

Energiespeicherung im Untergrund



Prof. Mohammed Amro & Prof. i.R. Frieder Häfner
Geoströmungs-, Förder- und Speichertechnik
Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau

Gliederung

Einleitung

Zielsetzung der Speicherung

Speichermedien im Untergrund (Erdgas & Wasserstoff)

Herausforderungen (Tiefbohrtechnik, Soltechnik & Speichertechnik)

Energetischer Vergleich mit anderen Technologien

Zusammenfassung

Zielsetzung der Speicherung

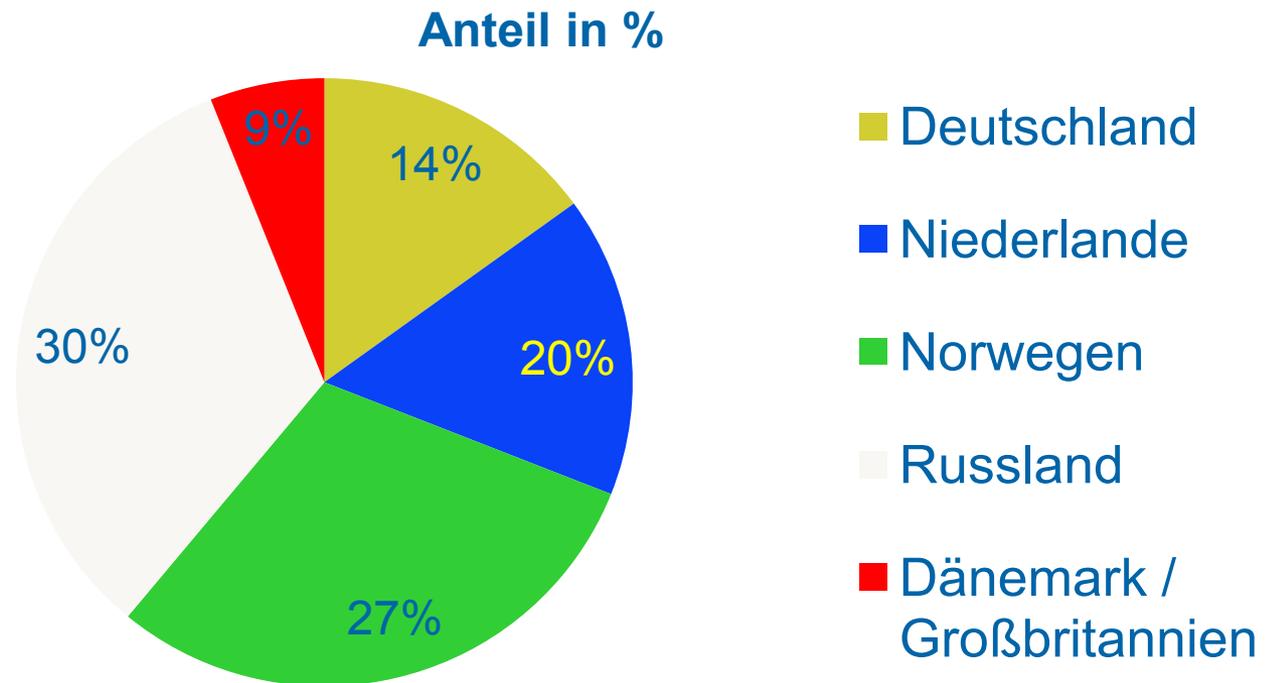
Speicherraum zu errichten, der eine kontinuierliche Energieversorgung ermöglicht.

Dabei muss erfüllt sein:

- Die Leistung muss jahres- und tageszeitliche Schwankungen ausgleichen können.
- Kurzzeitige Versorgungsengpässe (Stundenspeicherung) müssen überbrückbar sein.
- Der Speicher muss wirtschaftlich (!!) betreibbar sein.
- **Speichermedien:** Erdgas, Rohöl, Benzin, LPG, elektrische Energie via Druckluft (CAES) & Wasserstoff

Erdgasaufkommen für Deutschland nach Herkunftsländern

Jährlich werden rund 13 Mrd. m³ Erdgas aus inländischen Quellen gefördert. Dies entspricht etwa 14 % des deutschen Erdgasbedarfs.



