



Wasserstoffeinsatz in der Industrie und der Gebäudetechnik



Herausgeber:

GebäudeKlima Schweiz GKS
Schweizerischer Verband für Heizungs, Lüftungs- und Klimatechnik
Rötzmattweg 51
4600 Olten
Schweiz

An diesem H₂-Leitfaden haben die folgenden Unternehmen und Fachverbände mitgewirkt:

Bosch Thermotechnik AG (Buderus Heiztechnik AG)

CTC AG

Elcotherm AG

Envention GmbH

Hoval AG

Meier Tobler AG

MHG Heiztechnik (Schweiz) GmbH

Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)

Vaillant GmbH Schweiz

Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG)

Viessmann (Schweiz) AG

Weishaupt AG

Ygnis AG

Hinweis:

Der Inhalt in diesem Leitfaden ist nach aktuellem Wissensstand und unter Anwendung aller gebotenen Sorgfalt erstellt worden. Trotzdem kann vom Herausgeber und von den Autoren keine Haftung für eventuelle Fehler übernommen werden.

Die Vervielfältigung des Inhalts ist mit Quellenangabe gestattet.

Sprachen:

Deutsch und Französisch

Stand:

3. August 2023 / 1. Ausgabe

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	4
2. Energieträger Wasserstoff	5
3. Wasserstoffnutzung in stationären Anlagen	8
4. Gasgeräte für Wasserstoff	12
5. Wasserstoffspeicher	15
6. Regulatorische Rahmenbedingungen in Europa und der Schweiz	17
7. Checkliste	19

1. Einführung

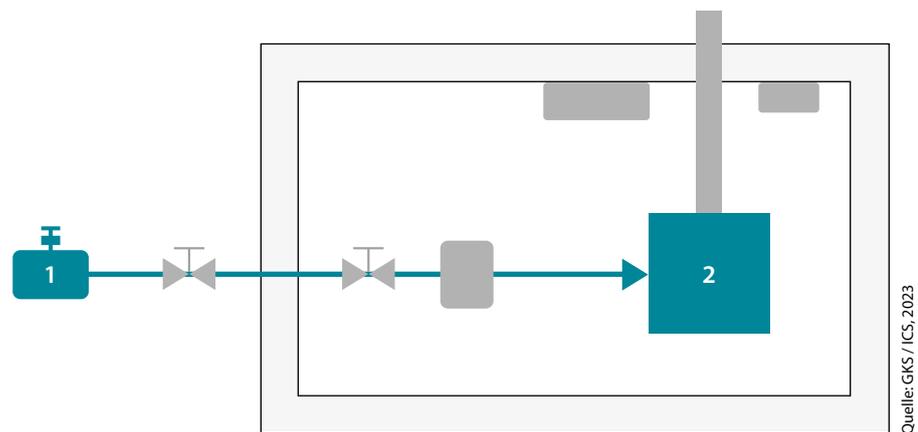
Wasserstoff gilt in der Wirtschaft und vor allem in der Industrie als ein wichtiger Energieträger, um die Klimaziele zu erreichen. Auf internationaler Ebene bewerten die Politik und die Wissenschaft den Einsatz von Wasserstoff teilweise sehr unterschiedlich. Dies spiegelt sich in den unterschiedlichen nationalen Energie- und Wasserstoffstrategien wider. Während die europäischen Wasserstoffstrategien die Nutzung von Wasserstoff im Wärmemarkt allgemein vorsehen, beschränkt die Schweizer Wärmestrategie die Nutzung von Wasserstoff auf die Einsatzgebiete: Erzeugung von Hochtemperatur-Prozesswärme, Spitzenlastabdeckung in Wärmenetzen sowie wärmegeführte Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK).

In welchen Anwendungsbereichen sich der Wasserstoff als Energieträger letztendlich durchsetzen wird, hängt stark von der Verfügbarkeit und der Herkunft des Wasserstoffs, dem Bedarf, den Zielen der Wirtschaft und der Energieversorger sowie den nationalen und lokalen Rahmenbedingungen ab.

Der GKS-H₂-Leitfaden bietet eine Auslegeordnung für die stationäre Nutzung von Wasserstoff in Gebäuden. Dabei werden die Themenbereiche Wasserstoff als Energieträger, die stationäre Wasserstoffnutzung in Gebäuden, wasserstofftaugliche Heizsysteme, die Speicherung von Wasserstoff sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen in Europa und der Schweiz abgebildet. Im Fokus des H₂-Leitfadens stehen die Planung, Installation und der Betrieb von stationären Wasserstoffanlagen.

Der GKS-H₂-Leitfaden richtet sich primär an Gebäudetechnikplaner und -installateure, die stationäre Energieanlagen mit Wasserstoff vom Einfamilienhaus bis zu grossen Arealen, Quartieren oder für die Industrie projektieren und umsetzen. Der Leitfaden dient zudem auch als erste Orientierung und Hilfestellung für den stationären Einsatz von Wasserstoff.

Abbildung 1:
Prinzipschema stationäre
Wasserstoffanlage



- 1 Wasserstoffversorgung (via Gasnetz, per Trailer oder durch Eigenproduktion)
- 2 Wasserstoffgerät (Raumwärme, Warmwasser, Stromerzeugung, Prozesswärme)

2. Energieträger Wasserstoff

Einleitung

Wasserstoff kommt in allen lebenden Organismen vor, ist nahezu unbegrenzt, aber nicht frei verfügbar. Um Wasserstoff als Energieträger zu nutzen, muss dieser erst mit etwas Energieaufwand erzeugt werden. Die im Wasserstoff chemisch gebundene Energie (33 kWh/kg) kann auf vielfältige Weise genutzt werden. Wasserstoff kann als Treibstoff für die Mobilität oder als Brennstoff zur Energienutzung eingesetzt werden. Bei der Verbrennung emittiert Wasserstoff kein CO₂, da Wasserstoff keinen Kohlenstoff enthält.

Eigenschaften von Wasserstoff

frei von Kohlenstoff (CO ₂ -frei)	flüchtig, leichter als Luft
ungiftig und nicht ätzend oder reizend	wirkt auf einige Materialien verspröhdend
umweltneutral, nicht wassergefährdend	nicht korrosiv
geruchlos, geschmacksneutral	nicht radioaktiv
unsichtbar, verbrennt mit unsichtbarer Flamme	nicht krebserregend

Wasserstoff versus Erdgas

Erdgas ist ein Primärenergieträger, der von der Förderstelle oder dem LNG-Terminal im europäischen Gasnetz direkt zum Verbraucher geliefert wird. Wasserstoff hingegen wird leitungsgebunden oder per Trailer (Strasse, Schiene) verteilt und ist zudem auch lokal direkt vor Ort erzeugbar.

Beachtenswert ist der Unterschied bei der Zündgrenze in Luft zwischen den beiden Energieträgern. Bei Wasserstoff ist der zündfähige Bereich viel grösser als derjenige von Methan. Erdgas verbrennt mit einer sichtbaren blauen Flamme. Wasserstoff brennt mit einer kaum sichtbaren Flamme. Aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen für eine kontrollierte Verbrennung unterscheiden sich die H₂-Gasgeräte leicht von den Gasgeräten mit Methan-nutzung.

Erdgas wird mit geringem Druck (mbar) im Gebäude verteilt. Wasserstoffleitungen haben bei lokaler Erzeugung einen deutlich geringeren Durchmesser, dafür steht ein viel höherer Druck an (bar). Da der Heizwert pro m³ Gas bei Wasserstoff geringer ist als bei Erdgas, muss eine grössere Menge an Wasserstoff bereitgestellt werden.

