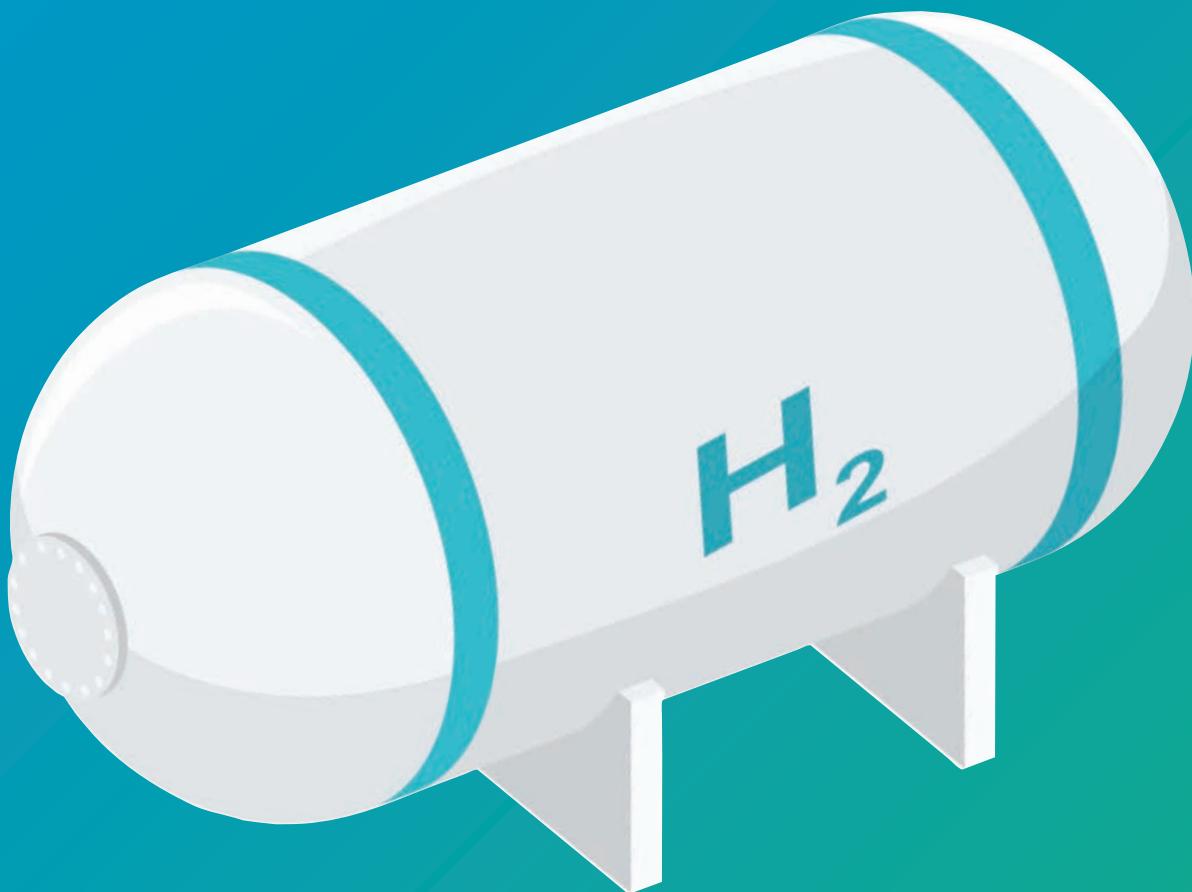


Lokale Wasserstoffspeicherung



Die Rolle von Wasserstoff in einer erneuerbaren Energieversorgung ist noch offen. Unbestritten ist die stoffliche Nutzung. Bei der energetischen Nutzung herrscht Konsens, dass Wasserstoff dort Anwendung findet, wo er wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Schweiz hängt von der Verfügbarkeit, den Kosten sowie den lokalen Speicherkapazitäten ab.

