

# LANGZEITSICHERE KAVERNEN-VERSCHLÜSSE

EIN UNLÖSBARES PROBLEM !

Dr. habil. Ralf E. Krupp, 17. Juni 2016, Friedeburg

Google earth

Zum Umsehen kli

# Preesall, Lancashire, UK

Dr. habil. Ralf E. Krupp, 17. Juni 2016, Friedeburg

Stalmine

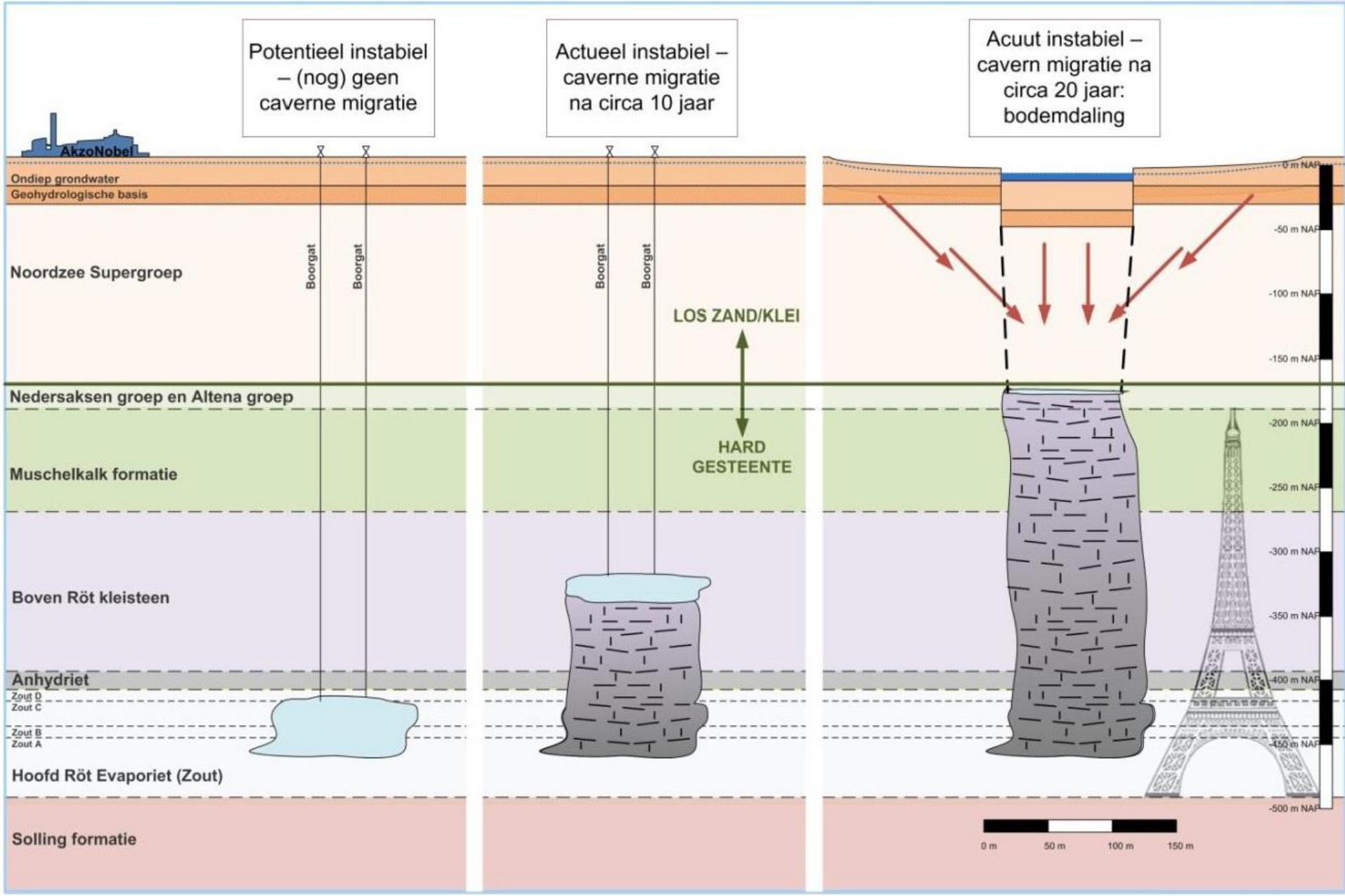
Google

© 2014 Google