Tabelle 1:
Kenndaten von diversen Gasen

	Methangehalt	Heizwert H _i	Brennwert H _s	Dichte bei 0 °C 1 bar	Zündgrenze in Luft	Wobbe-Index
Erdgas	80...99 Vol. -%	8,6...11,4 kWh/m ³	9,7...12,8 kWh/m ³	0,72...1,00 kg/m ³	4,0...17,00 Vol. -%	48,17...53,45 MJ/m ³
Biogas	50...75 Vol. -%	5,0...5,8 kWh/m ³	5,6...6,7 kWh/m ³	0,92...0,98 kg/m ³	6,0...12,0 Vol. -%	28,44 MJ/m ³
Wasserstoff	–	3,0 kWh/m ³	3,6 kWh/m ³	0,09 kg/m ³	4...75 Vol. -%	40,90...48,3 MJ/m ³
Propan	–	25,9 kWh/kg	28,1 kWh/kg	2,04 kg/m ³	2...9,5 Vol. -%	74,74...81,81 MJ/m ³

Nutzung von Wasserstoff

Wasserstoff ist ein vielseitig einsetzbarer Energieträger, der in der Industrie für die Prozesswärme, in Gebäuden zur Wärmeversorgung oder in der Mobilität als Treibstoff eingesetzt werden kann. Des Weiteren kann Wasserstoff mittels Gasturbinen, Brennstoffzellen oder Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) in Strom umgewandelt werden. Wasserstoff eignet sich gut zur Speicherung von erneuerbarem Strom und kann so die volatiler werdende Stromproduktion besser absichern.

Wasserstoffherzeugung

Wasserstoff ist ein farbloses Gas, das aber je nach seinem Ausgangsstoff und Energieträger mit einer anderen Farbe bezeichnet wird. Nachfolgend sind die wichtigsten Farben kurz erklärt.

Grauer Wasserstoff wird mittels Dampfreformierung meist aus fossilem Erdgas hergestellt. Dabei entstehen rund 10 Tonnen CO₂ pro Tonne Wasserstoff. Das CO₂ wird in die Atmosphäre abgegeben.

Blauer Wasserstoff ist grauer Wasserstoff, bei dessen Entstehung das CO₂ jedoch teilweise abgeschieden und im Erdboden gespeichert wird (Carbon Capture Storage (CCS)). Maximal 90 Prozent des CO₂ sind speicherbar.

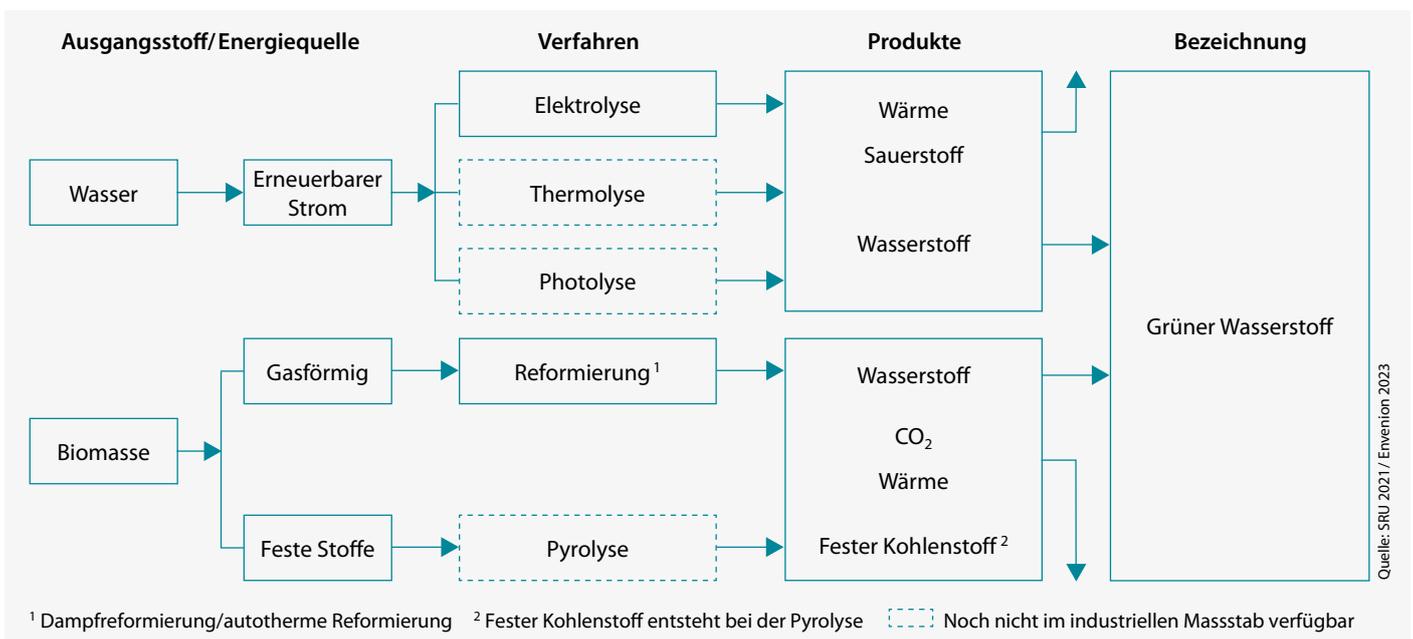
Türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt wird. Anstelle von CO₂ entsteht dabei fester Kohlenstoff. Das Verfahren der Methanpyrolyse befindet sich derzeit noch in der Entwicklung.¹

Grüner Wasserstoff wird je nach Ausgangsstoff mit verschiedenen Verfahren aus regenerativer Energie erzeugt.

Elektrolyseverfahren von grünem Wasserstoff

Mit einem Elektrolyseur als Kernstück einer Power-to-Hydrogen-Anlage wird Wasser mit Hilfe von erneuerbarem Strom in einer chemischen Reaktion (Stoffumwandlung) in seine Bestandteile Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) aufgespalten. Wasserstoff kann ausserdem auch mit Pyrolyse und Vergasungstechnik aus Biomasse erzeugt werden.

Abbildung 2:
Prozesskette zur Erzeugung
von grünem Wasserstoff

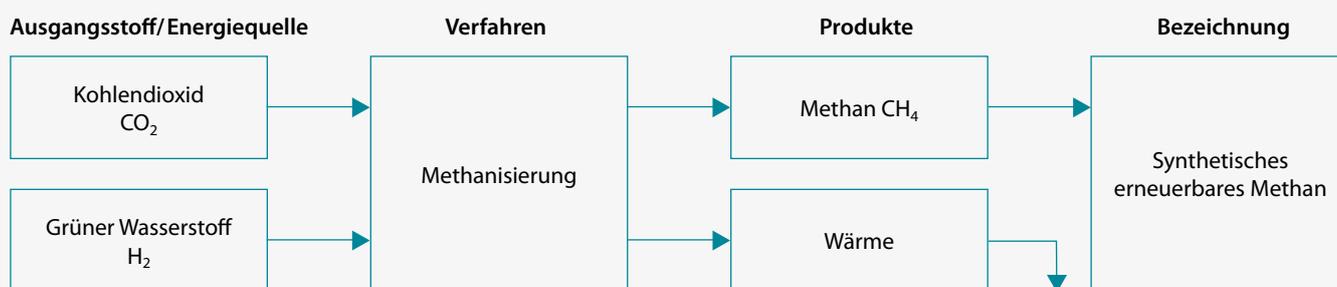


Methanisierung von grünem Wasserstoff

In einem zusätzlichen Schritt kann Wasserstoff (H_2) in Verbindung mit Kohlendioxid (CO_2) auch in synthetisches Methan (CH_4) umgewandelt werden, das identische Eigenschaften wie Erdgas aufweist (siehe Tabelle 1). Die Methanisierung (CH_4) von Wasserstoff hat daher den grossen Vorteil, dass sowohl die bestehende Gasinfrastruktur als auch die Endgeräte (z. B. Gasbrennwertheizungen) ohne Anpassungen weitergenutzt werden können.

