

H₂



Dienstleistungen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

Speicherung:

Druckbehälter

H₂-Kompetenz @ HydroHub

Unsere Dienstleistungen erstrecken sich über die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft – von der Erzeugung über Transport und Speicherung bis hin zur Nutzung in unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Energieerzeugung

Renewables
(z. B. Windenergie,
Solarenergie)

Konventionelle Kraftwerke

Geothermie

H₂-Erzeugung

Elektrolyse
Meerwasserent-
salzungsanlage

Reformierprozesse

Methanpyrolyse

Verteilung/Transport

Stromnetz
Pipelines
Wärmenetz

Intelligente Netze
Füllstationen/
Tanksysteme

Tankfahrzeuge
(Lkw, Zug, Schiff)

Speicherung

Batteriespeicher
Gasspeicher

Kavernenspeicher
(H₂ und CO₂)

Druckbehälter
H₂-Hydridspeicher

Verbrauch/Anwendung

Brennstoffzellensystem
Methanol-Synthese-
Einheit

Carbon Capture and Utilization
Mobilität (z. B. eFuels)
Rückverstromung

Power-to-X (Gas, Heat, Liquid)
Industrielle Anwendungen
(z. B. Raffinerie)

H₂-Kompetenz @ HydroHub

Wir begleiten Wasserstoffprojekte ganzheitlich und bieten je nach Anwendungsbereich ein breites Leistungsportfolio in den Phasen Konzept/Planung, Herstellung, Betrieb sowie Stilllegung/Entsorgung.



Konzept/Planung

Wir unterstützen Sie von Anfang an bei Forschungs- und Projektvorhaben sowie spezifischen Aufgabenstellungen. Schon in der Konzeptionierungsphase stehen wir Ihnen mit Machbarkeitsstudien, strategischer und finanzieller Beratung und einer großen Bandbreite organisatorischer und technischer Dienstleistungen zur Seite. Neben der Konzepterstellung unter Betrachtung rechtlicher, technischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen übernehmen wir die Anforderungsanalyse und begleiten Sie im Prozess der Machbarkeitsermittlung über die Grundlagen- und Entwurfsplanung bis hin zur Genehmigungsplanung.



Herstellung

Seit über 150 Jahren gehört es zu unseren Aufgaben, technische Gefahrenquellen zu analysieren und zu beherrschen. Mit einer großen Bandbreite an spezifischen Services sind wir daher in der Lage, Sie bei der Integration von Wasserstofftechnologien in die industrielle Wertschöpfungskette kompetent zu begleiten. Unser Spektrum an Dienstleistungen reicht hier von Erkundung und Bau über Projektleitung, Dokumenten- und Betreiberpflichtenmanagement, Basic und Detail Engineering für den verfahrenstechnischen Prozess bis hin zur herstellungsbegleitenden Projektunterstützung mit umfangreichen geo-, umwelt- und ingenieurtechnischen Dienstleistungen.



Betrieb

Einen reibungslos laufenden Betrieb unterstützen wir mit einem umfassenden Leistungsportfolio und dem primären Ziel, die Betriebszuverlässigkeit zu optimieren und Schäden zu verhindern. Unsere Dienstleistungen unterstützen Sie bei der Umsetzung Ihrer Betriebsstrategien sowie bei den damit verbundenen Optimierungs-, Wartungs- und Instandhaltungskonzepten. Unser sicherheitsorientiertes Vorgehen sowie die Betriebsüberwachung und die Erstellung von Konzepten zur Schadensvermeidung tragen letztlich dazu bei, Wasserstoff in der öffentlichen Wahrnehmung als sichere und beherrschbare Technologie zu etablieren.



Stilllegung/Entsorgung

So wie wir von der ersten Projektidee in der Konzeptphase für Sie da sind, stehen wir Ihnen auch in der Stilllegung von Anlagen mit allen erforderlichen Services für den Rückbau und die Entsorgung zur Seite – inklusive der Projektleitung und umfassenden Dienstleistungen im Rahmen des Betreiberpflichtenmanagements. Wir erstellen Konzepte nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben, Normen und Regelwerken und unterstützen Sie mit der Identifikation, Analyse und Vermeidung potenzieller Risiken bei Eingriffen.

