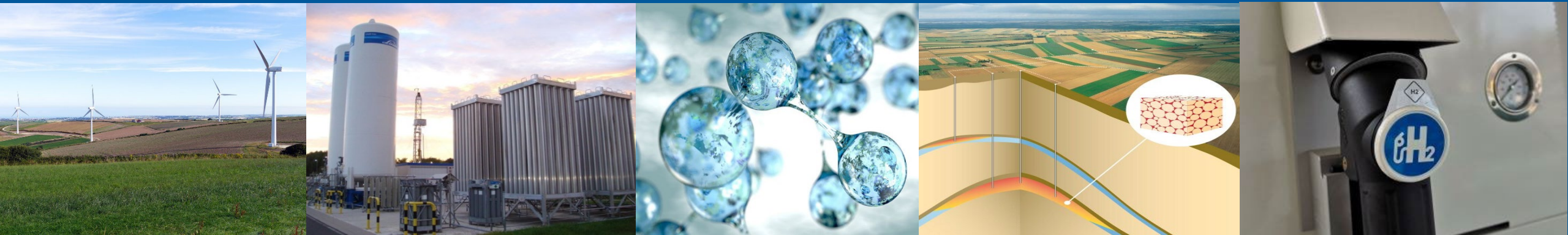
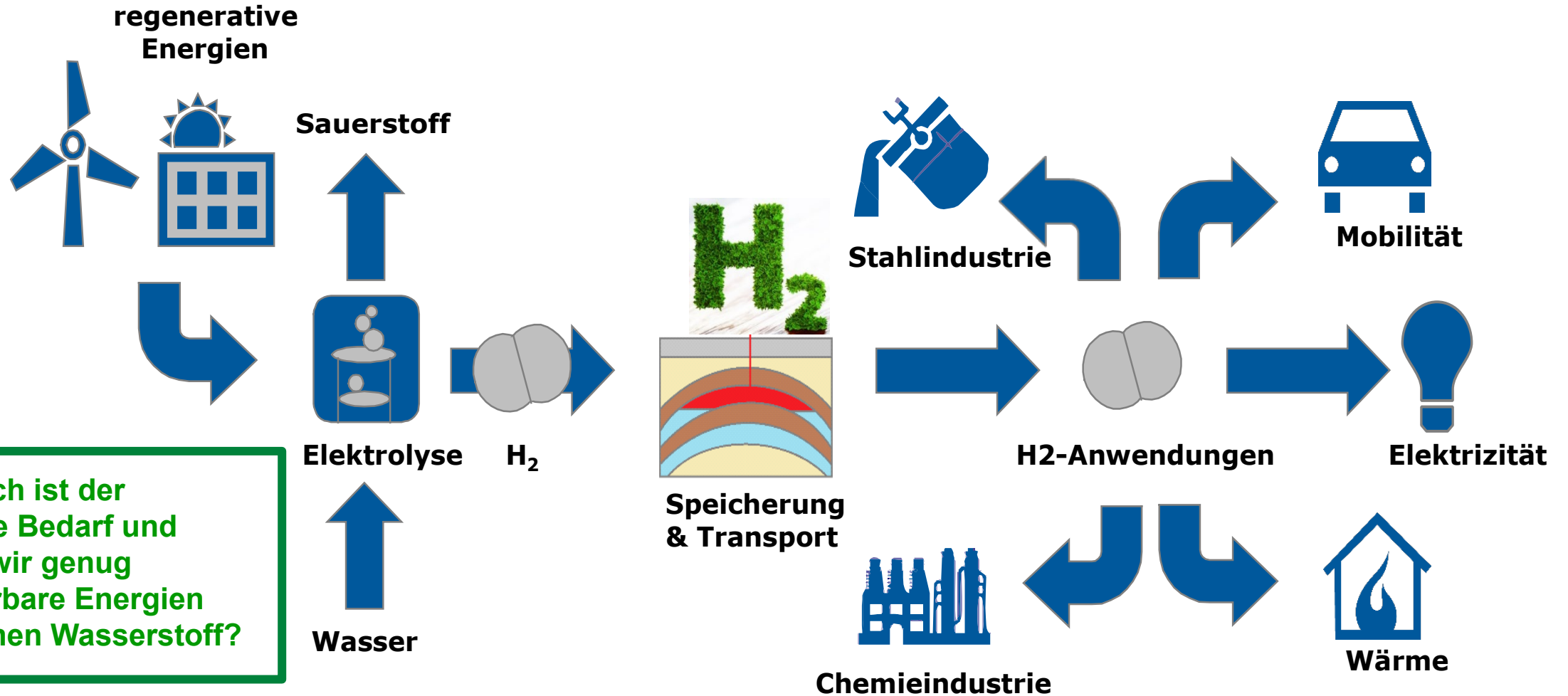