Die Methanisierung von Wasserstoff hat aber auch einen zusätzlichen Energieaufwand zur Folge, der mit einem Umwandlungsverlust einhergeht. Des Weiteren muss für die Methanisierung von Wasserstoff eine zuverlässige CO_2 -Quelle zur Verfügung stehen (z. B. Biogasanlage, Kehrlichtverbrennungsanlage KVA, Zementfabrik, Holzenergiezentrale etc.).

Abbildung 3:
Prozesskette zur Methanisierung von grünem Wasserstoff



Quelle: Envenion 2023

Transport von Wasserstoff

Um Wasserstoff vom Produktionsstandort bis zur Nutzung zu transportieren, stehen zwei Optionen zur Verfügung. Eine Möglichkeit ist via die bestehende Gasinfrastruktur, die aber zuerst für den Wasserstofftransport tauglich gemacht werden muss. Und je nach Situation des Verteilnetzes ist das eher eine längerfristige Option.

Der Transport von Wasserstoff per Trailer über die Strasse oder die Schiene ist dagegen auch kurzfristig realisierbar. Bei dieser Variante muss vor Ort ein Wasserstoffspeicher vorhanden sein, der mit zusätzlichen Investitionskosten für den Abnehmer verbunden ist. Des Weiteren kann auch die Logistik (Anzahl der Trailer-Fahrten) ein nicht zu unterschätzender Faktor sein.

Aus Sicht des Kunden ist der Transport von Wasserstoff via Gasinfrastruktur die effizienteste und komfortabelste Option.

3. Wasserstoffnutzung in stationären Anlagen

Als Brennstoff ist Wasserstoff vielseitig einsetzbar (Wärme- und Warmwassererzeugung, Stromerzeugung oder für Prozesswärme). Wird Wasserstoff als Ergänzung zu anderen Energieträgern (primär im Winter) eingesetzt, handelt es sich um bivalente Anlagen. Wird nur Wasserstoff genutzt, sind damit monovalente Anlagen gemeint.

Tabelle 2:
Einsatzbereich von Wasserstoff
in stationären Anlagen

	Gerätetyp	Einsatzbereich	Wärmeleistung in kW				
			<20	50	100	200	>350
1 ^a	Wasserstoffgerät	Monovalente Wärmeerzeugung	[Bar chart showing range from <20 to 100 kW]				
2 ^b	Wasserstoffgerät mit Wärmepumpe	Bivalente Wärmeerzeugung	[Bar chart showing range from 50 to 200 kW]				
3 ^b	Wasserstoffgerät in Energiezentralen für Wärmenetze		[Bar chart showing range from 100 to >350 kW]				
4 ^c	Wasserstoffbrenner	Prozesswärme	[Bar chart showing range from 200 to >350 kW]				
5 ^d	WKK/BZ mit Wärmepumpe	Bivalente Wärme-/Stromerzeugung	[Bar chart showing range from 200 to >350 kW]				
6 ^e	Wasserstoff-Dunkelstrahler	Wärmeerzeugung für Hallen	[Bar chart showing range from <20 to >350 kW]				

Quelle: Envention, 2023

WKK = Eine Wärmekraftkopplung mit Gasmotor erzeugt gleichzeitig Strom und Wärme.
BZ = Brennstoffzellen erzeugen durch eine elektrochemische Reaktion Strom und Wärme.

[Bar chart icon] In diesem Leistungsbereich kann der Einsatz von Wasserstoff je nach Verfügbarkeit, Energiebedarf und Konstellation sinnvoll sein.

- ^a Monovalente Wärmeerzeugung: Wasserstoff deckt den gesamten Raumwärme- und Warmwasserbedarf während des ganzen Jahres ab.
- ^b Bivalente Wärmeerzeugung: Wasserstoff wird nur in den Wintermonaten November bis Februar zur Spitzenabdeckung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt. Der Strom für die Wärmepumpe kommt aus dem öffentlichen Netz und/oder von der eigenen PV-Anlage.
- ^c Prozesswärme: Wasserstoff kommt primär bei industriellen Prozessen mit hohen Temperaturen > 200 °C zum Einsatz.
- ^d Bivalente Wärme-/Stromerzeugung: Wasserstoff wird nur in den Wintermonaten November bis Februar zur Spitzenabdeckung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt. Der erzeugte Strom der WKK/BZ wird prioritär für den Antrieb der Wärmepumpe eingesetzt.
- ^e Wärmeerzeugung: Wasserstoff-Dunkelstrahler können den Wärmebedarf von Hallen ab einer Raumhöhe von 4 Metern effizient abdecken.

Abbildung 4:
Einsatzbereich von Wärmepumpen und Wasserstoff nach Heizsystemtemperatur



Quelle: GKS / ICS, 2023

- [Green bar icon] Bei tiefen Wärmebedarfstemperaturen ist der Einsatz von Wärmepumpen am effizientesten.
- [Dark blue bar icon] Bei hohen Wärmebedarfstemperaturen kann der Einsatz von Wasserstoff sinnvoll sein.

Richtlinien für die Installation von stationären Wasserstoffanlagen

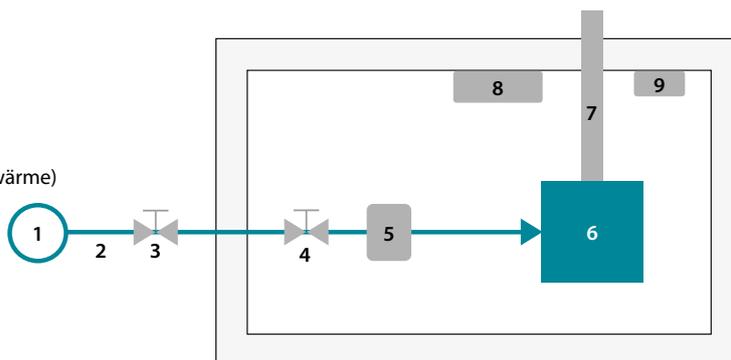
Aktuell existieren keine Vollzugshilfen (Normen, Richtlinien), welche die sicherheitsrelevanten Aspekte bei der Planung, Installation, Inbetriebnahme und dem Betrieb von wasserstofferzeugenden und/oder wasserstoffnutzenden Anlagen regeln.

Diese Wasserstoffanlagen beziehen den Wasserstoff via Gasnetz. Solche Anlagen sind abhängig von der H₂-Lieferfähigkeit des Gasnetzbetreibers.

