



Technische  
Hochschule  
Georg Agricola

# Herzlich Willkommen!





# 4. Informationsveranstaltung – Die Zukunft des Kavernenbetriebs im Eper Amtsvenn (u.a. Wasserstoff, Verwahrung)

Für die Forschungs Kooperation Epe:

Peter Goerke-Mallet, Benjamin Haske, Andre Homölle, Andreas Mütterthies, Holger Perrevort,  
Sebastian Teuwsen, Helmut Wüpping, Chia-Hsiang Yang, Tobias Rudolph, Carmen Tomlik

9. September 2022



DR.TOBIAS.RUDOLPH

[tobias.rudolph@thga.de](mailto:tobias.rudolph@thga.de)  
[www.thga.de](http://www.thga.de)  
[www.nachbergbau.org](http://www.nachbergbau.org)  
[www.eftas.de](http://www.eftas.de)  
[www.monitoring-epe.de](http://www.monitoring-epe.de)





**Wasserstoff**

## Hatten Sie schon mal Kontakt zum Wasserstoff?

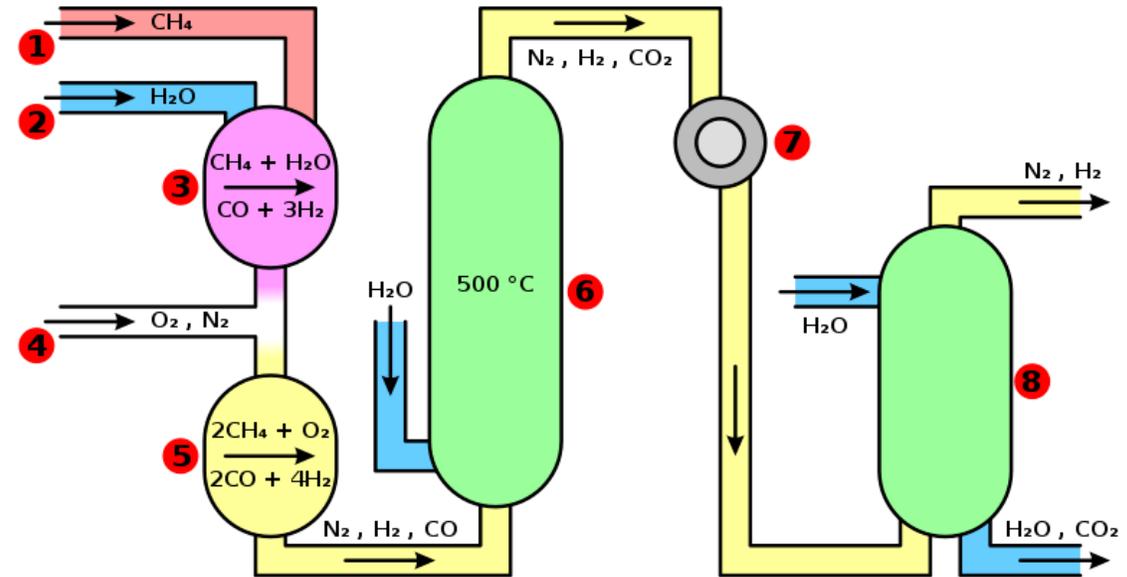
- ...
- ...
- ...



## Wasserstoff in der Raffinerie („Grauer Wasserstoff“)

Dampfreformierung mit partieller Oxidation,  
CO-Konvertierung und Kohlenstoffdioxidabsorption

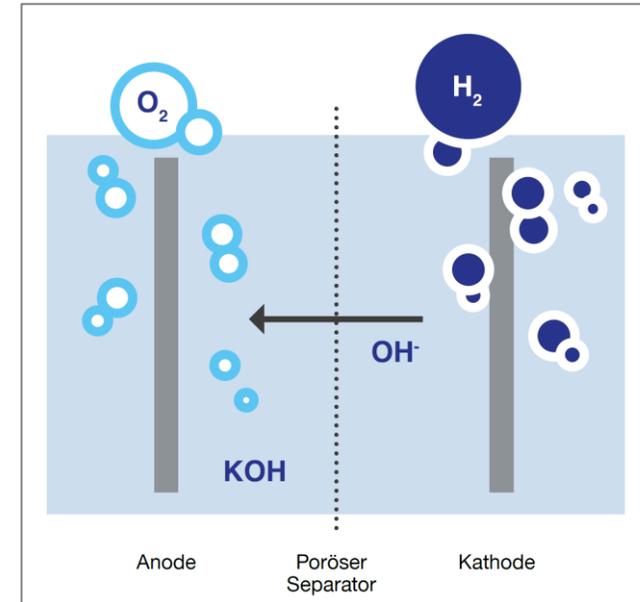
1. Zufuhr von Methan
2. Zufuhr von Wasser
3. Primärreformer
4. Zufuhr von Luft
5. Sekundärreformer Katalysator
6. Kompressor
7. Wäscher



- ➔ Erdgas zu Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid und Wasser
- ➔ Synthesegase, Düngerherstellung, Raffinierung von Mineralöl, synthetische Kraftstoffe, Kraftstoff

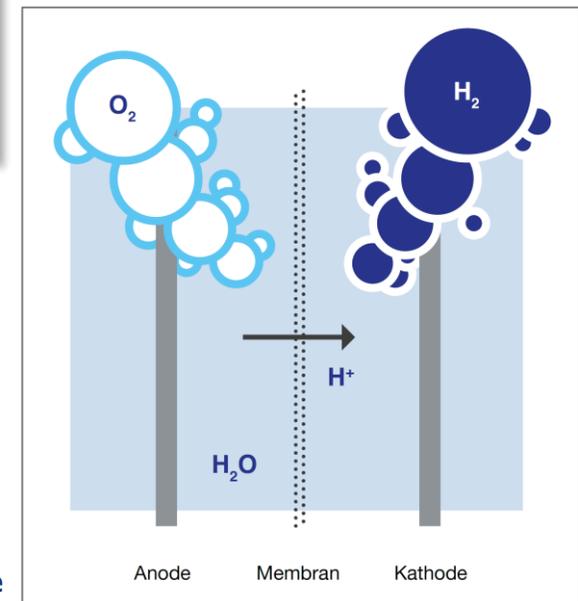
## Wasserstoff aus der Elektrolyse

- Die Elektrolyse benötigt einen Elektrolyseur
  - AEL-Elektrolyse (Alkalischer Elektrolyseur)
  - PEM-Elektrolyse (Saurer Elektrolyseur)
  - HTE-Elektrolyse (Hochtemperatur- oder Dampfelektrolyseur)
- Material/Geräte
  - Zwei Elektroden (Anode und Kathode)
  - Eine Gleichstromquelle
  - Ein Elektrolyt (elektrisch leitfähige Flüssigkeit) z.B. reines Wasser, alkalische Flüssigkeit