Einsatzbereiche von Wasserstoff

Welche Rolle Wasserstoff in einer erneuerbaren Energieversorgung spielen soll, wird aktuell intensiv und kontrovers diskutiert. Unbestritten ist die stoffliche Nutzung als Rohstoff in der Industrie. Beim energetischen Einsatz gibt es einen Konsens, dass Wasserstoff vor allem dort eingesetzt wird, in denen er wirtschaftlich produziert bzw. beschafft werden kann.

Der Einsatz von Wasserstoff als Rohstoff ist in der chemischen Industrie bereits seit langer Zeit etabliert. Bei diesen Produktionsverfahren ist er als notwendiger Zusatz in den jeweiligen Rezepturen teilweise sogar alternativlos.

Dagegen gehen die Meinungen über seinen Einsatz als Energieträger stark auseinander. Zudem gibt es noch einige zentrale Fragen zu klären:

- Wird der zukünftige Bedarf primär über Importe oder auch mit heimischer Produktion gedeckt?
- Wie viel Speicherkapazität ist notwendig für die Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft?
- Welches Transportmittel (zum Beispiel via Gasnetz oder per Lastwagen) ist wann am besten geeignet?

Konsens herrscht, dass der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger in den Anwendungsbereichen eine wichtige Rolle spielen kann, in denen er wirtschaftlich produziert bzw. beschafft werden kann. Dazu gehören prinzipiell alle Industrien, die auf Prozesswärme angewiesen sind, die internationale Schifffahrt sowie der Flugverkehr. Derzeit offen ist, ob sich beim Schwerlastverkehr (Lastwagen-Güterverkehr) die Elektrifizierung mit Wasserstoff oder mit Batterien durchsetzen wird. Bei der Stromerzeugung und den Wärmenetzen kann Wasserstoff einen erheblichen Beitrag leisten. Dies hängt auch vom Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion der kommenden Jahre ab. Bei der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser sowie bei Autos (PKW, Lieferwagen etc.) wird gemäß verschiedenen Experten der Einsatz von Wasserstoff als ineffizient und nicht wirtschaftlich angesehen.

Einsatzbereiche von Wasserstoff



Unentbehrlich

¹ Mittels Wasserstoff (H₂) erzeugte E-Fuels, Methan Ammoniak

² Unterbrechungsfreie Stromversorgung

³ Raumwärme/Warmwasser

Entbehrlich

Quellen: Basierend auf den Einschätzungen von M. Liebreich Associates V 5.0 2023; Gregor Hagedorn 2024; Envenion GmbH 2024

Zukünftiger Bedarf an Wasserstoff

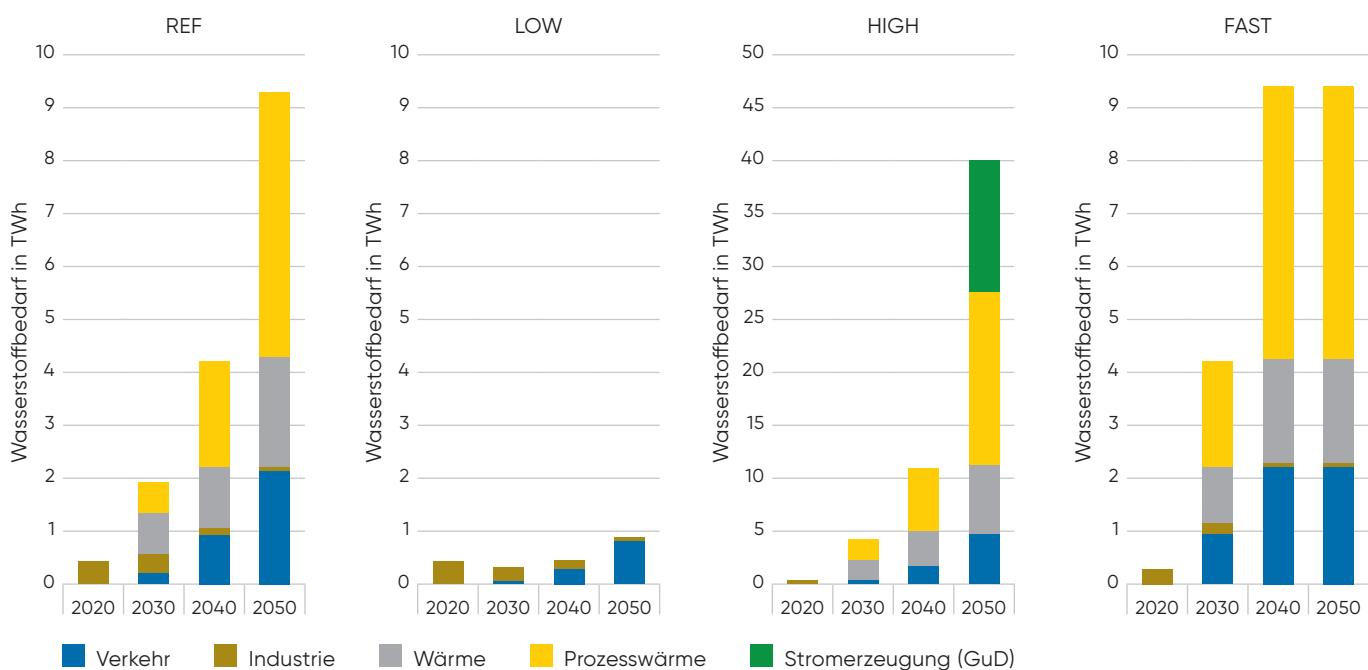
Der Bedarf an Wasserstoff ist künftig von externen Faktoren wie der wirtschaftlichen und politischen Entwicklung der Schweiz abhängig. Der Preis und die Verfügbarkeit von Wasserstoff werden entscheidend sein.

