

M. Schlichtenmayer, Michael Glöckner, M. Rockenschaub, A. Bannach, H. Djizanne, G. Hevin | ESK GmbH

AUSWIRKUNGEN INFRASTRUKTURELLER BESCHRÄNKUNGEN AUF DAS POTENZIAL FÜR DIE WASSERSTOFFSPEICHERUNG IN EUROPÄISCHEN LÄNDERN

In den letzten Jahren wurden in den europäischen Ländern mehr und mehr Salzkavernenprojekte zur Wasserstoffspeicherung gestartet, die meisten davon mit Forschungs- oder Demonstrationszielen. Dennoch ist die europäische Speicherindustrie mit den angekündigten Projekten noch weit davon entfernt, die Kapazitätsziele für die nächsten Jahrzehnte zu erreichen, die in Regierungsstrategien oder Studien zur Erreichung der Klimaziele genannt werden. Andererseits ist in mehreren europäischen Ländern ein erhebliches geologisches Potenzial für die Entwicklung von Salzkavernen bekannt. Für einige Länder gibt es Studien über die theoretische Wasserstoffspeicherkapazität auf der Grundlage technischer Beschränkungen, aber bisher gibt es keine Bewertung der zusätzlichen Beschränkungen durch die Notwendigkeit, die Speicherstätten mit der entsprechenden Infrastruktur zu verbinden, insbesondere für den gespeicherten Wasserstoff und für die im Auslaugungsprozess entstehende Sole.

Das gemeinsame Projekt HyPSTER, das die Demonstration des Wasserstoffkreislaufs in einer bestehenden Salzkaverne in Étrez, Frankreich, sowie die Entwicklung und Validierung von Kavernenmodellierungswerkzeugen zum Ziel hat, umfasst auch die Anwendung dieser Werkzeuge zur Optimierung von Salzkavernenkonfigurationen für die Wasserstoffspeicherung in Europa. Um die Bewertung potenzieller Speicherstandorte zu unterstützen und Investitionsentscheidungen für die Entwicklung weiterer Wasserstoffspeicherprojekte zu treffen, wurden diese Modellierungswerkzeuge eingesetzt, um realistische Wasserstoffspeicherpotenziale in mehreren europäischen Ländern unter Berücksichtigung der Auswirkungen infrastruktureller Beschränkungen neu zu bewerten.

Zunächst wurde eine Reihe von Kavernenkonfigurationen, die für bestehende Gasspeicher in Europa repräsentativ sind, definiert und hinsichtlich ihrer Wasserstoffspeicherleistung mit Hilfe eines Modellierungswerkzeugs verglichen, das sich hauptsächlich auf die Thermodynamik der Kavernen bezieht, aber auch das Schließen durch Konvergenz berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wurden Literaturdaten über das Vorkommen und die Eigenschaften von Salzlagerstätten in Deutschland, Frankreich, Dänemark, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich als den wichtigsten europäischen Betreiberländern von Kavernenspeichern hinsichtlich ihres Potenzials für die Auslaugung von Speicherkavernen und der daraus resultierenden Wasserstoffspeicherkapazitäten ausgewertet.

Schließlich wurden die potenziellen Standorte auf solche innerhalb bestimmter Korridore entlang des geplanten European Hydrogen Backbone, der die Wasserstoffinfrastruktur darstellt, und um bestimmte Industriezentren für die Soleentnahme oder entlang der Küstenlinie beschränkt.

Diese Arbeit gibt nun einen Überblick über die Auswirkungen der angewandten Beschränkungen auf das Speicherpotenzial. Das Ergebnis ist eine Reihe realistischerer Zahlen für die Speicherpotenziale in den untersuchten Ländern als das reine geologische Potenzial. Diese Zahlen werden mit Speicherbedarfsprognosen aus der Literatur verglichen, aus denen hervorgeht, dass selbst unter den angewandten Einschränkungen noch genügend Potenzial vorhanden ist, um den erwarteten Bedarf für die nächsten Jahrzehnte zu decken.



Auswirkungen infrastruktureller Beschränkungen auf das Potenzial für die H₂-Speicherung in europäischen Ländern

BHT - FK4: Das Potenzial des geologischen Untergrundes für die Energiesicherheit Deutschlands nach dem fossilen Zeitalter
5 – 6 Juni 2025, Freiberg

Maurice Schlichtenmayer, Michael Glöckner, Monika Rockenschaub & Andreas Bannach (ESK GmbH, Freiberg, Germany)
Hippolyte Djizanne (Ineris, Verneuil-en-Halatte, France)
Grégoire Hévin (Storengy SAS, Bois-Colombes, France)



1

Einleitung

2

**Speicherbedarf &
geologisches Potential**

3

Methodik

4

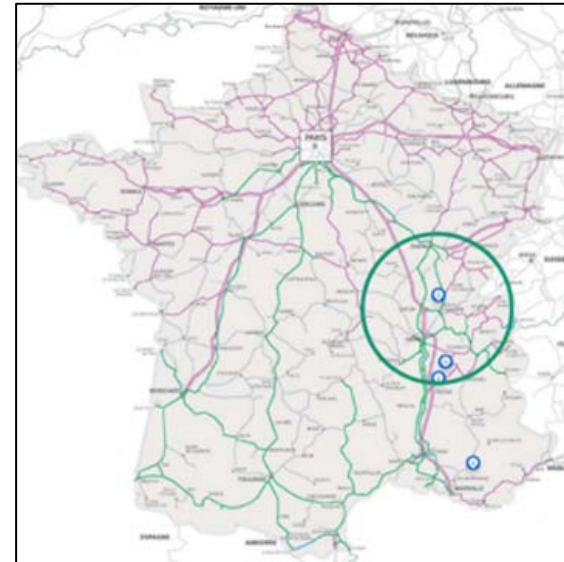
**Resultierendes Speicherpotential
& Fazit**

Einleitung

- Unterirdische Wasserstoffspeicherung ist Gegenstand intensiver Aktivitäten in Europa. Projekt HyPSTER startete 2021 von Storengy & Partnern
 - **H**ydrogen **P**ilot **S**Torage for large **E**cosystem **R**eplication
 - Laufzeit: Januar 2021 – Juni 2025
 - Standort: Etrez (Ain), Frankreich
 - Speicherkapazität: 3 t (up to 44 t)
 - Test der H₂-Speicherung im industriellen Maßstab in Salzkavernen
- Reproduzierbarkeit der Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen in ganz Europa.