Bewertung der unterschiedlichen Speichertechniken

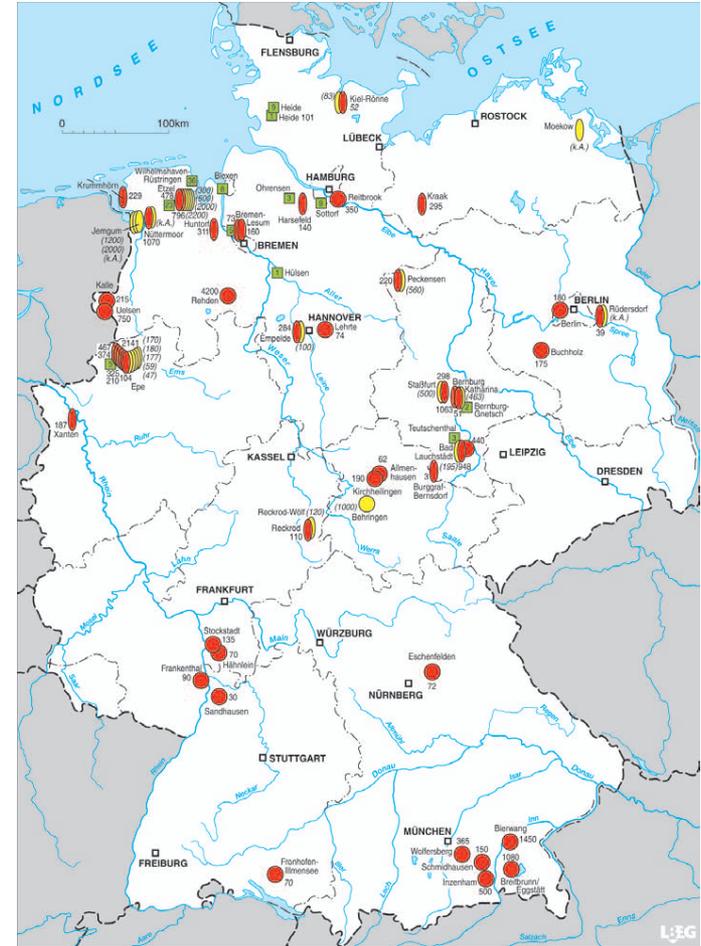
- Erdgasspeicherung
- Herkömmliche Pumpspeicherkraftwerke
- Pumpspeicherkraftwerke in Salzkavernen
- Power-to-Gas Prozess mit anschließender Gasspeicherung
- Druckluftspeicherung in Salzkavernen
- Wasserstoffspeicherung in Salzkavernen und ausgebeuteten Gaslagerstätten oder Aquiferlagerstätten.

Speicherlokationen in Deutschland

Über 80 % des verbrauchten Erdgases werden importiert.

Die Speicherkapazität zur Erdgasversorgung wird von 20 % (gegenwärtig) auf 25 % erhöht.

Die Einrichtung neuer und durch die Erweiterung bestehender Speicher zeigen einen deutlichen Aufwärtstrend bei der Untertagespeicherung.



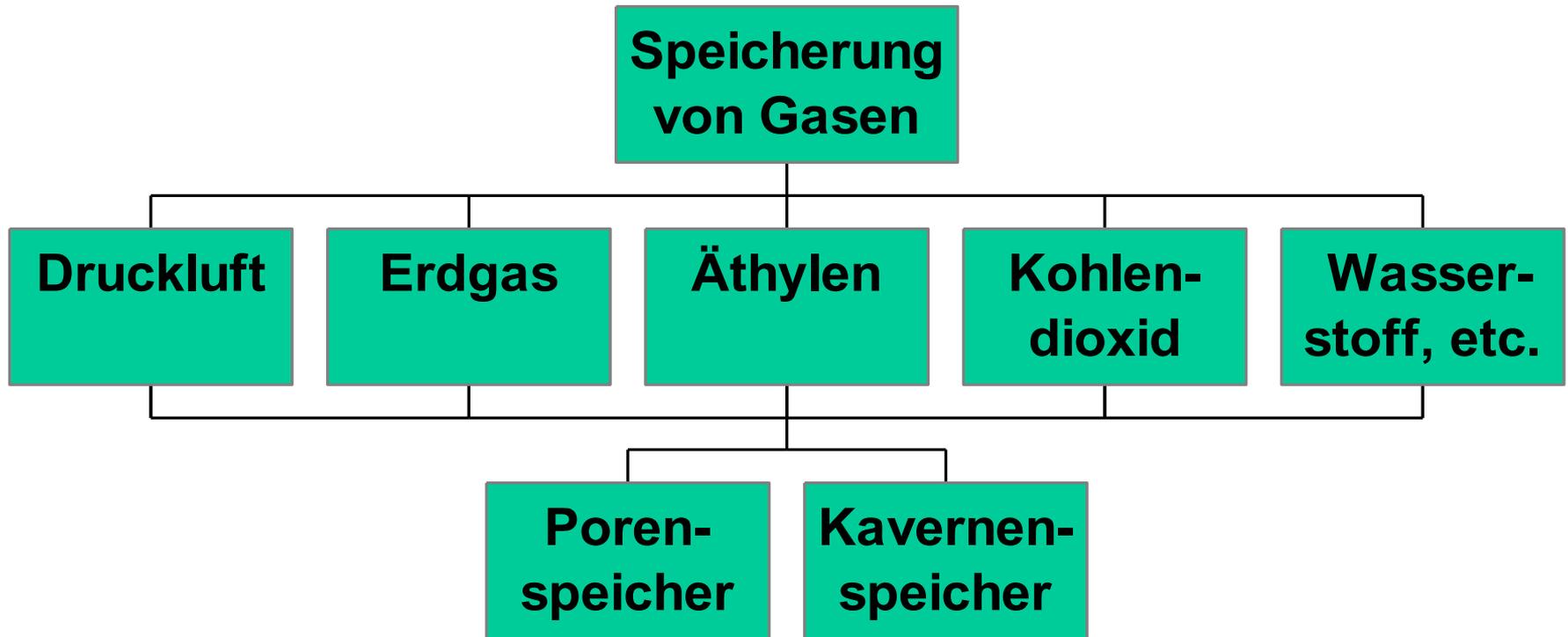
Erdgas		Kavernenspeicher	Rohöl, Mineralölprodukte, Flüssiggas
● in Betrieb mit max. Arbeitsgaskapazität nach Endausbau [Mio. m ³ (V ₀)]	● in Planung oder Bau mit voraussichtlicher max. Arbeitsgaskapazität [Mio. m ³ (V ₀)]	● in Betrieb	■ in Betrieb
□ Anzahl der Einzelspeicher		● in Planung oder Bau	