Wasserstoff-Druckbehälter im mobilen und stationären Einsatz

Mit der Zunahme der Anwendungsformen für Wasserstoff steigt auch der Bedarf an Speicherlösungen sowohl für mobile Anwendungen an Land und auf See als auch für den stationären Gebrauch im industriellen Umfeld, an Tankstellen oder in Forschungseinrichtungen. Hierfür kommen Druckbehälter zum Einsatz, die gemäß Betriebs-sicherheitsverordnung überwachungsbedürftig sind und dementsprechend mit Sicherheitsfunktionen ausgerüstet sein müssen, um Behälter und Anwender vor möglichen Druck- oder Temperaturüberschreitungen zu schützen.

Zu den gängigen Lösungen gehören Druckbehälter aus Metall und Verbundstoffen, die gasförmigen Wasserstoff (CGH_2) bei Druckniveaus von 20 bar bis hin zu 1.000 bar speichern sowie Kryotanks, die tiefkalten Flüssigwasserstoff (LH_2) in vakuumisolierten Behältern und bei relativ geringen Drücken von bis zu 4 bar speichern. Neue Konzepte erproben die Hochdruckspeicherung kryogenen

Wasserstoffs (CCH_2). Darüber hinaus kann Wasserstoff auch in fester Form gespeichert werden – in der Entwicklung befinden sich zudem Metallhydridspeicher, die die Aufnahme großer Mengen Wasserstoff auf minimalem Raum und bei optimierter Energieeffizienz erlauben. Wir sind Ihr erfahrener Partner in der umfassenden Fertigungsüberwachung und Prüfung von Druckbehältern sowie in der Entwicklung von Prototypen für mobile und stationäre Anwendungen. Mit kompetenten Fachleuten und modernsten Analyse- und Messmethoden liefern wir verlässliche Erkenntnisse über die Beanspruchbarkeit eingesetzter Werkstoffe, stellen die Konformität mit nationalen und internationalen Regelwerken sicher und unterstützen Sie darin, von Förderungen zu profitieren. Sprechen Sie uns an.



Druckbehälter für gasförmigen Wasserstoff (CGH₂)

Zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff dienen zylindrische Druckbehälter in unterschiedlichen Größen und Materialausführungen. Im stationären Einsatz, etwa in Industrieanlagen, finden sich große Stahltanks, die CGH₂ im Niederdruckbereich (20–200 bar) lagern. Tankstellen verfügen zudem über zusätzlich ummantelte Druckbehälter für höhere Druckniveaus im Mitteldruckbereich von 450–500 bar und im Hochdruckbereich bis zu 1.000 bar.

Die Entwicklung von Druckbehältern zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff schreitet permanent voran.

Grund hierfür sind Erfordernisse zur Gewichtseinsparung sowie zur Stabilität, Haltbarkeit, Umweltfreundlichkeit und Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien. Im Markt finden sich vier Typen von Druckbehältern, wobei die Drucktanks der Typen I, II und III Metallkomponenten enthalten. Beginnend mit Typ IV setzen sich Druckbehälter aus faserverstärkten Kunststoffen durch, die aufgrund ihres Gewichtsvorteils bevorzugt in mobilen Anwendungen eingesetzt werden. Die nächste Generation, Typ V, wird nochmals eine Gewichtsersparnis bringen und nahezu vollständig aus Kohle- und Hybridfasern bestehen.

Druckbehältertypen zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff (CGH₂)

Wasserstoffdruckbehälter Typ I:

- Wandung aus Chrom-Molybdän-Stahl
- typischer Nenndruck 200 bar
- Einsatz als Transportbehälter und zur stationären Lagerung

Wasserstoffdruckbehälter Typ II:

- metallische Wandung und Ummantelung des zylindrischen Teils aus harzgetränkter Glas- oder Kohlefaser
- Nenndrücke bis 1.000 bar
- Einsatz zur stationären Lagerung an Wasserstoff-tankstellen

Wasserstoffdruckbehälter Typ III:

- Liner aus Aluminium und vollständige Ummantelung aus Kohlefaser
- typischer Nenndruck 350 und 700 bar
- Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen und in stationären Anwendungen

Wasserstoffdruckbehälter Typ IV:

- Liner aus Kunststoff und vollständige Ummantelung aus Kohlefaser
- Nenndruckbereich 350 bar bis 700 bar
- Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen und als Transportbehälter

Wasserstoffdruckbehälter Typ V (verschiedene Verfahren in Entwicklung, u. a.):

- Carbon-Faser-Komposite (CFK)
- thermoplastische Faserverbundkunststoffe (FVK) mit neutraler CO₂-Bilanz
- zusätzliche Gewichtsersparnis gegenüber Typ IV-Druckbehältern

Druckbehälter für flüssigen Wasserstoff (LH₂)

Im Gegensatz zur Hochdruck-Verdichtung von gasförmigem Wasserstoff erfolgt die Speicherung von Flüssigwasserstoff meist auf niedrigem Niveau, in der Regel bei einem Druck zwischen 1,2 und 3,5 bar.

Um Wasserstoff in seinen flüssigen und tiefkalten (kryogenen) Aggregatzustand bei -253°C zu bringen, muss viel Energie eingesetzt und spezielle Kühltechnik verwendet werden. Der Vorteil ist die Erhöhung der volumetrischen Energiedichte und damit die Möglichkeit, größere Mengen Wasserstoff auf geringem Raum zu transportieren und zu lagern. Das Fassungsvermögen von gängigen Kryotanks zur stationären Lagerung von LH₂ reicht von ca. 3.000 bis 80.000 Litern (entsprechend etwa 2.500 bis über 65.000 Kubikmetern Gas bei einem Druck von 1 bar).

Kryotanks verfügen über einen Innen- sowie einen Außentank aus Edelstahl, zwischen denen ein Hochvakuum und eine Mehrschichtisolierung liegen. Trotz der Maßnahmen zur bestmöglichen Wärmedämmung treten je nach Größe und Füllstand des Tanks Verdampfungsverluste auf (Boil-off), die 1 bis 2% pro Tag betragen können. Diese

entstehen durch einen unvermeidlichen Wärmeeintrag ins Tankinnere, der den dort vorherrschenden Betriebsdruck von in der Regel zwischen 1,2 und 3,5 bar bis zu einem definierten Grenzwert steigen lässt. Über einem Druckniveau von etwa 4 bar lösen Drucksensoren ein Ablassen von gasförmigem Wasserstoff aus, wobei großvolumige stationäre Tanks ihre Kühlleistung auch 4 bis 5 Monate ohne Boil-off aufrecht erhalten können. Um den entweichenden Wasserstoff zu nutzen, können mehrere Kryotanks in einen sie umhüllenden Druckbehälter integriert werden.

Aufgrund seiner hohen Energiedichte eignet sich LH₂ gut für die Betankung von Fahrzeugen, die weite Strecken zurücklegen. Für den Einsatz von LH₂ in Lkw und Zügen werden Edelstahltanksysteme entwickelt, die mit Betriebsdrücken von unter 10 bar arbeiten und Verdampfungsverluste noch weiter reduzieren. Im Vergleich zu Hochdruckbehältern weisen sie dank des geringeren Speicherdrucks deutliche Gewichtsvorteile auf.



Druckbehälter zur transkritischen Speicherung von flüssigem Wasserstoff (CcH_2)

In der Erprobung befinden sich Konzepte zur komprimierten Speicherung von kryogenem Wasserstoff. Bei sehr niedrigen Temperaturen von etwa -220°C und einem sehr hohen Druck von bis zu 1.000 bar lässt sich die volumetrische Dichte von Wasserstoff nochmals steigern.

Die technischen Anforderungen an diese Druckbehälter sind entsprechend hoch, da sie sowohl das Temperaturmanagement der Kryotanks als auch die Stabilität der Hochdruckbehälter besitzen müssen.