Abbildung 5:
Die Wasserstoffversorgung erfolgt via Gasnetz

- 1 Wasserstoffversorgung via Gasnetz
- 2 Anschlussleitung
- 3 Absperrarmatur
- 4 Hauptabsperrarmatur
- 5 Gaszähler
- 6 Wasserstoffgerät (Wärme-/Stromerzeugung, Prozesswärme)
- 7 Abgasanlage (Wasserdampf)
- 8^d Deckenlüftung
- 9^d Wasserstoffsensor

^d je nach Konstellation empfehlenswert oder Voraussetzung



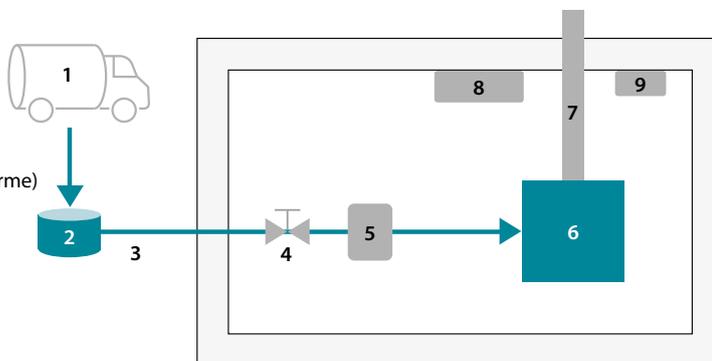
Quelle: Envention, 2023

Diese Wasserstoffanlagen beziehen den Wasserstoff per Trailer nach Bedarf. Der Anschluss an ein Gasnetz ist nicht zwingend notwendig.

Abbildung 6:
Die Wasserstoffversorgung erfolgt per Trailer

- 1 Wasserstoffversorgung per Trailer (Strasse/Schiene)
- 2 Wasserstoffspeicher
- 3 Anschlussleitung
- 4 Hauptabsperrarmatur
- 5 Gaszähler
- 6 Wasserstoffgerät (Wärme-/Stromerzeugung, Prozesswärme)
- 7 Abgasanlage (Wasserdampf)
- 8^d Deckenlüftung
- 9^d Wasserstoffsensor

^d je nach Konstellation empfehlenswert oder Voraussetzung



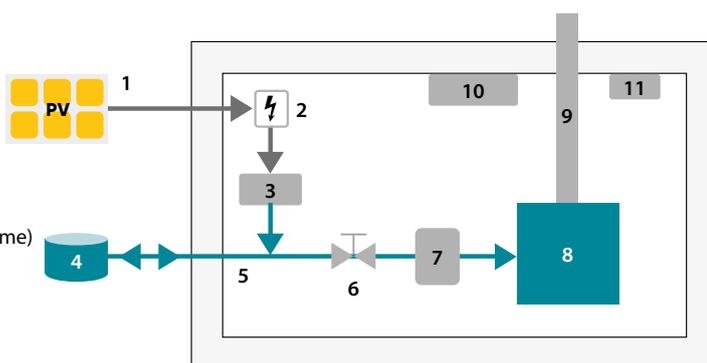
Quelle: Envention, 2023

Bei diesen Wasserstoffanlagen wird der Wasserstoff vor Ort produziert. Insellösungen, die mit Drücken > 10 bar arbeiten, benötigen keinen Gasnetzanschluss.

Abbildung 7:
Insellösung mit Wasserstoffproduktion vor Ort

- 1 PV-Anlage
- 2 Batteriespeicher
- 3 Elektrolyseur
- 4 Wasserstoffspeicher
- 5 Anschlussleitung
- 6 Hauptabsperrarmatur
- 7 Gaszähler
- 8 Wasserstoffgerät (Wärme-/Stromerzeugung, Prozesswärme)
- 9 Abgasanlage (Wasserdampf)
- 10^d Deckenlüftung
- 11^d Wasserstoffsensor

^d je nach Konstellation empfehlenswert oder Voraussetzung



Quelle: Envention, 2023

Allgemeine Sicherheitsregeln ²

Es sollten nur die absolut notwendigen Komponenten eines Wasserstoffsystems innerhalb eines Raums oder eines Gehäuses untergebracht werden. Im Freien besteht aufgrund der besseren Belüftung ein geringeres Risiko, dass es zu einer Ansammlung von Wasserstoff in brennbarer Konzentration kommt.

Bei der Installation innerhalb eines Raums sind die Leitungen aufputz (sichtbar) auszuführen. Die Installation ist nur an gut belüfteten Orten mit mehreren Lüftungsöffnungen zu empfehlen. Alle Wasserstoffleitungen sind mit einem Pfeil und «Wasserstoff» eindeutig zu kennzeichnen. Der Durchmesser der Wasserstoffversorgungsleitung und der Betriebsdruck sollten auf das Minimum reduziert werden, das erforderlich ist, um die technischen Anforderungen an den Massendurchsatz zu erfüllen. Wenn eine Verringerung des Rohrleitungsdurchmessers unmöglich oder unerwünscht ist, wird die Verwendung von Durchflussbegrenzern empfohlen. Der Wasserstoff-Betriebsdruck sollte immer so niedrig wie möglich gewählt werden.

Potenzielle Zündquellen sollten identifiziert und wenn möglich reduziert sowie separiert werden. Die Verwendung von Speichern mit hoher Feuerwiderstandsfähigkeit ist zu empfehlen, um zumindest ausreichend Zeit für die Evakuierung von Personen zu gewährleisten.

Das Wasserstoffinventar ist zu minimieren, um die Bildung eines entflammbaren Gemisches in einem geschlossenen Raum auch nach vollständiger Freisetzung und Verteilung des Wasserstoffs zu verhindern oder unter die Menge zu begrenzen, die im Falle einer Verpuffung strukturelle Schäden an Geräten und Gebäuden mit geringer Festigkeit verursacht.

Sicherheit im Lebenszyklus einer Wasserstoffanlage

Eine ausreichende Belüftung des Aufstellraums einer stationären Wasserstoffanlage ist entscheidend. Pro geschlossenen Raum sollten mehrere Lüftungsöffnungen installiert sein. Die Lüftungsöffnungen sollten gut verteilt im gesamten Raum angeordnet sein, um eine schnelle Entlüftung bei einer möglichen Leckage zu gewährleisten. Zudem sind Druckentlastungsöffnungen sowie automatische Absperrarmaturen sehr empfehlenswert.

Alle für die Durchführung von Routineaufgaben erforderlichen Betriebsabläufe sind detailliert zu dokumentieren. Der Anlagenbetrieb muss von geeignetem Personal vorbereitet und dann von geschultem Personal ausgeführt werden. Die Betriebsabläufe sollten angemessen überprüft werden, um sicherzustellen, dass Änderungen an Prozessen, Ausrüstung und Betriebsbedingungen ordnungsgemäss berücksichtigt wurden.

Sicherheitsvorkehrungen in geschlossenen Räumen

Neben den vorhandenen sicherheitstechnischen Massnahmen der Anlagenhersteller sollten weitere Sicherheitsmassnahmen, die bei einer Betriebsunterbrechung auftreten könnten, identifiziert werden.

Dies können beispielsweise sein:

- Aktive Deckenbelüftung
- Zusätzliche Wasserstoffsensoren im Deckenbereich
- Erhöhte Anforderungen an gastechnische Komponenten
- Zusätzliche Absperrrichtungen zur Unterbrechung der Wasserstoffzufuhr

² Quelle: FOGA-Projekt 0408 Wasserstoff im Gebäude

Planung, Installation und Betrieb von stationären Wasserstoffanlagen

1) Anforderungen bestimmen

- a) Platzbedarf abklären:
 - Sind die Bedingungen im Aufstellraum so, dass das Einbringen der neuen Anlage möglich ist?
 - Sind alle Anlagenkomponenten gut für Wartungsarbeiten zugänglich (Herstellervorgaben)?
- b) Brandschutz abklären:
 - Abstand zu brennbarem Material und Anforderungen an die Aufstellräume sind zu beachten.