Image © 2014 DigitalGlobe

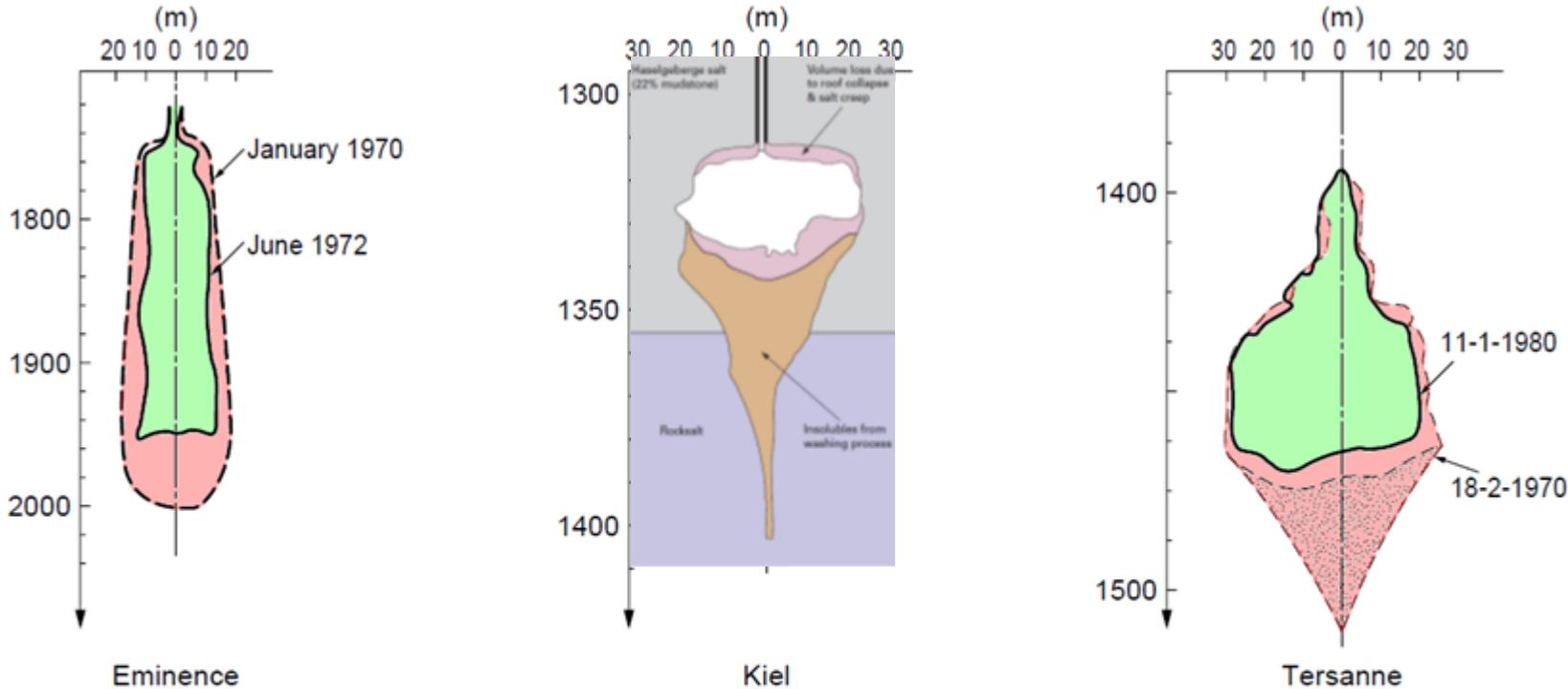
Bildaufnahmedatum: 5/18/2010 30 U 501728.81 m E 5973529.41 m N Höhe 19 m sicht

2000

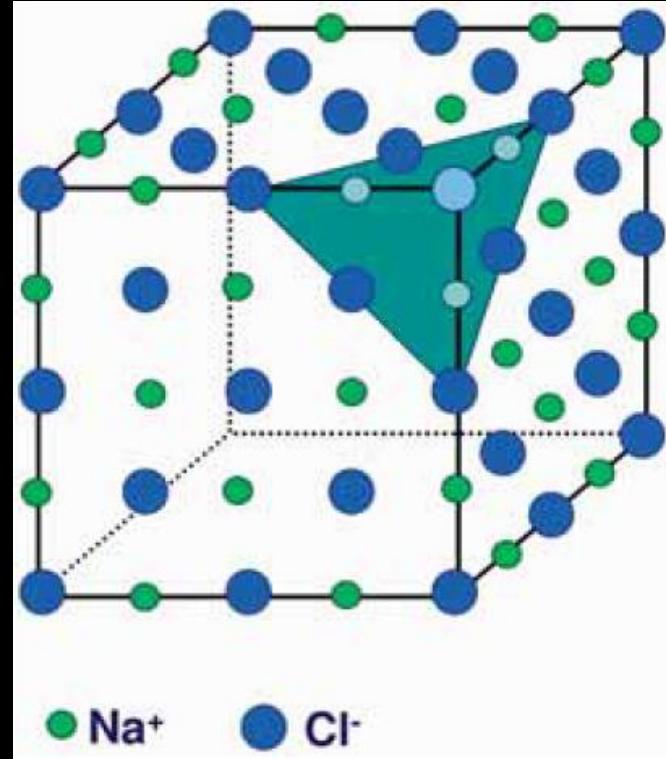


Figuur 3-4: Fasen in caverne migratie: potentieel, actueel en acuut  
(horizontale en verticale schaal zijn in verhouding)