Based on photo by Storengy

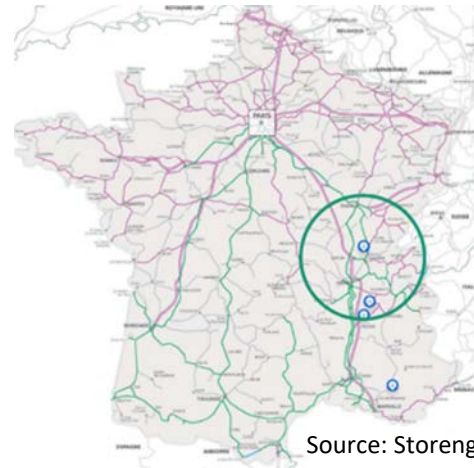


Source: Storengy



Einleitung

- Unterirdische Wasserstoffspeicherung ist Gegenstand intensiver Aktivitäten in Europa. Projekt HyPSTER startete 2021 von Storengy & Partnern
 - **H**ydrogen **P**ilot **S**Torage for large **E**cosystem **R**eplication
 - Laufzeit: Januar 2021 – Juni 2025
 - Standort: Etrez (Ain), Frankreich
 - Speicherkapazität: 3 t (up to 44 t)
 - Test der H₂-Speicherung im industriellen Maßstab in Salzkavernen
- Reproduzierbarkeit der Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen in ganz Europa.



Die vorliegende Arbeit basiert auf Daten des SMRI & EHB (European Hydrogen Backbone)