2) Anlagenkonzept erarbeiten

- a) Medienz- und -abfuhr sicherstellen (Wasser und Strom)
- b) Kommunikation gewährleisten (LAN- oder WLAN-Zugang)
- c) Gasverbindungen einplanen/vorbereiten (Versorgungsnetz, Speicher, Anschlussleitung)
- d) Sicherheitsvorkehrungen planen
 - ausreichende Raumlüftung (ggf. Zwangsbelüftung)
 - Sensorik (Detektion)
- e) Zulassungen und Bewilligungen abklären

3) Grobauslegung der Anlage

- a) Dimensionierung der Leistung
- b) Dimensionierung der (Versorgungs-)Leitungen

4) Detaillierte Anlagenplanung

- a) Offerten einholen und mit Lieferanten Detailplanung besprechen
- b) Umsetzungszeitplan festlegen

5) Installation der Anlage

- a) Projektierung seitens Anlagenhersteller
- b) Installation nimmt der Hersteller selbst vor
- c) Zulassung nach Rücksprache mit Gemeinde und Kanton als Einzelanlage
 - z. B. durch TÜV
- d) Abklärung von Vorgaben zum Brandschutz
- e) Inbetriebnahme durch den Hersteller
- f) Betriebsüberwachung (remote) durch den Hersteller

6) Abnahme und Betrieb

- a) Einzelabnahme durch autorisierte Organisation (z. B. SVGW)
- b) Servicevertrag mit dem Gerätehersteller vereinbaren und regelmässige Sicherheitsbewertung

7) Sicherheitstechnische Überprüfung einer H₂-Anlage

- a) Gefahrenanalyse
- b) Auswirkungsanalyse (FMEA)
- c) Bewertung der Werkstoffverträglichkeit
- d) Überprüfung der Betriebsbereitschaft
- e) Überprüfung der Betreiber-Schulung
- f) Überprüfung der Notfallprozeduren
- g) Test-Bereitschaftsprüfung
- h) Kontrolle der Betriebsbereitschaft

4. Gasgeräte für Wasserstoff

Gemäss den Zielen der EU soll Erdgas durch Biomethan und vor allem durch (grünen) Wasserstoff ersetzt werden. In den aktuellen Richtlinien ist im Gasverteilnetz eine Beimischung von maximal 10 Vol.-% Wasserstoff erlaubt. In Ausnahmefällen ist auch ein Anteil von bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff möglich. Aus heutiger Sicht wird es keine weiteren «Zwischenschritte» geben, sondern es wird direkt auf 100 % Wasserstoff umgestellt. Die Gerätehersteller bringen daher in den nächsten Jahren wasserstofftaugliche Gasgeräte auf den Markt.

Tabelle 3:
Marktsituation von stationären
Wasserstoffgeräten

	Gerätetyp	Einsatzbereich	Marktsituation Stand Juli 2023 ^a
1	Wasserstoffgerät	Wärmeerzeugung	Gemäss Geräteherstellern erfolgt die Markteinführung ab 2025
2	Wasserstoffbrenner	Prozesswärme	Wasserstoffbrenner sind am Markt erhältlich
3	WKK/BZ	Wärme-/Stromerzeugung	WKK und BZ sind am Markt erhältlich
4	Wasserstoff-Dunkelstrahler	Wärmeerzeugung für Hallen	Wasserstoff-Dunkelstrahler sind am Markt erhältlich

Quelle: GKS / ICS, 2023

^a Weitere Informationen erhalten Sie bei GebäudeKlima Schweiz (GKS) und den Geräteherstellern.

WKK = Wärmekraftkopplung BZ = Brennstoffzelle

Wasserstofftauglichkeit von eingebauten Gasgeräten

Im Einsatz stehende Gasgeräte sind in Regel bis zu 10 Vol.-% wasserstofftauglich. Jedes eingebaute Gasgerät muss aber durch den Servicetechniker oder den Gerätehersteller individuell auf seine Wasserstofftauglichkeit überprüft werden.

Wasserstofftauglichkeit von neuen Gasgeräten

Die meisten der aktuell auf dem Markt erhältlichen Gasgeräte sind in der Regel auf einen Wasserstoffanteil von bis zu 20 Vol.-% ausgelegt. Der Leistungsbereich dieser Gasgeräte variiert je nach Hersteller von 20 kW bis zu 350 kW. Bereits heute sind am Markt 100 % wasserstofftaugliche Gasbrenner erhältlich, die sich hauptsächlich im Leistungsbereich ab 200 kW bewegen.

Umrüstung bestehender Gasgeräte auf 100 Prozent Wasserstoff

Ab 2025 sollen Umrüstsätze für bestehende Gasgeräte auf den Markt kommen, die es ermöglichen mit wenig Aufwand ein eingebautes Gasgerät auf 100 % Wasserstoff umstellen. Die Gasgerätehersteller entwickeln aktuell solche Umrüstsätze.

Beimischung von Wasserstoff ins Schweizer Gasverteilnetz

Bei einem Anschluss ans Gasnetz muss das SVGW-Regelwerk berücksichtigt werden. In der aktuellen Richtlinie G18 wird der maximal zulässige Wasserstoffanteil in «Methanreichen Gasen» mit 10 Vol.-% angegeben. Lokal ist unter Berücksichtigung der eingebauten Komponenten auch ein Wasserstoffanteil von bis zu 20 Vol.-% möglich. Verantwortlich für die Gasbeschaffenheit ist der lokale Gasnetzbetreiber.

Betriebsdaten von Gasheizungen unter Beimischung von Wasserstoff

Die Beimischung von bis zu 20 Vol.-% Wasserstoff zum Erdgas hat nur geringen Einfluss auf Leistung und Abgas- und Vorlaufemperatur der aktuellen stationären Wärmezeuger. Der Leistungsabfall ist minimal und wird im Alltagsbereich nicht wahrgenommen.