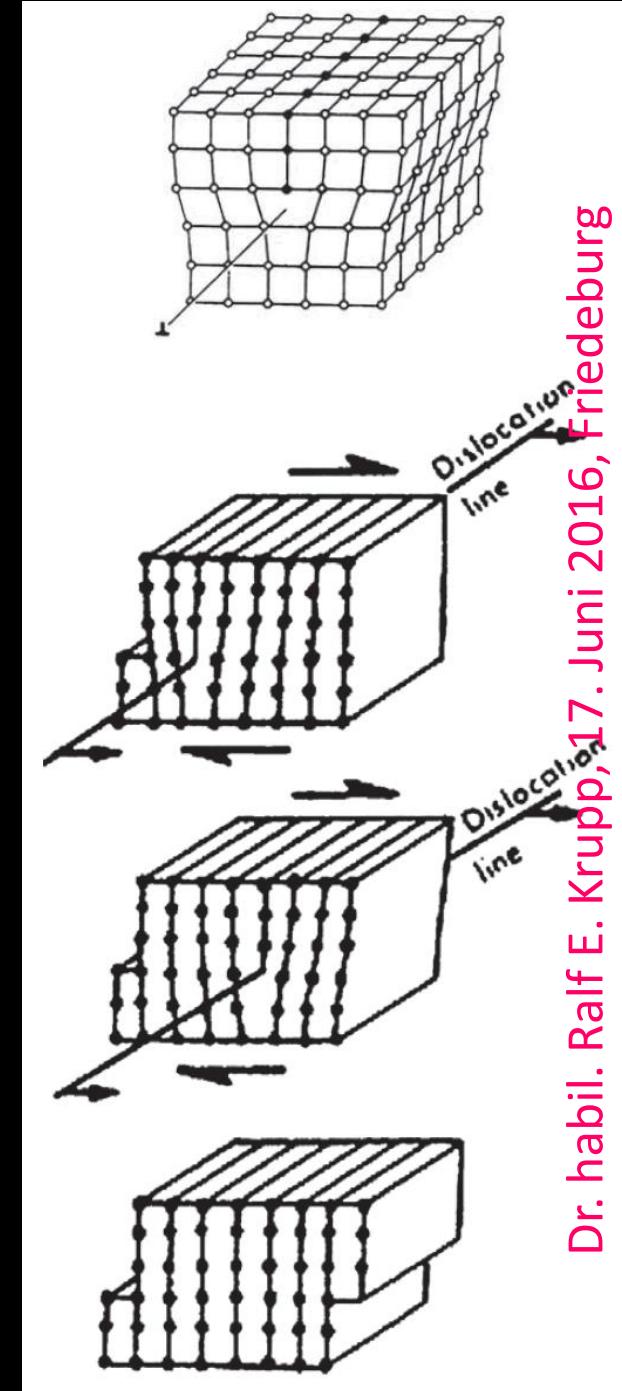
# Konvergenz von Kavernen



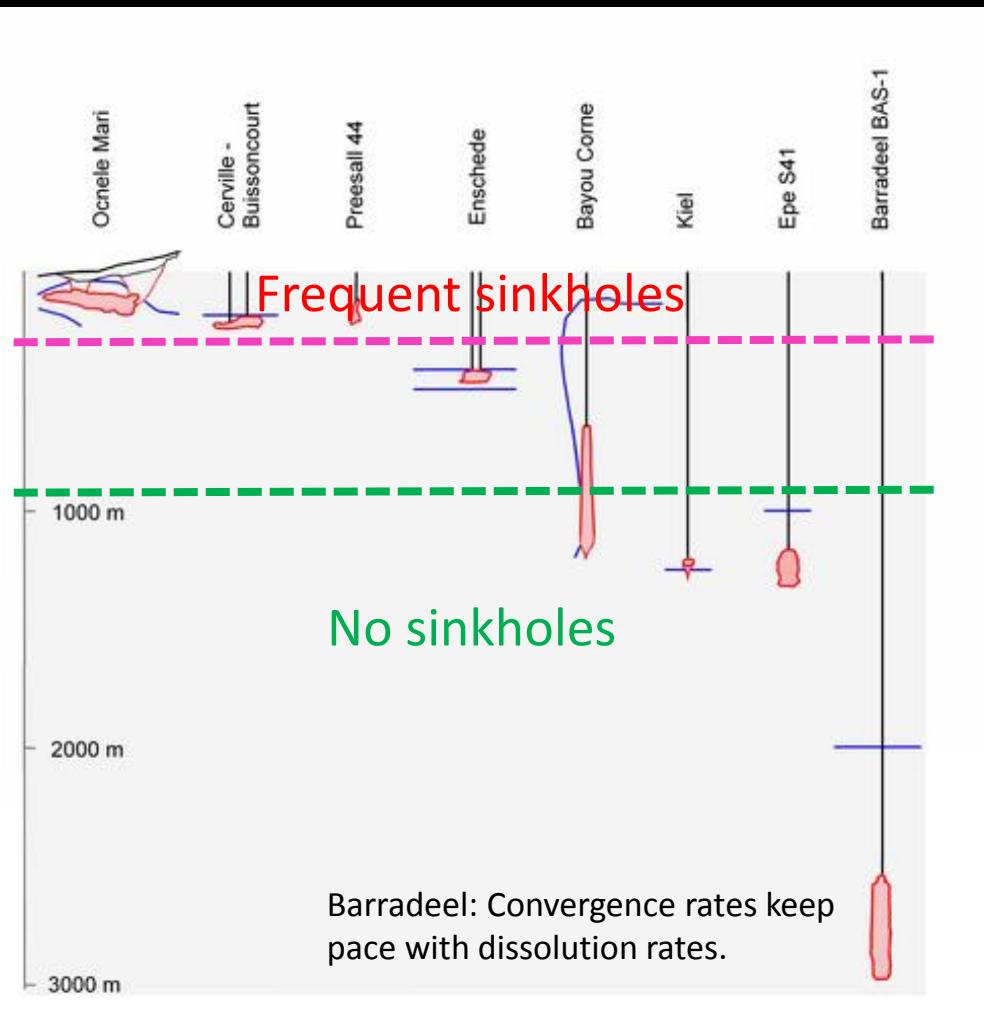
P Bérest and B Brouard / Safety of Salt Caverns Used for Underground Storage  
Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 58 (2003), No. 3



