



ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

LESEPROBE

Wasserstoffanwendung in Industrie und Energiewirtschaft



Inhalt

1 	Physikalische Kenndaten	3
2 	Warum Wasserstoff?	
	Vergleich mit Erdgas und anderen Gasen	4
3 	Herstellung von Wasserstoff	5
	Reforming	5
	Elektrolyse	6
	Pyrolyse	8
	Plasmapolymerisation	8
	Natürliche Quellen	9
	Wasserstoff als Koppelprodukt	9
4 	Wasserstoff als Industrierohstoff	10
	Wasserstoff-Klassen	10
	Strom- und Wärmeerzeugung	12
	Kohlehydrierung	12
	Fischer-Tropsch-Synthese	12
	Veredelung flüssiger Kraftstoffe	13
	Ammoniakherstellung	14
	Direktreduktion von Eisen	14
	Wasserstoff als Kältemittel	15
	Schutzgas in der Metallurgie	15
	Härtung von Fetten	15
5 	Sekundärenergieträger auf Wasserstoffbasis	16
	Methanisierung	16
	Methanol	18
	Ammoniak	18
6 	Wasserstoffspeicherung	19
	Druckspeicherung	19
	Kryospeicherung	19
	Geologische Speicherung	20
	Physisorption und Chemisorption	21
7 	Wasserstofftransport und -infrastruktur	22
	Fahrzeuggebundener Transport	22
	Wasserstoff im Gasnetz	22
	LOHC	23
	Tankstellen	24
	Nationaler Wasserstoffhandel	25
	Transkontinentaler Handel	26
8 	Potenziale in der Energie- und Rohstoffwirtschaft	28
9 	Zertifizierung und Bilanzierung	29
10 	Integrationsstrategien	30
	Beimischung	30
	Inselsysteme	30
	Wasserstoffnetz	31

WASSERSTOFF IST DAS NEUE ERDÖL!

Mit großem Engagement werden derzeit Technologien, Konzepte und Projekte entwickelt, die den klimaschützenden Eigenschaften von Wasserstoff in die Umsetzung helfen sollen.

Eine große Verantwortung kommt dabei den heute größten Emittenten von klimaschädlichem CO₂ zu. Denn die Chemie- und Baustoffindustrie, zentrale Kraftwerke, aber auch die Gasnetzbetreiber müssen ihre Prozesse nach Möglichkeit umstellen, denn Wasserstoff hat im Vergleich zu Erdgas einige relevanten Unterschiede.

Der heutige Wasserstoffbedarf in Deutschland beträgt im Jahr 2020 ca. 500.000 t/a. Davon werden ca. 170.000 t/a durch Reformierung von Erdgas hergestellt, weitere 330.000 t/a entstehen als Nebenprodukt in chemischen Prozessen. Dieser Bedarf wird sich durch Energie- und Wärmewende deutlich erhöhen.

In dieser Broschüre führen wir in die wichtigsten industriellen Nutzungs- und Erzeugungspfade von grauem, blauem, türkisem und grünem Wasserstoff ein. Wir zeigen auf, in welchen Branchen Wasserstoffbedarfe zu verorten sind und geben einen Ausblick, wie die Vernetzung zukünftig aussehen kann.



3 Herstellung von Wasserstoff

Reforming

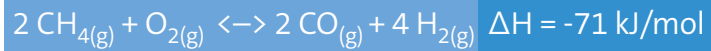
Die Dampfreformierung wurde von Carl Bosch im Zuge der Ammoniakherstellung entwickelt, bei der Wasserstoff als Grundstoff benötigt wird. Der Durchbruch bei der industriellen Wasserstoffherstellung durch Dampfreformierung gelang in den 1920er-Jahren durch die Verwendung von Nickelkatalysatoren.

Heute ist Erdgas der wichtigste Rohstoff zur Dampfreformierung. Prinzipiell lässt sich jedoch eine Vielzahl von Kohlenwasserstoffen wie z. B. Leichtbenzin, Schweröl, Methanol, Biogas und andere Biomasse zur Wasserstoffherstellung einsetzen.

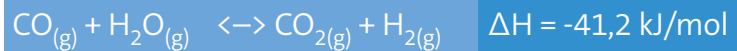
Die Dampfreformierung hat einen endothermen Reaktionsverlauf, das heißt die benötigte Wärme muss der Reaktion zugeführt werden.



Eine gleichzeitige partielle Oxidation der Kohlenwasserstoffe führt zu einem autothermen Reaktionsverlauf mit einem Wirkungsgrad von 60 – 70 %.



Die Wassergas-Shift-Reaktion erhöht die Ausbeute nochmals.