AEL-Elektrolyse

PEM-Elektrolyse



## Natürliche Vorkommen – I

- Natürliche Vorkommen sind selten, aber weltweit verbreitet
- Besonders starke Ausprägung in Kansas (USA) und Russland
- Höhere Anteile an Wasserstoff und anderen Gasen (Gas-Anomalien)

### Gasanalysen bekannter natürlicher, weltweiter Wasserstoffvorkommen

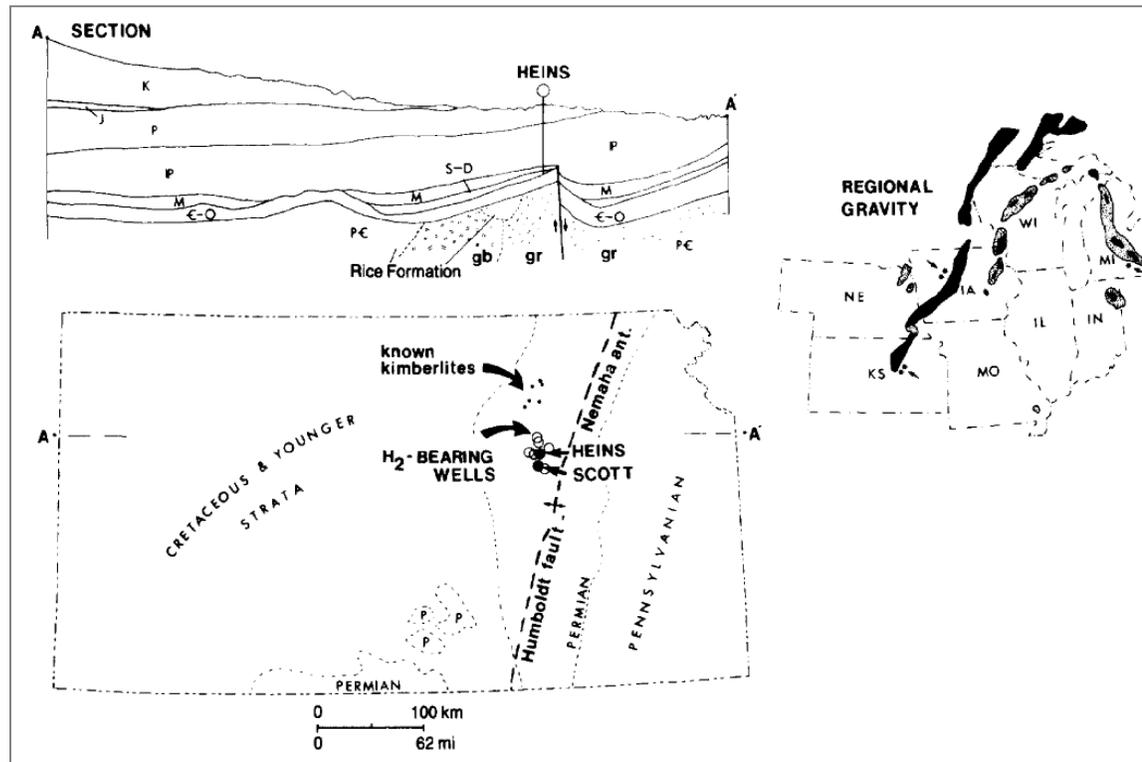
	Igneous Country Rocks				Mid-Continent Rift System			Sediments and Sedimentary Country Rocks			
	Philippine Islands, Zambales <sup>a</sup>	Nishna-Tagil'sk, USSR <sup>b</sup>	Hawqayn, Oman <sup>c</sup>	21°N, East Pacific Rise <sup>d</sup>	Webster County, Iowa <sup>e</sup>	Scott Well, Kansas <sup>f</sup>	Heins Well, Kansas <sup>g</sup>	Lubina Region, Poland <sup>h</sup>	Washtenaw County, Michigan <sup>i</sup>	Stavropol, USSR <sup>j</sup>	Mulhausen, Germany <sup>k</sup>
H <sub>2</sub>	41.4	66.5	45.0	52.46	96.3	34.7	29.6	73.1	26.0	27.3	61.5
CH <sub>4</sub>	52.6	9.5	3.2	0.86	0.1	0.03 <sup>1</sup>	0.6 <sup>1</sup>	0.43	69.0	51.0 <sup>1</sup>	22.5 <sup>1</sup>
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	2.1	0.0	—	—	—	—
N <sub>2</sub>	5.5?	20.7	43.0	41.45	3.5	61.0	67.7	26.5	3.6	20.3	14.3
O <sub>2</sub>	0.5	3.3	9	—	—	4.6	4.6	—	0.8	0.8	—
Ar	—	0.2 <sup>2</sup>	—	0.52	—	1.1	0.7	—	—	—	—
CO <sub>2</sub>	—	—	15.5	4.71	—	0.2	0.01	—	0.6	0.0	1.6

- Prozesse und Vorkommen geknüpft an die Verwitterung tiefer vulkanischer Gesteine oder an ein frühes Entweichen des Wasserstoffgas aus dem KW-Muttergestein