GRONDBOOR & HAMER NR 4/5 - 2010



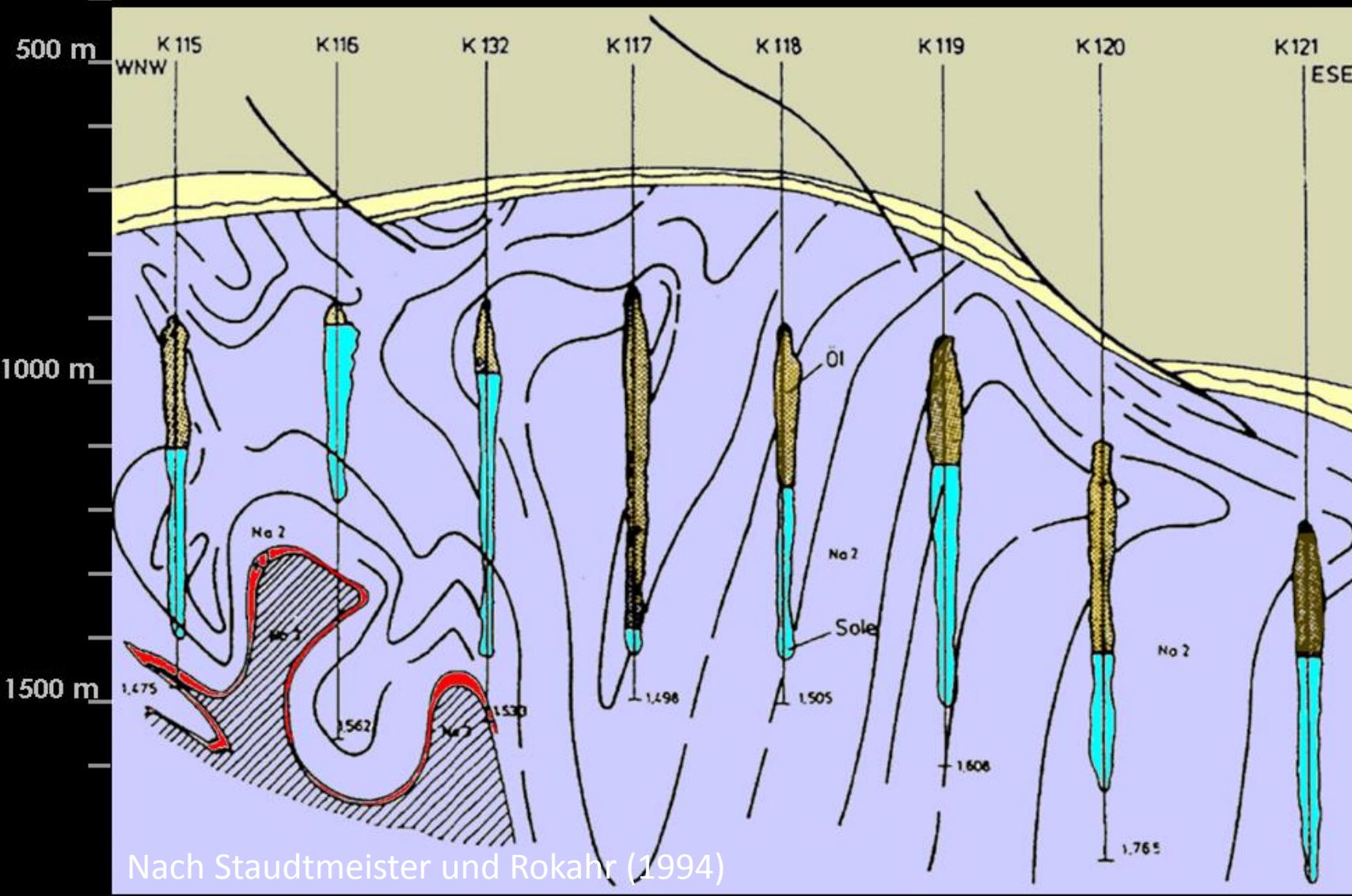
Dr. habil. Ralf E. Krupp, 17. Juni 2016, Friedeburg



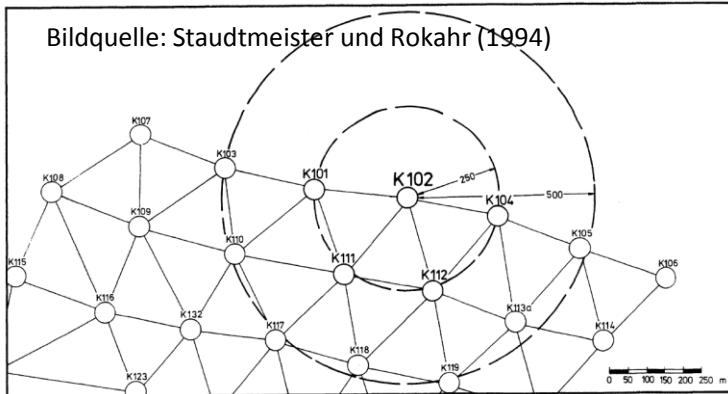
## Observations

- Sinkholes common above shallow seated caverns.
- Ground Subsidence at epi-center of caverns broad and shallow over deep seated caverns.
- Convergence rates due to salt creep higher at greater depth.

