



Kurzinformation

Zur Verdichtung und Verflüssigung von Wasserstoff

Wasserstoff nimmt in gasförmigem Zustand bei Atmosphärendruck ein vergleichsweise großes Volumen ein. Um allerdings Wasserstoff transportieren, lagern und für verschiedene energetische Anwendungen einsetzen zu können, wird er **entweder verdichtet**, d.h. unter hohem Druck komprimiert (über 350 bar) **oder verflüssigt**. Während die Verdichtung von Wasserstoff für kleine Speichermengen (beispielsweise zur Anwendung in PKWs) in Frage kommt, bietet sich dies für große Volumina (z.B. Speichertanks) nicht an.¹ Hier ist die Verflüssigung die Methode der Wahl; dafür wird Wasserstoff stark gekühlt (ca. -253 °C).

Bei der **Verflüssigung von Wasserstoff** wird eine Dichte von 71 kg/m³ erreicht. Nachteil ist, dass der Wasserstoff im flüssigen Zustand bei -253 °C gespeichert werden muss. Dies bietet sich bei **größeren Speichermengen** bzw. beim Transport über weitere Strecken an. „Wasserstoff wird unter Umgebungsdruck bei -253 °C flüssig. Hierfür wird das Gas gereinigt und in mehreren Prozessschritten herunter gekühlt. [...] Dieses Verfahren wird insbesondere in der Industrie eingesetzt.“²

Die **Verdichtung von Wasserstoff** wird - wie eingangs erwähnt - **für kleine Speichermengen** als günstige Lösung angewandt, beispielsweise in PKWs und Nutzfahrzeugen. In Abhängigkeit von der Reichweite sind im Verkehr Druckniveaus von 350 bar für Nutzfahrzeuge und 700 bar für PKWs üblich. Bei 700 bar beträgt die Dichte des Wasserstoffs ca. 40 kg/m³ (24 kg/m³ bei 350 bar).³

1 Informationen des Lehrstuhls für Thermodynamik, Fakultät Maschinenbau, Ruhr-Universität Bochum vom 30.11.2022.

2 Siehe hierzu: https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d13721-2/*/*Wasserstoffverfl%C3%BCssigung.html?op=Wiki.getwiki.

3 Siehe hierzu: Seite 5 in: P. Rose et al.: Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2020; <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/2472549c-0b7e-4ec8-97e7-5e26a7f4cbd2/content>. Sowie Informationen des Unternehmens EMCEL: <https://emcel.com/de/wasserstoffspeicherung/#:~:text=Gasf%C3%B6rmiger%20Wasserstoff%20l%C3%A4sst%20sich%20nach,%2Fm%C2%B3%20bei%20350%20bar>).

Im Falle der Verdichtung von Wasserstoff kommt es zu einer Temperaturerhöhung. Die Temperaturhöhe ist dabei vom Verdichtungsverhältnis, d.h. dem Verhältnis von Enddruck zu Anfangsdruck, abhängig. Geht man von einem Umgebungsdruck von 1 bar aus und verdichtet bis auf 200, 300 oder 700 bar, ergeben sich in der theoretischen Berechnung Temperaturänderungen von einigen 100 Grad⁴. Allerdings ist bei den in der Theorie berechneten Temperaturveränderungen für die praktische Anwendung zu beachten, dass es sich bei Kompression immer um ein mehrstufiges Verfahren handelt, das unter Zwischenkühlungsschritten erfolgt. Derartige Kühlungsvorgänge sind bereits aus den Erfahrungen mit dem Betrieb von Wasserstoff-PKWs bekannt. Hier wird der Wasserstoff vorgekühlt (-40 °C), bei einem Druck von 850 bar wird eine maximale Temperatur von 85 °C erzielt, und nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur (in etwa 20 °C) wird ein Druck von 700 bar erreicht.⁵

Die Überlegungen, **LNG-Terminals in Zukunft für Wasserstoff zu nutzen**⁶, führen aktuell zu Debatten, unter welchen Voraussetzungen dies technisch umsetzbar sein wird. Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) hat jüngst eine Analyse unter dem Titel „Conversion of LNG Terminals for Liquid Hydrogen or Ammonia; Analysis of Technical Feasibility under Economic Considerations“⁷ veröffentlicht, in dem es die Realisierbarkeit einer Umrüstung untersucht. Hierbei wird der Stand der Forschung zur technischen Machbarkeit der Umwandlung von LNG-Terminals unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten dargestellt und basierend auf einer Literaturrecherche werden die bestehenden Forschungslücken identifiziert. Es wird festgestellt, dass im Falle der Umwandlung der LNG-Terminals zum derzeitigen Standpunkt der Einsatz von Ammoniak (NH₃) als Energieträger wahrscheinlich sei. Die Umstellung von LNG auf flüssigen Wasserstoff (LH₂) sei zwar machbar, allerdings technisch anspruchsvoll. Hierzu müssten noch einige Fragen hinsichtlich des großen Maßstabes geklärt werden. Die Machbarkeit der Umstellung der LNG-Terminalinfrastruktur auf alternative Energieträger hänge stark von den individuellen Merkmalen des Terminals und dessen Standort ab. Daher könnten keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen für alle Terminals gezogen werden.⁸

4 Informationen Ingenieurbüro für Brennstoffzelle, Wasserstofftechnologie und Elektromobilität, EMCEL vom 28.11.2022.

5 Persönliche Informationen vom 15.12.2022, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV).

6 <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/erster-lng-terminal-2143122#:~:text=LNG%20%2DInfrastruktur%20k%C3%BCnftig%20f%C3%BCr%20Wasserstoff%20nutzen&text=Der%20Aufbau%20der%20LNG%20%2DInfrastruktur,f%C3%BCr%20Wasserstoff%20nutzen%20zu%20k%C3%B6nnen.>

7 https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2022/Report_Conversion_of_LNG_Terminals_for_Liquid_Hydrogen_or_Ammonia.pdf.

8 Eine Presseinformation zu der Studie findet sich unter: https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2022/presseinfo-25-lng-terminwelche_Wärme_entsteht?als-wasserstoff-ammoniak.html.