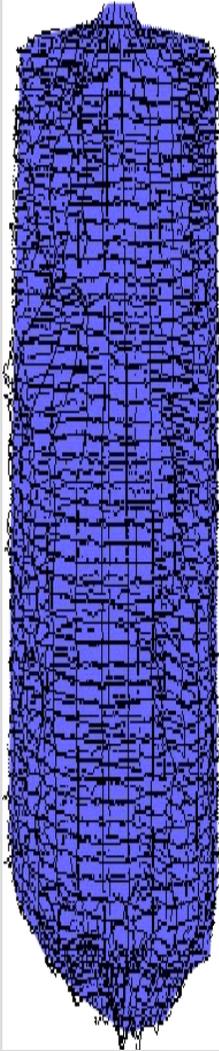


Stand der Kavernenverwahrung

Friedeburg, 04.05.2012

Dipl.-Math. Armin Lindert



Ein Konzept zur Verwahrung von Kavernen im Salz muss folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Gewährleistung der Standsicherheit der Kaverne (Pfeiler, Kontur, Schweben).
- Sichere Vermeidung des Austritts der Sole aus dem Kavernenhorizont und deren Aufstieg bis in Grundwasserhorizonte des Deckgebirges.
- Begrenzung induzierter Absenkungsvorgänge an der Tagesoberfläche auf marginale Werte auch unter Berücksichtigung großer Zeiträume.
- Nachsorgefreiheit
- Akzeptanz bei Behörden/Bevölkerung
- Wirtschaftlichkeit

Welche Untersuchungen wurden vorgenommen?

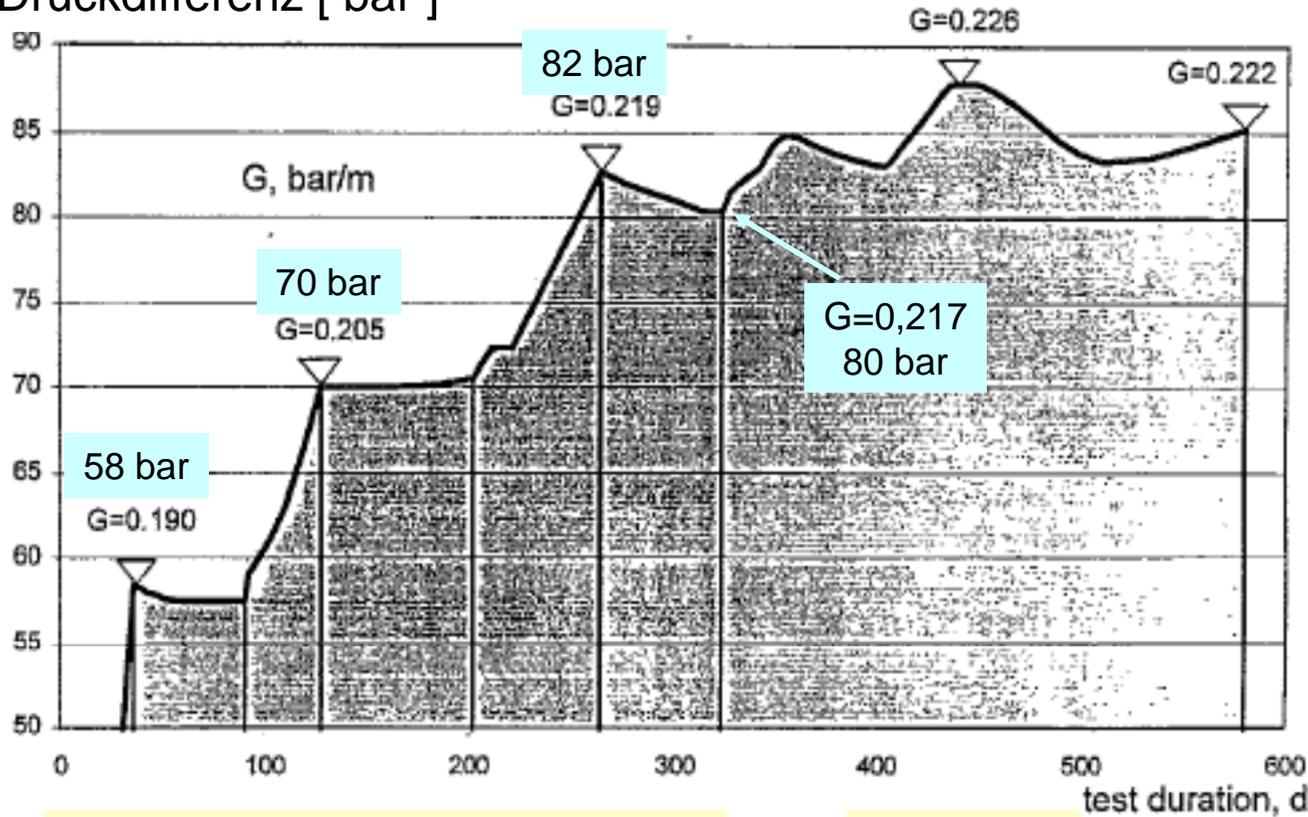
- In-situ-Test
- Laborversuche
- Gebirgsmechanische Modellierungen