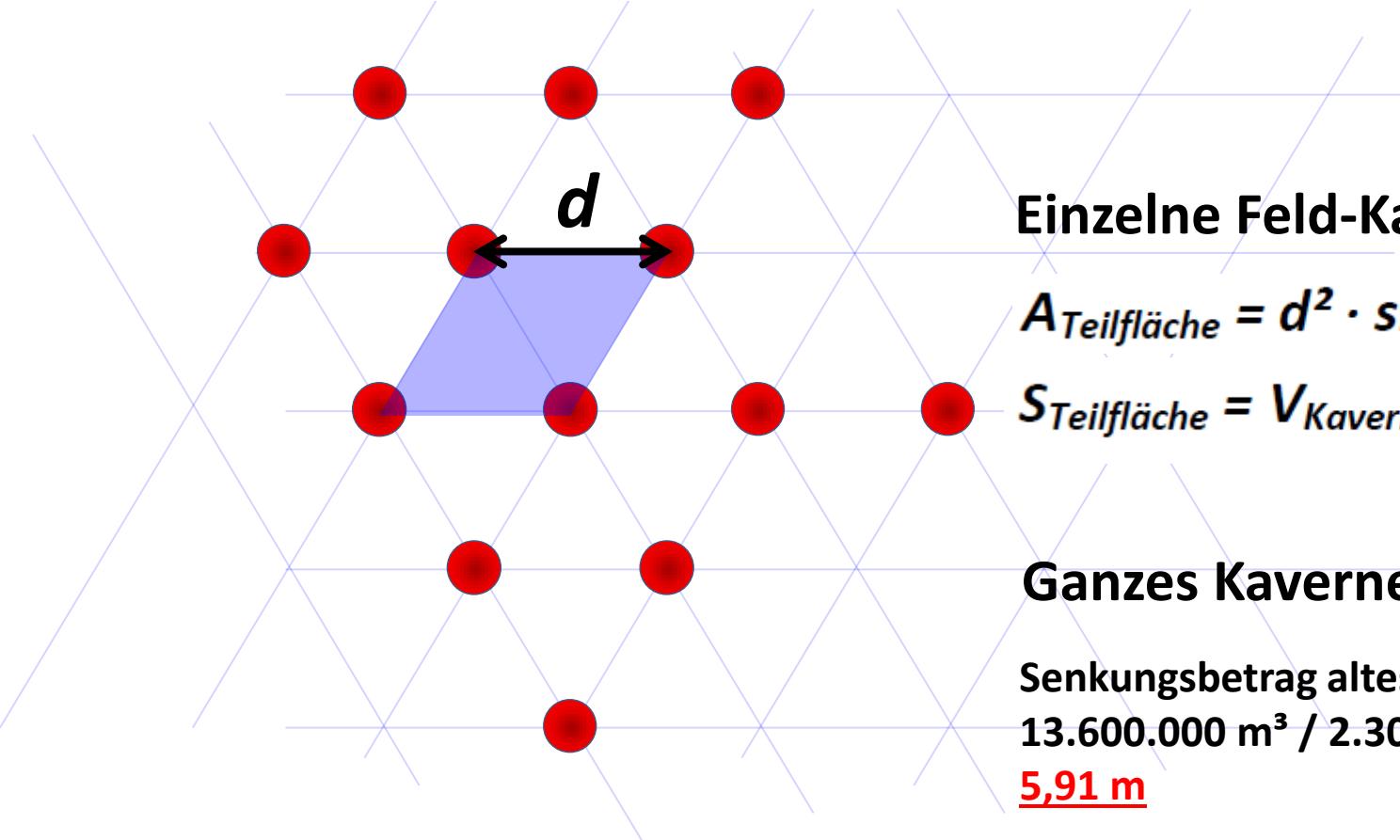
# Kavernenfeld Etzel



Bildquelle: Staudtmeister und Rokahr (1994)