Der Energieträger Wasserstoff und seine Speicherung im geologischen Untergrund

Dr. Peter Pilz, GFZ Potsdam,
Sektion 4.8 Geoenergien



Wasserstoff als Energiespeichermedium





Möglicher H₂-Bedarf in einem zukünftigen dekarbonisierten Energiesystem

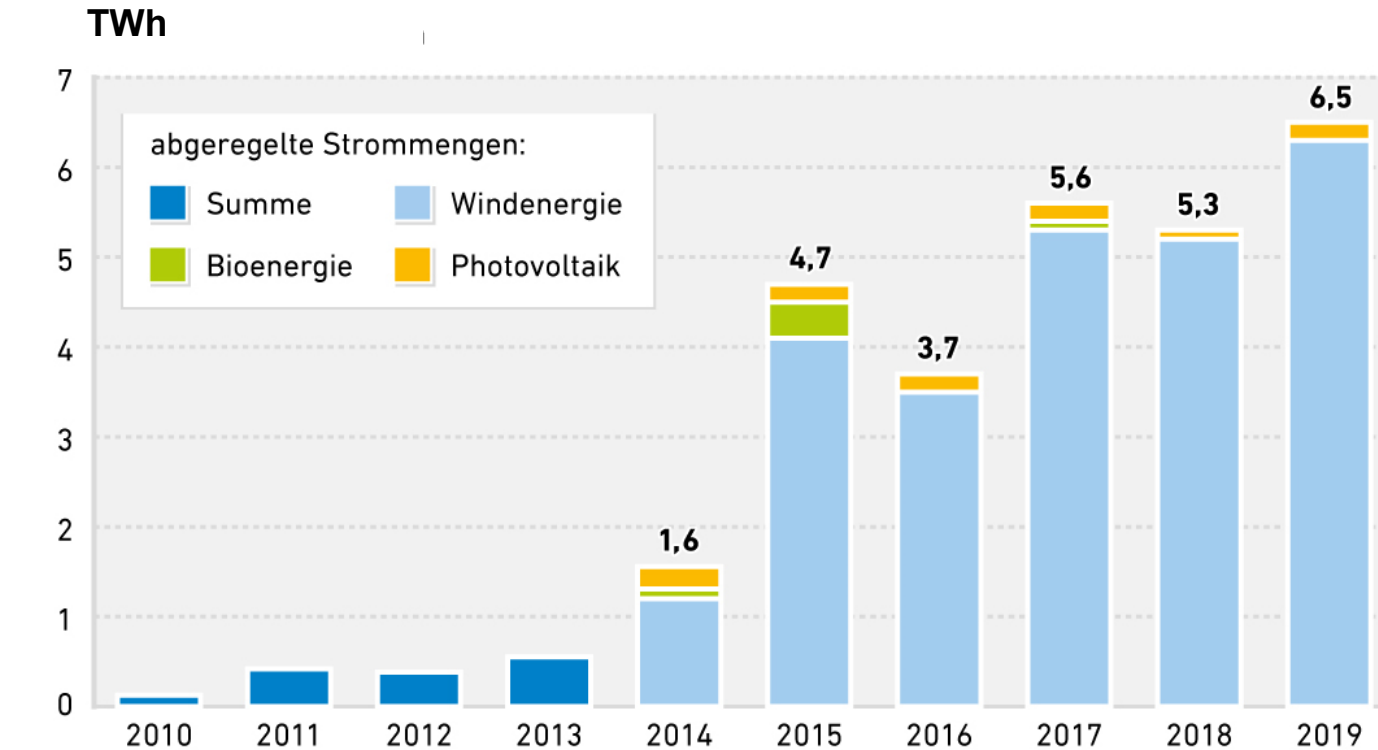
Parameter	Region	2030		2050	
		Scenario A	Scenario B	Scenario A	Scenario B
Wasserstoffbedarf (TWh)	Deutschland	4	20	250	800
	EU	30	140	800	2250
Elektrolysekapazität (GW)	Deutschland	1	5	50	80
	EU	7	35	341	511

Bandbreiten für **H₂-Bedarf** und **Elektrolysekapazität**; nach [Fraunhofer H₂ Roadmap für Deutschland \(2019\)](#):
Szenario A: fast vollständige elektrifizierte Welt / **Szenario B**: elektrifizierte und auf Synfuel basierende Welt

Andere Studien: [NOW \(2018\)](#), [Dena \(2018\)](#), [BDI \(2018\)](#), [ES2050 \(2020\)](#)

Die Bandbreiten ergeben sich aus: Szenario mit 85%, 90% oder 95% Emissionsreduzierung, Durchbruch von Technologien, Entwicklung neuer Speichermedien und Energieimportszenarien