Kenndaten der deutschen Erdgasspeicherung

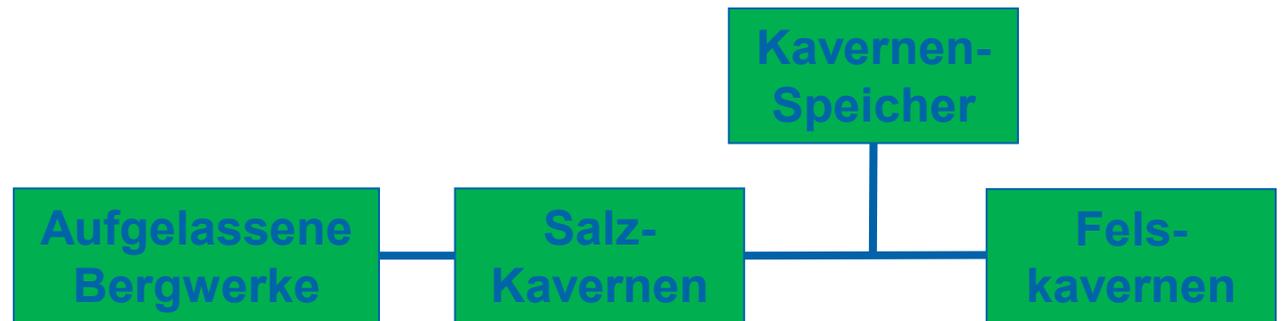
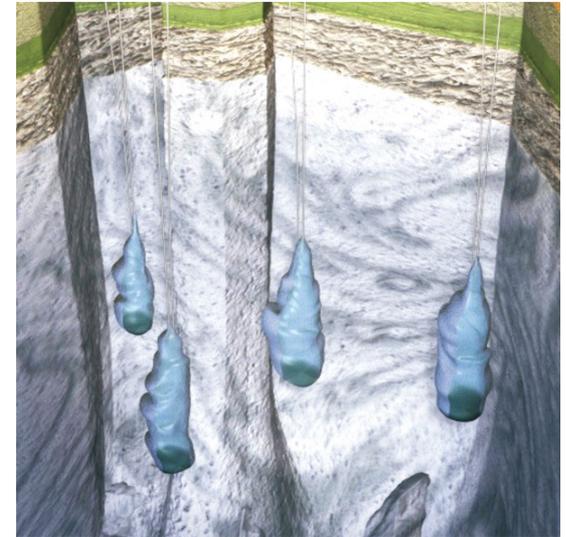
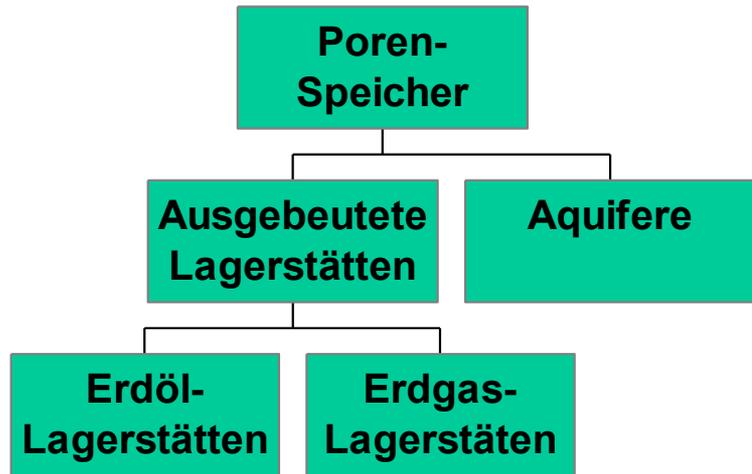
	Poren- speicher	Kavernen- speicher	Summe	± gegen 2010
★				
Arbeitsgasvolumen »in Betrieb nach Endausbau« ^(A)	10,7	10,6	21,3	-5,3 %
Plateau-Entnahmerate, Mio. m ³ (V _n)/d	178,1	342,8	520,9	+1,1 %
Theoretische Verfügbarkeit des Arbeitsgases*, Tage	59	29	39	-2
Anzahl der Speicher »in Betrieb«	22	26	48	+1
Arbeitsgasvolumen »in Planung oder Bau« ^(B) , Mrd. m ³ (V _n)	1,0	10,9	11,9	+5,3
Anzahl der Speicher (Planung oder Bau)	1	22	23	+2
Summe Arbeitsgas (A + B), Mrd. m ³ (V _n)	11,7	21,5	33,2	-1,8
* rechnerischer Wert bezogen auf Arbeitsgasvolumen »in Betrieb« (Arbeitsgas/Plateau-Entnahmerate). Stand: 31. 12. 2011				

★ Arbeitsgasvolumen ist in 2011 wegen der Aufgabe eines großen Speichers gesunken

Speicherung von Gasen



Speichertypen



Speicherung

Langzeitspeicherung:

- Porenspeicher
- H₂-Speicherung*)

Kurzzeitspeicherung:

- Konventionelle Pumpspeicherkraftwerke
- Pumpspeicher in Salzkavernen*)
- Adiabate Druckluftspeicherung*)
- Pumpspeicherung in aufgelassenen bergmännischen Hohlräumen*)

*) - Forschungsbedarf

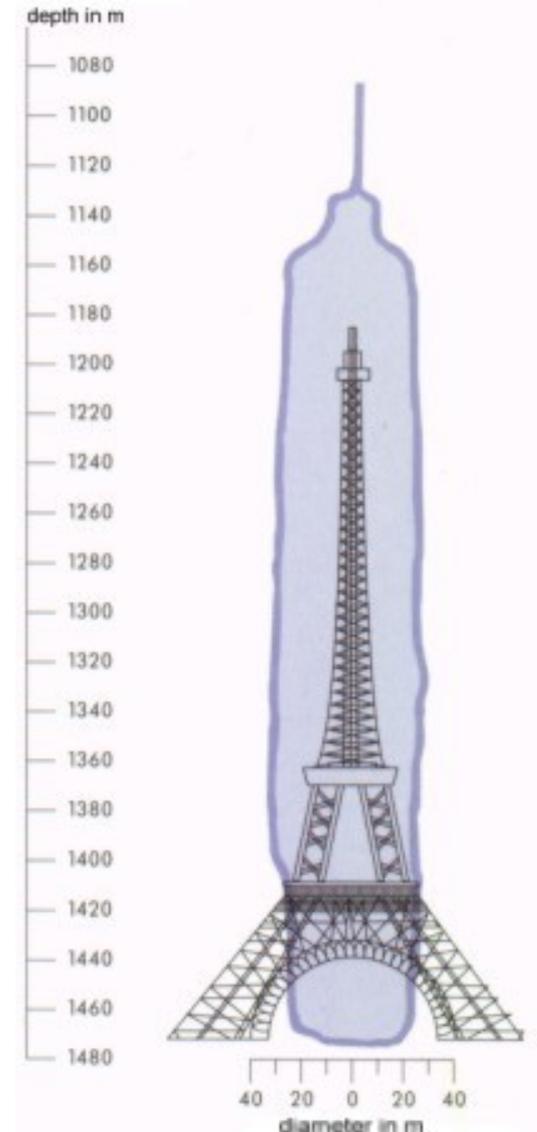
Salzkavernenspeicher

Salzkavernen sind **künstlich** angelegte Hohlräume in Salzformationen wie Salzstöcken oder Schichtensalzen.

Dabei handelt es sich um einen **kontrollierten Zirkulationsprozess** von Frischwasser.

Nach dem Aussolungsvorgang (hoch entwickelte Technik) von mehreren Jahren entstehen zylinder- oder kugelförmige Kavernen **mit Breiten und Längen von 60 bis 100 m bzw. 500 m**. Geometrische Volumina von ca. 800.000 m³ können realisiert werden. Zurzeit existieren **207 Kavernen**.

Das Salzgestein (viskoplastisch) ist unter üblichem Druck **undurchlässig**.

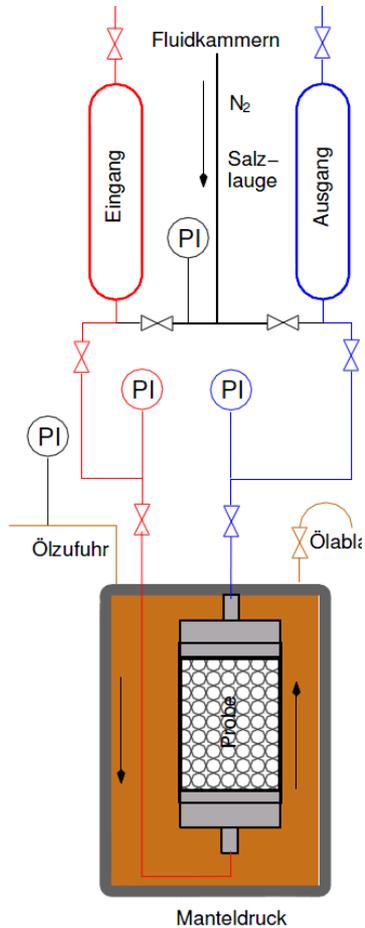


Herausforderungen

- Nachweis der Dichtheit des Deckgebirges / Caprock bzw. des Salzgesteins gegenüber CO_2 , H_2 , CH_4
- Physikalische / geologische / mikrobiologische Charakterisierung Caprock / Salzintegrität
- Komplexe Bohrlochprofile müssen bewältigt werden
- Materialauswahl und Beständigkeit gegen Diffusion, technische & thermische Belastungen
- Fernüberwachung
- Gaspipelines



