



Dienstleistungen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungskette

**Speicherung:**

# **Kavernenspeicher (H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>)**



HydroHub



# H<sub>2</sub>-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

## H<sub>2</sub>-Erzeugung

Elektrolyse  
Meerwasserent-  
salzungsanlage

Reformierprozesse

Methanpyrolyse

## Verteilung/Transport

Stromnetz  
Pipelines  
Wärmenetz

Intelligente Netze  
Füllstationen/  
Tanksysteme

Tankfahrzeuge  
(Lkw, Zug, Schiff)

## Speicherung

Batteriespeicher  
Gasspeicher

Kavernenspeicher  
(H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>)

Druckbehälter  
H<sub>2</sub>-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)

# H<sub>2</sub>-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.

# Kavernenspeicher und ihr Potenzial für die Wasserstoffwirtschaft

Im Zuge des Auf- und Ausbaus der Wasserstoffwirtschaft können unterirdische Speicher einen wichtigen Beitrag zur stabilen Versorgung mit erneuerbaren Energien leisten. In Hohlräumen von Salzstöcken gelegene Kavernenspeicher sind langjährig bewährte Speicher, z. B. für Erdgas, und Teil einer Infrastruktur, die noch deutlich wachsen muss, um Wasserstoff in relevanten Größenordnungen zu speichern und bedarfsgerecht nutzbar zu machen. Erste H<sub>2</sub>-Forschungskavernen dienen aktuell dem Aufbau von Modellregionen, in denen grüner Wasserstoff mithilfe von Power-to-gas-Technologien gewonnen, gespeichert und distribuiert werden kann.

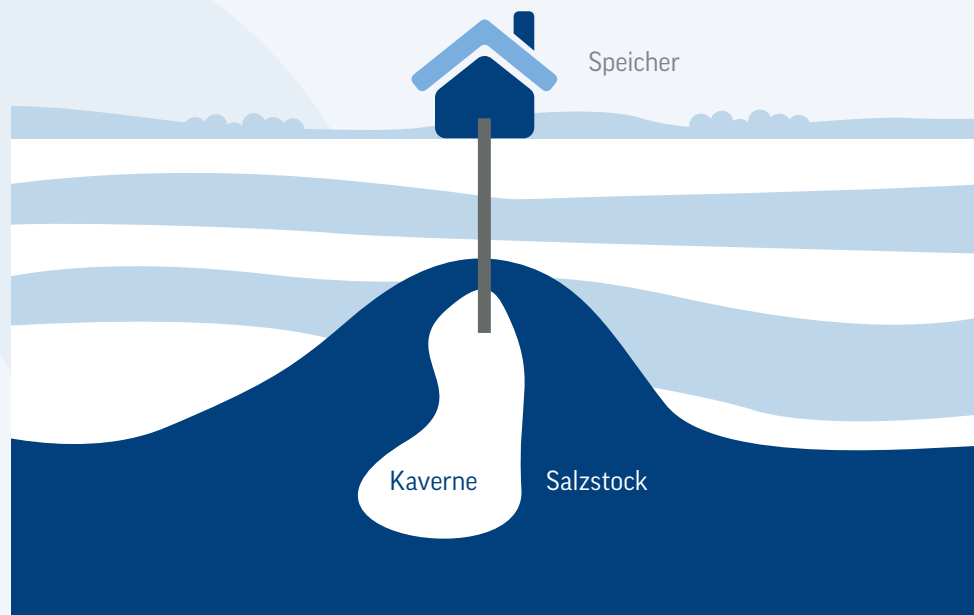
Wir sind Ihr Partner für den Weg von der Nutzung fossiler Gase hin zu einer Wirtschaft, die auf erneuerbare Energien und dabei im besonderen Maß auf Wasserstoff setzt. Unsere spezifische Erfahrung im Bereich der unterirdischen Speicherung von Gasen hilft kommunalen und industriellen Akteuren bei der Erfüllung ihres Versorgungsauftrags. Mit modernsten Analysemethoden und kompetenten Fachleuten stehen wir Ihnen zur Seite, um Ihr Projekt sicher und erfolgreich durchzuführen und Sie nach Möglichkeit von Förderungen profitieren zu lassen. Sprechen Sie uns an.