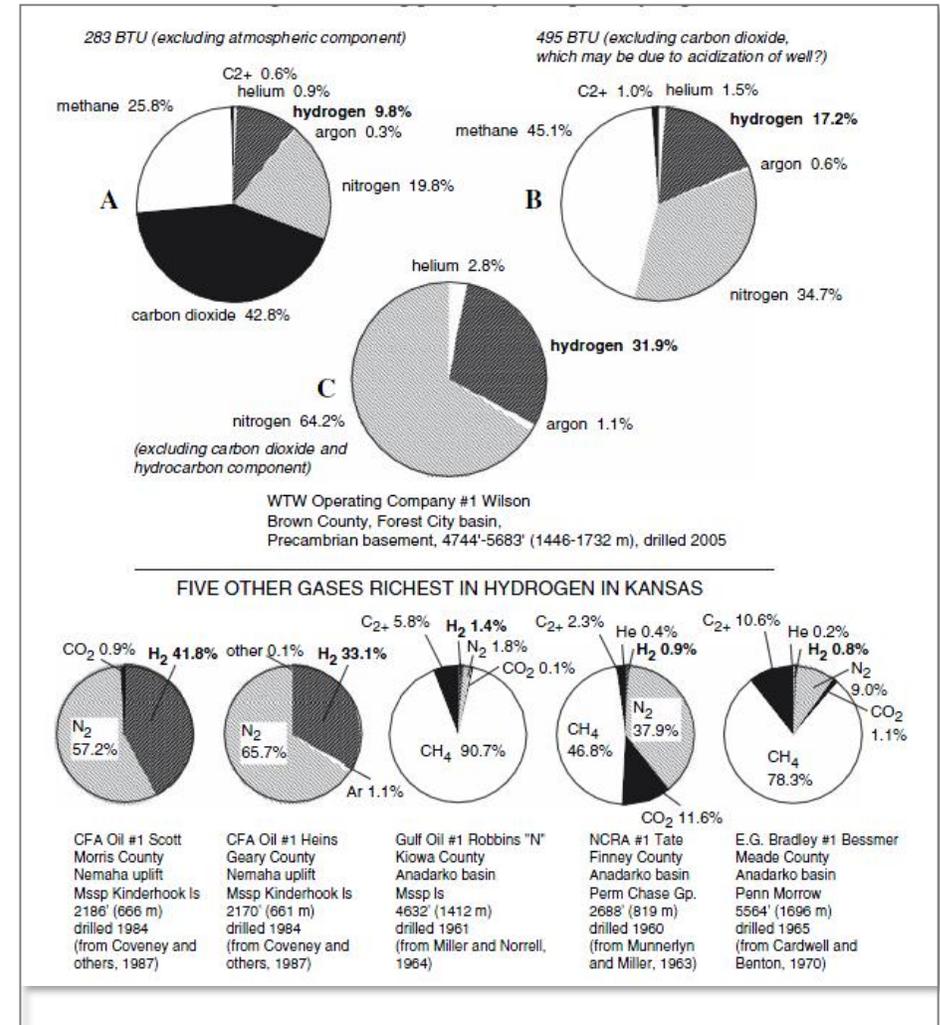
# Beschreibung: Natürliche Vorkommen II

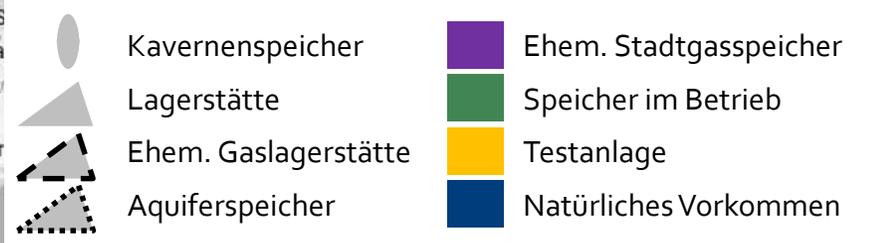
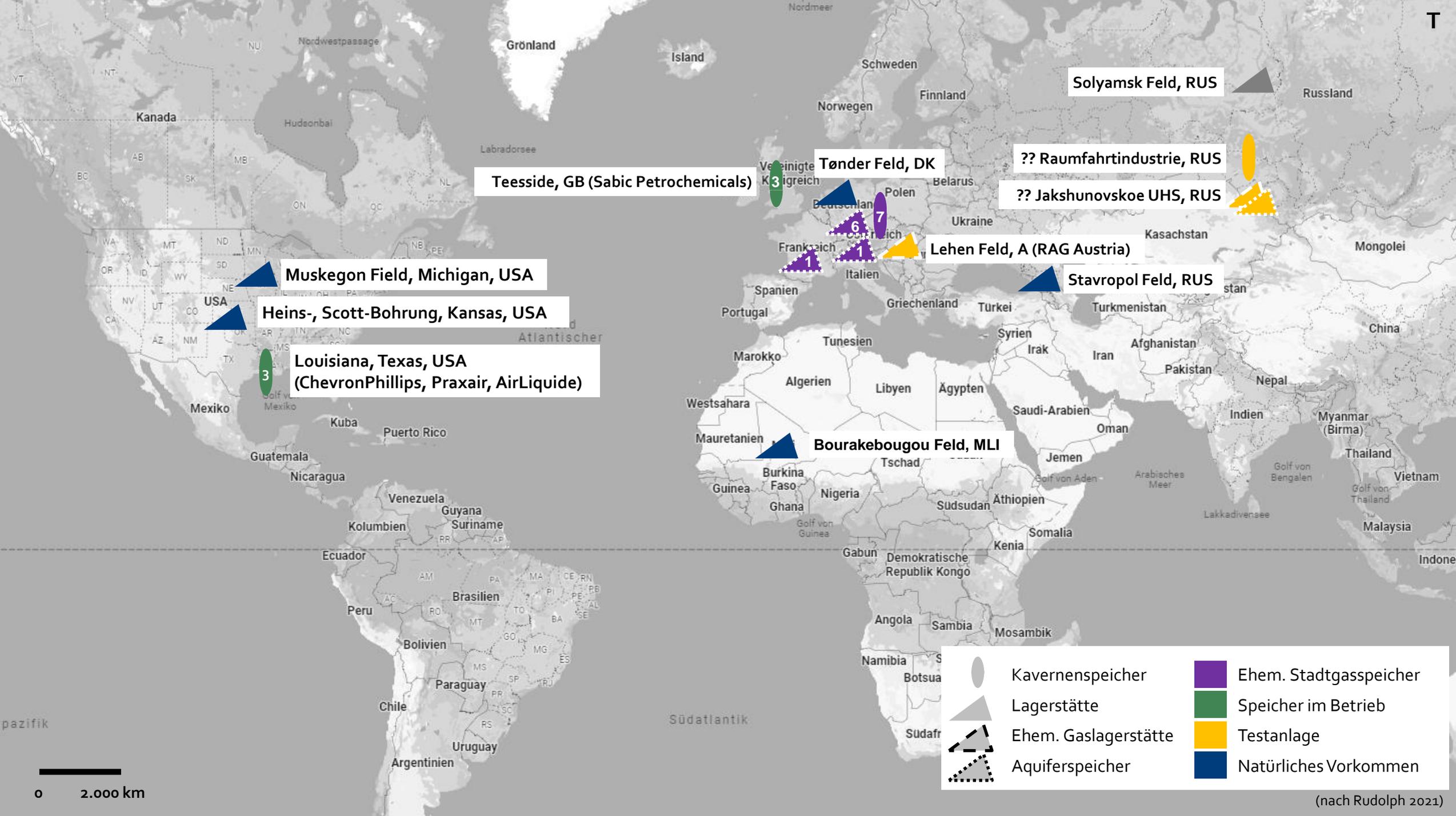
- Aufstiegszonen von Wasserstoff gebunden an Störungen
- Hohe Anteile an Wasserstoff am Gasstrom