Laborative Bestimmung der Porosität und sehr niedrige Permeabilitäten

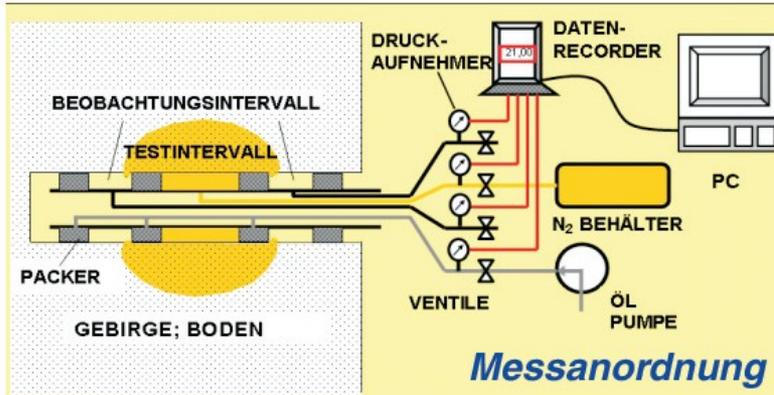


Zement-Salzgestein-Verbund

Kernuntersuchungen



Instationäre Vierfach-Packer-Apparatur zur In-situ-Messung der Permeabilität/Porosität