# Senkungsberechnungen



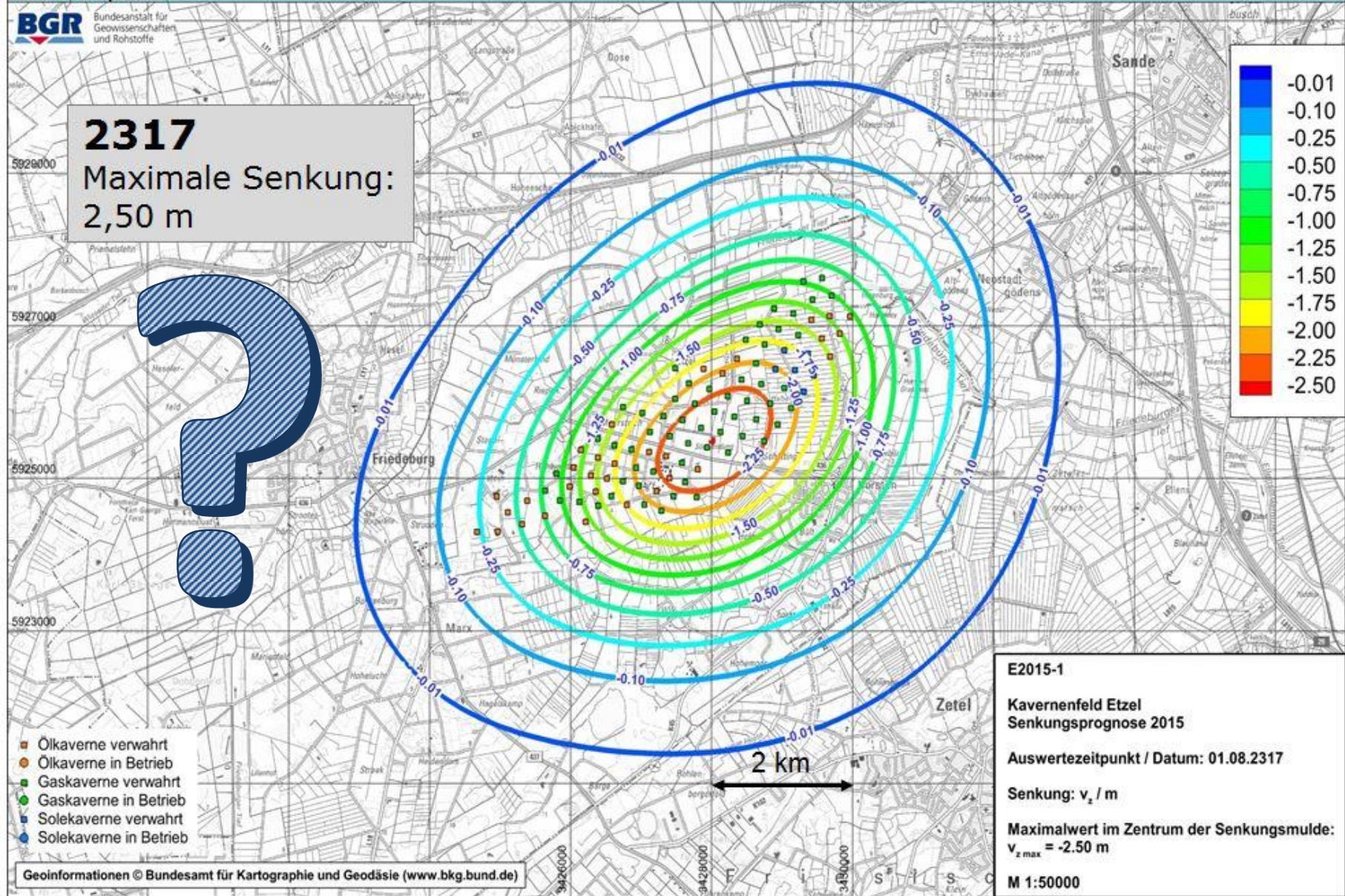
**Einzelne Feld-Kaverne:**

$$A_{Teilfläche} = d^2 \cdot \sin(60^\circ)$$

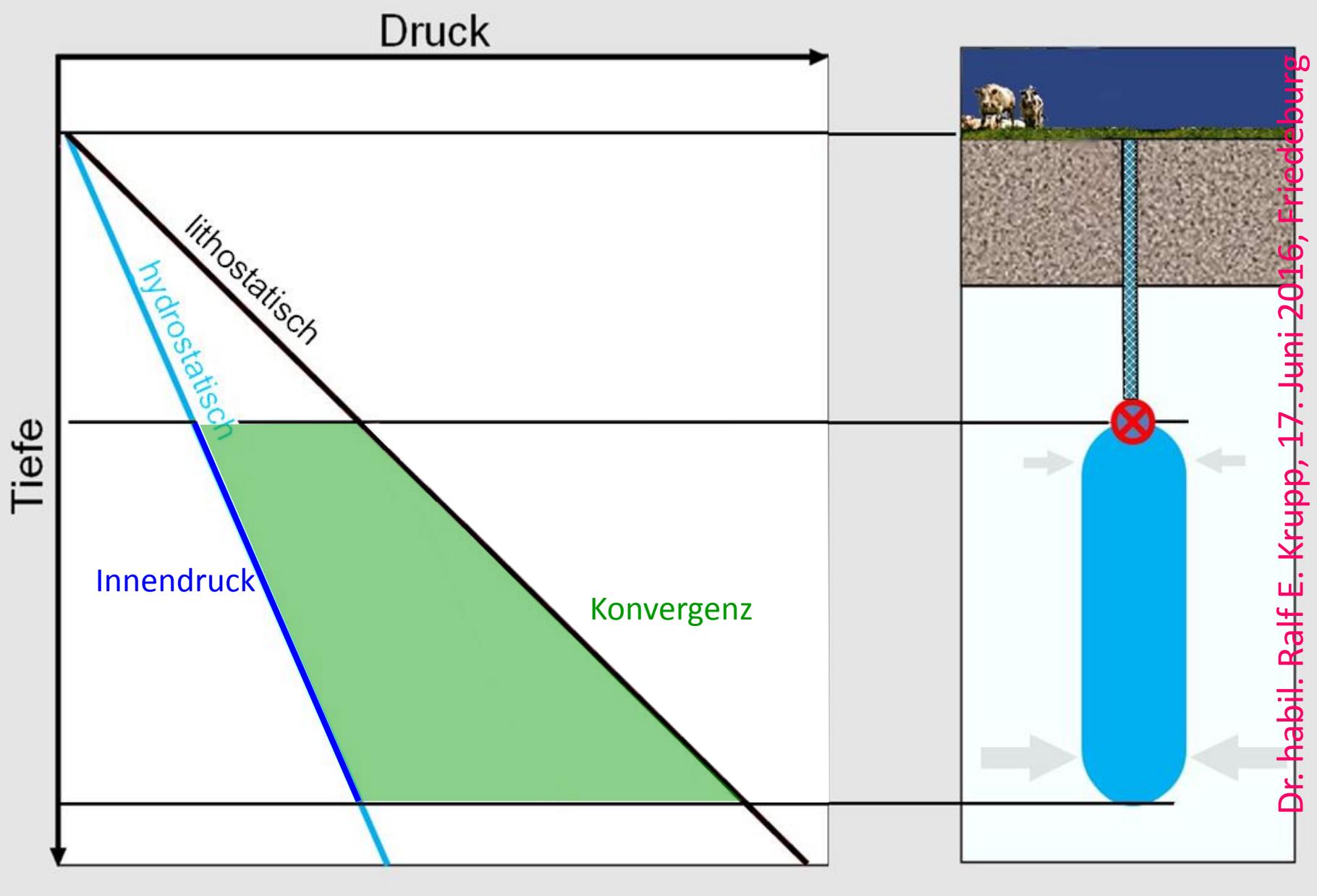
$$S_{Teilfläche} = V_{Kaverne} / A_{Teilfläche}$$