Da die inländische Produktion von erneuerbarem Wasserstoff saisonal und mengenmäßig begrenzt ist, wird die Schweiz stark von Importen abhängig sein. Wie in der folgenden Grafik dargestellt, liegt der geschätzte Bedarf in der Schweiz bis 2050 zwischen 1 («LOW»-Szenario) und 40 TWh («HIGH»-Szenario)¹. Basierend auf diverse Expertengespräche des VSG liegt eine plausible Bandbreite derzeit zwischen 8 bis 40 TWh. Die grosse Bandbreite hängt mit dem Ausbau der erneuerbaren Technologien zur Stromproduktion zusammen. Je schneller und umfassender dies erfolgt, desto geringer wird die Nachfrage nach Wasserstoff sein. Wasserstoff kann als Energieträger im Rahmen der saisonalen Speicherung eine wichtige

Rolle spielen: wird im Sommer überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energiequellen produziert, kann dieser in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden. Im Winter, wenn die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien geringer ist, kann dieser eingespeicherte Wasserstoff zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Entscheidend werden der Preis der Produktions- und Speichertechnologien sowie die volumetrische Energie-dichte des Speichersystems sein. Auf den folgenden Seiten wird eine Auswahl von Wasserstoff-Speichertechnologien vorgestellt, die im Quartier Anwendung finden und somit regional bzw. national einen Beitrag zur Versorgung leisten können.

¹ Studie über «Rahmenbedingungen für Wasserstoff in der Schweiz» von Polynomics, E-Bridge und EPFL von 2023

Prognostizierter Wasserstoffbedarf für die Schweiz 2030, 2040 und 2050



Vier Szenarien: das Referenzszenario (REF) mit einem mässigen Einsatz von H₂, ein Szenario basiert auf einer verstärkten Elektrifizierung (LOW), eines mit einem verstärkten Einsatz von H₂ (HIGH) und eines mit einer beschleunigten Umsetzung der H₂-Wirtschaft (FAST).

Quellen: Studie über «Rahmenbedingungen für Wasserstoff in der Schweiz» von Polynomics, E-Bridge und EPFL von 2023, basiert auf eigene Berechnungen den Autoren, unten anderem auf Basis der «Energieperspektiven 2050+» des BFE (inklusive «Exkurs Wasserstoff»), der «Energiezukunft 2050» des VSE sowie weiterer Studien des BFS und BFE.

Wasserstoffspeicher HyCS von AMBARtec

Die Hydrogen-Kompaktspeicher-Technologie (HyCS®) eignet sich für den stationären und mobilen Einsatz. Dieser Speicher kann kompakte und langfristige Energiespeicherung für Transport, für dezentrale Rückverstromung mit Wärme-Kraft-Kopplung und für Lastmanagement ermöglichen. Dank der grossen Speicherdichte sind Energieversorgungen mit einer geeigneten Speicherlogistik möglich. Der Speicher ist drucklos und im Handling absolut ungefährlich.