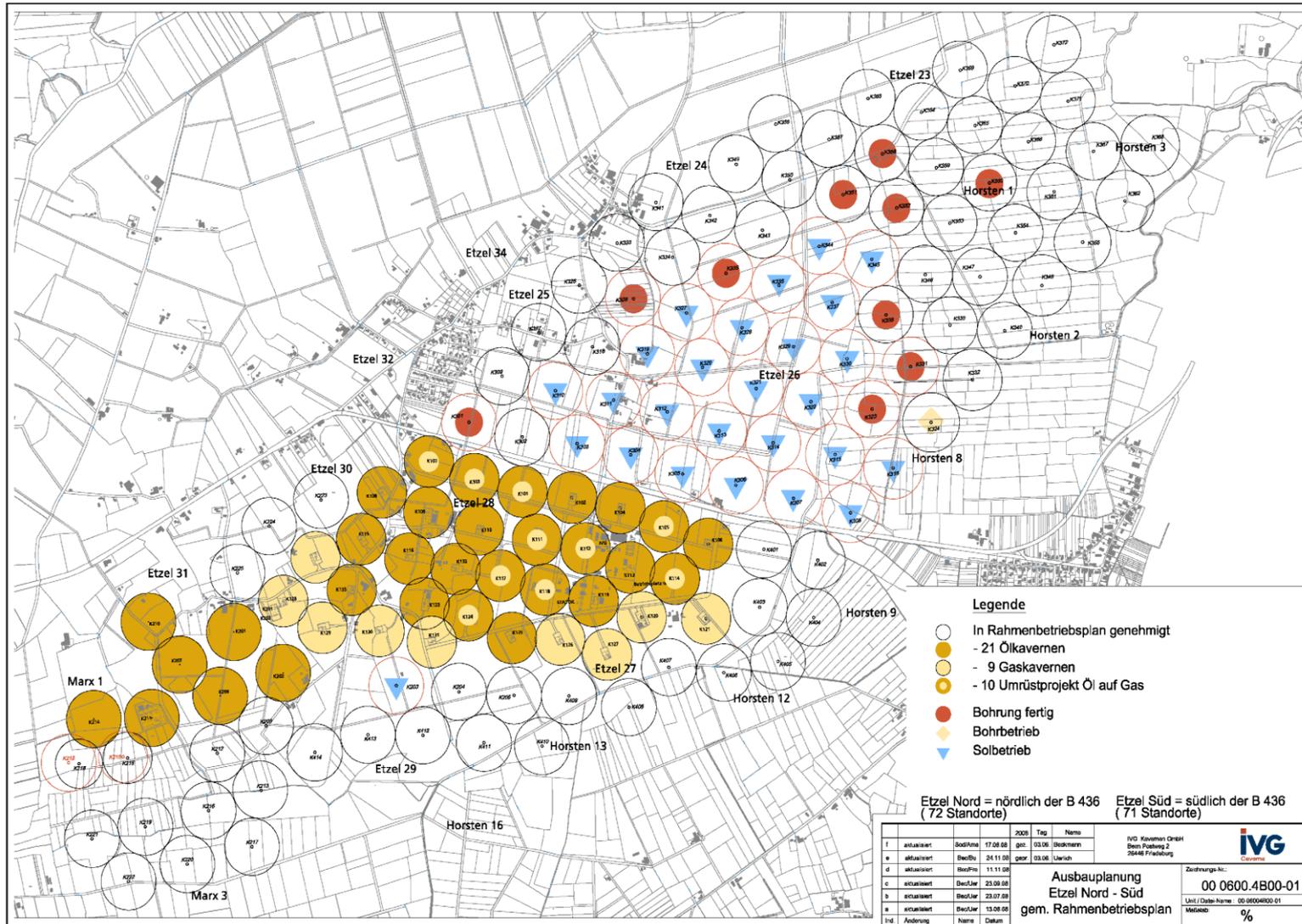






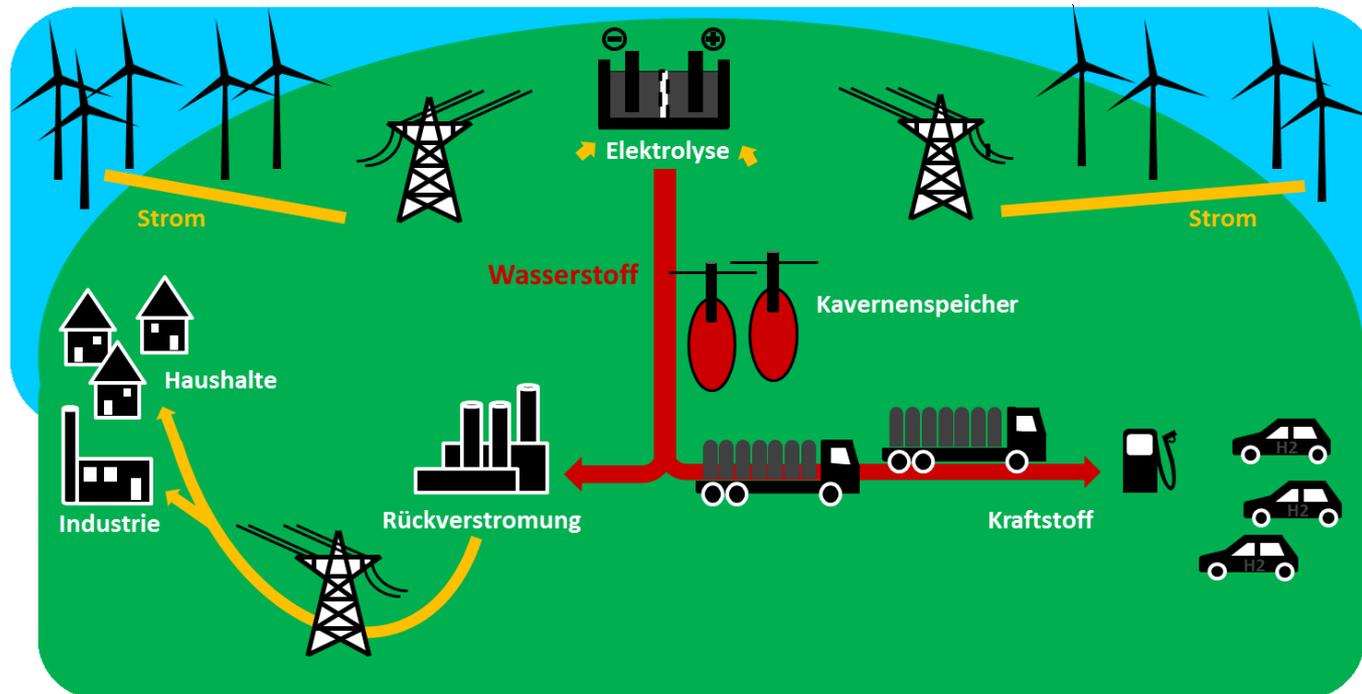


Entwicklung der Speicherkavernen in Etzel (Niedersachsen)



H2-Speicherung

- Windstrom > Wasserstoff > Speicher > $H_2 + CO_2 = CH_4$ > Strom
- **Wasserstoff-Speicher-System ($\eta > 40\%$)**
- **Jahrzeitlicher Ausgleich (Langzeitspeicher)**



H₂-Speicherung

- stellt aufgrund der spezifischen **physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften** besondere Anforderungen an eine untertägige Speicherung.
- Potenzielle Auswirkungen durch den Bakterienwachstum in **Poren-speichern** sind :
 - die Bildung von H₂S (Korrosion, Gasqualität)
 - die mikrobiologische Metabolisierung von H₂ zu CH₄
 - Verstopfungen des Porenraums durch Bakterienwachstum bzw. organische Stoffwechselprodukte sowie die Bildung von möglichen korrosiven organischen Säuren.

Das kann zum Verlust von Speicherkapazität führen!!

Physikalische Charakterisierung Caprock/ Salzintegrität

Bestimmung des Schwellendrucks von Caprocks für Wasserstoff (Porenspeicher).

Die Permeabilität von Salz- und Tongesteinen (viskoplastisch) hängt sehr stark vom Spannungs- und Verformungszustand ab.

Daher:

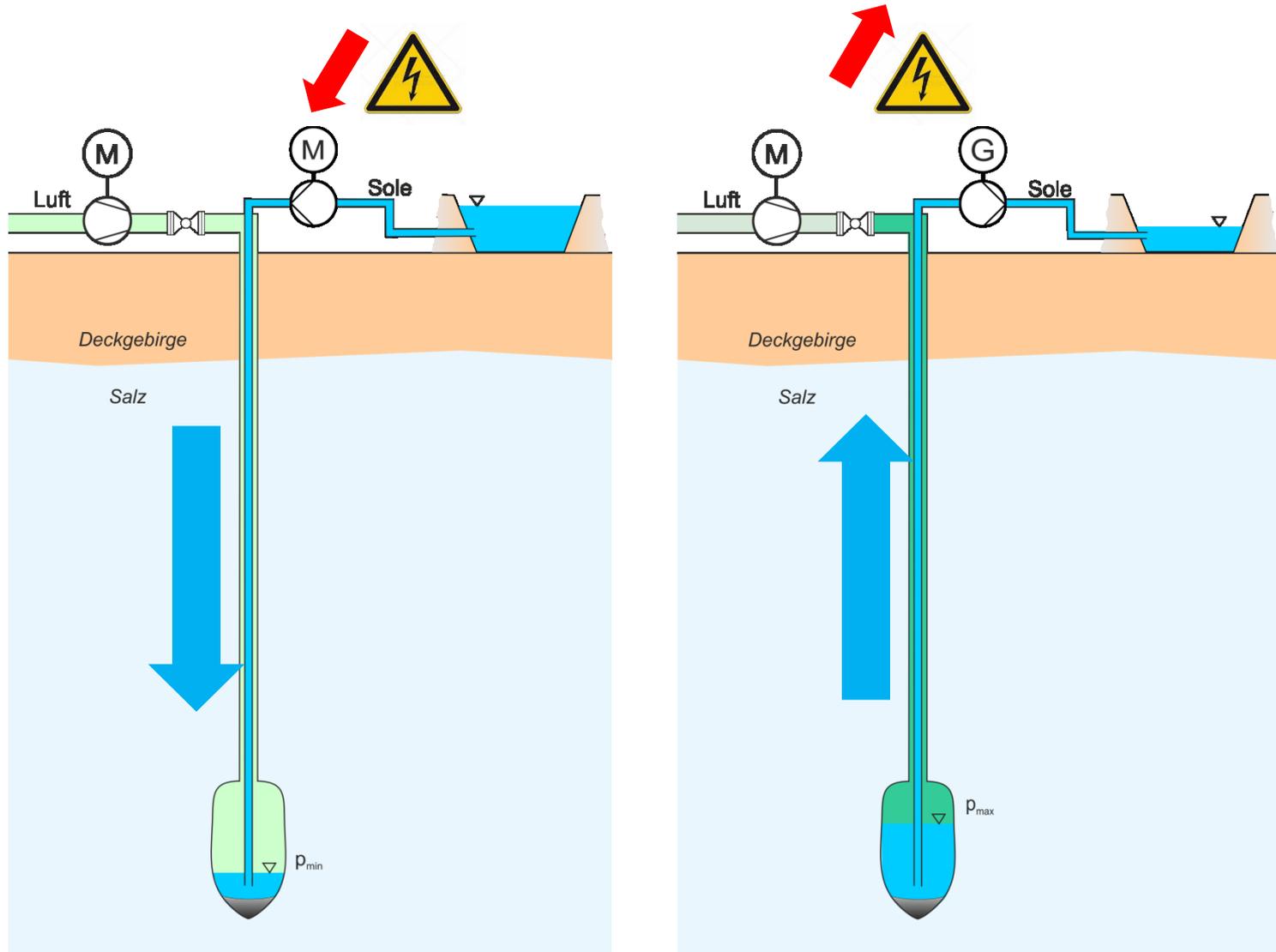
In-situ-Charakterisierung von Salzpermeabilitäten in Salzbergwerken notwendig.

Untersuchung zur Bohrungsdichtheit (speziell die Dichtheit des Verbunds von Zementstein – Rohrtour) bei Helium- und Wasserstoffbeaufschlagung.