Erneuerbare Energien: Stromverluste durch Einspeisemanagement



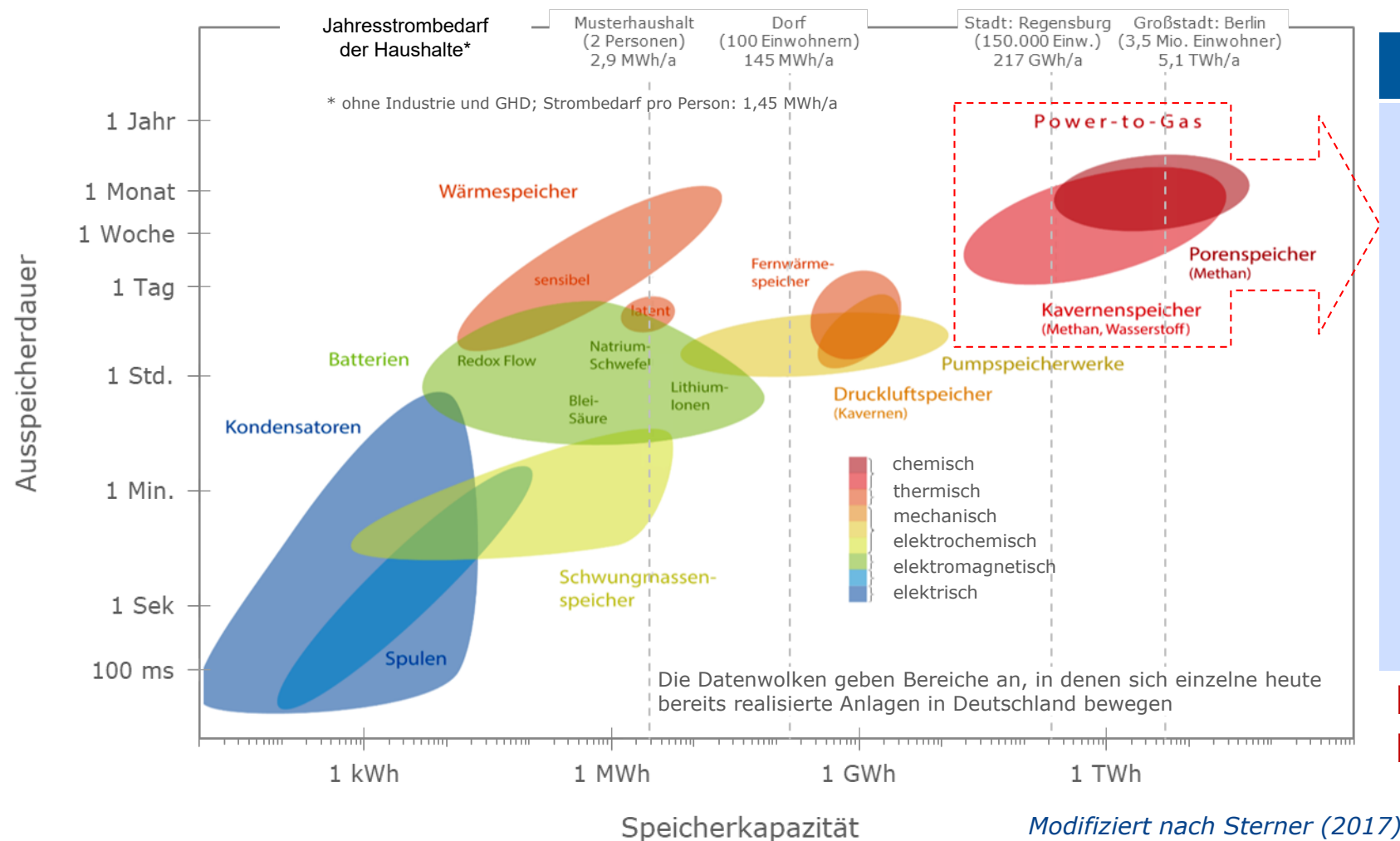
Quelle: Bundesnetzagentur
Stand: 5/2020

© 2020 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.



- seit 2017 gingen durch das Einspeisemanagement mehr als 5 TWh/Jahr an Erneuerbarer Energie (EE) verloren
- seit 2014 sind das in Summe mehr als 27 TWh
- mit zunehmendem Anteil der EE an der Gesamtenergieversorgung wird auch dieser Betrag steigen
- statt Anlagen abzuregeln, wäre es sinnvoller, die Energie zu speichern

Welche Speichermöglichkeiten gibt es?



Untergroundspeicher

- Die einzige Speicheroption im TWh-Bereich
- Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Saisonale Speicherung (CH_4 , CO_2 , H_2)
- Die Speicherung chemischer Energie wird auch im zukünftigen Energiesystem eine entscheidende Rolle spielen

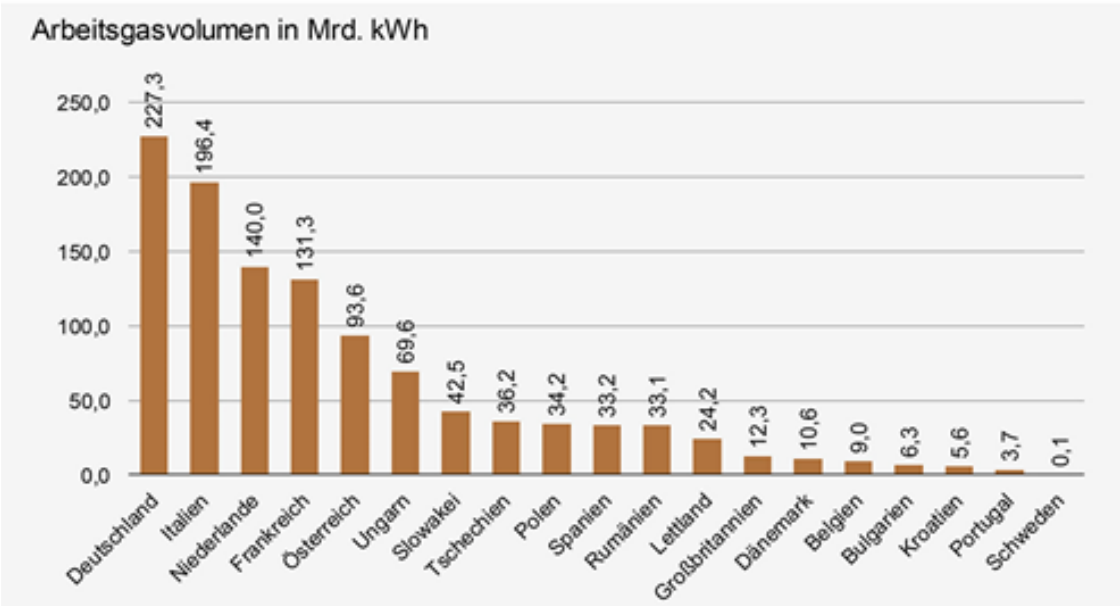
Power-to-Gas zur langfristigen Energiespeicherung