**Ganzes Kavernenfeld:**

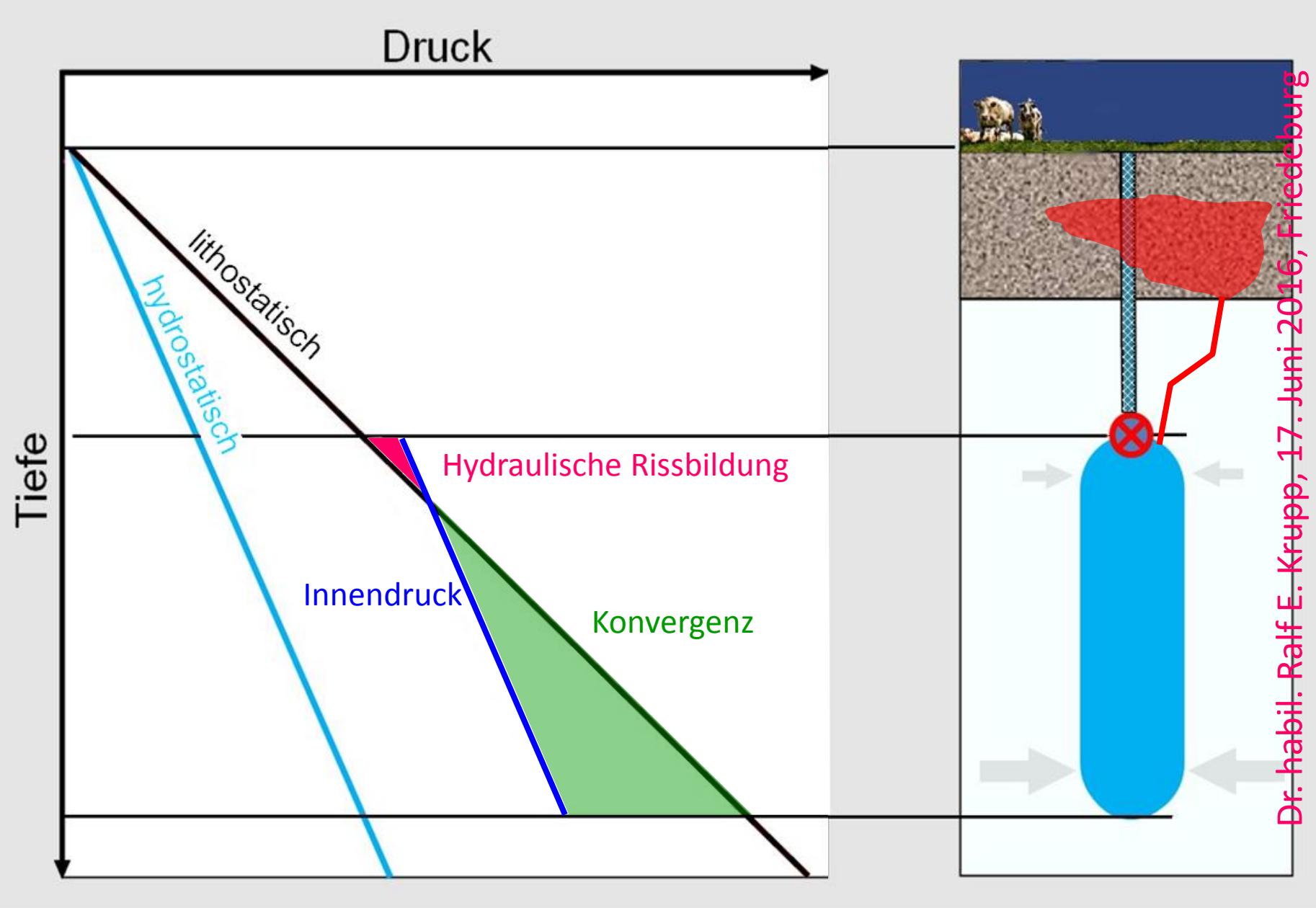
Senkungsbetrag altes Kavernenfeld (33):  
 $13.600.000 \text{ m}^3 / 2.300.000 \text{ m}^2 =$   
5,91 m

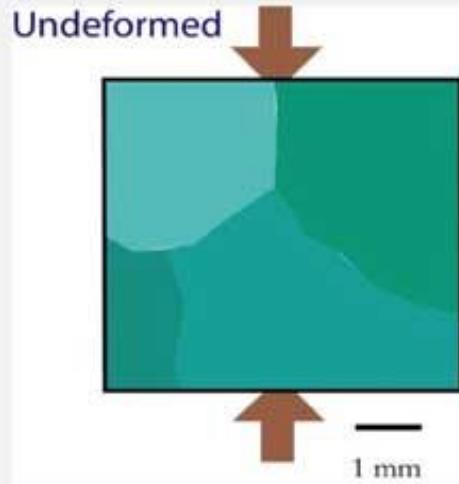


# Verschlossene, mit Sole gefüllte Kaverne

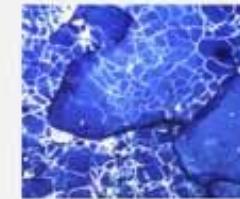
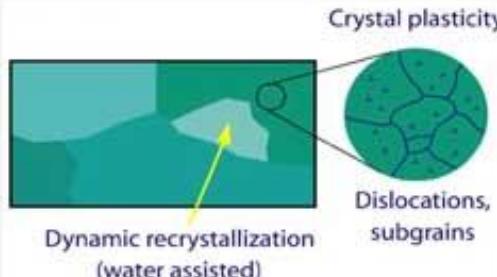


# Verschlossene, mit Sole gefüllte Kaverne

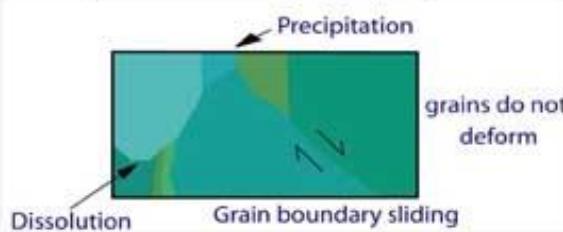




## 1. Dislocation creep



## 2. Pressure solution



## 3. Plasticity and microcracking

Plasticity      DILATANCY



1. + 2. occur together during "normal" salt tectonics  
3. in deep subsurface only under lithostatic fluid pressure

Johannes Schoenherr\*    Mark Newall  
Janos L. Urai           Nadia Al-Abry  
Ralf Littke               Jean-Michel Larroque  
Peter Kukla

# Mikrorisse

Beispiel:

- Sekundärporosität < 0,1 %
- 1000-faches Kavernen-Volumen als Speicher-Volumen erforderlich
- Kornverband und Standsicherheit gehen verloren

1. + 2. occur together during  
"normal" salt tectonics  
3. in deep subsurface only under  
lithostatic fluid pressure