Abbildung 8:
Testreihe mit Wasserstoffanteilen von 0–40 Vol.-%

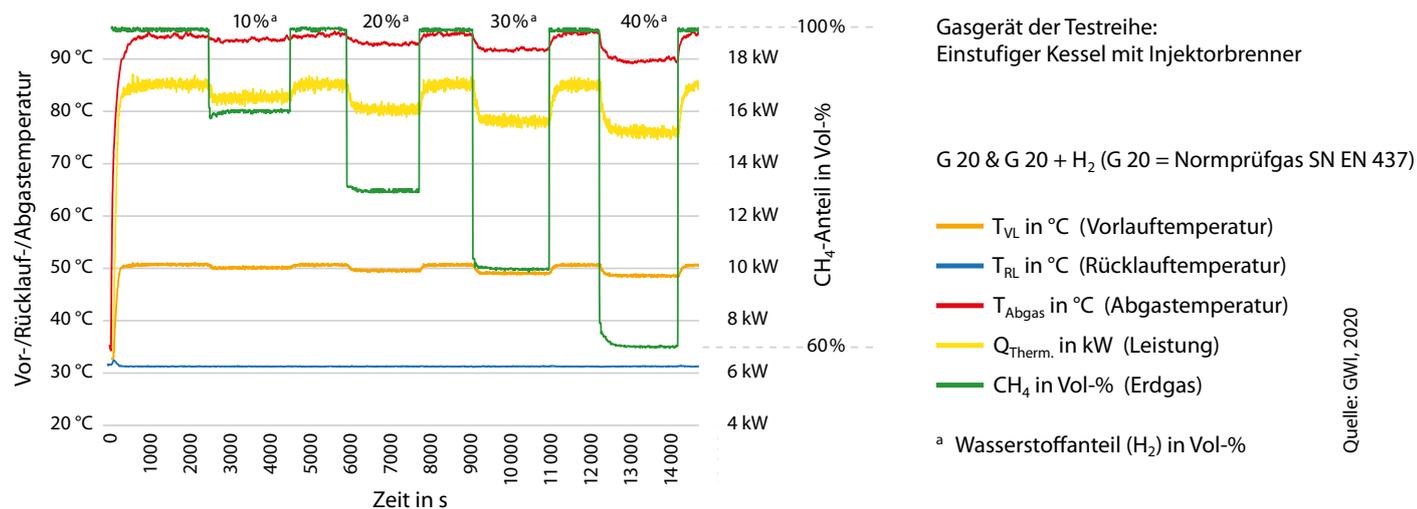


Tabelle 4:
Kenndaten von Erdgas,
Erdgas-Wasserstoff-Gemischen
und Wasserstoff (H₂)

In der untenstehenden Tabelle sind die wichtigsten Kenndaten von Erdgas und Erdgas-Wasserstoff-Gemischen sowie von 100 Prozent Wasserstoff zusammengefasst.

	Erdgas	Erdgas + 10 Vol.-% H ₂	Erdgas + 20 Vol.-% H ₂	Wasserstoff
Untere Zündgrenze in Luft [Vol.-%]	4,0	4,4	4,4	4,0
Obere Zündgrenze in Luft [Vol.-%]	17	22	27	77
Zündtemperatur in Luft [°C]	645	629	618	530
Explosionsgruppe	IIA	IIA	IIA	IIC
Brennwert (25/0 °C) [kWh/m ³]	11,19	10,49	9,65	3,54
Heizwert (25/0 °C) [kWh/m ³]	10,0	9,54	8,77	3,0
Wobbe-Index	14,76	14,4	14,03	13,43
Adiabate Verbrennungstemperatur [°C] mit Luft bei Lambda 1	1940	1945	1951	2086
Flammenfarbe	blau	blau	blau	farblos
Max. Flammgeschwindigkeit [cm/s]	43	43	44	346
Methanzahl	90	82	73	0

Einschränkungen für Gasgeräte bei Wasserstoffanteilen

Bei Wasserstoffanteilen in methanreichen Gasen sind nach aktuellem Stand der Technik folgende Restriktionen für den Betrieb von Gasgeräten zu berücksichtigen:

- a) Das Mischgas muss die Grenzwerte der SVGW-Richtlinie G18 für Gase aus der zweiten Gasfamilie «Methanreiche Gase» (H-Gas) bezüglich Wobbe-Index, relativer Dichte und Brennwert einhalten.
- b) Wasserstoff ist ein Zusatzgas.
- c) Darüber hinaus sind technische Einschränkungen der Gasinfrastruktur, der genutzten Materialien und eingesetzten Messverfahren sowie spezielle Anforderungen bezüglich der Anwendung in stationären Wärmeerzeugern bestimmend für die Höhe der möglichen H₂-Zumischung.

Anpassung von bestehenden Gasgeräten auf 100 Prozent Wasserstoff

Bei einer Anpassung wird das Gasgerät so umgestellt, dass es mit 100 Prozent Wasserstoff sicher und zuverlässig entsprechend den Herstellerangaben betrieben werden kann. Die Anpassung auf 100 % Wasserstoff bedingt die Ausserbetriebnahme und anschliessende Wiederinbetriebnahme des Gasgeräts.

Wichtige Punkte bei der Umstellung auf 100 Prozent Wasserstoff

- a) Transparente und frühzeitige Information an die Installateure und Servicetechniker
- b) Materialbeschaffung und Bereitstellung
- c) Erhebung, Anpassung und Umstellung der Gasgeräte
- d) Laufende Steuerung und Überwachung der Anpassungsarbeiten
- e) Einhaltung von Qualitätsanforderungen
- f) Bereitstellung von genügend Servicekapazität
- g) Dokumentation der festgestellten Mängel und der Mängelbeseitigung
- h) Ausserbetriebnahme und Dokumentation von nicht anpassungsfähigen Gasgeräten
- i) Finale Kontrolle der Umstellungsarbeiten
- j) Bevor auf die Wasserstoffversorgung umgestellt wird, muss sichergestellt sein, dass alle am gleichen Netzanschluss befindlichen Gasgeräte 100 % wasserstofftauglich sind.
- k) Inbetriebnahme der Wasserstoffanlage durch den Gerätehersteller

«H₂-ready» Gasgeräte für 100 Prozent Wasserstoff

«H₂-ready» (wasserstofffähig) bezeichnet Produkte und Systeme oder auch Technologien, die aufgrund ihrer Ausstattung in der Lage sind, sicher und effizient mit Wasserstoff als Brennstoff zu arbeiten.

Ein Gasgerät gilt als «H₂-ready», wenn dieses technisch so vorbereitet ist, dass es mit geringem Aufwand auf 100 Prozent Wasserstoff umgerüstet werden kann. Die europäischen Gasgerätehersteller beabsichtigen, ab 2025 solche «H₂-ready» Gasgeräte auf den Markt zu bringen.

5. Wasserstoffspeicher

Die Speicherung von überschüssigem erneuerbarem Strom ist von zentraler Bedeutung für eine zukünftig sichere und zuverlässige Energieversorgung. Eine Möglichkeit für die langfristige (saisonale) Speicherung ist der Energieträger Wasserstoff. In diesem Kapitel werden die aktuell wichtigsten Speichertechnologien, mit denen Wasserstoff gelagert werden kann, vorgestellt.

Wasserstoffspeicherung gasförmig (CGH₂)³

Gasförmiger Wasserstoff lässt sich nach dem Verdichten bei hohem Druck in einem Tank speichern. Im Verkehr hat sich beispielsweise ein Druckniveau von 350 bar (24 kg/m³) für Nutzfahrzeuge und 700 bar (40 kg/m³) für PKW durchgesetzt. Der Hochdruckspeicher bietet für kleine Speichermengen eine günstige Lösung und wird daher vor allem in mobilen Anwendungen wie PKW und Nutzfahrzeugen eingesetzt.

Druckspeicher gasförmig⁴

Druckspeicher sind als etablierte Technik am Markt gut verfügbar! Als Gas ist Wasserstoff komprimierbar. Mit hohem Druck kann die Energiemenge in einem Volumen erhöht werden. Je höher der Druck, desto stärker muss die Wandung des Gasbehälters sein. Mit zunehmendem Druck werden Gasflaschen immer schwerer. Druckbehälter haben in der Regel die Form einer Kugel oder eines Zylinders. Kugelformen sind jedoch teuer in der Herstellung, weshalb sich zylindrische Tanks durchgesetzt haben.