Deutschland hat die größte Gasspeicherkapazität der EU und steht weltweit an vierter Stelle

- Der Erdgasverbrauch unterliegt je nach Temperatur großen saisonalen Veränderungen
- seit über 60 Jahren Erfahrung mit unterirdischer Speicherung in Deutschland
- **Geologische Speicher:** erschöpfte Öl- und Gasfelder, Grundwasserleiter, Salzkavernen, Felskavernen, stillgelegte Bergwerke
- **378 Einzelspeicher in Deutschland in Betrieb** (Status 2020): **362 Kavernen** (dazu 40 im Bau), **16 Porenspeicher** (Aquifere, erschöpfte Öl- und Gaslagerstätten)

Deutschland mit EU-weit höchsten Speicherkapazitäten für Erdgas



(Quelle: Gas Infrastructure Europe, GIE)

	Porenspeicher	Kavernenspeicher	Speichervolumen total
Arbeitsgasvolumen der Speicher in Betrieb Mrd. Nm ³	8,6	15,3	23,9

Erdöl, Erdgas, Kohle – EEK, 2020

Bewertungs- und Benchmarking-Ergebnisse

Quelle: HyUnder Project, 2013

											Salt Caverns	Depleted Oil Fields	Depleted Gas Fields	Aquifers	Lined Rock Caverns	Unlined Rock Caverns	Abandoned Salt Mines	Abandoned Limestone M.	Pipe Storage	Weighting coefficient	
Safety																					
Tightness of Storage	++	+	++	++	+	-	o	-	--	++	2	Rating: very good ++ good + fair o poor - insufficient --									
Feasibility to prove tightness	++	++	++	+	o	-	--	--	--	++	2										
Practical experience	++	o	+	+	o	o	o	-	--	++	2										
Technical feasibility																					
Working gas capacity	+	++	++	++	o	-	+	+	o	--	1,5										
Flexibility	++	o	o	o	+	+	+	+	+	++	1,5										
Content of impurities	++	-	o	+	++	+	++	++	-	++	1,5										
Damage to storage by reactions	++	-	-	-	++	++	++	++	-	++	1,5										
Investment costs																					
Exploration efforts	+	+	++	-	o	o	+	+	o	++	1										
CAPEX	+	+	++	+	-	-	+	+	+	--	1										
Operation																					
Static and dynamic stability	++	+	+	+	++	+	o	o	o	++	0,5										
OPEX	++	o	+	+	++	o	+	+	-	++	0,5										
Rank	1.	5.	2.	3.	4.	6.															

Rating:	
very good	++
good	+
fair	o
poor	-
insufficient	--

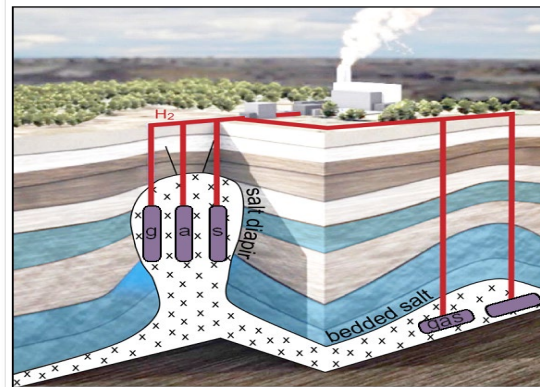
Ergebnis:

1. Salzkavernen
2. Erschöpfte Öl- und Gasfelder
3. Saline Aquifere

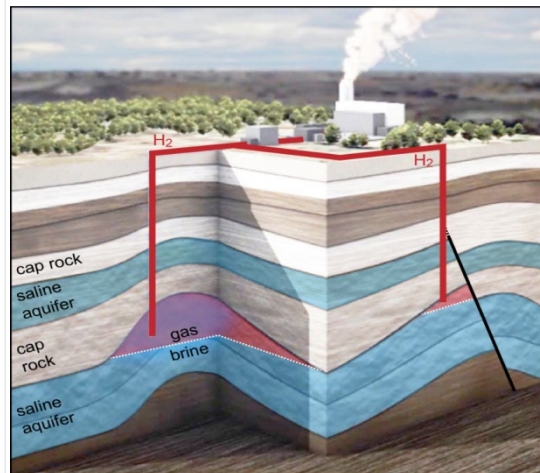
Geologische Unterspeicher



Kavernenspeicher



Aquiferspeicher



(nach Liebscher et al., 2016)