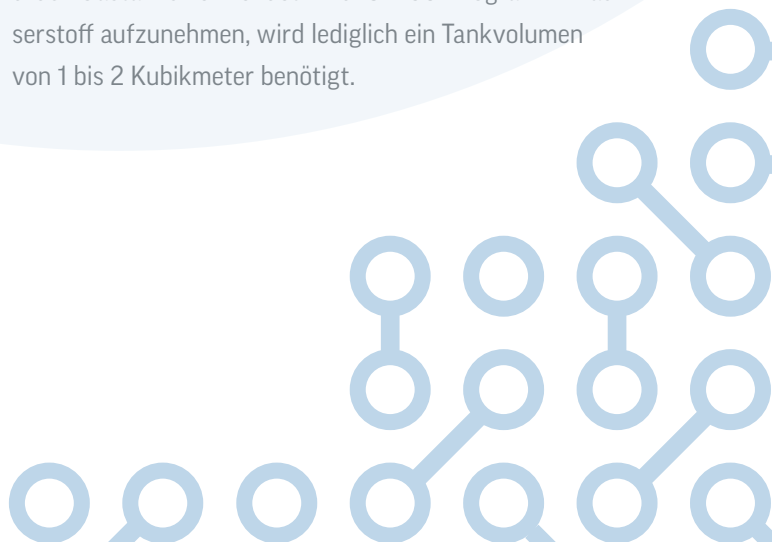
Gasförmiger Wasserstoff in Metallhydridspeichern

Metallhydridspeicher erlauben es, gasförmigen Wasserstoff auf minimalem Raum zu speichern. Hierfür werden Metalle genutzt, die Wasserstoff unter Wärmeentwicklung auf atomarer Ebene chemisch binden und bei Wärmezufuhr kontrolliert abgeben.

Im Gegensatz zur Speicherung in Hochdruck- oder Kryotanks und den damit verbundenen Aufwänden für Verdichtung, Verflüssigung und Betriebssicherheit bietet die Einlagerung im Metallhydrid eine Möglichkeit, deutlich

niedrigere Druckniveaus zu nutzen und dennoch eine hohe volumetrische Energiedichte zu erreichen.

In Forschungsprojekten wie dem EU-geförderten HyCARE Projekt entstehen Prototypen, die das Potenzial von Metallhydridspeichern aufzeigen. Zum Einsatz kommt hierbei dieselbe druckfeste Hülle, die auch für Niederdruck-Gastanks verwendet wird. Um 50 Kilogramm Wasserstoff aufzunehmen, wird lediglich ein Tankvolumen von 1 bis 2 Kubikmeter benötigt.



Unsere Dienstleistungen

Von strukturmechanischen Simulationen und Berechnungen zur Materialbeanspruchung in der Entwurfsphase bis hin zu allen erforderlichen Services rund um Brand- und Explosionsschutz – mit umfassenden Dienstleistungen in den Bereichen Consulting, Engineering und Training unterstützen wir Sie in folgenden Phasen des jeweiligen Projekts:

	Konzept/ Planung	Herstellung	Betrieb	Stilllegung/ Entsorgung
Rechnerische Nachweise/strukturmechanische Simulationen im Anlagenbau: statische und dynamische Nachweisberechnungen nach nationalen und internationalen Regelwerken, analytische Berechnungen bis hin zu Finite-Elemente-Simulationen (FEM), statisch/dynamische Belastungsmodelle, mechanische Modelle, Berechnungen der Beanspruchungen (Spannungen), Vergleich mit Werkstoffkennwerten für Beanspruchbarkeit im Bauteil, Bewertung und Dokumentation der Ergebnisse als Bericht, Schadensbegutachtung und Analyse	●	●	●	●
Brandschutz: Erstellung von Brandschutzkonzepten und Gutachten, Fachbauleitung Brandschutz, Gefährdungsbeurteilung Brandschutz, Brand- und Explosionsursachenermittlung, Gefahrenabwehrpläne	●	●	●	●
Explosionsschutz: Bestimmung sicherheitstechnischer Kenngrößen, Explosions- und Brandschutzermittlung, Explosions- und Brandschutz an Maschinen, Explosionsschutz für Betreiber, Prüfungen an überwachungsbedürftigen Anlagen	●	●	●	●



HydroHub

Eine Initiative von Unternehmen
der TÜV NORD GROUP

EE ENERGY ENGINEERS GmbH
TÜV NORD GROUP
Wissenschaftspark
Munscheidstraße 14
45886 Gelsenkirchen

wasserstoff@hydrohub.de
www.hydrohub.de

Ihr Ansprechpartner

Dr. Carsten Gelhard
Leiter HydroHub
Mobil: +49 (0)160 888-2036
Tel.: +49 (0)201 825-2026
gelhard@energy-engineers.de