Das Augenmerk richtete sich dabei besonders auf das Verhalten der Kavernen unter ansteigendem Druck.

Druckaufbautest in der Kaverne Etzel K102 (03.09.90 – 26.03.92)

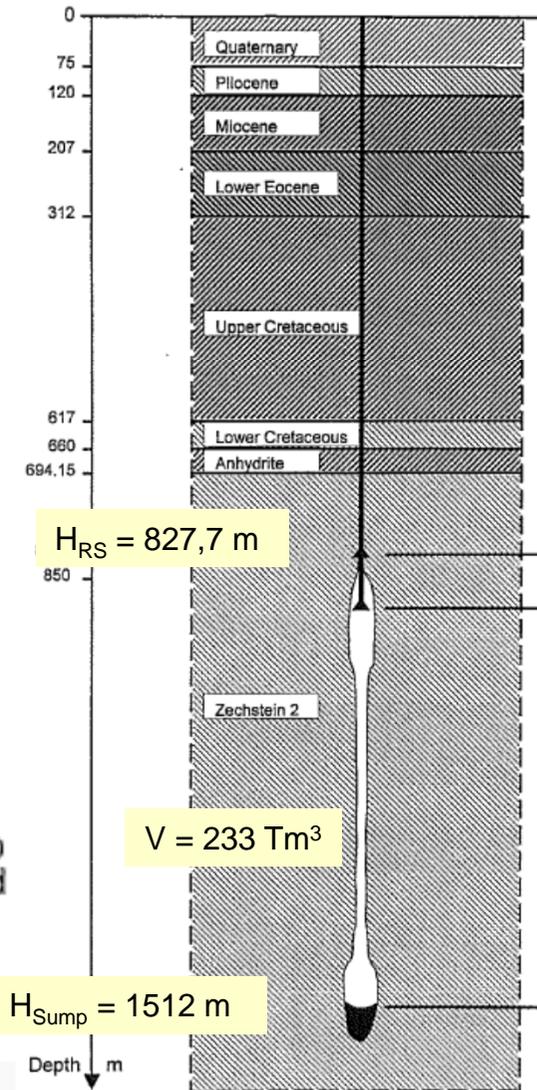
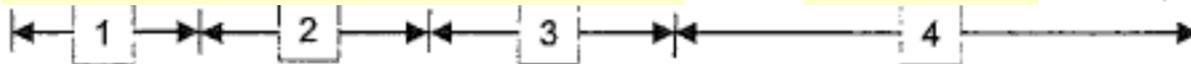
$\gamma_{\text{litho}} = 0,204 \text{ bar/m}$ und $0,211 \text{ bar/m}$

Druckdifferenz [bar]



500 m³ 134,4 m³ 179,5 m³

1654 m³



COPYRIGHT © Veröffentlichung, Veränderung oder Weiterverarbeitung nur mit Zustimmung der IfG Cavens GmbH