Vorteile

- Hohe Ein- und Ausspeicherraten, bei hohen Drücken
- Geringer Kissengasanteil und Wassergehalt im Fördergas
- kaum Gasverluste, keine Mineralreaktionen

Nachteile

- Setzungen im Top der Kaverne möglich: Grundbrüche
- Sole-Entsorgung stark beschränkt, teuer
- Hoher Genehmigungs- und Zeitaufwand (grüne Wiese: ± 10 a)
- Eingeschränkte räumliche Verfügbarkeit
- Volumenverlust durch Kavernenkonvergenz

Vorteile

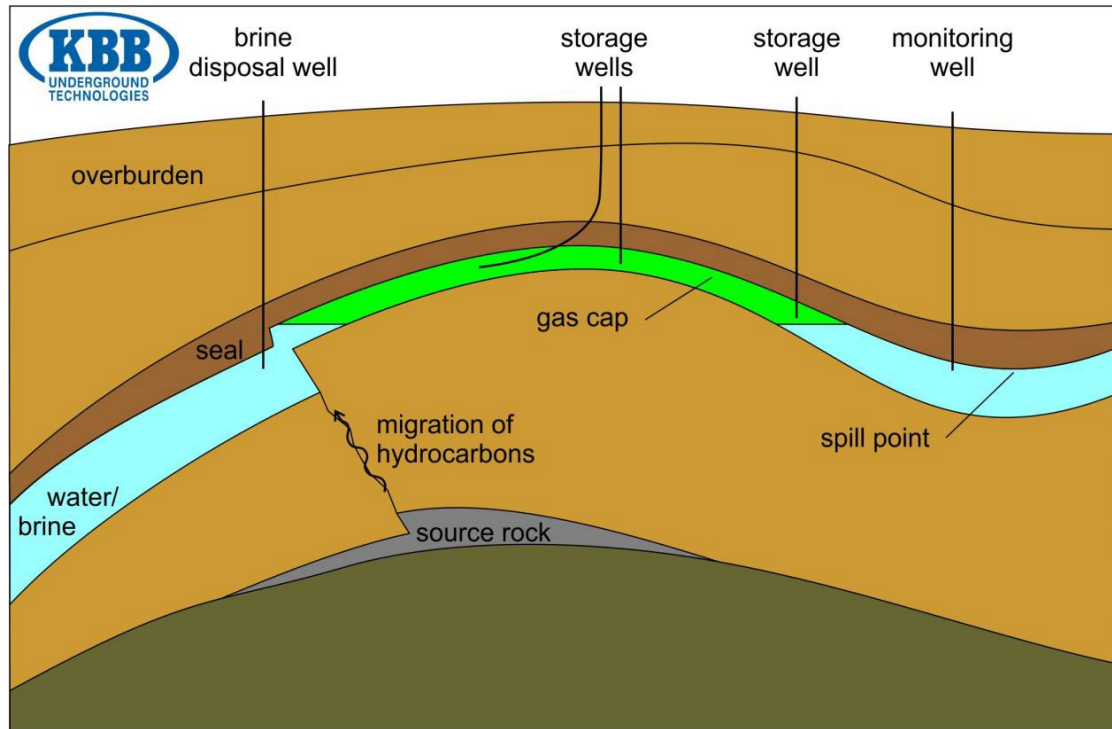
- Große räumliche Verfügbarkeit
- Sehr hohe Speichervolumina
- Langzeitstabilität des Speichervolumens
- Keine Setzungen

Nachteile

- Mikrobiologische Umwandlung bei $< 100^\circ\text{C}$ $\rightarrow$ Gaskonversion
- Mineralreaktionen sind möglich (z. B. Sulfide $\rightarrow$ Sauergas)
- Hoher Kissengasanteil
- Speicherbetrieb muss im Aquifergleichgewicht erfolgen
- Hoher Wassergehalt im Fördergas

Geologische Untergrundspeicher

Ausgeförderte Öl- und Gaslagerstätten



Quelle: HyUnder Project, 2013

Vorteile

- Gut erforschte und langzeitdiche Reservoirs
- umfangreiche Datenbanken und Modelle existieren
- Restgas ist als Kissengas verwendbar
- Wiederverwendung bestehender Oberflächen- und Bohrlochanlagen
- Anbindung an vorhandene Infrastruktur
- Ein geringerer Wassergehalt im Reservoir unterstützt eine effiziente Gasinjektion