Autoren





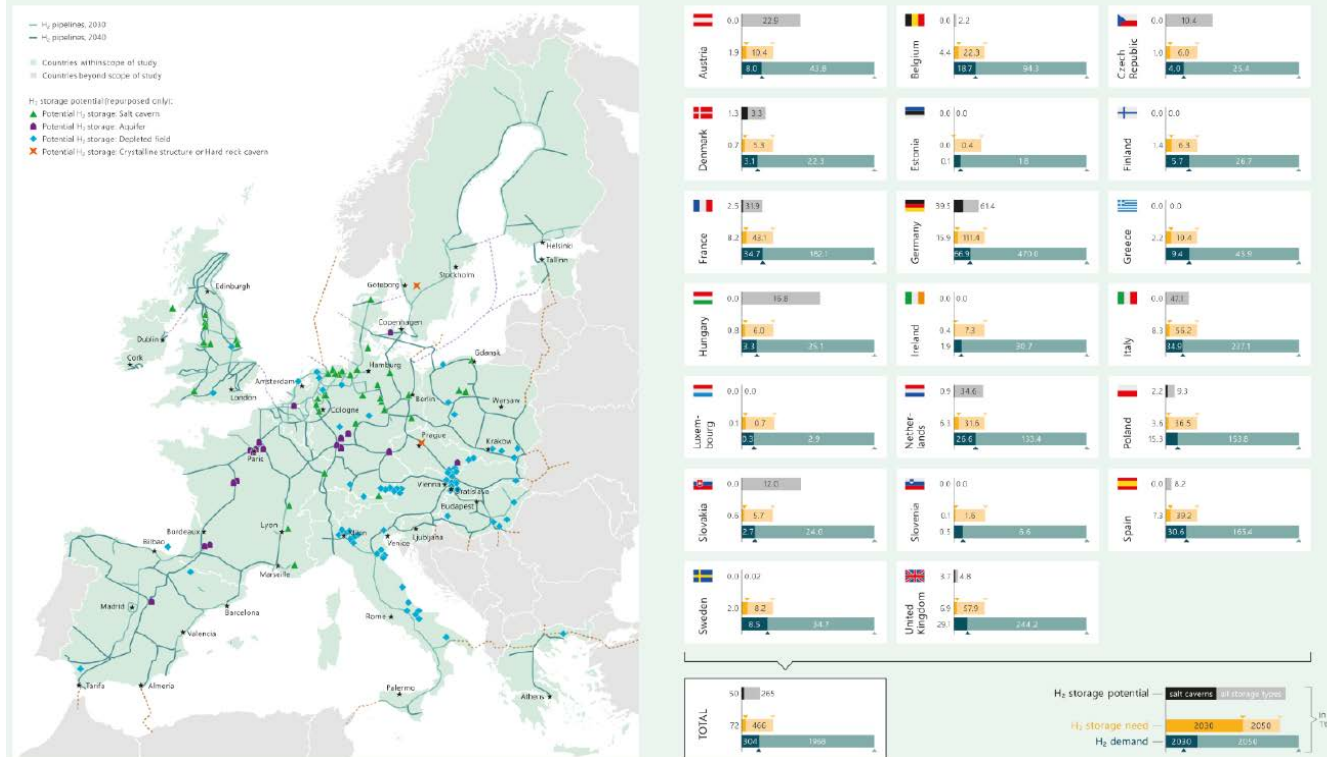
2

Speicherbedarf & geologisches Potential

Erwarteter Speicherbedarf in ausgewählten europäischen Ländern

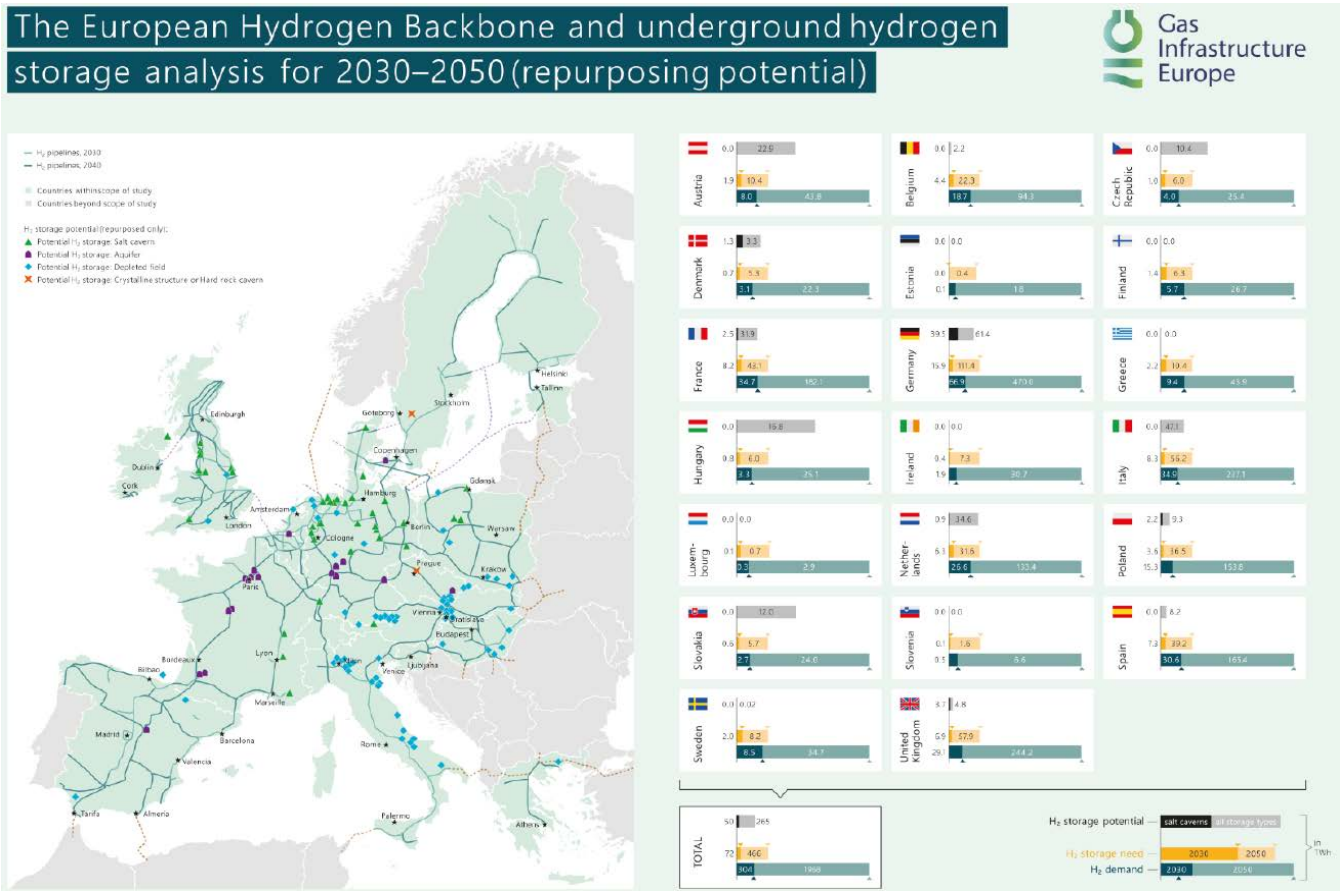
The European Hydrogen Backbone and underground hydrogen storage analysis for 2030–2050 (repurposing potential)

Gas Infrastructure Europe



- GIE 2021: Vollständiger Überblick über Wasserstoffbedarf, Speicherbedarf und Potenzial

Erwarteter Speicherbedarf in ausgewählten europäischen Ländern

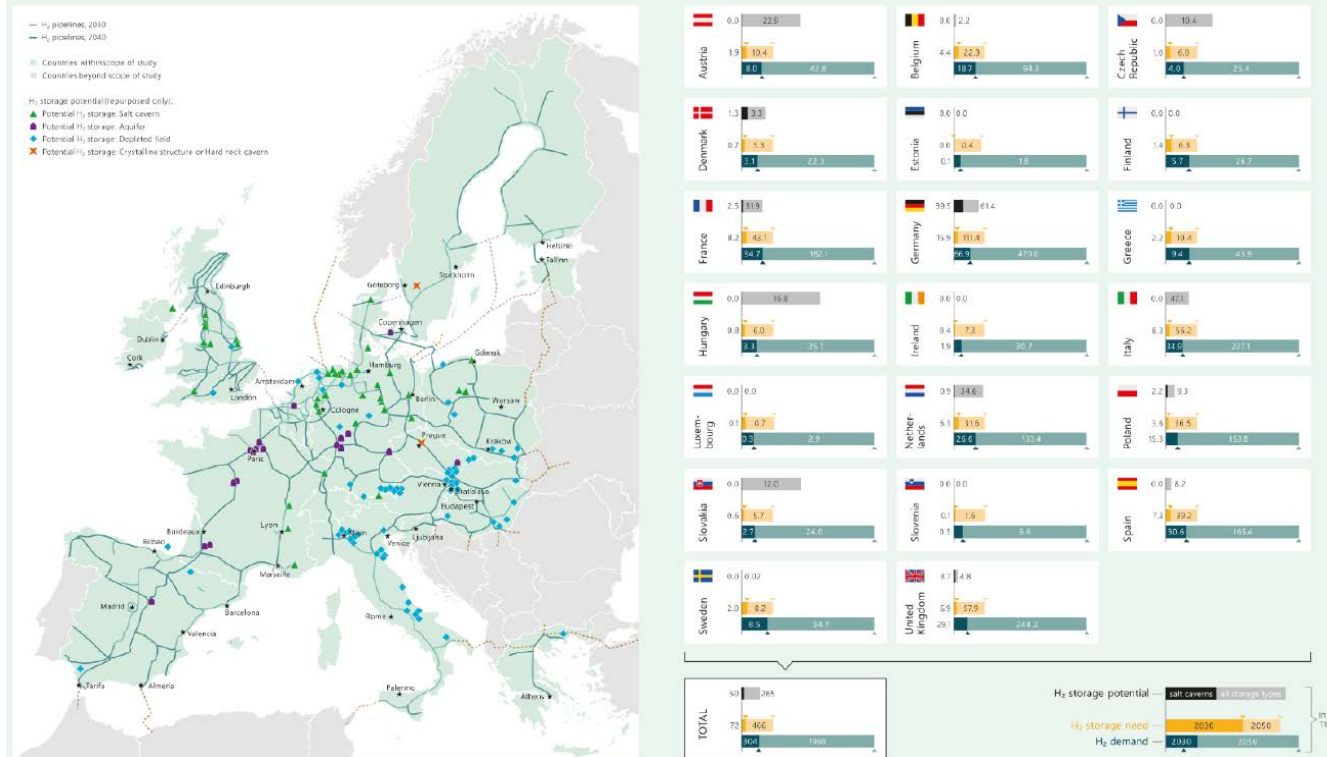


Land	H2 - Bedarf 2030 [TWh]	H2 - Bedarf 2050 [TWh]	H2 – Speicherbedarf 2030 [TWh]	H2 – Speicherbedarf 2050 [TWh]
Dänemark	3.1	22.3	0.7	5.3
Frankreich	34.7	182.1	8.2	43.1
Deutschland	66.9	470	15.9	111.4
Niederlande	26.6	133.4	6.3	31.6
Großbritannien	29.1	244.2	6.9	57.9
Europa (andere)	144.1	916.1	36.9	212.2
Europe (gesamt)	304.5	1 968.1	72.2	466.4