## 3. Plasticity and microcracking

Plasticity



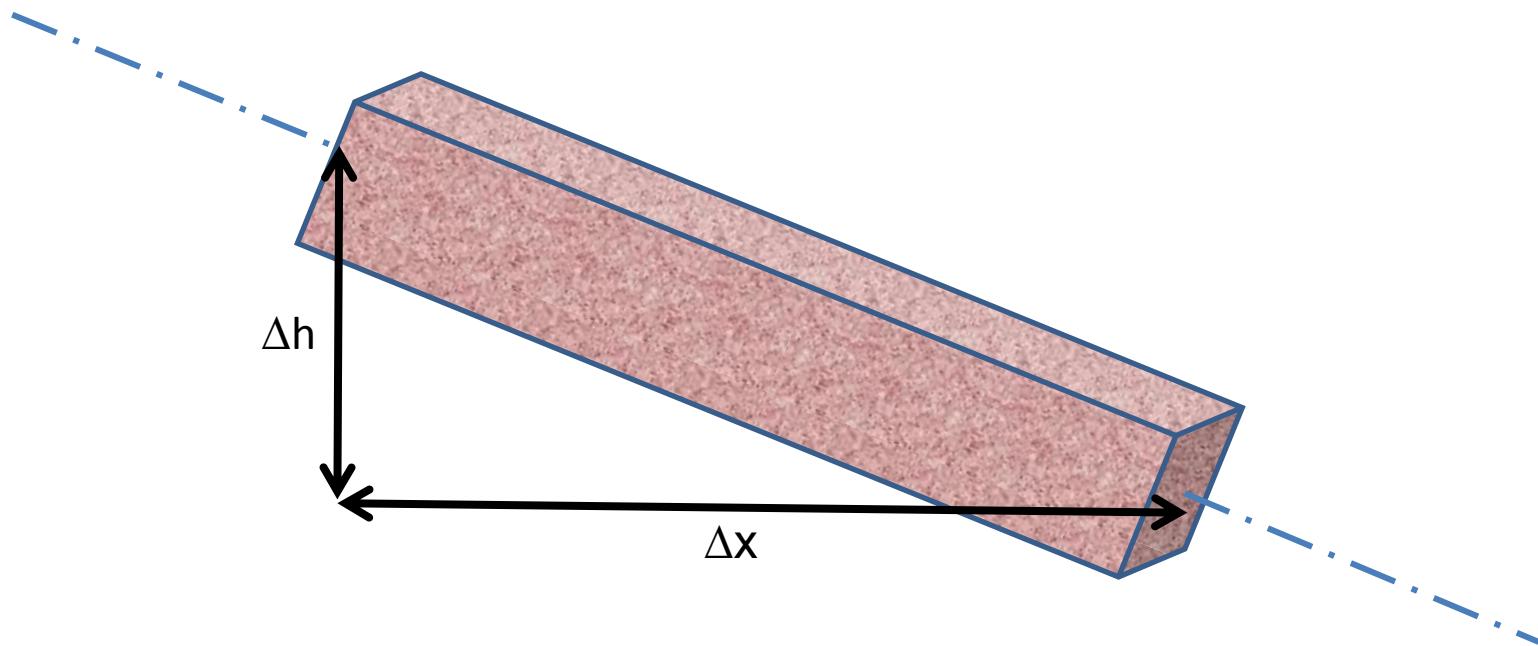
DILATANCY



## Darcy-Gesetz:

$$vf = -kf \cdot \text{grad } h$$

- $vf$  ist die Filtergeschwindigkeit [ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$ ] , oder [ $\text{m/s}$ ]
- $kf$  ist eine Material-Konstante [ $\text{m/s}$ ]
- $\text{grad } h$  ist die Druckänderung (Höhdifferenz) mit den Raumkoordinaten [ $\text{m/m}$ ]



- Dilatanz verändert das Gefüge und die Durchlässigkeit ( $kf$ -Wert)
- $kf$ -Wert ist keine Konstante mehr, sondern wird druckabhängig
- Kein Ende der Konvergenz durch Druck-Gleichgewicht

# Fazit

- Bei vertikal aus gedehnten, solegefüllten Kavernen wird die Konvergenz jeden druckdichten Verschluss durch Rissbildung und Leckage zerstören.
- Die Leckage kann sowohl über einen Makro-Riss als auch über ein geschädigtes Korngefüge erfolgen.
- Infiltrationszonen im Steinsalz haben zu geringe Speicherkapazitäten um den Kavernen-Inhalt aufzunehmen.
- Die Konvergenz wird bis zur vollständigen Auspressung der Sole fortschreiten.
- Das Senkungsvolumen entspricht im Endstadium dem Volumen des ausgesolten Salzes.

**Berest & Brouard (2003) Safety of Salt Caverns Used for Underground Storage. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, Vol. 58 (2003), No. 3**

*“It is expected that creep ends when the cavity pressure balances the overburden pressure. In fact, as pointed out by Wallner (1988) and Ehgartner and Linn (1994), an exact balance is reached only at cavern mid-depth.*

*Salt rock is heavier than brine and, in the final state, brine pressure at the cavern top will exceed the geostatic pressure by an amount that is larger when the cavern is taller.*

*If the cavern is tall enough, the rock tensile strength will be exceeded, and fracturing becomes likely.”*

**Minkley et al. (2014) Discontinuum-Mechanical Behavior of Salt Rocks and the Practical Relevance for the Integrity of Salt Barriers. SMRI Fall 2014 Technical Conference, 29 - 30 September 2014, Groningen, NL**

*“Since the density of the brine is lower than that of the salt rock, this will **inevitably** lead to a situation where the fluid pressure at the roof of the cavern will exceed the lithostatic stress at that depth (Fig. 13).*

*In a final state, a macroscopic fracture **might** be created due to this over-pressurization, which is why this effect needs to be investigated in more detail.”*



© BI Lebensqualität Horsten/Etzel/Marx e.V.