Die Dampfreformierung von Erdgas liefert weltweit derzeit etwa 70 % des jährlich benötigten Wasserstoffs. Es wird wegen der großen damit einhergehenden CO₂-Emissionen als „grauer Wasserstoff“ bezeichnet. Gelingt es aber, das CO₂ aufzufangen und anschließend weiter zu nutzen oder zu speichern, wird von „blauem Wasserstoff“ gesprochen. Bei „türkischem Wasserstoff“ fällt der Kohlenstoffanteil sogar in fester Reinform an und kann stofflich weiter genutzt oder eingelagert werden.

H

H

Wird das Gas mittels der hier beschriebenen Dampfreformierung erzeugt, wird es wegen der großen CO₂-Emissionen als „grauer Wasserstoff“ bezeichnet.

H

H

Gelingt es aber, das CO₂ aufzufangen und anschließend weiter zu nutzen oder zu speichern, wird von „blauem Wasserstoff“ gesprochen.

H

H

„Türkiser Wasserstoff“ entsteht, wenn Methan durch Pyrolyse oder Plasmalyse gespalten wird. Der Kohlenstoff fällt dann als nutz- oder problemlos lagerbarer Feststoff an.

H

H

Wird die Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarem Wind- oder Solarstrom genutzt oder Biogas zur Dampfreformierung eingesetzt, ist „grüner Wasserstoff“ das Produkt.

H

H

Extrem selten, aber trotzdem in einer Menge von ca. 670 Mrd. m³ in Mali verfügbar, ist so genannter „weißer Wasserstoff“, der in der Erdkruste vorliegt.

4 Wasserstoff als Energie und Industrierohstoff

2018 wurden weltweit mehr als 320 Megatonnen Wasserstoff hergestellt und in verschiedensten Prozessen genutzt. In diesem Kapitel werden die vorhandenen industriellen Wasserstoffanwendungen vorgestellt.

Wasserstoff-Klassen

Industriell erzeugter Wasserstoff weist sehr geringe Konzentrationen verschiedener Nebenbestandteile auf. Dies können unter anderem Stickstoff (N₂), Sauerstoff (O₂), Wasser (H₂O), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Kohlenwasserstoffe (KW) sowie Edelgase sein. Solche Verunreinigungen in gasförmigen Stoffen werden in Volumenanteilen in der Einheit ppm (parts per million) angegeben, welche als Stoffmenge oder Molanteil zu verstehen ist (Vol.-ppm). Die Konzentration der Nebenbestandteile beeinflusst den Reinheitsgrad des Wasserstoffs, welcher wiederum die Grundlage für die Einteilung in die sogenannten Wasserstoff-Klassen bildet.

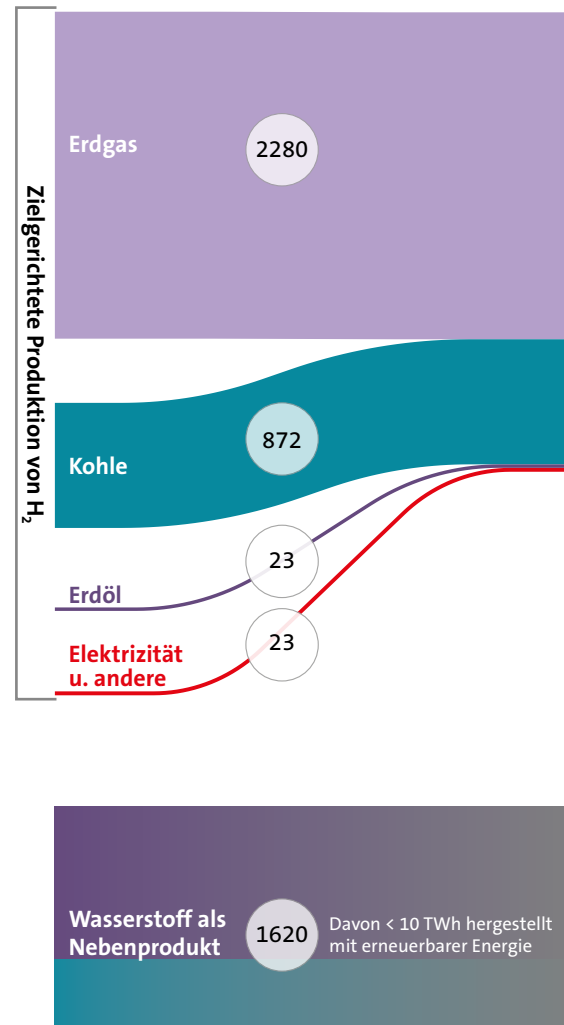
Die Klassen werden nach Reinheitsgrad und Aggregatzustand aufgegliedert. Die aktuell in der Praxis am häufigsten verwendeten Wasserstoff-Klassen sind Wasserstoff 3.0 mit einem Reinheitsgrad $\geq 99,9\%$ und Wasserstoff 5.0 mit einem Reinheitsgrad von $\geq 99,999\%$.