Lage der Bohrungen mit Wasserstoffanteilen in Kansas



Gasanalysen Wasserstoffvorkommen in Kansas





0 2.000 km

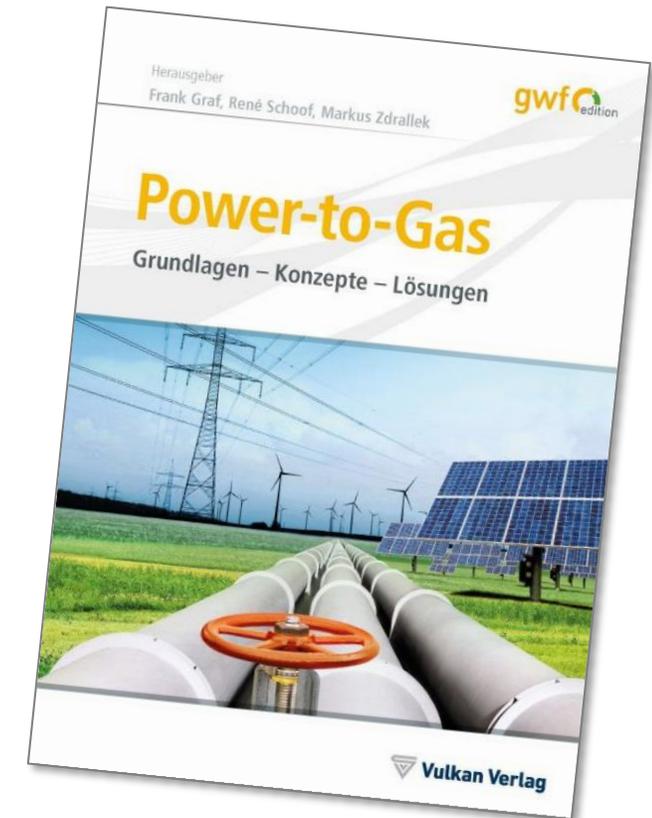
(nach Rudolph 2021)



## Wie sieht (sah) es in Deutschland aus?

Ort	Medium	Typ	Anzahl	Referenz	
1	Bad Lauchstädt	Stadtgas	Kaverne	6	VNG 2019a
2	Engelbostel	Stadtgas	Porenspeicher	1	Eckhardt & Beer 1999
3	Eschenfelden	Stadtgas	Porenspeicher	1	OGE 2019
4	Kirchheiligen	Stadtgas	Porenspeicher	1	VNG 2019b
5	Ketzin	Stadtgas	Porenspeicher	1	Eckhardt & Beer 1999
6	Hähnlein	Stadtgas	Porenspeicher	1	Eckhardt & Beer 1999
7	Reitbrook	Raffineriegas	Porenspeicher	1	Haury, Schikarski & Thöne 1974
8	Rönne	Stadtgas	Kaverne	1	Haury, Schikarski & Thöne 1974

- Speicher aus den 1950er/1960er
- **Stadtgas**  
Aufbereitetes und gereinigtes Kokereigas, Rohgas aus der Verkokung von Steinkohle.
- **Raffineriegas**  
Nebenprodukt aus der Verarbeitung von Erdöl mit einem Wasserstoffanteil im deutlichen zweistelligen Prozentbereich





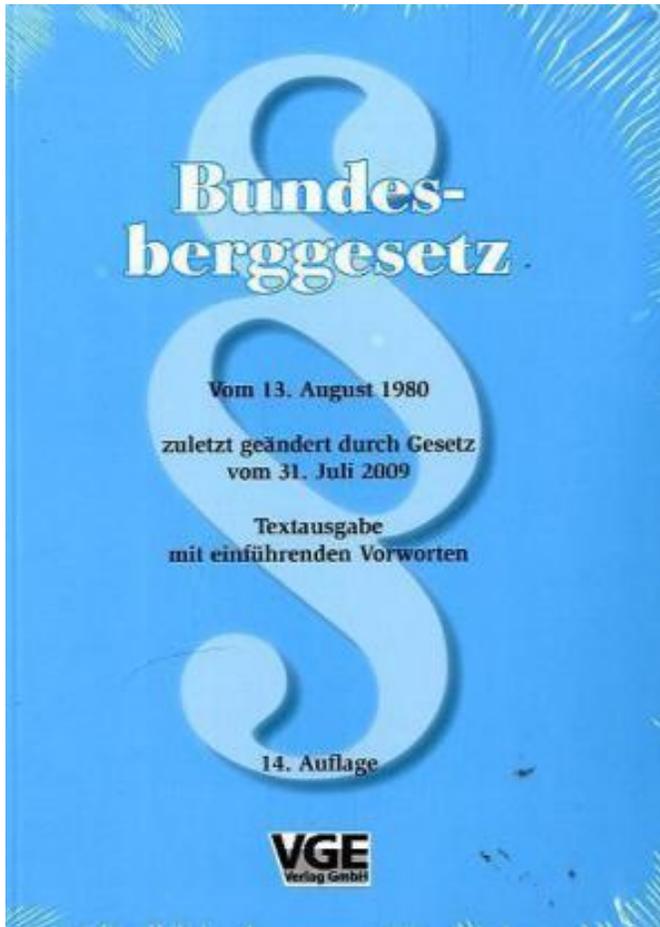
**Verwahrung**



Technische  
Hochschule  
Georg Agricola

# Wiederholung

# Bergbau und rechtlicher Rahmen



Einleitende Bestimmungen:

§ 1 Zweck des Gesetzes

§ 2 Sachlicher und räumlicher Geltungsbereich

§ 3 Bergfreie und grundeigene Bodenschätze

Bergbauberechtigungen

Erlaubnis, Bewilligung, Bergwerkseigentum



Betriebspläne

Risswerk, Markscheider

# Bundesberggesetz – Betriebspläne

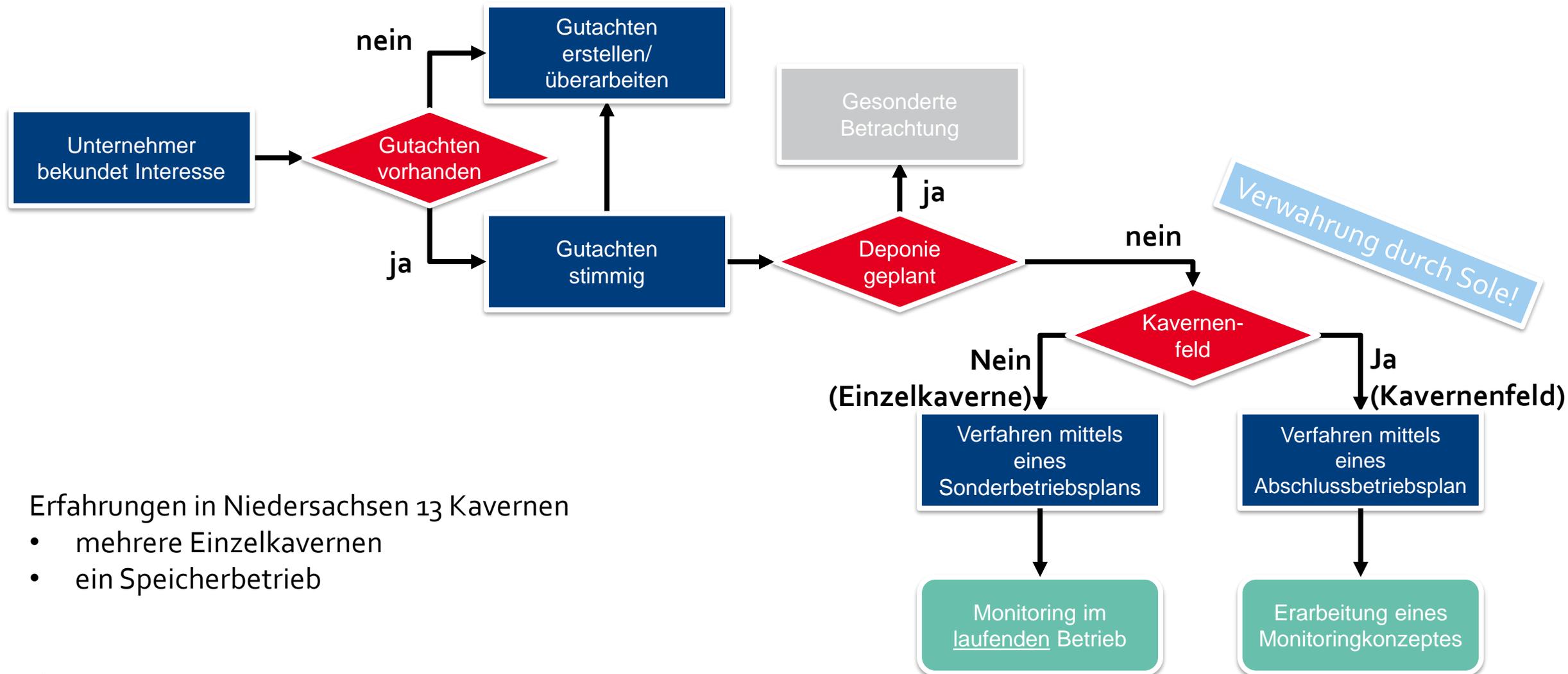
## Zweites Kapitel Anzeige, Betriebsplan

- §50 Anzeige
- § 51 Betriebsplanpflicht
- § 52 Betriebspläne für die Errichtung und Führung des Betriebes
- **§ 53 Betriebsplan für die Einstellung des Betriebes, Betriebschronik**
  - (1) Für die Einstellung eines Betriebes ist ein Abschlußbetriebsplan aufzustellen, der eine genaue Darstellung der technischen Durchführung und der Dauer der beabsichtigten Betriebseinstellung, den Nachweis, ... über eine Beseitigung der betrieblichen Anlagen und Einrichtungen oder über deren anderweitige Verwendung enthalten muss. Abschlußbetriebspläne können ergänzt und abgeändert werden.
  - (2) Dem Abschlußbetriebsplan für einen Gewinnungsbetrieb ist eine Betriebschronik in zweifacher Ausfertigung beizufügen.