Nachteile

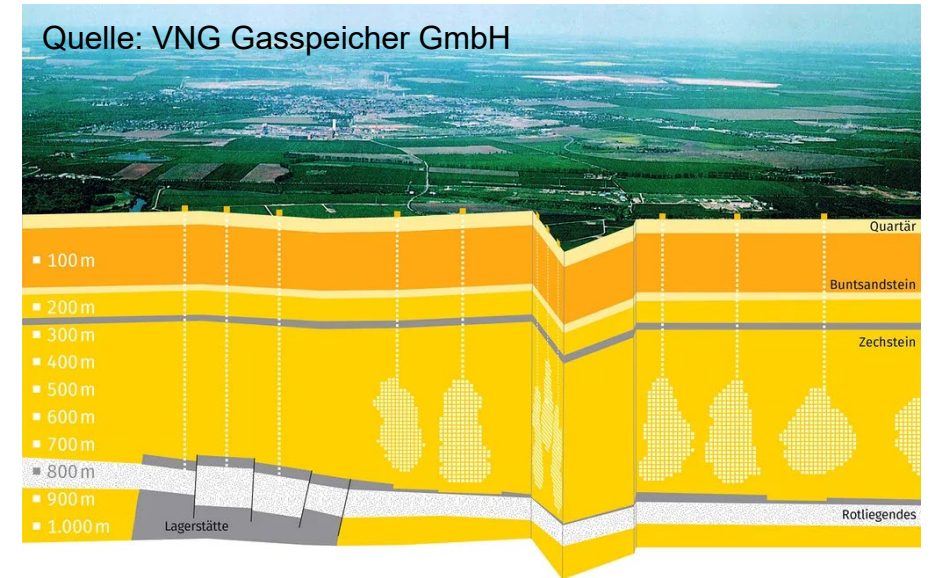
- geochemische und mikrobiologische Reaktionen
- H_2 -Verluste durch Blockaden des Porenraumes möglich
- Unterdruck führt zu betrieblichen Einschränkungen
- großes verfügbares Speichervolumen benötigt große Gasmengen (Gasverdünnung)
- alte und korrodierte Sonden schwächen die Integrität der Deckschichten
- hoher Anteil an Begleitgasen bei der Gasrückförderung



Beispiel I – Salzkavernen

- Im Rahmen der HYPOS-Forschungsinitiative wurde **2019** in Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt) ein Reallabor mit H₂-Forschungskaverne gestartet; Betreiber ist die VNG Gasspeicher GmbH
 - Der Speicher wird in die bestehende H₂-Infrastruktur des mitteldeutschen Chemiedreiecks (Leuna-Schkopau-Bitterfeld) eingegliedert.
 - **Forschungsschwerpunkt:** *Betriebskonzept, regulatorischer Rahmen, Genehmigungsplanung, Sicherheitskonzept, Kostenberechnung*
-
- Die Entwicklung einer H₂-Testkaverne in Rüdersdorf (Brandenburg) begann im **Februar 2021**, Betreiber EWE
 - Die H₂-Reinheit ist für Anwendungen im Mobilitätsbereich relevant und wird vom DLR mittels Qualitätsanalyse während des Speicher- und Rückförderprozesses untersucht
 - **Forschungsschwerpunkt:** *Kenntnisse über den Reinheitsgrad des injizierten und entnommenen Wasserstoffs gewinnen.*

