zwischen beiden
Reingasen

Quellen

* SCHRÖDER, V., 2016. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 2539, Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen, BAM, Berlin, kursiv: eigene Berechnungen Luft, l = 1; kursiv*: R. T. E.

Herrmanns, Dissertation, Universität Eindhoven, 2007

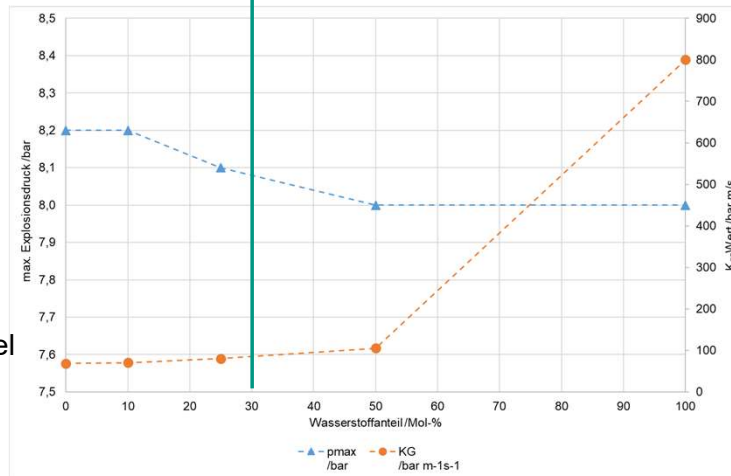


4

Chemisch-physikalische Grundlagen – ein Vergleich von Wasserstoff mit Erdgas ff.

Explosionsdruck und Druckanstiegsrate

30 Vol.-% H₂
Öhringer H₂-Insel



Quellen
* SCHRÖDER, V., 2016.
Abschlussbericht zum
Forschungsvorhaben 2539,
Sicherheitstechnische
Eigenschaften von Erdgas-
Wasserstoff-Gemischen, BAM,
Berlin

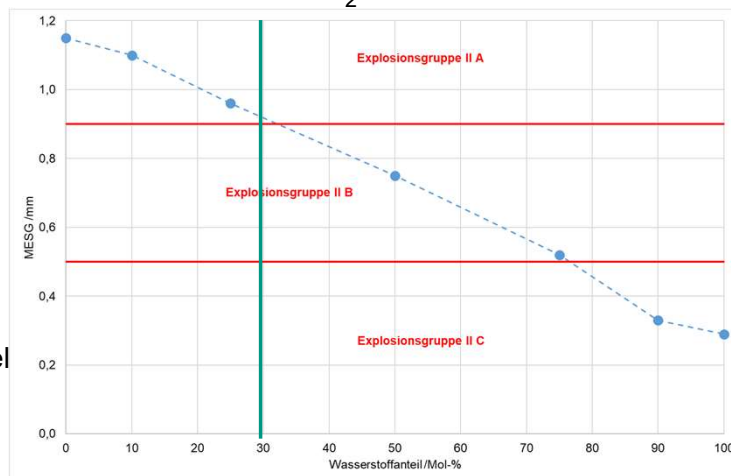


5

Chemisch-physikalische Grundlagen – ein Vergleich von Wasserstoff mit Erdgas ff.

Normspaltweite als Funktion des H₂-Anteils

30 Vol.-% H₂
Öhringer H₂-Insel
bleibt in
Explosions-
gruppe II A



Quellen
* SCHRÖDER, V., 2016.
Abschlussbericht zum
Forschungsvorhaben 2539,
Sicherheitstechnische
Eigenschaften von Erdgas-
Wasserstoff-Gemischen, BAM,
Berlin