# Der Prozess der Verwahrung

# Verfahrensablauf zur Verwahrung von Kaverne



Erfahrungen in Niedersachsen 13 Kavernen

- mehrere Einzelkavernen
- ein Speicherbetrieb

## Ziel der sicheren Verwahrung von Kavernen

### Schutz Dritter und der Umwelt

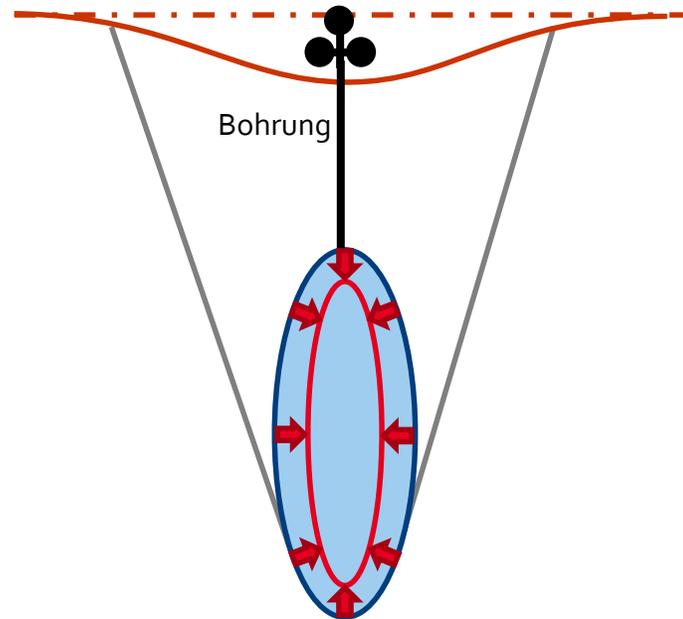
- Vermeidung von Stabilitätsversagen oder Austreten von Sole zu jeder Zeit
- Minimierung von Absenkungen der Oberfläche nach der Betriebsphase
- Umweltgerechte Verwahrung

### Entlassung aus der bergrechtlichen Verantwortung

- Durchführung eines umfangreichen Monitoringprogrammes
- Evtl. regelmäßig wiederkehrende Oberflächenvermessungen
- Keine Folgearbeiten

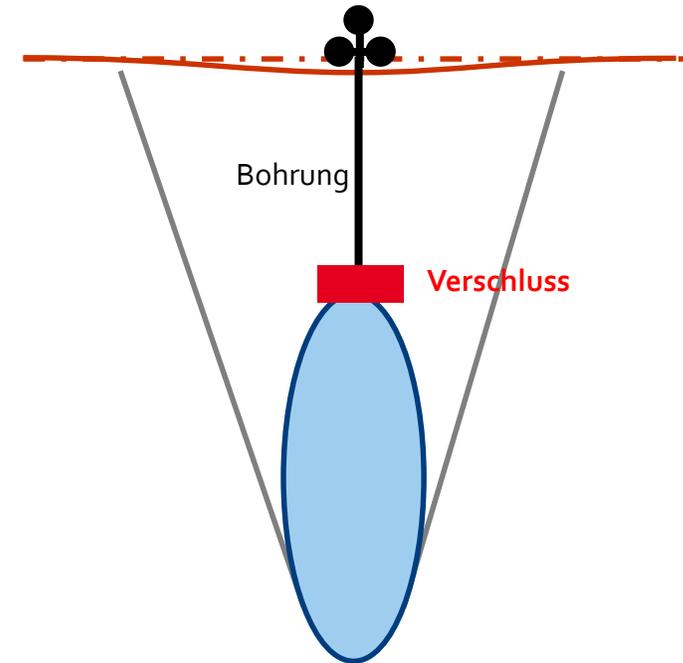
## Möglichkeiten der Verwahrung

Kaverne mit Sole,  
ohne Verschluss



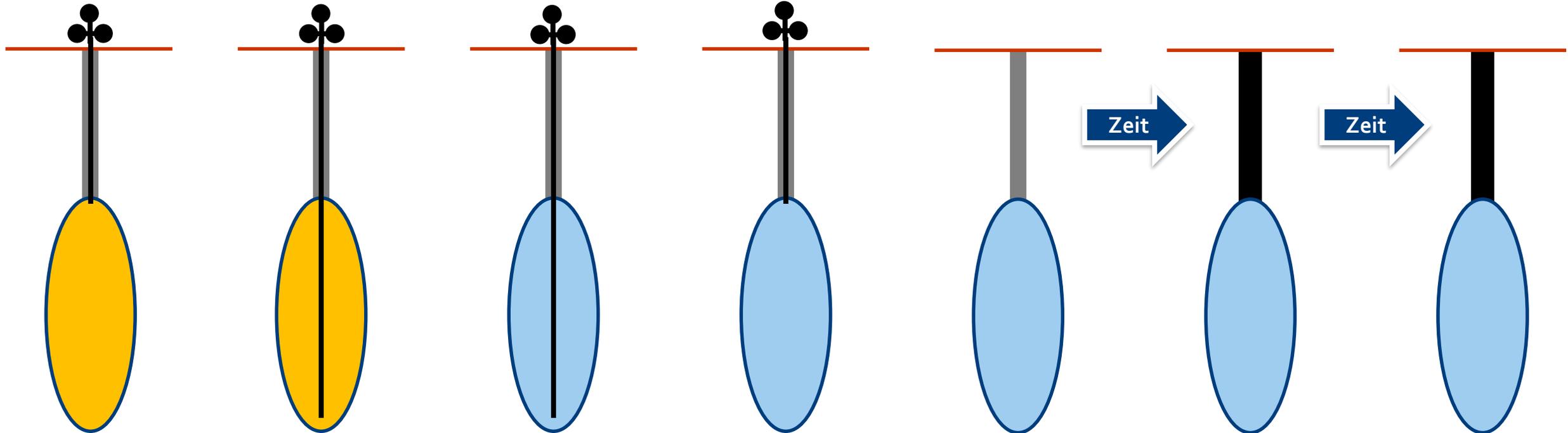
Starke Schrumpfung (Konvergenz)  
der Kaverne führt zu **sichtbaren**  
Bodenbewegungen an der  
Tagesoberfläche

Kaverne mit Sole,  
mit Verschluss



Sehr begrenzte Schrumpfung  
(Konvergenz) der Kaverne führt zu  
**langsamen/keinen** Bodenbewegungen an  
der Tagesoberfläche

## Ablauf der Verwahrung



Gasgefüllte  
Kaverne mit  
Minimaldruck

Einbau Strang  
für Solefüllung  
(unter Gasdruck)

Entleerung der  
Kaverne durch  
Solefüllung

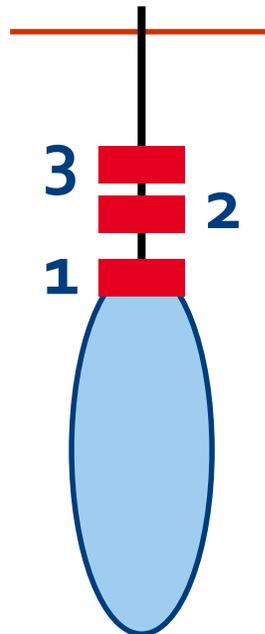
Ausbau Strang  
für Solefüllung

Ausbau Strang  
des Gasbetriebs

Verschluss der  
Bohrung/  
Kaverne  
(Temperatur-  
ausgleich)

Monitoring

# Optionen in der Technik der Verwahrung

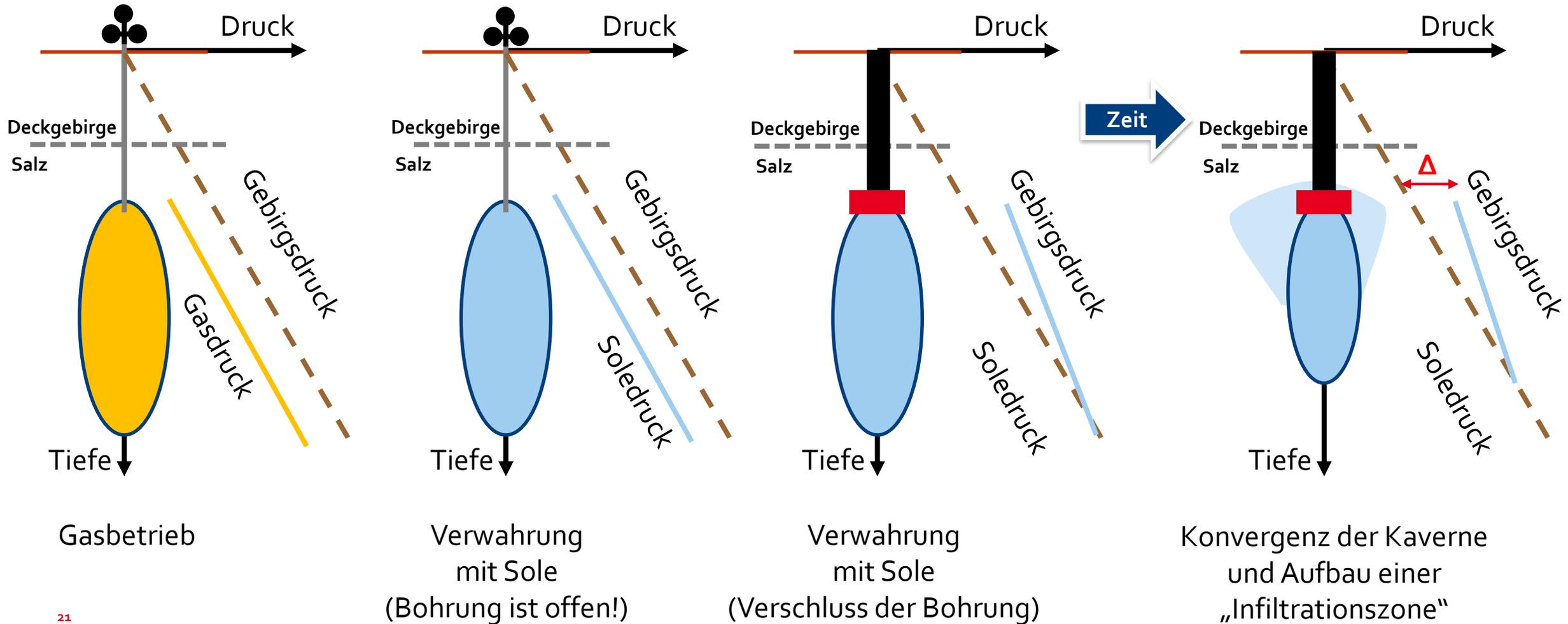


## Möglichkeiten/Optionen

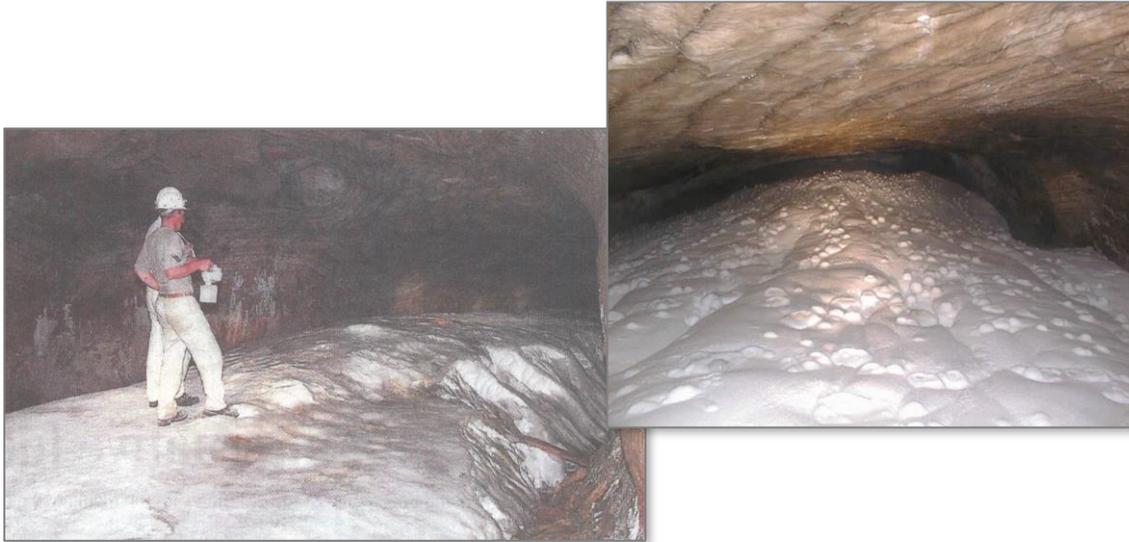
1. Verschluss der Kaverne durch Zementation des Kavernenhalses
2. Verschluss der Kaverne durch Rückzementation der letzten zementierten Rohrtour
3. Verschluss der Kaverne durch Installation eines Plugs in einem gefrästen Fenster der letzten zementierten Rohrtour

➔ **Technik der Verwahrung wird zum Zeitpunkt der Verwahrung evaluiert!**  
(Was ist der Stand der Technik?)