Der Reinheitsgrad erhöht sich hierbei kontinuierlich mit aufsteigender Klasse. Die Namensgebung begründet sich durch die Anzahl an Ziffern inklusive Dezimalstellen. So hat beispielsweise die aktuell höchste Reinheitsstufe Wasserstoff 7.0 insgesamt sieben Ziffern: 99,99999 %.

Reinheit (%)	Wasserstoff 3.0 $\geq 99,9$		Wasserstoff 5.0 $\geq 99,999$	
	Riessner	Linde	Riessner	Linde
Herstellerangaben				
Stickstoff (N ₂)	≤ 100	≤ 500	≤ 2	≤ 3
Sauerstoff (O ₂)	≤ 30	≤ 50	≤ 4	≤ 2
Wasser (H ₂ O)	≤ 20	≤ 100	≤ 3	≤ 5
Kohlenwasserstoffe	-	-	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$



Wertschöpfungsketten mit Wasserstoff 2019 nach IEA
in TWh H₂



7 Wasserstofftransport und -infrastruktur

Fahrzeuggebundener Transport

Mit den in Kapitel 6 beschriebenen Behältern können verschiedenste Fahrzeuge ausgerüstet werden. Bevor ein Leitungsnetz etabliert ist, kann so auch reiner Wasserstoff zu Anwendern transportiert werden. Für kleinere Mengen und Insellagen bieten sich dabei LKWs mit Flaschenaufliegern an. Die Nutzlast eines ca. 40 Tonnen schweren Sattelschleppers beträgt etwa 400 kg Wasserstoff, was in seinem Energiegehalt 1.263 Liter Benzin entspricht. Größere Mengen lassen sich auch per Eisenbahn oder Schiff über größere Strecken transportieren.

In Deutschland gibt es drei Abfüllanlagen für große Wasserstofftrailer. Diese befinden sich in Stade (Air Products), Krefeld (Air Liquid) und Leuna (Linde). Letztere kann auch verflüssigten Wasserstoff bereitstellen.

Allen fahrzeuggebundenen Lösungen ist gemein, dass es sich um Gefahrstofftransporte handelt, die gewissen Einschränkungen unterliegen. Darüber hinaus benötigt der Transport auch immer Energie und verursacht so Emissionen, die bei einer Wasserstoffherzeugung, die nah am Ort der Anwendung stattfindet, nicht anfallen. Daher sind bei der weiteren Systementwicklung dezentrale Erzeugungsstrukturen zu bevorzugen.

Wasserstoff im Gasnetz

In Industriebetrieben wird der für viele Prozesse notwendige Wasserstoff in Rohrleitungen verteilt. Ein größeres, regionales Wasserstoffnetz mit 240 km Länge verbindet seit 1938 Industriestandorte von Marl im Nordosten des Ruhrgebietes bis hin zu Duisburg im Westen des Ruhrgebietes.

Bevor die Förderung von Erdgas mit bis zu 98 % Methananteil weltweit ausgebaut wurde, enthielten städtische Gasleitungen ein Gemisch aus bis zu 50 % Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid. Mit Einführung des Erdgases, welches kaum nennenswerte Wasserstoffanteile besitzt, wurden diese meist aus Kohle hergestellten Gase jedoch verdrängt.

Soll eine vorhandene Erdgas-Leitung heutzutage auf Wasserstoff umgestellt werden, muss ein im Verhältnis größeres Gasvolumen transportiert werden, weil der volumetrische Brennwert von Wasserstoff geringer ist. Nach einer Leitungsumstellung können mit reinem Wasserstoff ca. 80 % der vorher mit Erdgas erreichten Energiemenge transportiert werden.



Herausgeber

ASUE Arbeitsgemeinschaft für
sparsamen und umweltfreundlichen
Energieverbrauch e. V.
Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

Telefon 0 30 / 22 19 1349-0
info@asue.de
www.asue.de

Bearbeitung

ASUE-Arbeitskreis Erneuerbare Gase
Thomas Wencker

Grafik

Kristina Weddeling, Essen

Verlag

wvgw Wirtschafts- und
Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
Josef-Wirmer-Straße 3
53123 Bonn
Telefon 0228/9191-40
info@wvgw.de
www.wvgw.de

Wasserstoffanwendung
in Industrie und Energiewirtschaft
Artikelnummer: 311515

Stand: Dezember 2020

Hinweis

Die Herausgeber übernehmen keine Gewähr
für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.

LESEPROBE

Überreicht durch: