



Speicherung von Wasserstoff

Wien, im Juni 2023

Autoren: Felix Bettin und Andreas Indinger (Österreichische Energieagentur)

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen von HyPA, der Hydrogen Partnership Austria erstellt. HyPA ist eine gemeinsame Initiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und des Bundesministeriums für Arbeit und Wirtschaft (BMAW). Diese Publikation spiegelt die Perspektive der jeweiligen Autorinnen und Autoren wider und muss nicht mit den Meinungen und Positionen dieser beiden Ministerien übereinstimmen.



Warum Speichern?

Die Speicherung von Energie ist ein wichtiges Thema für eine sichere und kontinuierliche Energieversorgung. Bereits jetzt werden in allen Bereichen unserer Gesellschaft Energiespeicher verwendet. Beispielsweise kann mit Batterien Strom gespeichert und freigesetzt werden, jedoch können auch Biomasse und fossile Energieträger (wie Erdgas), bei denen Wärme durch Verbrennung freigesetzt wird, als Speicher funktionieren. Im Stromnetz werden bereits eine Vielzahl verschiedener Technologien mit unterschiedlicher Speicherdauer und Verfügbarkeit genutzt (z.B. Pumpspeicherkraftwerk oder Schwungrad).

Da die Erzeugung und der Bedarf nicht immer an gleicher Stelle und Zeit stattfinden, werden neben einer Transportinfrastruktur auch Speicher für eine durchgehende (Energie-)Versorgung benötigt. Um die Speicherung, besonders für mobile Speicher, möglichst effizient zu gestalten, wird versucht, den Wasserstoff auf wenig Raum zu komprimieren. Diese Bedingung ist bei Wasserstoff eine große Herausforderung. Als das leichteste Element besitzt Wasserstoff unter Umgebungsbedingungen eine sehr geringe Dichte (siehe Tabelle 1). Trotz der hohen Energie pro Gewicht hat es deswegen wenig Energie pro Volumen.

Tabelle 1: Eigenschaften von Wasserstoff, Methan und Benzin bei 15°C und 1 bar

Eigenschaften bei 15°C und 1 bar	Wasserstoff (gasförmig)	Methan (gasförmig)	Benzin (flüssig)
Gravimetrische Energiedichte (H_i) [kWh/kg]	33,33	13,9	~ 12
Dichte [kg/m ³]	0,084	0,67	~ 750
Volumetrische Energiedichte (H_v) [kWh/m ³]	2,8	9,3	~ 9000

Für die Speicherung von Wasserstoff wird versucht, die Dichte zu erhöhen (siehe Abbildung 1).

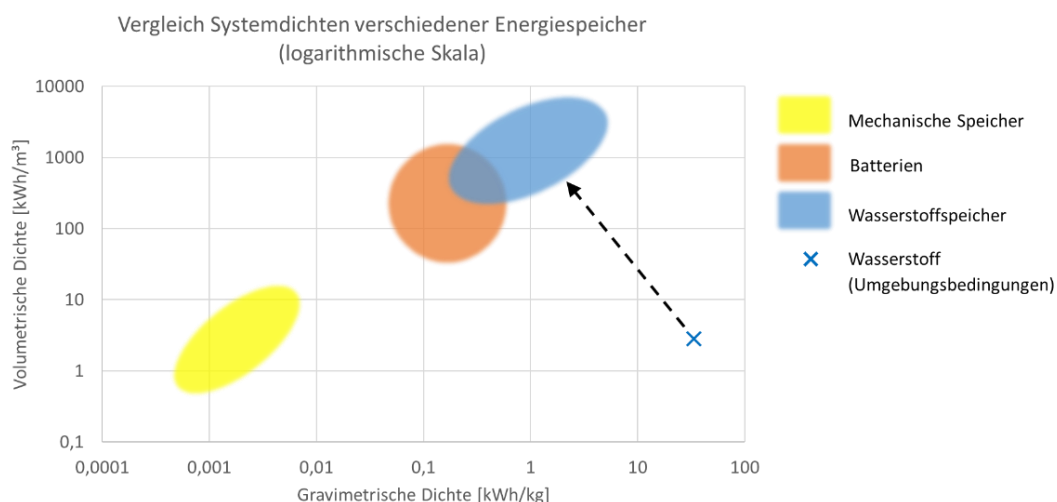


Abbildung 1: Darstellung von Wasserstoffspeicher, Batterien und Mechanische Speicher (z.B. Pumpspeicherkraftwerk oder Schwungrad) in Bezug auf die gravimetrische und volumetrische Dichten

Die Kriterien für die passende Speichertechnologie variieren dabei je nach Anwendung. Zum Beispiel ist für die stationäre Speicherung ein geringes Volumen viel wichtiger als das Gewicht, bei dem Transport per LKW ist sowohl Volumen als auch Gewicht von Bedeutung.



Kategorien von Speichertechnologien

Die Vielzahl der existierenden Speichertechnologien können zur Übersichtlichkeit in verschiedene Untergruppen zusammengefasst werden. In Abbildung 2 werden die Technologien anhand der verwendeten physikalisch-chemischen Prozesse eingeteilt.

Einteilung: Speicherung von Wasserstoff

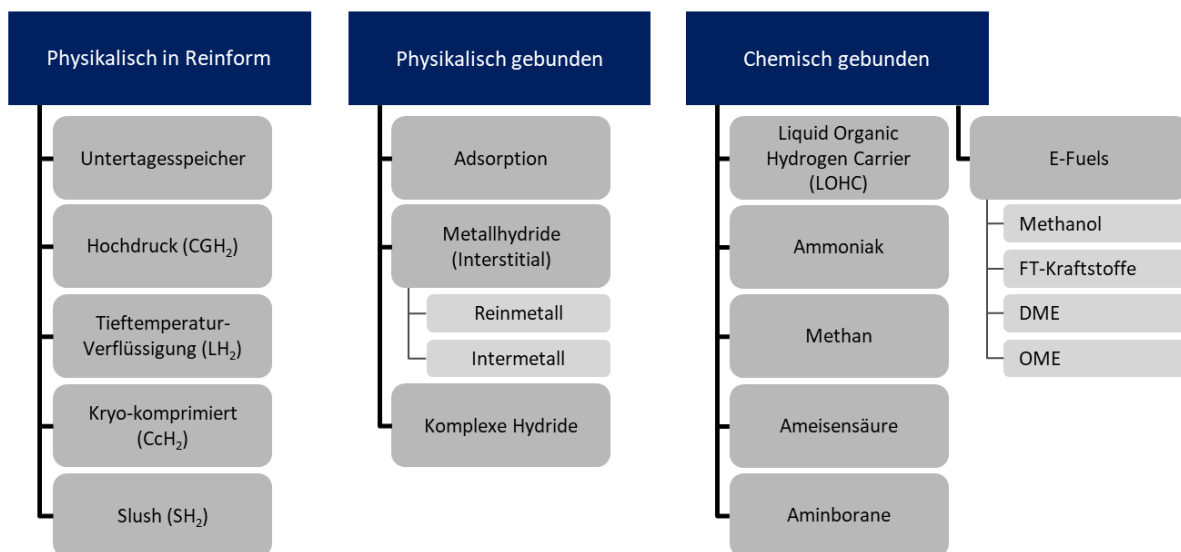


Abbildung 2: Kategorisierung verschiedener Wasserstoff-Speichertechnologien aufgrund der chemisch-physikalischen Prozesse

Die Kategorie „Physikalisch in Reinform“ bezeichnet die Speicherung von Wasserstoff einzig über eine Verdichtung durch Druck- und Temperaturveränderungen. In der weit verbreiteten Technologie der Hochdruckspeicherung (CGH₂ steht für **C**ompressed **G**aseous **H**ydrogen) wird der Druck stark erhöht, um die Dichte des Gases zu erhöhen. Bei einer Druckerhöhung von 1 bar auf 700 bar erhöht sich die Dichte auf das 480-fache. Eine stärkere Verdichtung erfolgt durch die Änderung des Aggregatzustandes von gasförmig zu flüssig (bis zum Teil fest, „slush“). Dies ist mit Druck allein technisch nicht sinnvoll durchführbar, weswegen der Wasserstoff auf -253°C herunter gekühlt wird (im Gegensatz zu -162°C bei Flüssig-Erdgas - LNG).

Bei den Technologien in der Kategorie „Physikalisch gebunden“ handelt es sich um Behälter, die neben Wasserstoff noch mit einem zusätzlichen Material gefüllt wurden. Der Wasserstoff lagert sich dabei entweder an oder in das meist feste Trägermaterial. Die Speicherung ist dabei exotherm, d.h. es wird Wärme erzeugt. Im Gegensatz dazu wird bei der Entladung des Wasserstoffs wiederum Wärme benötigt, die von außen hinzugegeben werden muss.

Unter der Kategorie „Chemisch gebunden“ sind Stoffe aufgelistet, in denen Wasserstoff als chemische Verbindung gespeichert werden kann. Wasserstoff reagiert unter speziellen Bedingungen (z.B. Druck, Wärme, Katalysator) mit einem Ausgangsstoff, wodurch ein neues Molekül entsteht. Dieses Speichermedium ist stabil und kann bei Bedarf wieder zurück in den Ausgangsstoff und Wasserstoff zersetzt werden, wofür je nach Reaktion spezielle Bedingungen geschaffen werden müssen.

Die Gesamteffizienz der verschiedenen Speichermöglichkeiten unterscheidet sich beträchtlich.



Anwendungsfelder – Stand der Technik und Aussicht

Es existieren auf dem Markt bereits viele Varianten von Wasserstoffspeichern. Die am häufig genutzte ist die Speicherung unter Hochdruck in Gasbehältern. Wie in der Übersicht in Abbildung 3 zu erkennen, reichen diese von Stahlflaschen (Typ I) bis zu neuen Kohlefaser-Kunststoff-Behälter (Typ IV).

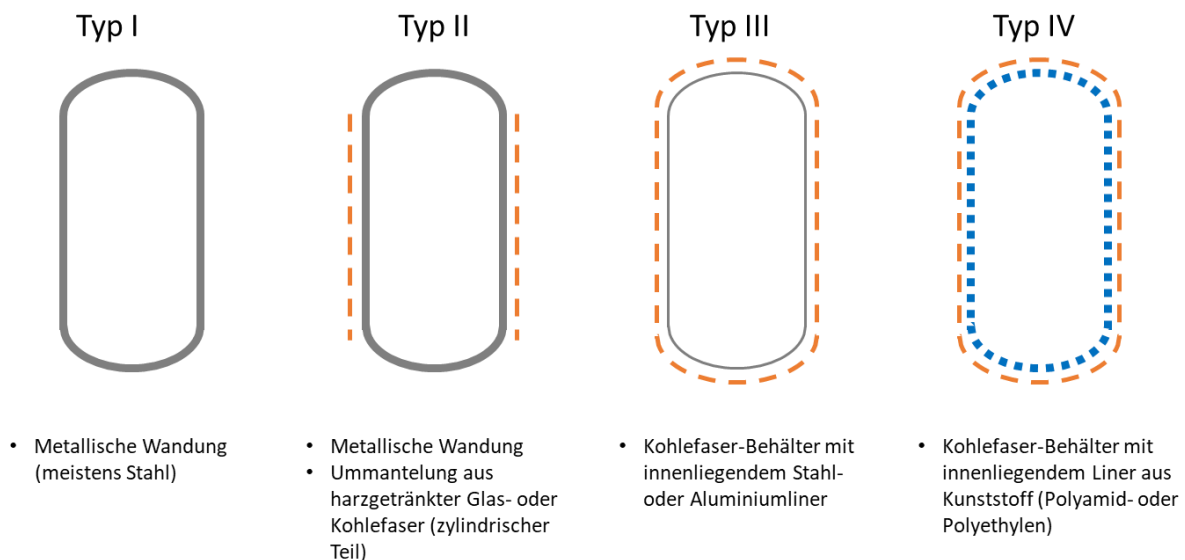


Abbildung 3: Übersicht über die kommerziell erwerblichen Typen von Gasflaschen für die Wasserstoffspeicherung

Im Gegensatz dazu hat die Speicherung als flüssiger Wasserstoff ein noch geringeres Volumen, benötigt jedoch bei der Einspeicherung und während der Lagerung eine hohe Kühlleistung. Bislang wird diese Technologie hauptsächlich nur in der Raumfahrt genutzt, wo die Speicherdichten wichtiger sind als Speicherkosten. Die Luftfahrtindustrie untersucht derzeit diese Option.

Die Speicherung in Kavernen ist eine weitere Option. Der Vorteil ist das große Speichervolumen, jedoch kommen dafür bisher nur Salzkavernen und geleerte Erdgasfelder in Betracht. Ein Beispiel für diese noch in der Entwicklung stehende Technologie ist das vom Klimaministerium über die FTI-Initiative „Vorzeigeregion Energie“ des Klima- und Energiefonds geförderte Projekt „Underground Sun Storage“.

Für die chemische Speicherung wird zurzeit vor allem Ammoniak als Zwischenprodukt häufig genannt. Da Ammoniak und andere Wasserstoffträger wichtige Stoffe in der Chemieindustrie sind und zurzeit über fossile Ausgangsstoffe hergestellt werden, kann es in vielen Fällen sinnvoller sein, diese chemischen Speicherstoffe direkt weiter zu verwenden.

Weiterführende Links

Energieministerium der USA (Department of Energy):

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Underground Sun Storage:

<https://www.uss-2030.at/>