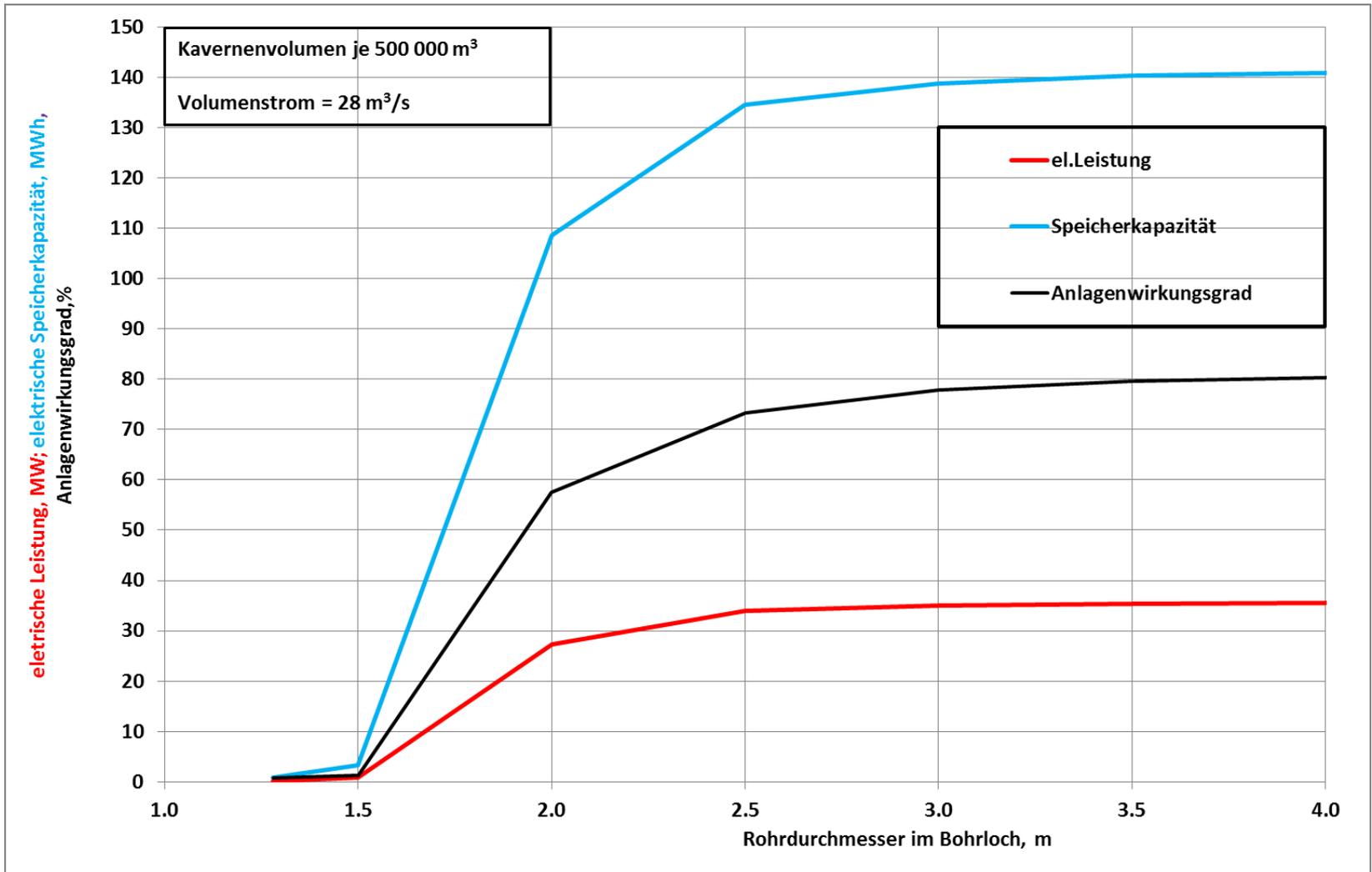
Kurzzeitspeicher

- Konventionelle Pumpspeicherkraftwerke
- Pumpspeicher in Salzkavernen
- Adiabate Druckluftspeicherung
- Pumpspeicherung in aufgelassenen bergmännischen Hohlräumen

Untertage-Pumpspeicher GLEITDRUCK



Leistungen eines Kavernenverbundes



Druckluftspeicherung

Diabatische Druckluftspeicherung: Zusammenstellung von bereits verfügbaren Komponenten

- Windüberschuss > Luft wird komprimiert
- Windmangel > Start mit Expander > Gasturbine übernimmt und verheizt Druckluft

Wirkungsgrad liegt zwischen $\eta = 42 \% - 54\%$

Spezifische Investitionskosten und Wirkungsgradvergleich

Prozess	Spezifische Investitionskosten nach Dena II, Mio. €/MW, (Mio. €/MWh Speicherkapazität)	Wirkungsgrad moderner Anlagen %	Heutiger realer Anlagenwirkungsgrad %
Pumpspeicherkraftwerke	0.7 (0.18)	80	70 (alle PSW Deutschlands, 2006, einschl. Eigenverbrauch)
Diabate Druckluftspeicher	0.55 (0.14)	53	42 % (Huntorf) 52% (McIntosh)
Adiabate Druckluftspeicher	0.7 (0.18)	59 (eigene Berechnung)	?
Pumpspeicher in Salzkavernen (PSWKav)	2.1 (0.54) (eigene Schätzung)	78 (eigene Berechnung)	?

Zusammenfassung

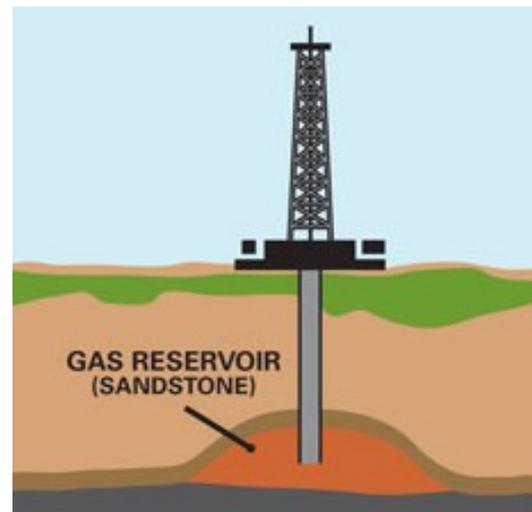
Salzkavernen können einen wichtigen Beitrag zur Kurzzeitspeicherung elektrischer Energie (Minuten/Stunden) leisten.

Zur Langzeitspeicherung (Monat/Jahresausgleich) wird hingegen nur die Energie-Wandlung in Gas mit anschließender Untergrundgas-speicherung in Frage kommen.

Bedarf an Forschung im Bereich der Integrität, Beständigkeit und Eignung der entsprechenden Speicherlokationen.

Zukünftiger Speicherbedarf hängt von der Umsetzung der Energiewende ab.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Literatur

- Bannach,A., M.Klafki: Adiabatic CAES Project – ADELE. SMRI Fall 2012 Techn.Conf., Bremen, 2012.
- BMWi: Monitoringbericht Versorgungssicherheit im Bereich leitungsgebundener Elektrizität. Stand Juli 2012. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2012.
- BMWi: Energiedaten. Datenbank des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, 2012.
- Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme. Technologie-Berechnung-Simulation. Carl Hansser Verlag, München, 2011.
- Häfner,F.: Simulation der Pumpspeicherung in Salzkavernen. TU Bergakademie Freiberg, unveröff. Software, 2012.
- Dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2015. Deutsche Energieagentur, Berlin, 2010.
- Beck,H.P., M.Schmidt (Hsg.): Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke. Abschlussbericht, Energieforschungszentrum Niedersachsen, 2011.