Das Forschungsprojekt „Testkaverne Bernburg“

Bestimmung des gebirgsmechanischen Verhaltens einer verwahten, d.h. verschlossenen und solegefüllten Kaverne in einer Salzformation der flachen Lagerung



Testkaverne

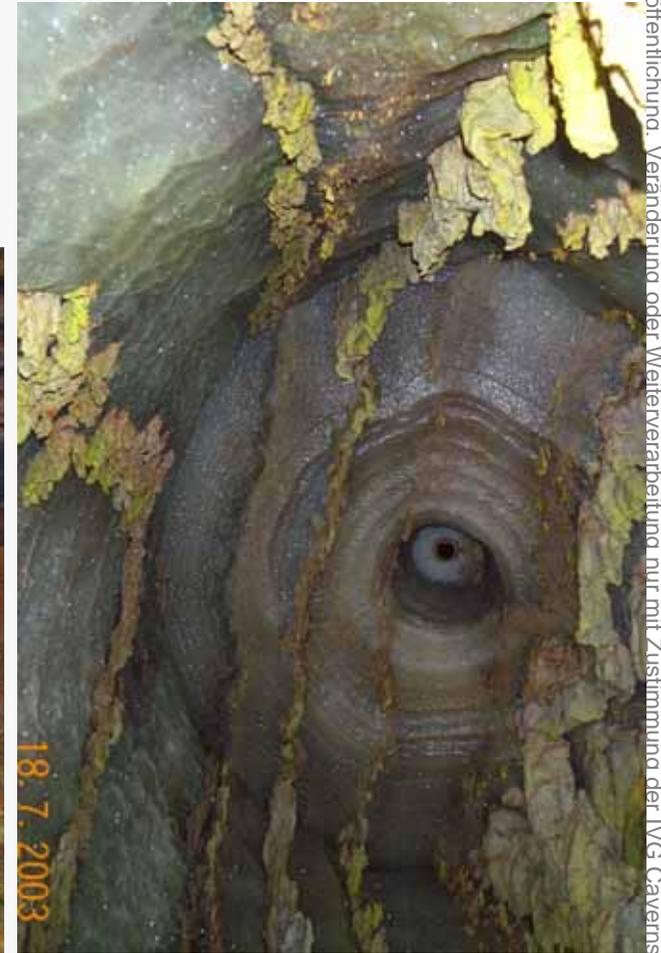
Teufe: 450 m

H = 6 m

R = 1,20 m

V = 23 m³

Kavernensohle



Kavernenfirste mit Bohrung



IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH Leipzig

öffentlichung. Veränderung oder Weiterverarbeitung nur mit Zustimmung der IfG Caverns GmbH

Ergebnisse des Forschungsprojektes – „Testkaverne Bernburg“



Zugang zur Kaverne

*Unten:
Fluoreszenzerscheinungen im Handstück
(rippenartiges Bruchstück aus dem
Kavernenzugang – Stoßbereich)*

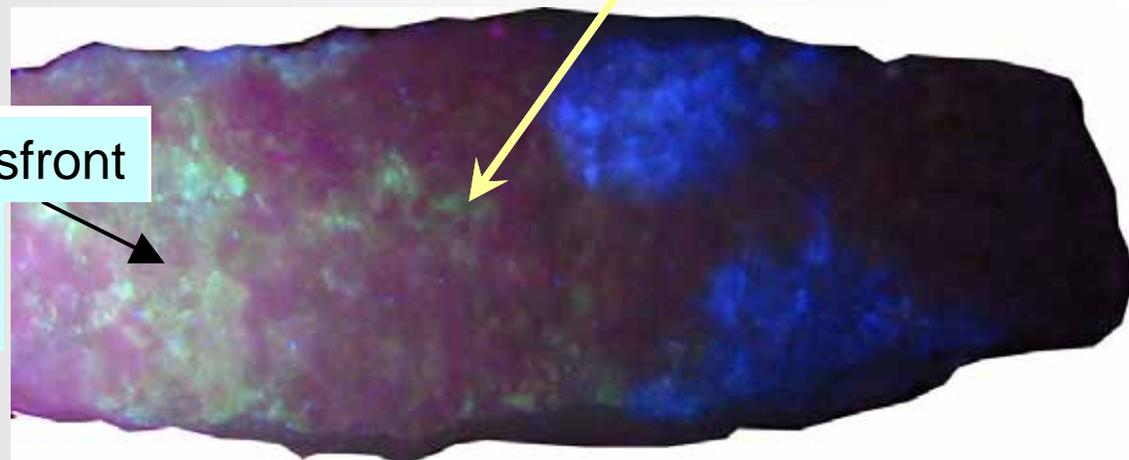
Eindringtiefe:

- Entlang der Korngrenzen: ca. 60 cm
- Entlang von Anhydritschichtflächen: ca. 1 m

Infiltration von Sole entlang diskreter Wege

Gleichmäßige Infiltrationsfront

(Auflockerungszone
ca. 20-30 cm)



Kavernenstoß

Gebirge

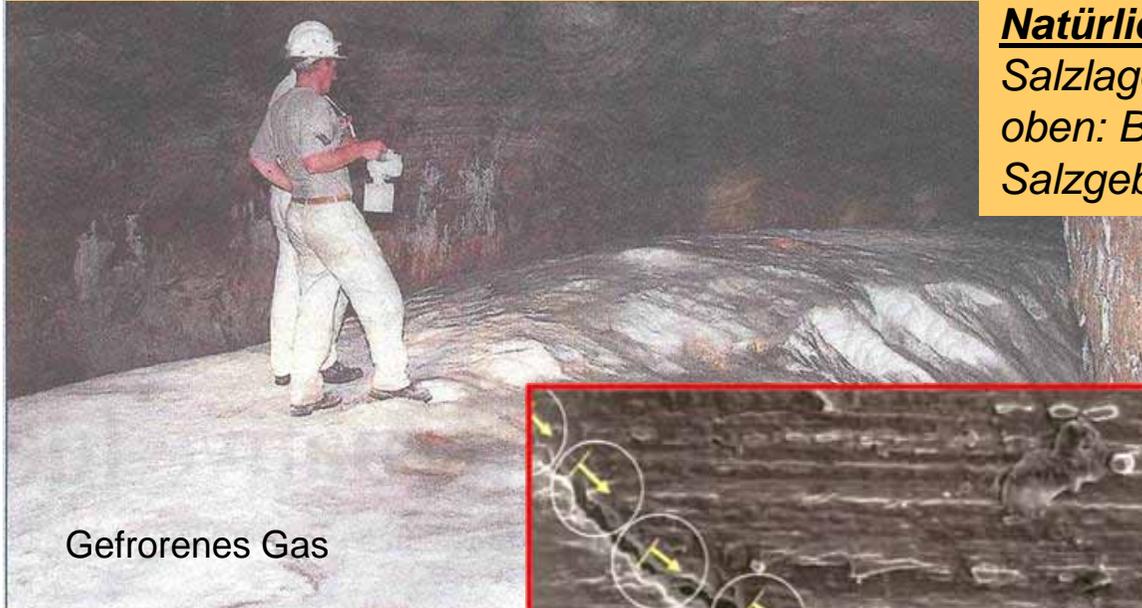
Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Untersuchungen

Aus den insgesamt zur Verwahrung von Kavernen durchgeführten Untersuchungen können u. a. folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die Infiltration von Sole basiert nicht auf einer plötzlichen Makrorissbildung (Hydraulic Fracturing), sondern auf einem Öffnen der Korngrenzen.
2. Die nach dem Verschluss einer Kaverne einsetzende Soleinfiltration erfolgt langsam und allmählich in das umgebende Salzgebirge.
Die berechneten Raten liegen 100 Jahre nach dem Verschluss bei nur wenigen m^3/a und nehmen danach noch weiter ab.
3. In der verwahrten Kaverne baut sich ein Stützdruck auf, der zu einem allmählichen Abklingen der Konvergenzrate führt, wodurch das Senkungsgeschehen an der Tagesoberfläche abklingt.

Integrität/Integritätsverlust von Steinsalzbarrieren

Das unverritzte Steinsalzgebirge ist unter primärem Gebirgsdruck flüssigkeits- und gasdicht (impermeabel).



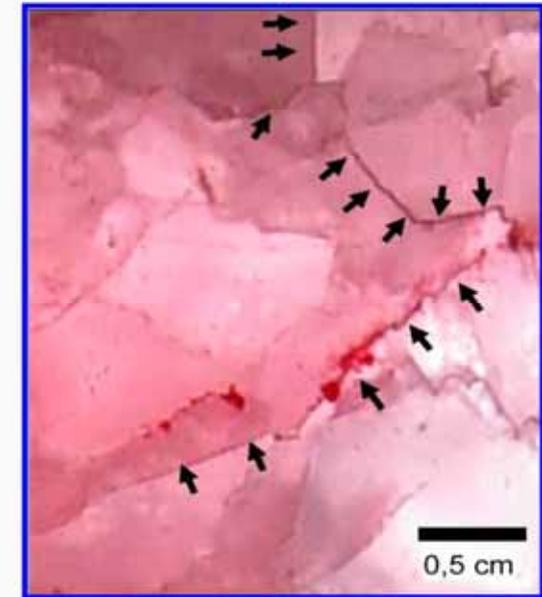
Gefrorenes Gas

Natürliches Analoga:

Salzlagerstätte an Werra/Fulda
oben: Bei untertägigem Gasausbruch im
Salzgebirge freigesetztes Gas



Integritätsverlust von Steinsalz
im mikroskopischen Maßstab:
links: mechanische Schädigung
(Dilatanz)
rechts: Korngrenzenöffnung
(Perkulation)



Im Ergebnis der durchgeführten umfangreichen Untersuchungen, hat sich das folgende prinzipielle Konzept zur sicheren Verwahrung von Kavernen im homogenen Steinsalz durchgesetzt:

1. Flutung des Kavernenhohlraums mit Frischwasser oder Sole
2. Durchführung geotechnischer Messungen zur Beweissicherung
3. Stehen lassen der gefluteten Kaverne für einen thermischen Ausgleich zwischen Sole/Wasser und Gebirge
4. Nachweis der Sicherheit der Kaverne im verwahrten Zustand durch gebirgsmechanische Modellierung
5. Abdichten der Kaverne gegen die nach übertage führende Bohrung und vorschriftsmäßige Verfüllung der Kavernenbohrung
6. Feinnivellement nach Abschluss der Verwahrungsarbeiten

Die gebirgsmechanischen Untersuchungen zeigen, dass:

- ➔ **keine Makrorissbildung (Hydraulic Fracturing) eintritt**
- ➔ **nur eine begrenzte Soleinfiltration entlang sich öffnender Korngrenzen stattfindet**
- ➔ **das Senkungsgeschehen an der Tagesoberfläche abklingt**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



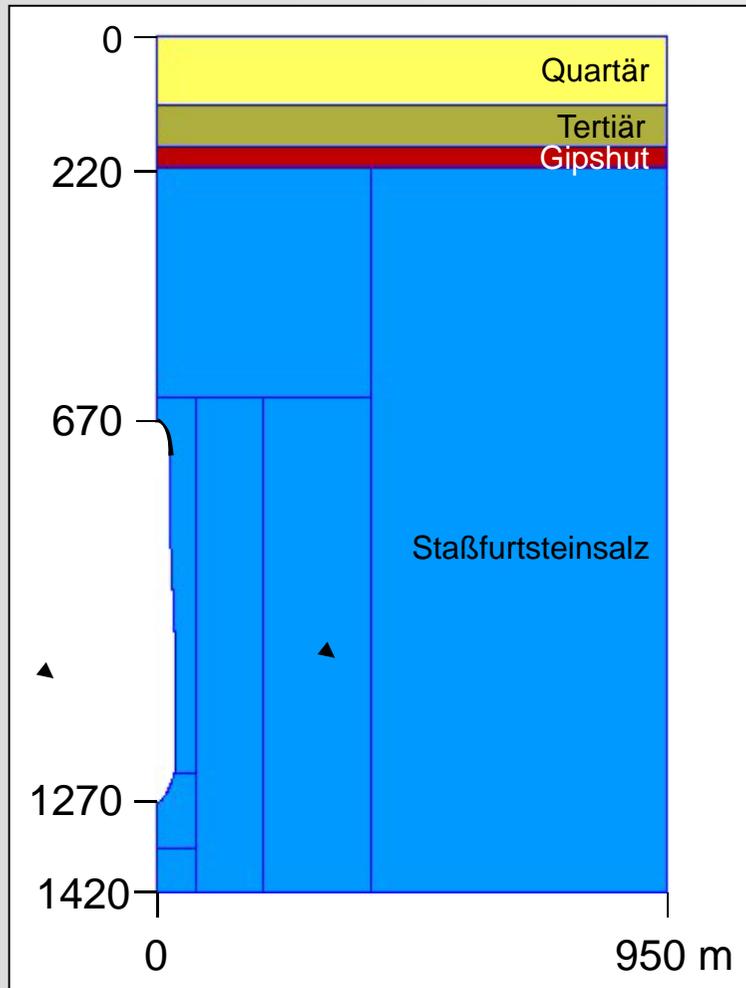
Mit Hilfe einer gebirgsmechanischen Modellierung ist für Kavernen im verwahrten Zustand nachzuweisen, dass:

- die Standsicherheit des Kavernenhohlraumes langfristig gewährleistet ist und das mögliche Versagen auch bei Betrachtung großer Zeiträume nur auf die Kavernenkontur begrenzt bleibt
- die Hohlraumkonvergenz und damit die induzierten Senkungen an der Tagesoberfläche auf marginale Werte begrenzt werden
- ein Austritt konzentrierter Salzlösungen aus dem Kavernenhorizont und deren Aufstieg bis in Grundwasserhorizonte des Deckgebirges nicht zu besorgen ist

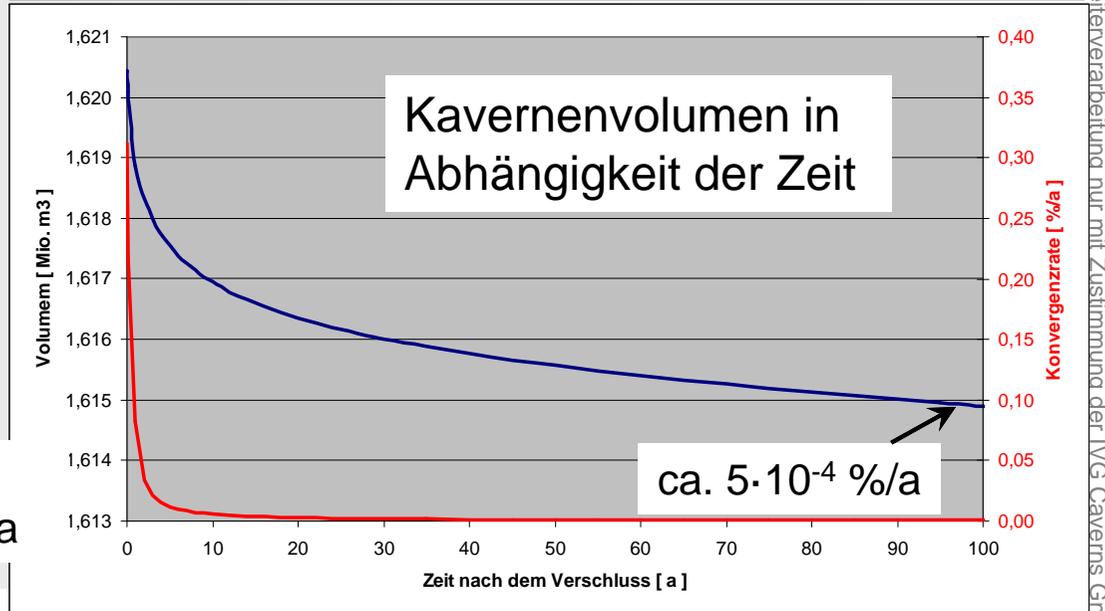
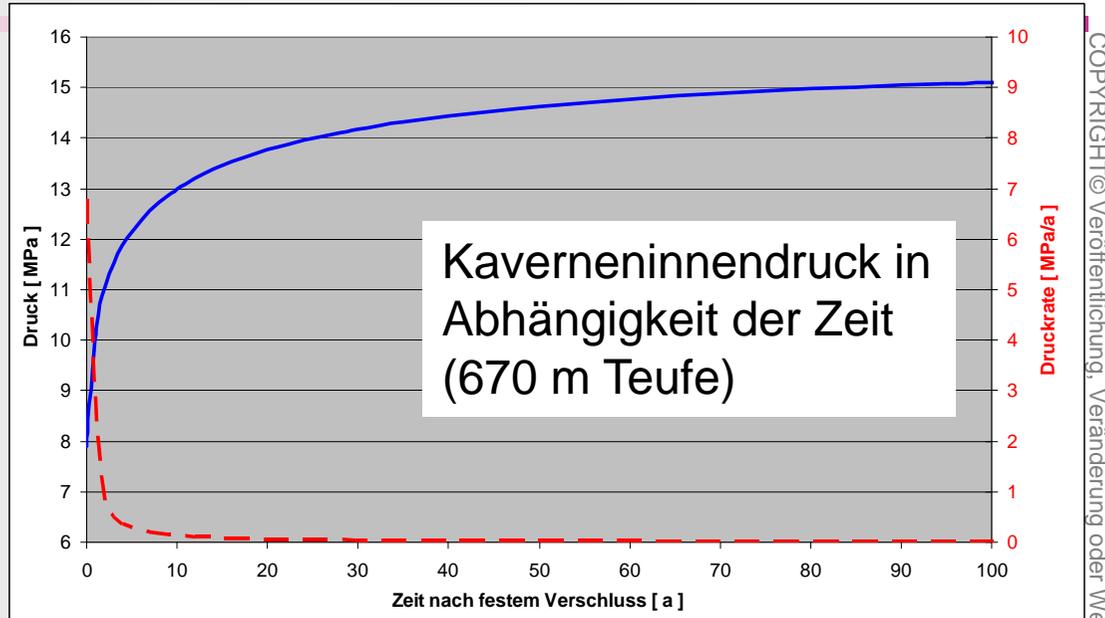
Zu berücksichtigen sind dabei:

- das Kriechverhalten des Salzes
- das Dilatanzverhalten
- die Temperaturentwicklung der Sole
- das Nachsolverhalten
- die Infiltration von Sole in das Gebirge

Gebirgsmechanische Berechnungen zur Verwahrung einer Solkaverne



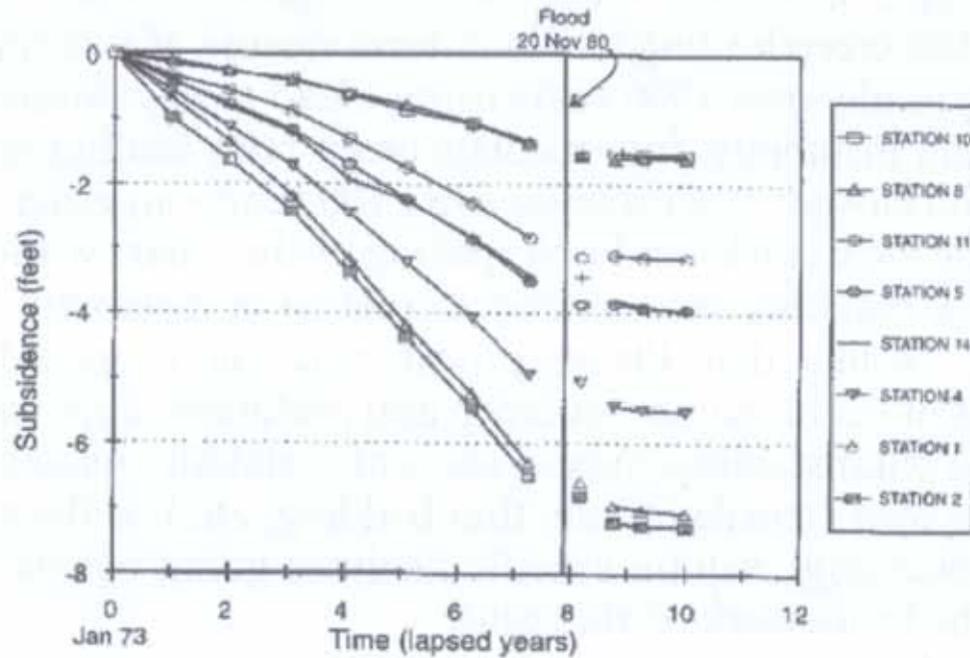
Volumen der Kaverne = 1,62 Mio. m³
 Lithostatischer Druck in 670 m = 14,2 MPa