Quelle: VNG Gasspeicher GmbH



Quelle: www.cleanthinking.de

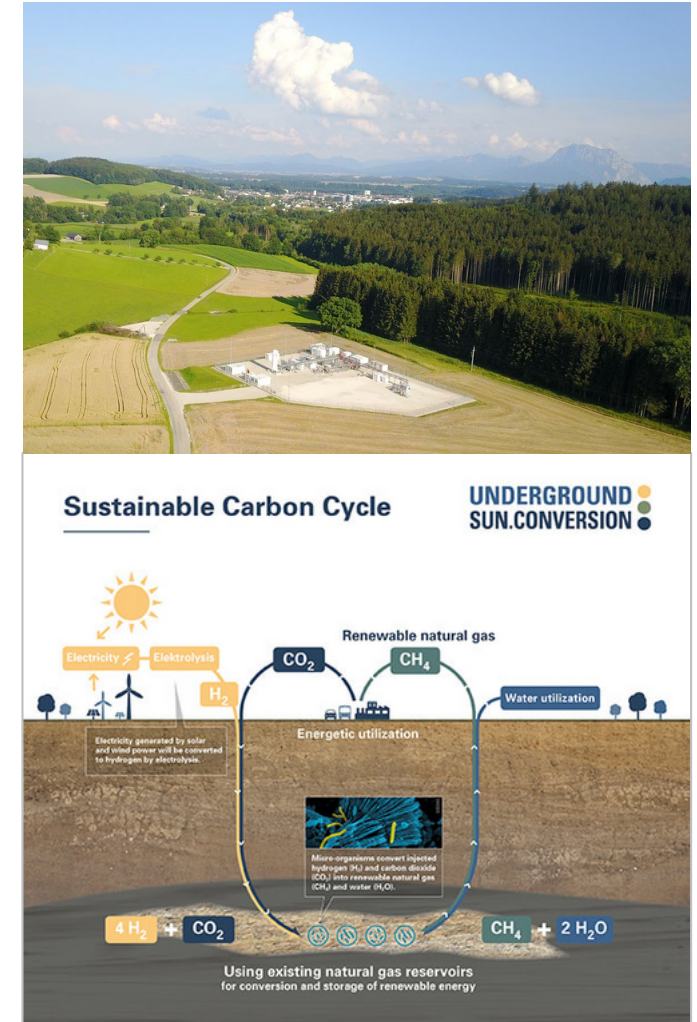


Beispiel II – Erschöpfte Gaslagerstätte

- Projekt **Underground SUN.STORAGE** → Speicherung von CH_4 mit 10% H_2 in einer ehemaligen Methanlagerstätte (~1000 m Tiefe) in Pilsbach, Oberösterreich; 2017 erfolgreich vom Betreiber RAG abgeschlossen.
- **H_2 -Verlust 18%** nach 3 Monaten Ein- und Ausspeicherung und 4 Monaten Standzeit: davon 5% Kissengas, 3% Methanisierung, 7,5-10% Lösungs- und Diffusionsverluste
- Ein Folgeprojekt mit der Speicherung von 100% H_2 ist geplant

- Projekt **Underground SUN.CONVERSION** → Speicherung von CH_4 mit 20% H_2 im RAG-Speicher Pilsbach.
- Ziel des Forschungsprojekts ist es, die vorhandene poröse Gesteinsstruktur als natürlichen Bioreaktor für den Methanisierungsprozess zu nutzen.
- Seit Dez.2020 läuft das Nachfolgeprojekt →
Underground Sun Conversion – Flexible Storage (USC-FlexStore).

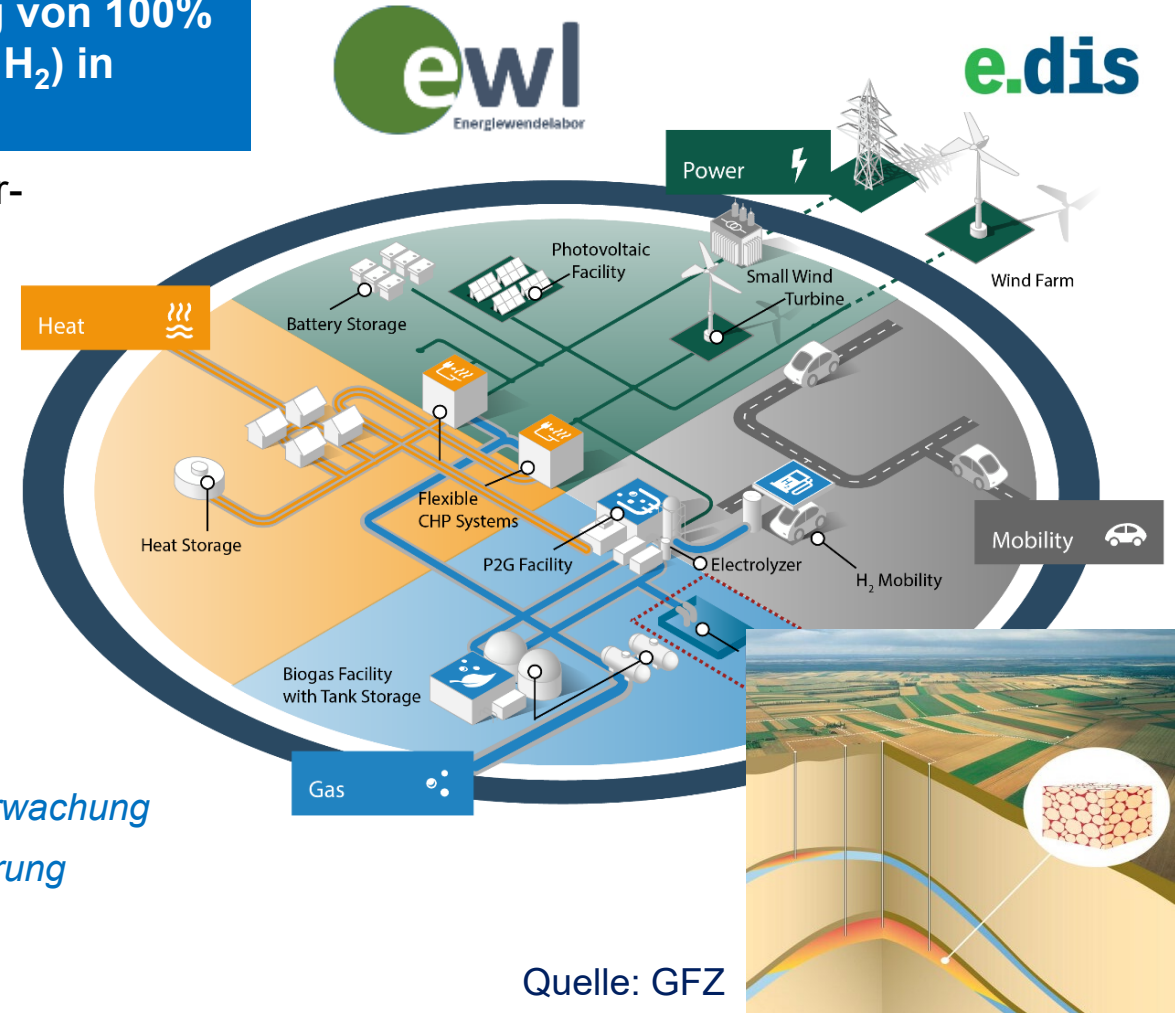
Quelle: RAG Austria



Bisher gibt es noch keine Erfahrungen mit der Speicherung von 100% H₂ im salinen Aquifer, dafür aber mit Stadtgas (50-60 Vol.%. H₂) in Ketzin (Brandenburg)