Hintergrund

Die AMBARtec AG ist ein Technologie-Start-up in der Energie- und Wasserstoffspeicherung. Der HyCS-Speicher ist ab 2025 serienmäßig verfügbar. Derzeit sind einzelne Prototypen in der Anwendung. Der HyCS-Speicher ist als mobiler Speicher (Transport mit LKW oder Bahn) vorgesehen, kann aber auch stationär genutzt werden.

Speichertechnik

Bei dieser Technologie wird Wasserstoff nicht direkt gespeichert. Der Speicher besteht im Prinzip aus einem Behälter, der entweder mit oxidiertem oder mit reinem Eisengranulat gefüllt ist. Der Speicher enthält somit keinen Wasserstoff und ist drucklos. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich der Speicher als mobiler Grossmengen-Wasserstoffspeicher, der kein Gefahrgut darstellt und somit für den Transport bestens geeignet ist. Die Kapazität eines Standard-20-Fuss-Containers ($6\text{ m} \times 2,4\text{ m} \times 2,6\text{ m}$) beträgt 600 kg Wasserstoff bzw. 20 000 kWh Energie.

Speichervorgang

Bei der Beladung wird das im Speicher befindliche Eisenoxid durch den zugeführten Wasserstoff zu Eisen reduziert. Dabei entsteht Wasserdampf (H_2O). Bei der Entladung wird Wasserdampf dem Eisen zugeführt, der Sauerstoff reagiert mit dem Eisen zu Eisenoxid und Wasserstoff wird freigesetzt. Der HyCS-Speicher ist der kompakteste aller Wasserstoffspeicher und hat die höchste gravimetrische Energiedichte in kWh/kg.

Ablauf

Der Wasserstoff wird am Produktionsort mittels einer Beladeeinheit im Speicher verbraucht. Wasserdampf wird abgegeben und kann erneut in der Elektrolyse genutzt werden. Der Speicher enthält dann einzig Eisengranulat. Bei der Entladung wird am Nutzungsort Wasserdampf zugeführt, der auch aus dem Abgas einer Rückverstromseinheit kommen kann. Dadurch oxidiert das Eisen und Wasserstoff wird zur Verfügung gestellt.



AMBARtec-Container (links); Speichermedium Eisengranulat (rechts)

Quelle Bilder: AMBARtec AG

Wasserstoff-Druckspeicher von Vernconex

Der mobile Druckspeicher von Vernconex ist Teil einer gesamten Lieferkette und dient neben dem Transport von Wasserstoff auch der stationären Nutzung. Die Druckspeicher wurden für diesen Zweck entwickelt und sind für die Versorgung von Wasserstofftankstellen vorgesehen.

Hintergrund

Vernconex vermarktet, verkauft und unterstützt ein vollständig containerisiertes Lieferkettensystem für den Wasserstoffvertrieb bei 350 Bar. Die Druckspeicher werden in der Schweiz von der Hydrospider AG für die Versorgung einer von Hyundai produzierten Schwerlastwagenflotte eingesetzt. Das System ist zunächst auf 350-Bar-Wasserstoffanwendungen ausgerichtet. Die mobilen Druckspeicher werden bereits seit einigen Jahren in der Schweiz eingesetzt.

Speichertechnik

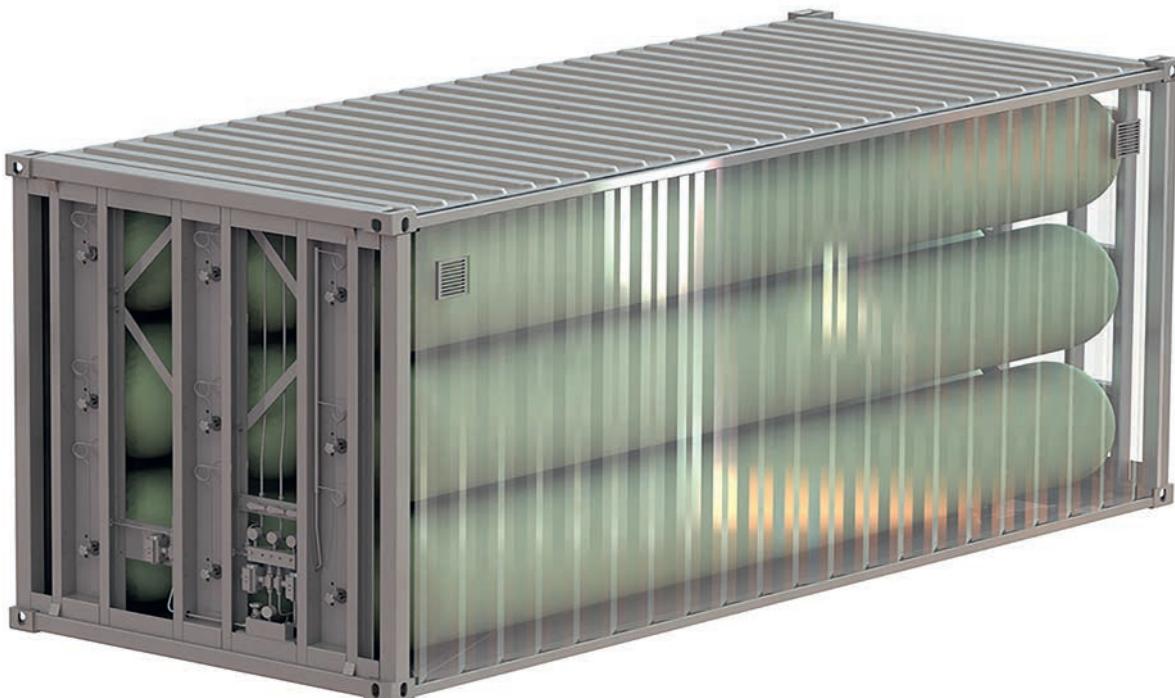
Bei den Druckspeichern handelt es sich um standardisierte 20-Fuss-Container ($6\text{ m} \times 2,4\text{ m} \times 2,6\text{ m}$), die etwa 350 kg Wasserstoff bei 350 Bar in drei verschiedenen Druckbänken speichern und mit dem Lastwagen bewegt werden können. Das System besteht aus drei Segmenten, die eine kaskadierende Gassteuerung ermöglichen und so die Ausnutzung erhöhen.

Speichervorgang

An der Wasserstoffproduktionsstätte werden Füllpaneele benötigt, die Wasserstoff mit 350 bis 450 Bar in die Behälter füllen können, und an Wasserstofftankstellen Andockstationen, die ein schnelles Absetzen und Aufnehmen von Containern ermöglichen.

Ablauf

Der Wasserstoff wird z. B. an einem Flusskraftwerk mittels Elektrolyse produziert. Die Druckspeicher (siehe Bild) in den Containern werden an einer Befüllstation befüllt. Anschliessend wird der Container per LKW zu einer der vorgesehenen Wasserstofftankstellen in der Schweiz gebracht. Der Wasserstoff wird dort wiederum in die vorgesehenen Drucktanks übergeben.



Quelle Bild: Vernconex AG

Wasserstoff-Druckspeicher Delphy von Vallourec

Mit dem stationären, nur unterirdischen Grossmengen-Wasserstoffspeicher von Vallourec kann eine Versorgung mit Wasserstoff über einen längeren Zeitraum lokal realisiert werden. Aktuell gibt es ein Demonstrationsprojekt in Aulnoye-Aymeries, Frankreich. Im Jahr 2025 sind weitere Pilotprojekte geplant.

Hintergrund

Um den wachsenden Bedarf an Wasserstoffspeichern zu decken und die Entwicklung von Wasserstoff zu unterstützen, hat Vallourec eine einzigartige Wasserstoffspeicherlösung namens Delphy entwickelt. Delphy ermöglicht die Speicherung von komprimiertem, gasförmigem Wasserstoff in grossem Massstab in einer Größenordnung von 1 bis 100 Tonnen, wobei die Sicherheit im Vordergrund steht. Delphy speichert komprimierten Wasserstoff in unterirdischen Röhrensträngen mit minimalem Platzbedarf an der Oberfläche und mit einem modularen Design, das an den Speicherbedarf angepasst werden kann.

Speichertechnik

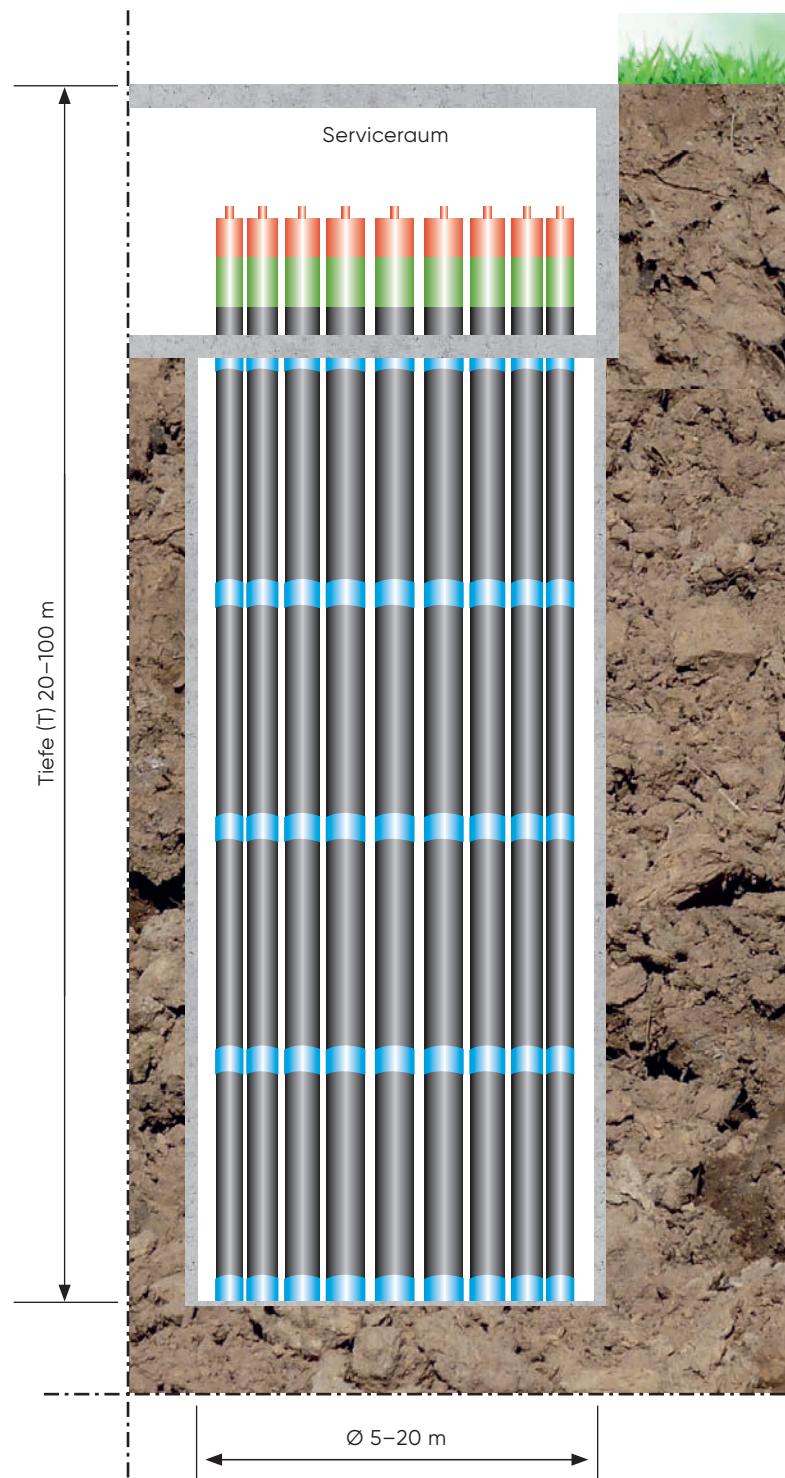
Delphy speichert Wasserstoff unterirdisch auf kleinstem Raum, was für die langfristige Energiespeicherung mehrere bedeutende Vorteile bietet. Durch die Nutzung bestehender unterirdischer Bautechnologien wie Belüftungsschächte und Zugangsbrunnen kann die Speicherkapazität maximiert werden, ohne dass oberirdische Flächen in Anspruch genommen werden. Insgesamt benötigt der Delphy-Speicher bis zu 30-mal weniger Fläche als oberirdische Alternativen, die in der Regel aus Flaschenregalen bestehen.