# Kavernenspeicher in Deutschland

Vor Millionen von Jahren aus der Verdunstung ehemaliger Meeresbecken und durch Dehnungen der Erdkruste entstanden, finden sich in einigen Regionen Deutschlands, vor allem in Norddeutschland, gewaltige unterirdische Salzformationen mit bis zu mehreren Tausend Metern Mächtigkeit. Als einer der weltgrößten Produzenten von Stein- und Kalisalzen verfügt Deutschland damit über beträchtliche, bei der Salzgewinnung künstlich erzeugte Hohlräume, sogenannte Kavernen.

Aufgrund ihrer petrophysikalischen Eigenschaften weisen Steinsalzkaavernen eine natürliche Dichtheit auf, sodass sie seit Jahrzehnten als leistungsfähige und günstige Speicher für Erdgas, aber auch für Erdöl, Erdölprodukte, Druckluft und andere Gase genutzt werden. Der Umstieg von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien macht neben einer Umwidmung bestehender Kavernen auch einen deutlichen Ausbau ihrer Anzahl notwendig.



# Nutzung als H<sub>2</sub>-Speicher

Kavernen erlauben zudem einen schnellen Zugriff auf die gespeicherten Vorräte, wobei eine durchschnittliche Kaverne mit 60 m Durchmesser und 300 m Höhe ein Arbeitsgasvolumen von 100 Millionen Normkubikmetern erreicht (im Fall von Wasserstoff entspräche das bei einem Fülldruck von 175 bar einer Energiemenge von 300 GWh).

Angesichts dieser Zahlen kann die Umrüstung bestehender und die Erstellung neuer Kavernen die Nutzung von Wasserstoff im großen Maßstab fördern. Hierfür müssen die Speicher dieselben Anforderungen erfüllen, die auch an Erdgaskavernen gestellt werden:

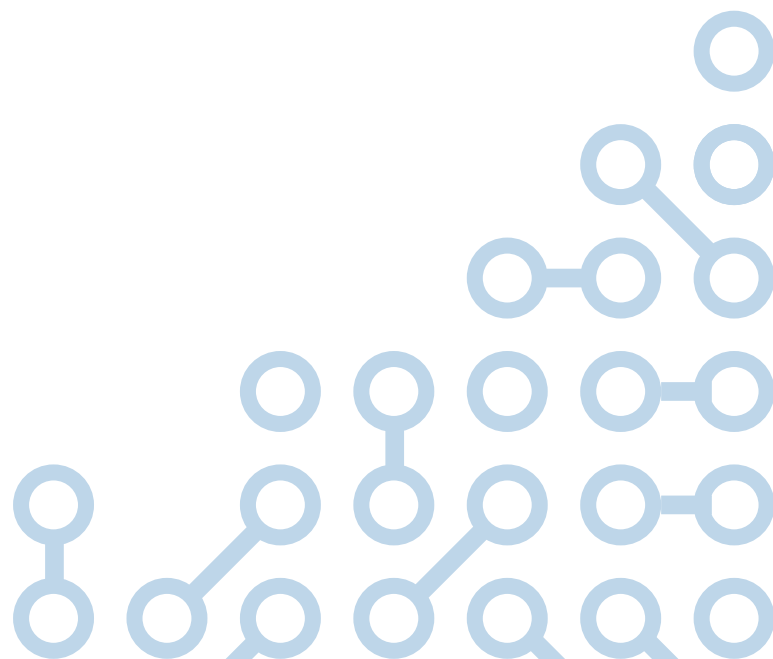
- ausreichende Leistung, um saisonale und tageszeitliche Bedarfsschwankungen ausgleichen zu können
- Fähigkeit zur Deckung von Lastspitzen (Peak Shaving)
- Fähigkeit zur Überbrückung kurzfristiger Versorgungsengpässe
- Wirtschaftlichkeit des Speicherbetriebs

In Großbritannien und den USA werden Salzkavernen schon seit geraumer Zeit für die Speicherung von Wasserstoff genutzt. In Deutschland entstehen zurzeit erste H<sub>2</sub>-Forschungskavernen als vielversprechende Reallabore einer sektorgekoppelten Energieinfrastruktur.

# CO<sub>2</sub> als Kissengas





In Kavernenspeichern ist ein sogenanntes Kissengas zur Aufrechterhaltung der geomechanischen Stabilität erforderlich. Mit seiner Hilfe soll auch der minimal notwendige Speicherdruck für die optimale Ein- und Ausspeicherung des Arbeitsgases erzeugt werden. In Abhängigkeit von der Tiefe und der geologischen Beschaffenheit liegt dieser zwischen 150 und 200 bar. Bei der Wasserstoffspeiche-

rung übernimmt CO<sub>2</sub> als deutlich schwereres Element die Funktion des Kissengases. Sein Anteil am Gesamtvolumen beträgt etwa ein Drittel, sodass das Arbeitsgas etwa zwei Drittel des maximalen Speichervolumens einnehmen kann.



# Unsere Dienstleistungen

Wir unterstützen Sie von Beginn an bei der Berücksichtigung rechtlicher und technischer Rahmenbedingungen und stehen Ihnen von der Erstellung von Risikoanalysen und Explorationskonzepten bis hin zur Projektleitung zur Verfügung, Hierfür bieten wir Ihnen umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Consulting, Engineering und Training – in allen Phasen des jeweiligen Projekts:

	Konzept/ Planung	Herstellung	Betrieb	Stilllegung/ Entsorgung
				
Erstellung von Konzepten nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben, Normen und Regelwerken	●			●
Erstellung von Störfallkonzepten (Brand-, Explosionsschutz, Auswirkungsbetrachtungen)	●			
SIL-Studien zur Ermittlung der Zuverlässigkeitsanforderungen an die Sicherheitsleittechnik	●			
Beratung zu und Erstellung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes	●			
Beratung Alterungsmanagement	●			
Erstellung von Pflichtenheften	●			●
Erstellung von Lastenheften	●			●
Erstellung von Inbetriebnahme- und WKP-Konzepten	●			
Technical Due Diligence	●			
Technical, Financial und Legal Due Diligence (mit externen Partnern)	●			
Schwachstellenanalysen, Identifikation und Analyse von potenziellen Risiken	●			●
Erstellung, Beratung von Schutzstaffelplänen, Schutzprüfungen	●			●
Konzeption und Beratung (IBN, WKP) von Inselnetzen unter Einbindung von bspw. dezentralen Erzeugungseinheiten, Elektrolyseuren und etwaigen Speichersystemen (on- und offshore)	●			

	Konzept/ Planung	Herstellung	Betrieb	Stilllegung/ Entsorgung
				
Erstellung von Risikoanalysen zur Festlegung des Gefährdungspotenzials bei Eingriffen	●			●
Erstellung von Risikoanalysen und Gefährdungsbeurteilungen	●			●
Erstellung von Sicherungskonzepten	●			●
Beratung, Bewertung von elektrischen und mechanischen Sicherungssystemen	●			●
Beratung, Bewertung bei Errichtung und Betrieb von Alarmempfangsstellen	●			●
Beratung, Bewertung bei Festlegung von Interventionsmaßnahmen durch Wach-/Sicherheitsunternehmen oder Polizei	●			●
Beratung, Bewertung bei Festlegung von administrativen Sicherungsmaßnahmen	●			●
Technical Advisory Services	●			
Projektleitung und Dokumentenmanagement	●	●	●	●
Erstellung von Explorationskonzepten:	●			
○ Zusammenstellung von Apriori-Informationen: geologische Karten, existierende Messdaten etc.	●			
○ wenn sinnvoll: Neubearbeitung von geophysikalischen Messdaten mit anschließender Re-Interpretation für ein geologisches Modell	●			
○ Aufstellung eines geowissenschaftlichen Erkundungskonzeptes: Geophysik, insbesondere mit Seismik und Bohrlochgeophysik, Festlegung der Messgeometrie, Simulation/Überprüfung der Messergebnisse aufgrund des möglichen geologischen Untergrundmodells durch u. a. Überdeckungsschemata, Strahlüberdeckung und synthetische Seismogramme	●			
Ausführung der Explorationsfeldarbeiten:	●			
○ Genehmigungsverfahren: Unterstützung und Beratung bei behördlichen Vorgängen zur Durchführung von Erkundungsmaßnahmen	●			
○ Durchführung der geophysikalischen Erkundung von der Erdoberfläche: Aergeophysik, Gravimetrie, 2-D/3-D/4-D-Seismik, Refraktionsseismik/Nahlinien, begleitende Erschütterungsmessungen DIN 4150, Qualitätskontrolle, Feldprocessing und Datenanalyse	●			
○ aus Bohrungen heraus: seismische Tomografie, VSP (Vertical Seismic Profiling), 3-D-Bohrlochradar, Standard-Bohrlochgeophysik	●			