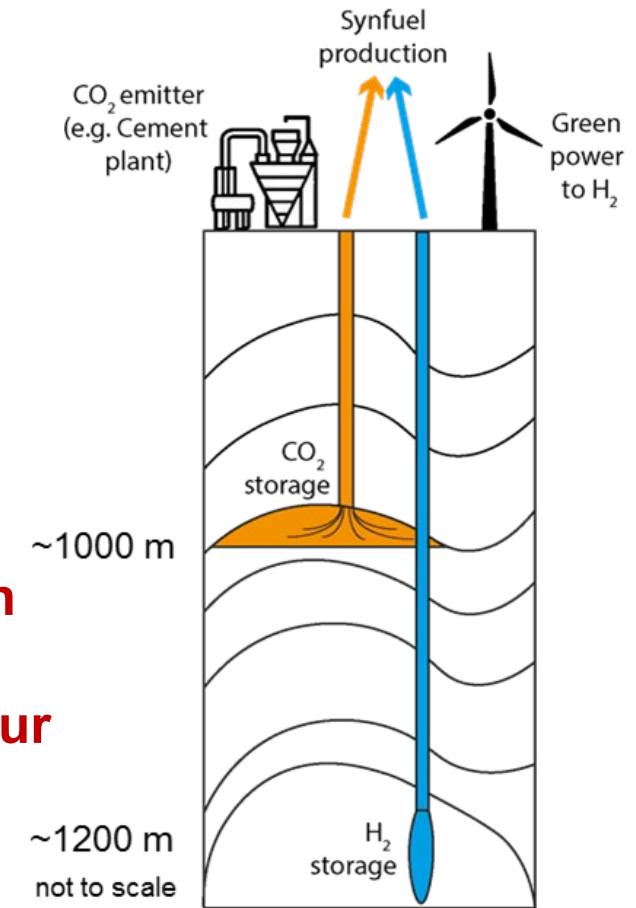
Lokale Industriepartner planen ein Energiewendelabor mit Sektorkopplung in Ketzin/Havelland. Dazu hat das GFZ ein H₂-Aquiferspeicherexperiment mit folgenden Aufgaben konzipiert:

- *abiotische und biotische Reaktionen mit den Reservoir- und Deckgesteinen sowie Formationsfluid*
- *H₂-Löslichkeit im Formationsfluid*
- *Materialintegrität (Stahlkorrosion, Diffusion)*
- *Gaskonversion (z. B. Methanogenese, $4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$)*
- *Interaktion mit organischen Gesteinskomponenten (Kohle, Öl, Erdgas)*
- *petrophysikalische Parameter (z. B. H₂-Durchlässigkeit, Permeabilität, Porosität) der Reservoir- und Deckgesteine*
- *Entwicklung und Anwendung geeigneter Methoden zur Sicherheitsüberwachung*
- *Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer saisonalen H₂-Aquiferspeicherung*
- *Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik*



Regionale Wertschöpfungseffekte

Energieproduzenten	➡	steigender Strombedarf
Netzbetreiber	➡	Netzerweiterung und -upgrade
Speicherbetreiber	➡	zusätzliche geologische Speicher
CO ₂ -Emitter	➡	CO ₂ aus der Prozessindustrie
Kommunen	➡	Flächennutzung, Steuereinnahmen
Erdgas-/Erdölfirmen	➡	Wiederverwendung der Infrastruktur
Investoren	➡	Business case
Bevölkerung/Umwelt	➡	langfristigere Klimastabilität



Quelle: GFZ/POF IV



Zusammenfassung der Schwerpunkte

- ▶ Die Energiespeicherung in Salzkavernen kann mit akzeptablem Aufwand von Erdgas auf H₂ umgestellt werden und ist die erste Option für den Hochlauf des H₂-Marktes
- ▶ Ausgeförderte Öl- und Gaslagerstätten eignen sich aufgrund von hohen Kohlenwasserstoffrestgehalten im Gestein besonders für die mikrobielle H₂-Methanisierung (Zeithorizont: Monate).
- ▶ Saline Aquifere können bei (a) begrenzten Lösungs- und Diffusionsverlusten und (b) Eindämmung der mikrobiellen Aktivität auch geeignete H₂-Speicher sein.
- ▶ Die Voraussetzung für den Nachweis der technischen Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und langfristigen Sicherheit einer H₂-Aquiferspeicherung ist ein **Pilotprojekt**.
- ▶ Die geologischen Voraussetzungen, der Speicherbedarf und die wissenschaftlich-technischen Expertisen sind in Berlin-Brandenburg grundsätzlich vorhanden.
- ▶ Die Wertschöpfungseffekte in der Region wären erheblich.

**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit !**

***BRANDENBURG.
ES KANN SO EINFACH SEIN.***