Speichervorgang

Der Wasserstoff wird unter Druck (\varnothing 300 Bar bis max. 500 Bar) gesetzt und in wasserstoffbeständige Stränge eingespeist, die aus wasserstoffbeständigen Rohren und wasserstoffdichten Kupplungen bestehen, wodurch eine zuverlässige und sichere Speicherlösung entsteht.

Ablauf

Der Wasserstoff wird von der Produktionsstätte mittels mobiler Speicher angeliefert. Über eine Verdichterstation wird der Wasserstoff in den Druckspeicher gefüllt. Bei Bedarf wird der Wasserstoff dem Röhrenspeicher sukzessive entnommen und dem Endverbraucher zugeführt.



Quelle Bild: Vallourec 2024

Wasserstoffspeicher in der Übersicht

Die drei vorgestellten lokalen Speichertypen für Wasserstoff unterscheiden sich in der Verwendung, wobei sie sich nicht gegenseitig konkurrenzieren, sondern je nach Nutzung und Bedarf ergänzen. Um die zukünftige Nachfrage nach Wasserstoff im Winter abdecken zu können, sind lokale Speicher mit mehreren 100 GWh erforderlich.

Gemäss Polynomics et. al. (2023) und den vom VSG durchgeführten Expertengesprächen liegt der Bedarf für die energetische Nutzung von Wasserstoff in der Schweiz im Jahr 2050 zwischen 8 TWh bis 40 TWh. Über 60 % des Wasserstoffbedarfs werden im Winterhalbjahr benötigt. Durch den Ausbau der Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien ist ein Stromüberschuss im Sommer zu erwarten, den es auch mittels Wasserstoffs

zu speichern gilt. Aktuell sind in Europa noch keine geeigneten unterirdischen Wasserstoffspeicher mit grossen Kapazitäten im zweistelligen Terawattstundenbereich in Planung oder gar in Betrieb. Die rasche Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Schweiz ist daher neben den Kosten und der Verfügbarkeit von Wasserstoff auch von lokal vorhandenen Speicherkapazitäten abhängig.

Technische Datenübersicht Speicher

Pro Speicher	AMBARtec	Vernconex	Vallourec
Speicherkapazität in kg	600	350	1000–100 000
Kapazität in MWh	20	12	33–3300
Grösse in Meter	6 × 2,4 × 2,6 (20-Fuss-Container)		Ø 5–20 / T 20–100
Speicherart	Eisen	Druck	Druck
Einsatzgebiet	Mobil + Stationär	Mobil + Stationär	Stationär
Aufstellungsart	Oberirdisch	Oberirdisch	Unterirdisch
Transport	Gefahrlos	Gefahrgut	
Speicherdruck in Bar	0	300–350	300–500

Diese Kostenschätzung bezieht sich auf den Bedarf für die Monate Dezember bis Februar

Perspektive 2035	Transport		Speicherung
Wasserstoffbedarf im Winter in GWh/a	300		
Lokale Speicherkapazität in GWh total	200		
Mobile/Stationäre Speicherkapazität in GWh	4	1	200
Anzahl Wasserstoffspeicher	200	100	60
Investitionskosten in Mio. CHF	22	22	420
Unterhaltskosten pro Anlage und Jahr ¹	0,5 %	3 %	2 %