Druckbehältertypen gasförmig⁵

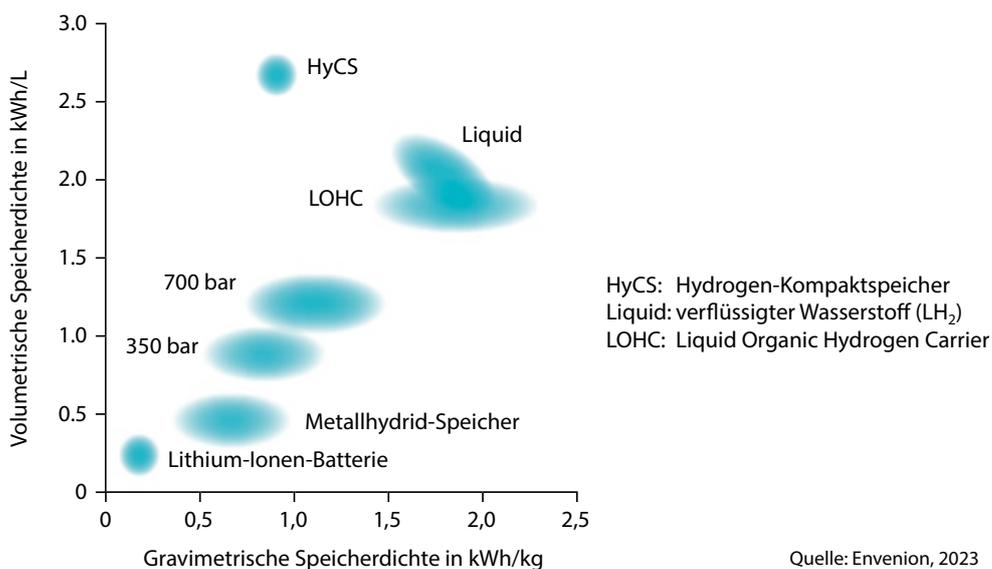
Typ 1: Stahlbehälter bis zu 200 bar Druck. Einsatz für stationäre Anwendungen.

Typ 2: Stahlbehälter mit zusätzlicher Ummantelung aus harzgetränkter Glas- oder Kohlefaser bis zu 1000 bar Druck. Einsatz hauptsächlich für stationäre Anwendungen.

Typ 3: Behälter aus Aluminium und einer Ummantelung aus Kohlefasern. Beim Einsatz für die mobile Anwendung liegt der Druck in der Regel bei 350 oder 700 bar.

Typ 4: Behälter aus Kunststoff (Polyamid oder Polyethylen) und einer Ummantelung aus Kohlefasern. Einsatz als Transportmittel und in der Mobilität.

Abbildung 9:
Speicherdichten von gespeichertem Wasserstoff



³ Quelle: EMCEL, 2019

⁴ Quelle: EMCEL, 2019

⁵ Quelle: EMCEL, 2019

Wasserstoffspeicherung flüssig (LH₂)⁶

Eine Alternative stellt die Verflüssigung von Wasserstoff dar. In diesem Zustand besitzt LH₂ zwar die wesentlich höhere Dichte von 71 kg/m³, muss aber im flüssigen Zustand bei -253 °C gespeichert werden. Solche Speicher sind günstiger für grössere Speichermengen und werden daher häufig beim Transport von H₂ über weite Strecken eingesetzt.

Wasserstoffspeicherung mittels Eisengranulat (HyCS)⁷

Bei dieser Technologie wird Wasserstoff nicht direkt gespeichert. Bei der Beladung wird das im Speicher befindliche Eisenoxid durch den zugeführten Wasserstoff zu Eisen reduziert. Dabei entsteht Wasserdampf (H₂O). 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 besitzt die höchste gravimetrischen Energiedichte in kWh/kg. Die Markteinführung ist für das Jahr 2024 vorgesehen.

Wasserstoffspeicherung mittels Metallhydrid⁸

Metallhydride absorbieren gasförmigen Wasserstoff. Beim Kontakt des Wasserstoffgases mit der Feststoffoberfläche der Speichermaterialien (Metallpulver) zerfallen die Wasserstoffmoleküle in atomaren Wasserstoff und dringen in das Material ein. Die Beladung und Entladung der Metallhydridspeicher erfolgt bei einem Druckniveau von ca. 30–60 bar. Nachteilig sind das hohe Eigengewicht aufgrund des Metallpulvers sowie die hohen Materialkosten.

Tabelle 5:
Metallhydridspeicher

Vorteile	Nachteile
gefahrlose Speicherung von Wasserstoff im Gegensatz zu Druck-Tanks	Eine enorme Masse ist notwendig, um eine akzeptable Menge an Wasserstoff speichern zu können
kompakte Bauweise	Das Laden nimmt viel Zeit in Anspruch
Speicherung bei niedrigem Druck möglich	Hohe Materialkosten

Aktuelle Marktsituation

Druckspeicher sind ein Massenprodukt und beherrschen aktuell auch den Markt bei der Wasserstoffspeicherung. LOHC und das Speichern von flüssigem Wasserstoff sind erst bei grossen Mengen an Wasserstoff relevant. Bei den Metallhydridspeichern gibt es weltweit erst wenige Hersteller. Zudem sind Metallhydridspeicher aktuell nur als Teil eines Gesamtsystems und nicht als Einzelspeicher erhältlich. Technisch gesehen sind Metallhydridspeicher interessant, da die Speicherdichte hoch ist und der Betriebsdruck niedrig (< 30 bar), eignen sich daher gut für den Einsatz in geschlossenen Räumen.

⁶ Quelle: EMCEL, 2019

⁷ Quelle: Envenion, 2023

⁸ Quelle: TÜV SÜD, 2023

6. Regulatorische Rahmenbedingungen in Europa und der Schweiz

Für eine sichere und schnelle Markteinführung von Wasserstoff als Energieträger in stationären Anlagen sind anwendungsfreundliche Gesetze, Normen und Prozesse Grundvoraussetzung. Nahezu alle relevanten Regelwerke, die auf Wasserstoff als Energieträger anwendbar sind, basieren heute auf europäischen Richtlinien und Verordnungen. Diese, sowie die ergänzenden internationalen (ISO) und europäischen (EN) Normen, müssen daher dringend aktualisiert und «H₂-ready» gemacht werden.

EU – Delegierte Rechtsakte über erneuerbaren Wasserstoff

Die EU-Kommission hat am 13. Februar 2023 zwei delegierte Rechtsakte verabschiedet, die festlegen, was in der EU als grüner Wasserstoff gilt. Diese beiden Rechtsakte ergänzen die bestehende Erneuerbare-Energie-Richtlinie der EU (2018/2001) und sollen Rechtssicherheit und Anreize für Investoren und Produzenten von erneuerbarem Wasserstoff schaffen.

– Delegierter Rechtsakt 1

Der erste Rechtsakt legt fest, unter welchen Bedingungen Wasserstoff und wasserstoffbasierte Brenn- und Kraftstoffe als «Erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs (RFNBOs)» angesehen werden können. Der Rechtsakt präzisiert den Grundsatz der Zusätzlichkeit für Wasserstoff.

– Delegierter Rechtsakt 2

Der zweite delegierte Rechtsakt legt die Methode zur Berechnung von Treibhausgasemissionen durch RFNBOs und wiederverwertete kohlenstoffhaltige Brenn- bzw. Kraftstoffe fest. Bei der Berechnung der Emissionen und der damit verbundenen Einsparungen wird der gesamte Lebenszyklus der Brenn- bzw. Kraftstoffe berücksichtigt.

Die Rechtsakte 1 und 2 befinden sich derzeit zur Prüfung im Europäischen Parlament und Rat.

EU – European Green Deal, Fit for 55 und REPowerEU

Grüner Wasserstoff ist ein wichtiger Baustein im European Green Deal, im Fit for 55-Paket und im REPowerEU-Plan. Spätestens bis 2027 soll es in der EU einen modernen Rechtsrahmen für Wasserstoff geben. In einem ersten Schritt sieht das «Wasserstoff-Accelerator»-Programm des REPowerEU-Plans einen Zubau von Elektrolyseuren mit einer Gesamtleistung von 17,5 GW bis 2025 vor. Damit soll die Industrie mit 10 Mio. Tonnen erneuerbarem Wasserstoff versorgt werden, der in der EU erzeugt wurde.