COPYRIGHT© Veröffentlichung, Veränderung oder Weiterverarbeitung nur mit Zustimmung der IVG Caverns GmbH

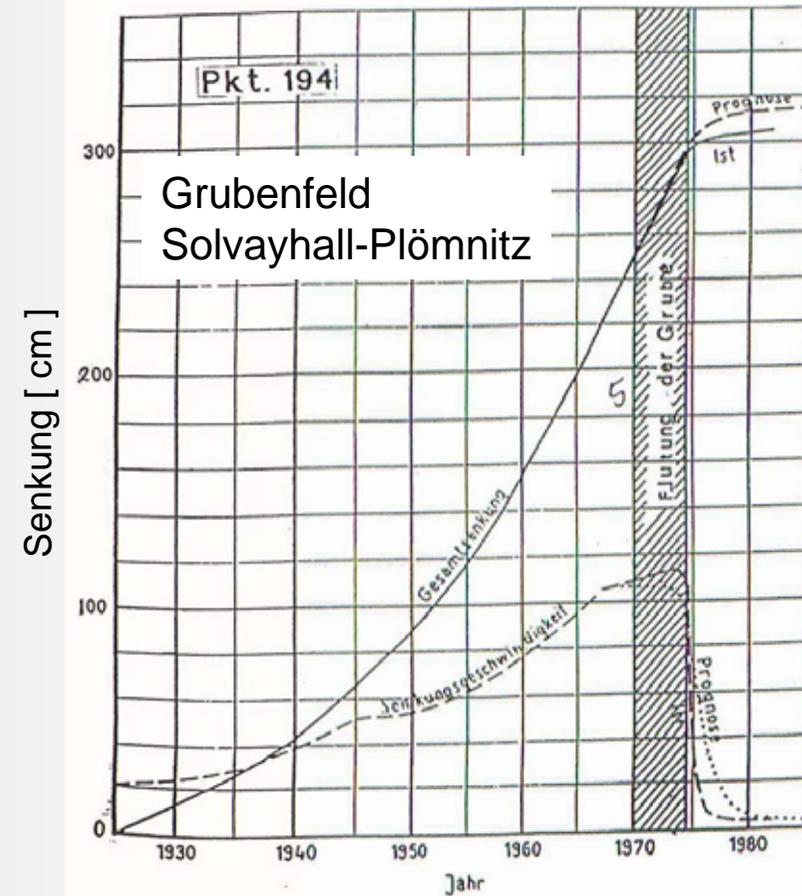


Senkungsverlauf über gefluteten Grubenfeldern



Jefferson Island salt mine (USA)

M. Ghoreychi, X. Daupley & F. Laouafa (2012): Creep and damage impact on long-term stability of underground structures in salt formations; Mechanical Behavior of Salt VII, 16 – 19 April 2012, Paris



IfG (1995): Untersuchungen zur Langzeitsicherheit von Endlagern für umweltgefährdende Abfälle in Salzformationen der flachen Lagerung; Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (02 C 00628)

R. Wolters, K.-H. Lux & U. Düsterloh (2012): Evaluation of rock salt barriers with respect to tightness: Influence of thermomechanical damage, fluid infiltration and Sealing/healing, Mechanical Behavior of Salt VII, 16 – 19 April 2012, Paris