Erwarteter Speicherbedarf in ausgewählten europäischen Ländern

The European Hydrogen Backbone and underground hydrogen storage analysis for 2030–2050 (repurposing potential)

Gas Infrastructure Europe



- GIE 2021: Vollständiger Überblick über Wasserstoffbedarf, Speicherbedarf und Potenzial
- Tendenz zu sinkendem Speicherbedarf in den letzten Jahren, z. B.:

- Europa 2050:

466 TWh (GIE 2021)
270 TWh (GIE 2024)
< 223 TWh (BMWK 2024)
161 TWh (EWI 2024)

- Deutschland 2030:

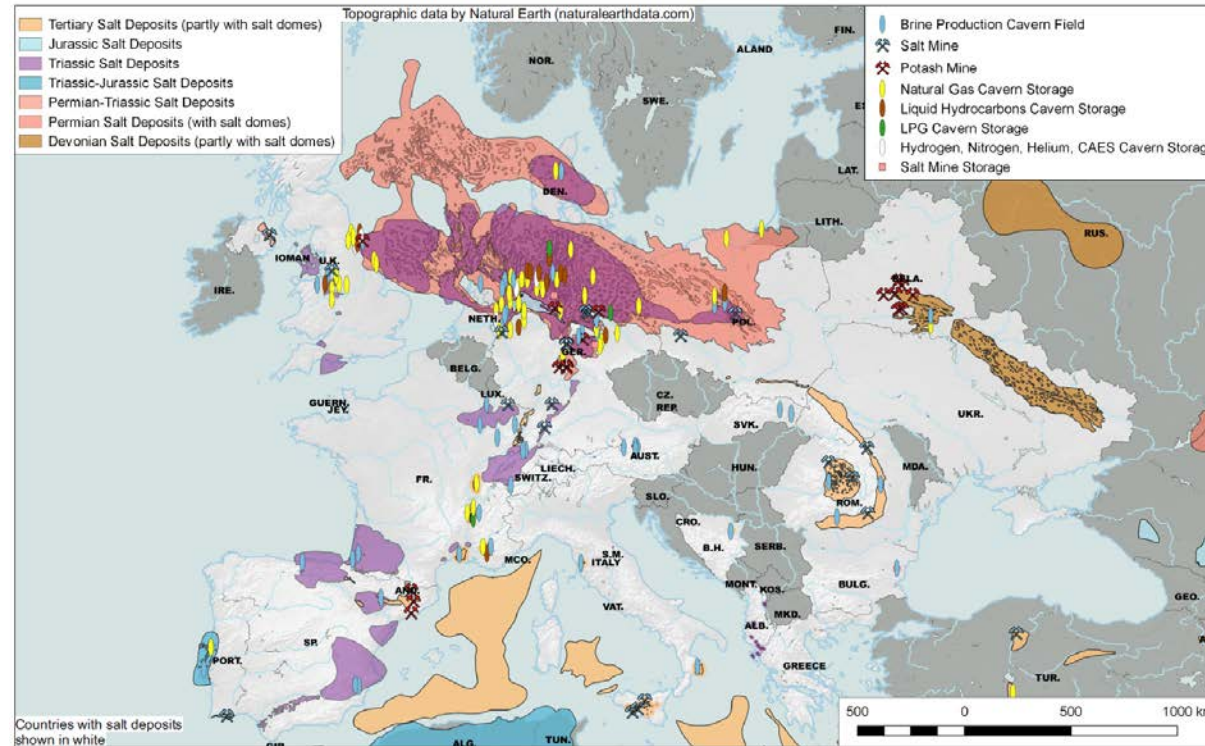
16 TWh (GIE 2021)
2 TWh (BMWK 2023+2024)
6 – 7 TWh (INES 2025)
0 – 7 TWh (EWI 2024)

- Hinweis: Die GIE-Studie nennt nur Potenziale für die Umrüstung von Erdgasspeichern, keine Entwicklung neuer Speicher

Cihlar, J.; Mavins, D.; van der Leun, K. (2021): Guidehouse (GIE)

Geologische Situation in ausgewählten europäischen Ländern

Update of SMRI's Compilation of Worldwide Salt Deposits and Salt Cavern Fields
Enclosure 23a: Salt deposits and cavern fields / mines of Europe



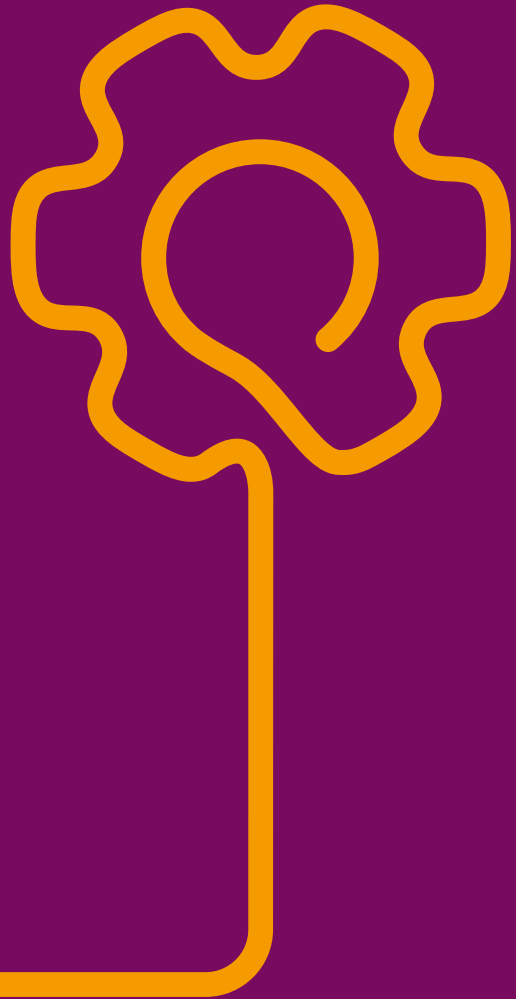
Project No.: SMRI R2017-5 / KBB 7035-001211
File name: 100422 Enclosure 23a European Salt Deposits.pdf
Date: 22.04.2018
Created by: P.H. / KBB UT

Horvath et al. (2018): Update of SMRI's Compilation of Worldwide Salt Deposits and Salt Cavern Fields; SMRI Research Report.

- Der SMRI-Bericht (Horvath et al., 2018) bietet den besten Überblick über die Verteilung der Salzvorkommen.
- Die Daten wurden durch eigene detaillierte Daten der Projektpartner und zusätzliche veröffentlichte Quellen (z. B. InSpEE, InSpEE-DS für Deutschland) ergänzt.
- Zahlreiche Salzvorkommen in mehreren europäischen Ländern.
- Enormes geologisches Potenzial für den Bau von Salzkavernen.

Was ist realistisch?

Technische Einschränkungen (Salzdicke, Tiefe, Qualität usw.) müssen individuell bewertet werden.
Betrachten wir die infrastrukturellen Einschränkungen!



3

Methodik

Bedingungen für die Speicherentwicklung

- Die Anbindung an die Infrastruktur ist der Hauptkostentreiber für die Speicherentwicklung
- Solenutzung/-entsorgung: Entfernung zu Sole/chemischer Industrie oder offenem Meer



Annahme: **50 km** (max.)

(Einspeisung in salzhaltige Grundwasserleiter und andere Optionen
Genehmigung/Kosten problematisch).

- Wasserstoff-Pipeline-Zugang: **Europäische Wasserstoff-Backbone (EHB)**

fasst die aktuelle Planung für das Wasserstoff-Transportnetz zusammen,
stellt die beste Option für die Anbindung von Speichern dar



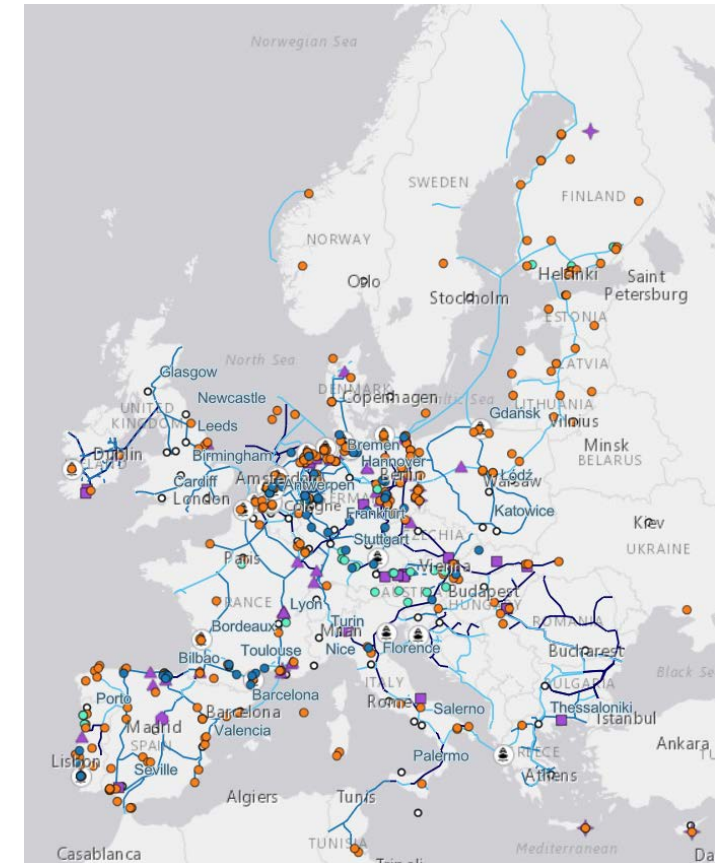
Annahme: **20 km** (max.)

- Überschneidung von Korridoren entlang des EHB und der Küste oder um
Industriezentren mit geologischen Salzvorkommen identifiziert



Ausgesuchtes Gebiet für die Entwicklung von Wasserstoff-Kavernenspeichern!

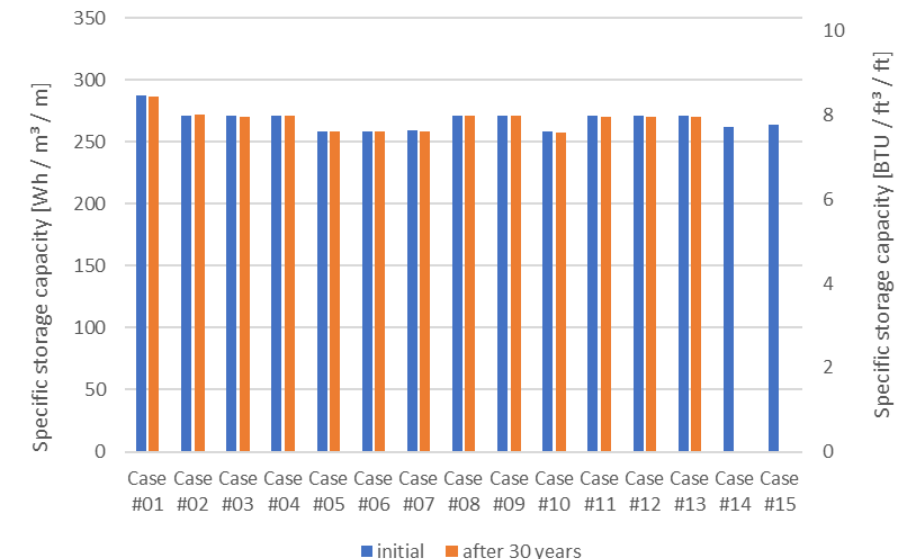
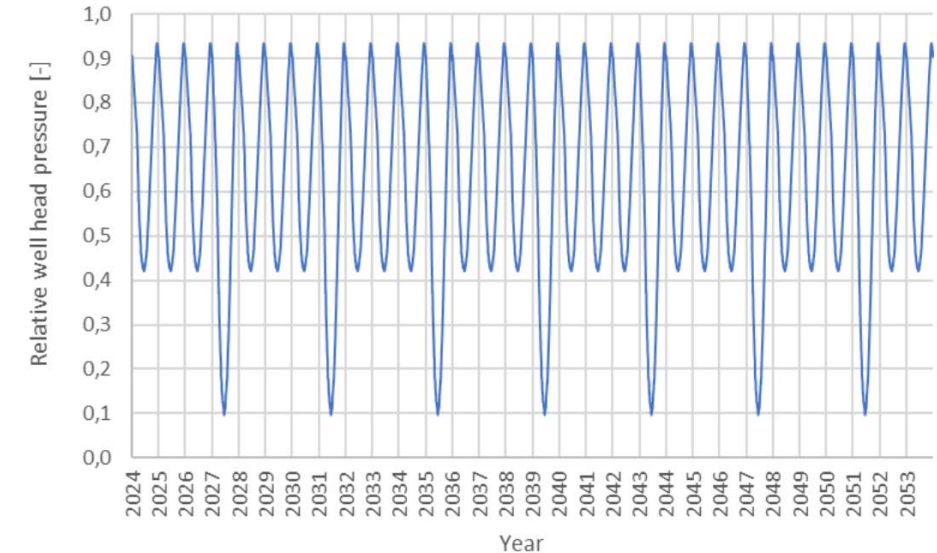
- Nächster Schritt: Ableitung eines Skalierungsfaktors für die Energiespeicherkapazität



Definition von Standardkavernen und Betriebszyklus

Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
Teufe LZRS [m]	600	900	900	900	1 400	1 400	1 400
Geom. Kavernenvolumen [m ³]	350 000	200 000	500 000	800 000	200 000	500 000	800 000
Kavernenhöhe (Dach bis Sumpf) [m]	70	70	140	300	70	140	300
Beispiele	Western UK	Eastern Germany, Western Germany	Denmark, France, Eastern Germany, Netherlands	Northern Germany, Netherlands	Western Germany	Denmark, Central France, Western Germany	Northern Germany

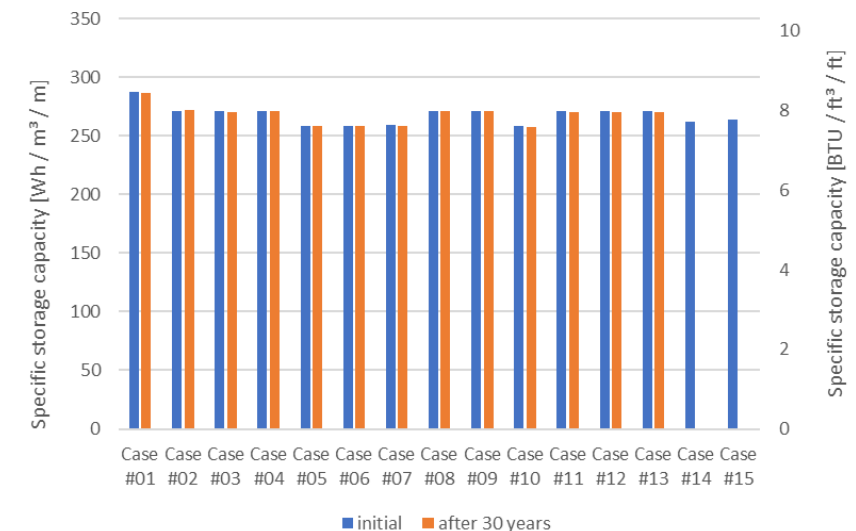
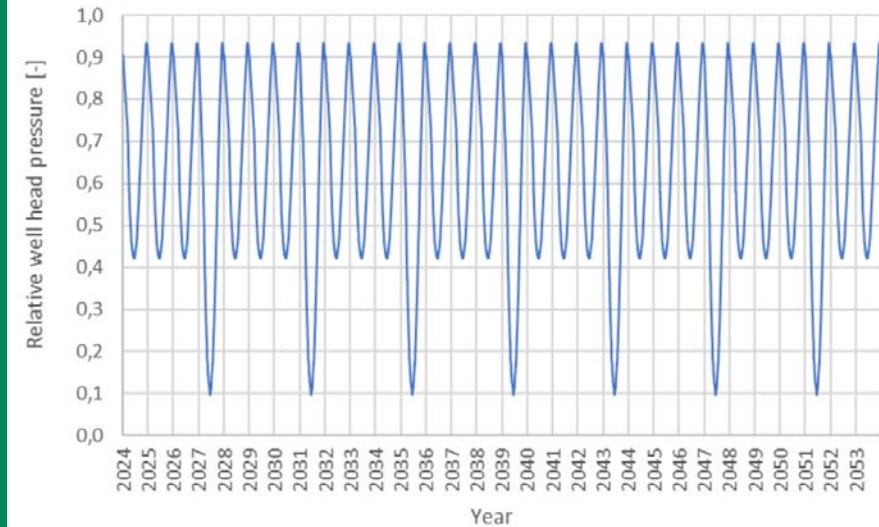
- Detaillierte Sensitivitätsanalyse der Speicherkapazität und -leistung
- Zusätzliche Fälle: Kriechen, Gesteinstemperatur, Rohrdurchmesser, Wärmeübergangskoeffizient, Lagerart, Betriebsplan



Definition von Standardkavernen und Betriebszyklus

Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
Teufe LZRS [m]	600	900	900	900	1 400	1 400	1 400
Geom. Kavernenvolumen [m ³]	350 000	200 000	500 000	800 000	200 000	500 000	800 000
Kavernenhöhe (Dach bis Sumpf) [m]	70	70	140	300	70	140	300
Beispiele	Western UK	Eastern Germany, Western Germany	Denmark, France, Eastern Germany, Netherlands	Northern Germany, Netherlands	Western Germany	Denmark, Central France, Western Germany	Northern Germany

Nach Abgleich mit detaillierten Standortdaten:
7 Standardkavernen pro km² oder
0,7 TWh/km²



- Detaillierte Sensitivitätsanalyse der Speicherkapazität und -leistung
- Zusätzliche Fälle: Kriechen, Gesteinstemperatur, Rohrdurchmesser, Wärmeübergangskoeffizient, Lagerart, Betriebsplan



4

Resultierendes Speicherpotential & Fazit

Länderspezifische Bewertung des Speicherpotenzials

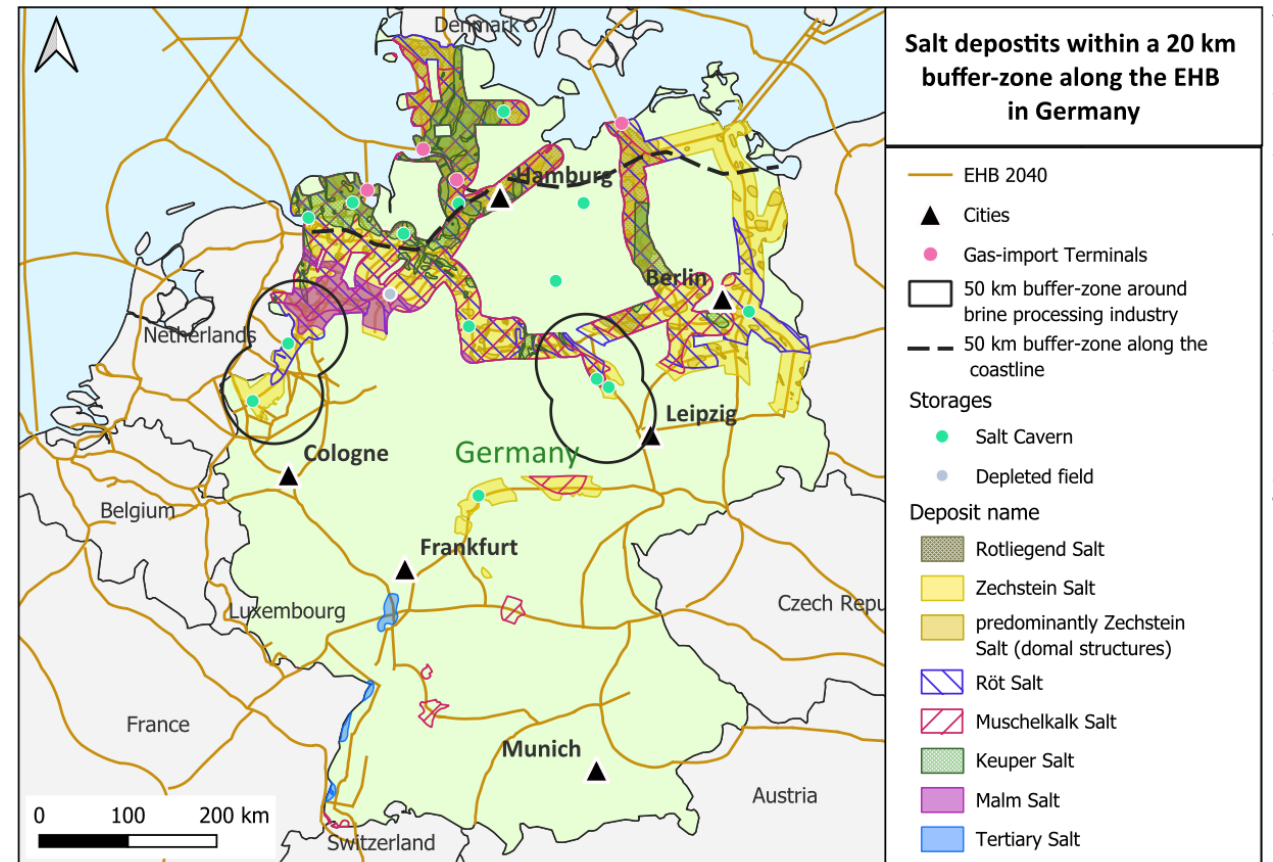
Deutschland

- Überlappung von Salzlagerstätten und EHB-Korridoren: 60.000 km² -> siehe Karte
- Reduktion aufgrund von Zugänglichkeit, Salzeigenschaften usw.: 1.600 km²
- Reduktion durch Soleabnahme/-einleitung: 700 km²



Realistisches Wasserstoffspeicherpotenzial in (neuen) Salzkavernen: 501 TWh

- Vergleich: 165 TWh in bestehenden Erdgaskavernen, entsprechend 39,6 TWh nach der Umstellung auf Wasserstoff



Own representation of data provided by SMRI (Horvath et al., 2018) and EHB (<https://www.ehb.eu/>, retrieved 04/04/2024)

Länderspezifische Bewertung des Speicherpotenzials

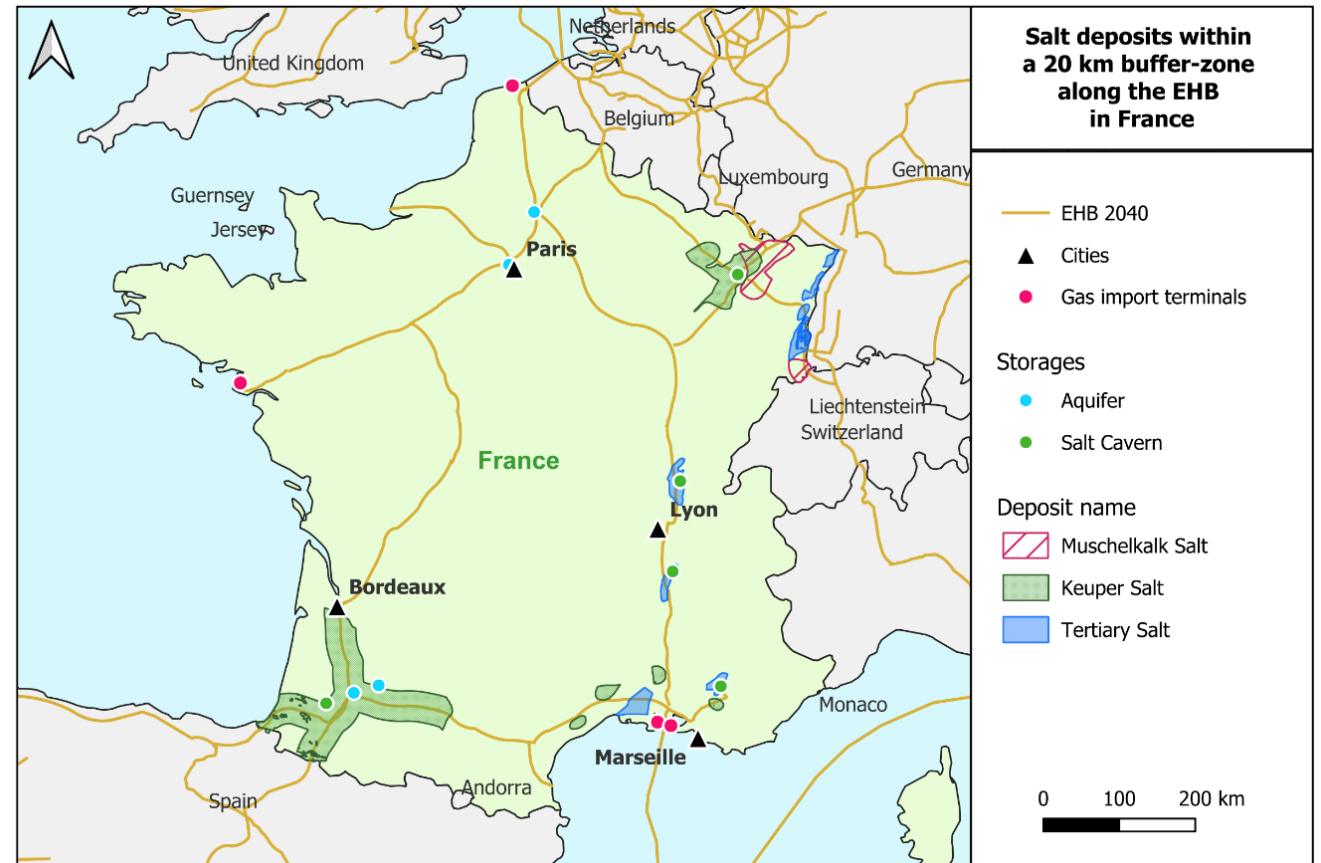
Frankreich

- Überlappung von Salzlagerstätten und EHB-Korridoren: 29.000 km² -> siehe Karte
- Reduktion aufgrund von Zugänglichkeit, Salzeigenschaften, Soleabnahme usw.: 33 km²



Realistisches Wasserstoffspeicherpotenzial in
(neuen) Salzkavernen: 23 TWh

- Die Soleabnahme/-einspeisung ist anspruchsvoll, aber selbst in kleinen Lagerstätten in der Nähe von Industriezentren gibt es Speicherkavernen.

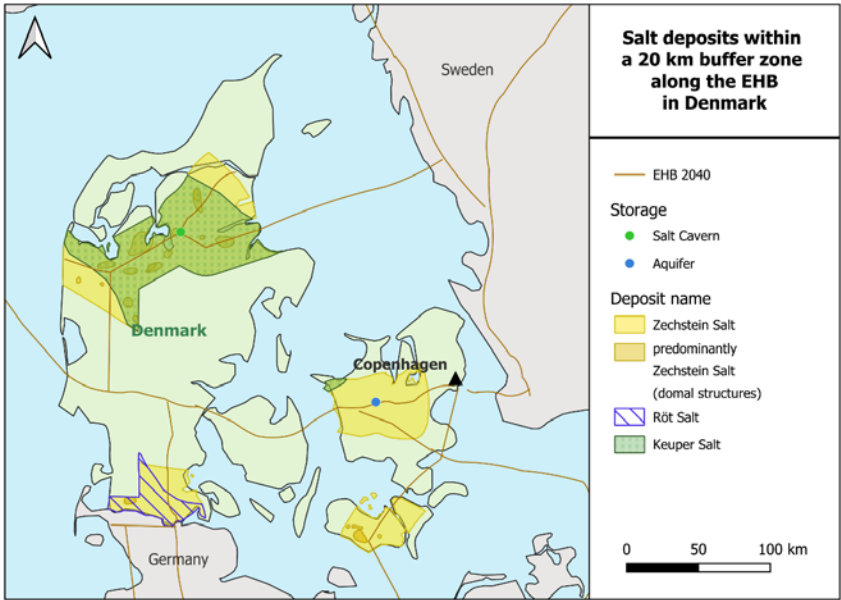


Own representation of data provided by SMRI (Horvath et al., 2018) and EHB (<https://www.ehb.eu/>, retrieved 04/04/2024)

Länderspezifische Bewertung des Speicherpotenzials

- **Dänemark:** Bewertung basierend auf Skalierungsfaktoren
- **Niederlande/Großbritannien:** Vorhandene detaillierte Bewertung verwendet

Own representation of data provided by SMRI (Horvath et al., 2018) and EHB (<https://www.ehb.eu/>, retrieved 04/04/2024)



Land	Salzfläche gesamt (EHB- Korridor) [km²]	Resultierende Fläche (EHB Korridor) [km²]	Resultierende Fläche (EHB & Sole- entsorgung) [km²]	Potentielle Kavernen (EHB & Sole- entsorgung)	H2 Speicher- potential (EHB & Sole- entsorgung) [TWh]
Deutschland	62 356	1 598	716	3 508	501
Frankreich	8 569		33	138	22.9
Dänemark	12 906		52-130	254-635	36-90
Niederlande			84	413	59
Großbritannien			75	366	52

Erhebliches Speicherpotenzial nach Bewertung
der infrastrukturellen und technischen
Randbedingungen



Zusammenfassung & Fazit

- Potenzial für den Ausbau neuer Wasserstoffkavernenspeicher in ausgewählten europäischen Ländern unter Berücksichtigung technischer und infrastruktureller Einschränkungen bewertet
- Fokus auf Entfernung zu Wasserstoffpipelines (EHB) und Soleabnahme/-entsorgung
- Realistisches Speicherpotenzial von mindestens **671 TWh** ermittelt

Vergleich mit dem Speicherbedarf:

- *Potential übersteigt Bedarf deutlich
(unter den zugrunde gelegten Annahmen).*

- *Neue Speicher sind erforderlich,
Umbaupotential (Erdgaskavernen), reicht selbst
bei kürzlich reduziertem Bedarf (161–270 TWh)
nicht aus.*

Land	H2 – Speicher- bedarf 2030* [TWh]	H2 – Speicher- bedarf 2050* [TWh]	H2 – Speicherpotential (umgebaute Erdgaskavernen) [TWh]	H2 – Speicherpotential (Neubau) [TWh]
Dänemark	0.7	5.3	1.3	36
Frankreich	8.2	43.1	2.5	23
Deutschland	15.9	111.4	39.5	501
Niederlande	6.3	31.6	0.9	59
Großbritannien	6.9	57.9	3.7	52
Europa (gesamt)*	72.2	466.4	50	>671

Ansprechpartner

Michael Glöckner

Senior Projekt-Ingenieur

T +49 3731 20008 19

michael.gloeckner@esk-projects.com

Maurice Schlichtenmayer

Teamleiter Geoenergie

T +49 2301 91202 28

maurice.schlichtenmayer@esk-projects.com



Danke an:



HyPSTER Partner



SMRI & EHB (European Hydrogen Backbone)



Clean Hydrogen Partnership