Quelle: <http://energy.ec.europa.eu>, <http://eur-lex.europa.eu>

Schweiz – Wärmestrategie 2050

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat Anfang 2023 die «Wärmestrategie 2050» veröffentlicht, die bis 2050 eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung vorsieht.

Quelle: <http://www.bfe.admin.ch>

Schweiz – Wasserstoffstrategie

Die Motion 20.4406 Suter «Grüne Wasserstoffstrategie für die Schweiz» ist im Dezember 2022 von Ständerat und Nationalrat angenommen worden. Der Bundesrat wird beauftragt, eine nationale Strategie für Wasserstoff aus CO₂-neutralem Produktionsverfahren auszuarbeiten. Ein Schwerpunkt soll auf der Importstrategie für Wasserstoff aus CO₂-neutralem Produktionsverfahren liegen. Das Bundesamt für Energie (BFE) erarbeitet derzeit im Austausch mit der Branche eine Schweizer Wasserstoffstrategie.

Quelle: <http://www.parlament.ch>

Schweiz – Teilrevision der Rohrleitungsverordnung (RLV)

Mit der Revision wird der Geltungsbereich der RLV auf Wasserstoff ausgeweitet. Neu liegt die Zuständigkeit für den Bau von und die Aufsicht über Wasserstoffleitungen ab 5 bar ausschliesslich beim Bund. Die revidierte Verordnung ist seit dem 1. Juli 2023 in Kraft.

Quelle: <https://www.admin.ch>

Normen – International (ISO/IEC), Europa (CEN/CENELEC), Schweiz (SNV/Electrosuisse)

Die Normung verfolgt generell einen technologieoffenen Ansatz. Dies bedeutet, dass die Normen keine bestimmte Technologie vorschreiben oder bevorzugen, sondern nur die Anforderungen an das Ergebnis oder die Funktion festlegen. Damit wird den Anwendern der Normen ein gewisser Spielraum gelassen, welche Technologie sie einsetzen wollen, solange sie die Norm erfüllen. Dies fördert die Innovation und den Wettbewerb und vermeidet eine Abhängigkeit von einer bestimmten Technologie.

Wasserstoff ist in der Normung kein neues Thema und es existiert bereits eine Vielzahl von ISO- und CEN-Normenkomitees, die Wasserstoff-Normen entwickeln. In der Industrie wird Wasserstoff seit vielen Jahren eingesetzt und Normen unterstützen dort den sicheren Betrieb der Anlagen. Auch für die Wasserstoff-Mobilität liegen die ersten Normen vor. In Europa arbeiten die europäischen Normungsorganisationen CEN und CENELEC eng mit den relevanten Anspruchsgruppen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft zusammen, um die Normung im Bereich Wasserstoff rasch und zielgerichtet voranzutreiben.

Im Jahr 2023 erwarten CEN/CENELEC den Normungsauftrag «Hydrogen» von der EU-Kommission. Darin ist festgelegt, welche europäischen Normen revidiert oder neu entwickelt werden müssen, um die Gasinfrastruktur und die Gaswendungen «H₂-ready» zu machen. Die Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV) vertritt die Normung von ISO und CEN in der Schweiz.

Tabelle 6:
Relevante internationale
Normenkomitees für Wasser-
stoff

Normenorganisationen	Normenkomitees				
ISO & IEC	ISO/TC 197	ISO/TC 161	ISO/TC 22	IEC/TC 57	IEC/TC 9
CEN & CENELEC	CEN/TC 57	CEN/TC 109	CEN/TC 234	CLC/TC 9X	CLC/TC 31
SNV & CES	INB/NK 110	INB/NK 119	INB/NK 162	INB/NK 176	TK 105

ISO: International Organization for Standardization

IEC: International Electrotechnical Commission

CEN: Comité Européen de Normalisation

CENELEC: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

SNV: Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV)

CES: Comité Électrotechnique Suisse

Erste Wasserstoff-Normen in der Gebäudetechnik

- Entwurf WD CEN/TS 15502-3-1 Gas-fired central heating boilers – Part 3-1: H₂NG and ACCF – Expansion of EN 15502-2-1:2022.
- Entwurf FprCEN/TR 17924 Safety and control devices for burners and appliances burning gaseous and/or liquid fuels – Guidance on hydrogen specific aspects.
- CEN/TR 17797 Gas infrastructure – Consequences of hydrogen in the gas infrastructure and identification of related standardization need in the scope of CEN/TC 234.
- Entwurf prEN 16325 Herkunftsnachweise im Energiebereich – Herkunftsnachweise für Elektrizität, gasförmige Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff sowie Wärme und Kälte.
- SN ISO 14687 Hydrogen fuel quality – Product specification.

7. Checkliste

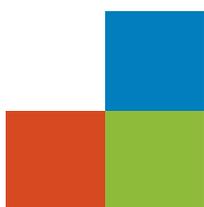
In der nachfolgenden Tabelle sind wichtige Punkte aufgelistet, die bei der Planung einer stationären Wasserstoffanlage zu berücksichtigen sind.

Thema		Antwort / Bemerkung
Bauwerk	Wohnüberbauung	
	Areal	
	Industrie	
	Energiezentrale	
Standort der Wasserstoffanlage	Gebäude mit Personennutzung	
	Gewerbeüberbauung	
	Lagerhalle	
	Industrielle Energiezentrale	
	Separate Energiezentrale	
Wasserstoffnutzung	Raumwärme / Warmwasser	
	Stromerzeugung	
	Hallenbeheizung	
	Prozesswärme	
Wasserstoffversorgung	via Gasnetz	
	per Trailer (Strasse / Bahn)	
	Eigenproduktion	
Wasserstoffspeicherung vor Ort	Ja / Nein	
	< 5 Tonnen Wasserstoff	
	> 5 Tonnen Wasserstoff	
Wasserstoffanlage	Monovalente Anlage	
	Bivalentes System	
Wasserstoffbedarf	in MWh/a	
Wärmebedarfstemperatur	in Grad Celsius	

GebäudeKlima Schweiz ist die bedeutendste Schweizer Hersteller- und Lieferantenvereinigung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik und gleichzeitig der erste Verband, der branchenübergreifend alle Disziplinen der Gebäudetechnik unter einem Dach zusammenfasst. Die Mitglieder sind mehrheitlich Systemanbieter und unterhalten gesamtschweizerische Verkaufs- und Servicenetze.

Weitere Informationen zur stationären Nutzung von Wasserstoff in der Industrie und der Gebäudetechnik finden Sie auf:

<https://gebaeudeklima-schweiz.ch/de/Fachthemen/Wasserstoff>



GebäudeKlima
Schweiz

Impressum

Herausgeberin
GebäudeKlima Schweiz
www.gebaeudeklima-schweiz.ch

Leitfaden
Wasserstoffeinsatz in der Industrie
und der Gebäudetechnik

August 2023

© GebäudeKlima Schweiz

Schweizerischer Verband für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik
Rötzmattweg 51 | CH-4600 Olten | Telefon +41 (0)62 205 10 66 | Fax +41 (0)62 205 10 69
E-Mail: info@gebaeudeklima-schweiz.ch | Web: www.gebaeudeklima-schweiz.ch