# Druckaufbau in einer verschlossenen solegefüllten Kaverne

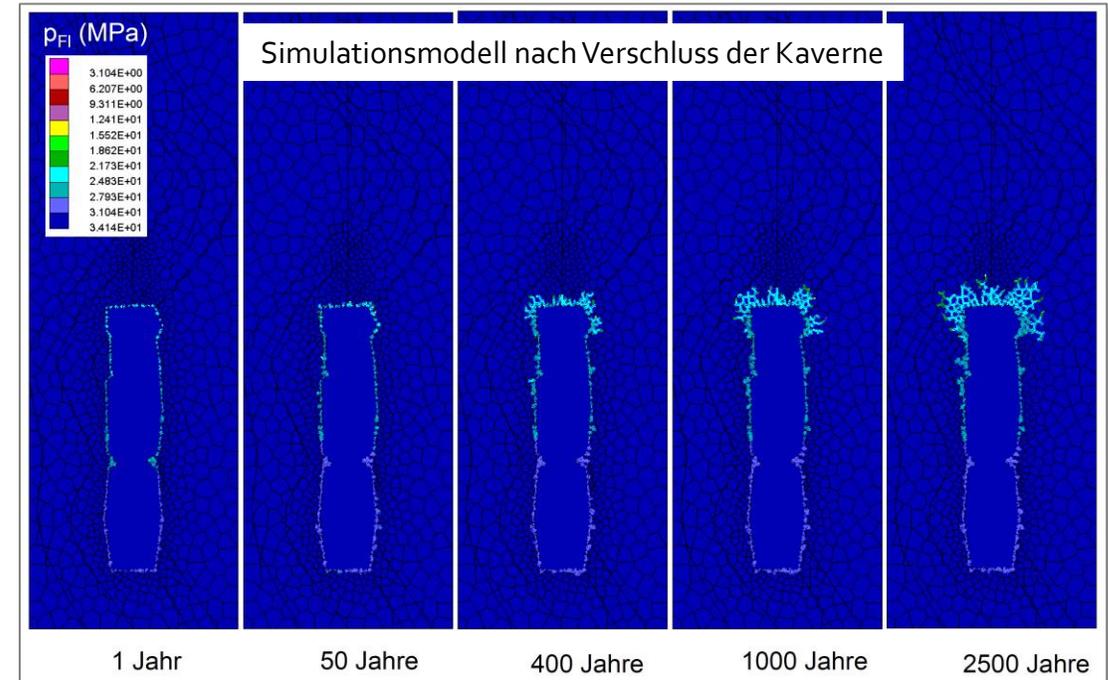


## Was passiert langfristig in der „Infiltrationszone“?



- 2003 – Salzbergwerk Unterbreizbach (Hessen)
- CO<sub>2</sub>-Gletscher nach einem untertägigen Gasausbruch (CO<sub>2</sub> wird bei -70° fest)
- Gas aus dem Tertiär, ca. 20 Mio. Jahre alt

- **Sehr langsame Vorgänge**
- **Nach dem Eindringen der Sole ins Salz baut sich ein Gleichgewicht auf und der Prozess verlangsamt deutlich**
- **Salz kann über geologische Zeiträume Flüssigkeiten und Gas einkapseln**



- Geomechanische Simulation vom Eindringverhalten im Salz
- Sehr langsamer Vorgang

## Monitoring und Nachsorgephase

### Ziel

- Nachweis, dass die Annahmen der Standsicherheitsprognose und der Langzeitprognose zutreffen
- Definition des Beobachtungszeitraumes
- Messungen im Beobachtungszeitraum
  - Markscheiderisches Nivellement
  - Messpunkte, Referenzpunkte
  - Pflege der Messpunkte, Referenzpunkte
  - Der Unternehmer beantragt das Monitoring!

### Weitere Anforderungen

- Anknüpfung an eine Auswirkungsprognose bzw. Auswirkungsmaßnahmen (für neue Kavernenanlagen in Niedersachsen)
- Einhaltung des gebirgsmechanischen Rahmens: Flutung mit Wasser/Sole
- Temperatenausgleich zwischen Sole und Gebirge
- Unternehmerische Begleitung u.a. für ggf. wasserbauliche Maßnahmen

## Zusammenfassung

1. **Wasserstoff** tritt **natürlich** auf der Erde in Lagerstätten auf
2. Weltweit und in **Deutschland** liegen **erste Erfahrungen in der untertägigen Speicherung** von Wasserstoff vor
3. **Verwahrung** von Kavernen ist ein **bergrechtlich geregelter Prozess**
4. Die **Verwahrung** von Kavernen mit Sole **minimiert die Bodenbewegungen** an der Tagesoberfläche
5. Es stellt sich ein **Gleichgewichtsprozess** von der solegefüllten Kaverne mit dem umgebenden Gebirge dar



## Bitte beteiligen Sie sich an unserer Umfrage!

### Umfrage

#### Die Kavernen und ihre Nutzung in Gronau Epe

Der Fragebogen enthält 15 Fragen. Die Bearbeitung sollte nicht mehr als ca. 10 Min in Anspruch nehmen. Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

1. Wie alt sind Sie?

- 18-30 Jahre
- 31-40 Jahre
- 41-50 Jahre
- 51 -60 Jahre
- 61 - 70 Jahre
- 71- 80 Jahre
- 81- 99 Jahre



[www.monitoring-epe.de/umfrage/](http://www.monitoring-epe.de/umfrage/)



Technische  
Hochschule  
Georg Agricola

## Nächste Veranstaltung

### Abschlusspräsentation

*Dezember 2022*

*Termin ist in Planung und wird noch bekannt gegeben!*

*➔ Bitte auf die Webseite schauen!*