Perspektive 2045	Transport		Speicherung
Wasserstoffbedarf im Winter in GWh/a	1800		
Lokale Speicherkapazität in GWh total	600		
Mobile/Stationäre Speicherkapazität in GWh	10	2	400
Anzahl Wasserstoffspeicher	400	200	120
Investitionskosten in Mio. CHF	25	27	840
Unterhaltskosten pro Anlage und Jahr ¹	0,5 %	3 %	2 %

¹ In % der Investitionskosten

Fazit

Wasserstoffspeicher

Die rasche Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in der Schweiz hängt primär von der Verfügbarkeit des Energieträgers, den Kosten sowie den Speicherkapazitäten ab. Der Aufbau des europäischen Wasserstoffnetzes wird bis 2035 oder länger dauern. Die lokale Speicherung von Wasserstoff ist daher die Voraussetzung, um bereits in den kommenden Jahren eine Wasserstoffversorgung in der Schweiz aufbauen zu können.

Die Produktion und die Verteilung von Wasserstoff mit mobilen Speichern und die lokale Speicherung von Wasserstoff in grösseren Mengen eröffnen vor allem für Unternehmen und lokale Zentren (Hubs) die Möglichkeit, vorhandene Grossverbraucher von fossilen Energieträgern wie Heizöl oder Erdgas zeitnah auf eine Wasserstoffnutzung umzustellen. Gleiches gilt für die lokale Stromerzeugung mittels WKK oder Brennstoffzelle, die mit einem hohen Systemwirkungsgrad von $\eta \approx 200\%$ (inkl. Wärmepumpe und Abwärmenutzung) den zukünftig massiv höheren Strombedarf der Schweiz in den Wintermonaten stabilisieren kann.

Gemäss einer neuen Studie¹ führt die Nutzung zentraler Grossmengen-Wasserstoffspeicher zu tieferen Gesamtkosten der Stromversorgung. Dies gilt dann, wenn sowohl die Wasserstoffherstellung als auch der Wasserstoffverbrauch nah am Speicher liegen oder ein leistungsfähiges Wasserstoffnetz vorhanden ist. Die Ergebnisse der Modellierung legen nahe, dass Politik und Infrastrukturplanung auf eine möglichst flexible Wasserstoffproduktion unter Nutzung grosser Speicher hinwirken sollten.

Eine Abdeckung des Energiebedarfs mit Wasserstoff wird nur mit der Nutzung von den aufgezeigten Speicher-möglichkeiten bis zum Jahr 2035 und danach möglich sein. Anders ist der Hochlauf der Schweizer Wasserstoff-wirtschaft technisch nicht zu realisieren. Die in dieser Zeit getätigten Investitionen sind auch langfristig sinnvoll, da so eine Infrastruktur, die eine bestimmte Bevorratung von Wasserstoff erlaubt, geschaffen wird und auf lange Sicht die Energieresilienz der Schweiz deutlich verbessert.

Technisch spielen die Wasserstoffspeicher ihren grossen und einzigartigen Vorteil aus, dass Wasserstoff dauerhaft und ohne Verluste speicherbar ist. Langfristig (nach 2035) wird die Schweiz an ein europäisches Wasserstoffverteil-netz angeschlossen sein. Die Versorgung der Schweiz mit Energie wird mit dem Einsatz von Wasserstoffspeichern zuverlässiger, sicherer und unabhängiger. Gleichzeitig wird seitens der Schweiz sehr viel weniger CO₂ in den energieintensiven Bereichen emittiert.

günstiger werden; DIW Berlin; 11/2023

¹ Heimische Produktion von Wasserstoff kann mit Kavernenspeicherung

Herausgeber

Verband der Schweizerischen Gasindustrie VSG
044 288 31 31
vsg@gazenergie.ch
www.gazenergie.ch

Redaktion

Hubert Palla, VSG
info@gazenergie.ch

Suisse romande

Nathalie Pfund, ASIG
nathalie.pfund@gazenergie.ch

Auflage

10 000 deutsch, 4000 französisch

Titelbild

Bühler Druck AG

Inhalt

Envention GmbH

Grafik/Layout/Druck

Bühler Druck AG, Volketswil

Adressänderung

info@buehler-druck.ch

Gratis-Abo-nements

vsg@gazenergie.ch



myclimate.org/01-24-728380

gedruckt in der
schweiz