	Konzept/ Planung	Herstellung	Betrieb	Stilllegung/ Entsorgung
				
Auswertung und Zusammenführung aller zur Verfügung stehender Daten:	●			
○ Bewertung geologischer, geophysikalischer und hydrogeologischer Informationen	●			
○ Auswertung der geophysikalischen Messdaten	●			
○ Interpretation unter Einbeziehung aller Daten	●			
○ seismische Attributanalyse	●			
○ hydrogeologische Modellierung, auch Wärmeleitfähigkeit, Gebirgsdruck etc.	●			
Strömungssimulation, Berechnung von Simulationsmodellen zum Stofftransport	●			
○ Erstellung eines 3-D-Untergrundmodells: z. B. Stratigrafie, Störungszonen, Deckgebirge, Salzhut, Salzstock inkl. Flanken, Strukturen innerhalb des Salzstocks	●			
○ Feststellung der geologischen Eignung für einen Kavernenspeicher, Standortbewertung	●			
○ Bohrpfadplanung	●			
Geomechanische Modellierung:	●			
○ Rechtserwerb, Planungsleistungen/Trassenengineering für die Versorgungsleitungen	●			
○ Bruch-/Senkungsprognose	●			
○ Kavernendesign	●			
○ Beeinflussung der Integrität durch mechanische Aspekte und Infiltration	●			
○ 3-D-Wärmefluss-Simulationen (H <sub>2</sub> muss gekühlt werden) HEATFLOW	●			
○ 3-D-geochemische Simulation (Reaktion H <sub>2</sub> -Gebirge)	●			
○ geologisch-geotechnische Bewertung von Standorten und existierenden Untertagespeichern	●			
○ umwelttechnische Bewertung von Standorten	●			
○ Entwicklung von Überwachungs- und Sicherungskonzepten	●			
○ Aufreißverhalten des Salzgebirges bei Druckbeaufschlagung mit Wasserstoff, Erdgas, Öl etc.	●			

	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	●	●	●	●
Betreiberpflichtenmanagement: Konzeptionierung eines Betreiberpflichtenmanagements, Erarbeitung von Anlagenkataster im Bereich Druckgeräte inkl. Prüffristenfestlegung (Gefahrstoffe), Energieaudits nach EDL-G, Einführung von Energiemanagementsystemen (EnMS), Compliance-Analysen	●	●	●	●
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	●	●	●	●
Bau von Energiespeichern: Vorplanung, Rechteeinholung, Leitungsanschluss an den Energiespeicher		●		
Bauüberwachung: Qualitätssicherung, Termineinhaltung, Kostenkontrolle, Abgleich mit der angetroffenen Geologie etc.		●		
Erkundung (Bohrlochgeophysik, insbesondere 3-D-Bohrlochradar) und Kartierung der Kavernengeometrie mit Subunternehmern		●		
Geotechnisches GeoMonitoring, GeoMesssysteme: Bodenbewegung, Erschütterung etc., satellitengestützte Radarinterferometrie		●		

	Konzept/ Planung 	Herstellung 	Betrieb 	Stilllegung/ Entsorgung 
Schadenbegutachtungen und Analyse der Schadensursachen, Erstellung Vermeidungskonzepte			●	
Analyse und Bewertung von Schäden und Maßnahmen zur Verhinderung vergleichbarer Störungen			●	
Pflege von Ausfallstatistiken zur Bewertung der Betriebszuverlässigkeit vergleichbarer Anlagen/Komponenten			●	
Analyse von Stromnetzen: z. B. Kurzschluss-, Lastflussberechnungen, Auslastungs- und Optimierungsbetrachtungen			●	
GeoMonitoring: satellitengestützte Überwachung der Bodenbewegung, Radarinterferometrie, Erschütterung, Grundwasser, Gebirgsdruck, Gebirgsmechanik, Temperatur, Permeabilität (Gas, Wasser), Gas-Monitoring			●	
Bohrloch-Kavernenintegrität: Bohrlochgeophysik (Standardlogging), 3-D-Bohrlochradar, Vertical Seismic Profiling			●	
Modellierungen und Auswirkungen: Auswirkungsanalyse der Bodenbewegungen im Hinblick auf Oberflächengewässer, Ökologie und Bebauung etc.			●	
Strömungsmesstechnik: Durchflusstechnik, Strömungsgeschwindigkeit			●	
Geomonitoring (seismische Erschütterungen, hydrogeologische Erfassung) während der Produktionsphase mit Safeguard			●	
Erstellung von Gefährdungsanalysen, Sicherheitskonzepten für den Betrieb: Brandschutzkonzepte, Gestellung eines SiGeKos etc.			●	
Monitoring von technischen Parametern, Verschleißteilen etc. mit dem web-basierten Safeguard-System mit Möglichkeit einer Alarmfunktion			●	





## 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