6

Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff

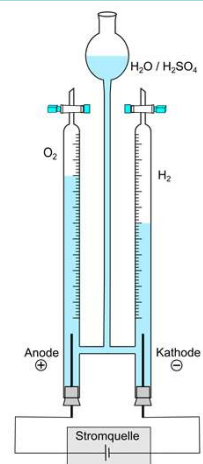
- molekularer Wasserstoff ist in der Umwelt nur in geringen Spuren vorhanden
- Wasserstoffquellen sind H-haltige Verbindungen
 - Wasser H_2O
 - Kohlenwasserstoffe C_nH_m wie z. B. CH_4 oder Naphta
 - Ammoniak (NH_3), Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)
- Wie kommt man an den gebundenen Wasserstoff? Spalterisch! Beispiele:
 - Elektrolyse: Spaltung mit Hilfe von elektrischem Strom
 - Dampfpyrolyse, Pyrolyse: Thermische Spaltung ggf. katalysiert
 - Biologisch, Fermentation: über Bakterien und H-haltiger Substrate
 - Plasmalyse oder Radiolyse von H_2 -haltigen Verbindungen
 - Metallurgisch: Reaktion von Metallen mit H_2



7

Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff ff.

- Elektrolyse: Spaltung mit Hilfe von elektrischem Strom
 - Kathodenreaktion $\text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ (Reduktion)
 - Anodenreaktion $4 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$ (Oxidation)
 - Gesamtreaktion $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ (Redoxreaktion)
- unterschiedliche Prozessführungen: saure, alkalische oder neutrale Elektrolyse, Nieder-/Hochtemperaturelektrolyse
- Wirkungsgrade häufig $>70\%$
- idealerweise mit erneuerbarem Strom: **grüner Wasserstoff**



Hofmannscher
Zersetzungsapparat
Quelle:
wikipedia



8

Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff ff.

- ⊕ Dampfpyrolyse: Thermische Spaltung ggf. katalysiert mit Wasserdampfbzusatz
 - allgemeine Gleichung $C_nH_m + n H_2O \rightarrow (n + m/2) H_2 + n CO$
 - industriell weit verbreitet mit H_2 -Quellen CH_4 oder Naphta
- ⊕ Pyrolyse: Thermische Spaltung ggf. katalysiert
 - allgemeine Gleichung $C_nH_m \rightarrow (m/2) H_2 + n C$
 - Variante Vergasung: Pyrolyse mit Gaszusätzen wie O_2
- ⊕ je nach Herkunft der H_2 -Quellen und Speicherung von C bzw. CO_2 geeignet zur Herstellung von grauem oder blauem H_2

Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff ff.

- ⊕ Biologisch, Fermentation: über Bakterien und H-haltiger Substrate
 - ähnlich wie fermentative Biogasherstellung
- ⊕ Plasmalyse: ionisierende Gasatmosphären von H_2O oder CH_4
 - z. B.: Lichtbogenreaktion mit Abtrennung von H_2
- ⊕ Radiolyse von H_2O mit γ -Strahlung mit Abtrennung von H_2
- ⊕ Metallurgisch: Reaktion von Metallen mit H_2O – Beispiele:
 - Rosten von Eisen in Wasser
 - Na-Versuch: Na-Stück in Wasserbad (Knallgas)

Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff ff.

- Speicherung von Wasserstoff – geringe volumenbezogene Energiedichte
 1. Druckwasserstoffspeicherung: technisch häufig bis 70 MPa (700 bar)
 - Kompressionsarbeit, druckfeste Tanks für H₂
 2. Flüssigwasserstoffspeicherung (krit. Punkt -240 °C, 1,3 MPa): -252 °C
 - Aufwand für Verflüssigung, Boil-Off-Verluste, tieftemperaturstabile Tanks
 3. chemisch gebunden
 - Metallhydridspeicher
 - Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC): Methylcyclohexan (dehydriert: Toluol)

- Varianten 1 und 2 sind auch bei Erdgas in Verwendung – Auslegungsparameter unterscheiden sich.

Gleich geht es weiter mit „Das müssen Profis im Umgang mit Gasgeräten wissen!“

