

# Hydromechanische und thermische Charakterisierung des künstlichen Risses in der Geothermiebohrung Horstberg

Alireza Hassanzadegan und Torsten Tischner

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Hannover, Germany



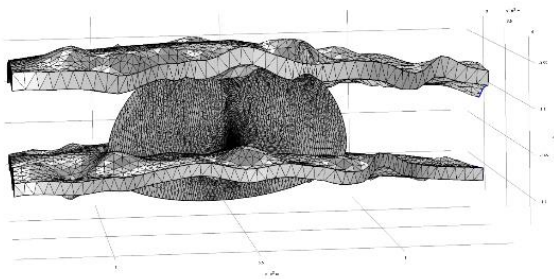
Der  
Geothermie  
Kongress  
2018

Workshoptag: 27. November  
Kongresstage: 28. + 29. November  
Haus der Technik, Essen

# Motivation

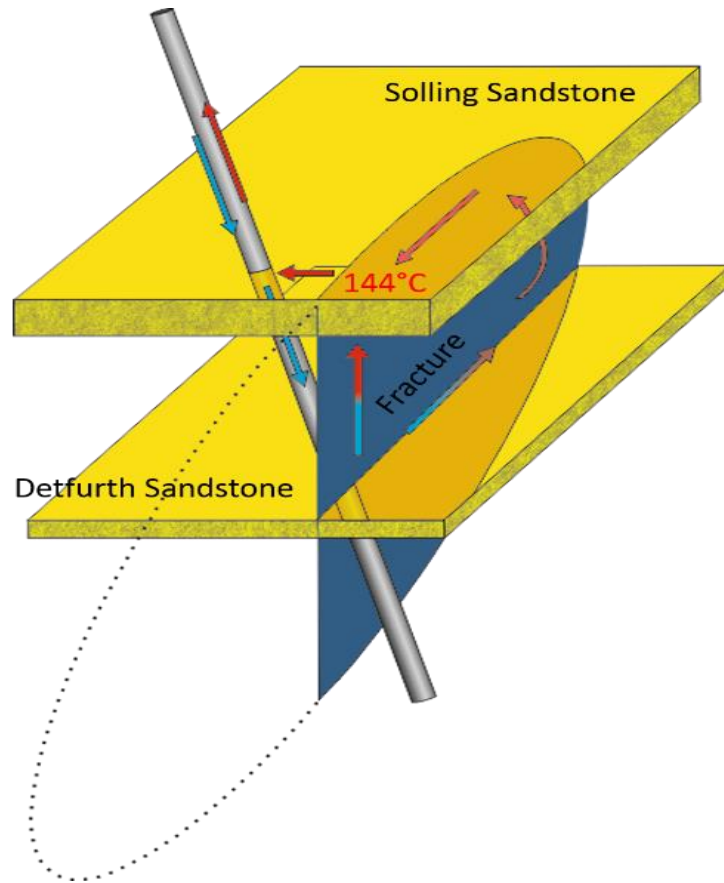


- Die Horstberg-Bohrung liegt etwa 75 km nordöstlich von Hannover im Norddeutschen Becken
- F&E-Standort
- Ein künstlicher Riss verbindet Solling und Detfurth Sandstein-Formationen (Mittlerer Buntsandstein)
- Rissfläche: 200,000 [m<sup>2</sup>]
- Kein Stützmittel wurde verpreßt



# Horstberg Bohrung

## Forschungsfragen?



- Ein monoborehole concept wird angewendet
- Das Thermalwasser wird über den Ringraum gefördert und durch das Steigrohr injiziert
- Künstlicher Riss
- Vergleich hydraulische und porenelastische Modelle
- Einfluss der Spannung auf die Rissapertur
- Einfluss der Temperatur auf die Rissapertur

# Rissapertur (Barton-Bandis Modell)

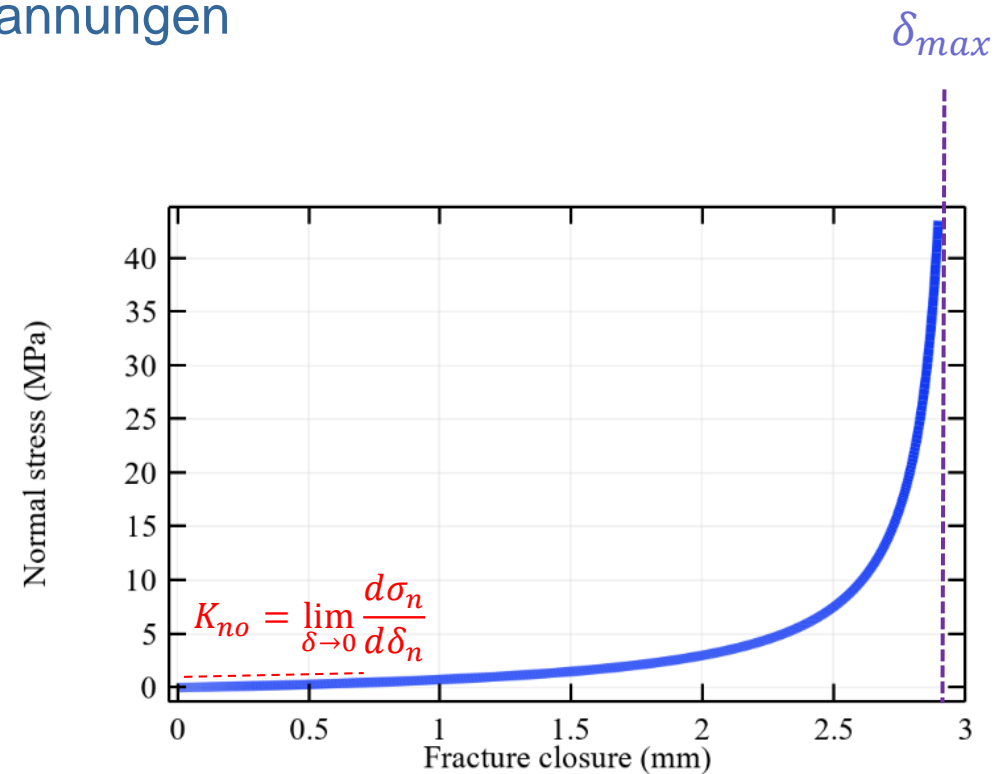
- Schließen des Risses:  $\delta_n = \delta_{max} - b$  ist gekennzeichnet durch;
  - eine anfängliche normale Steifigkeit  $K_{n0}$  bei geringen Spannungen
  - ein maximaler Risschluss  $\delta_{max}$  bei hohen Spannungen

$b = \delta_{max} - \delta_n$  : Apertur

$\sigma_n$ : Normal Stress

$$K_n = \frac{d\sigma_n}{d\delta_n} = \frac{K_{n0}}{(1 - \delta_n/\delta_{max})^2} \quad \sigma_n = \frac{K_{n0}\delta_n}{(1 - \delta_n/\delta_{max})}$$

(Goodman 1976, Barton und Bandis 2017)

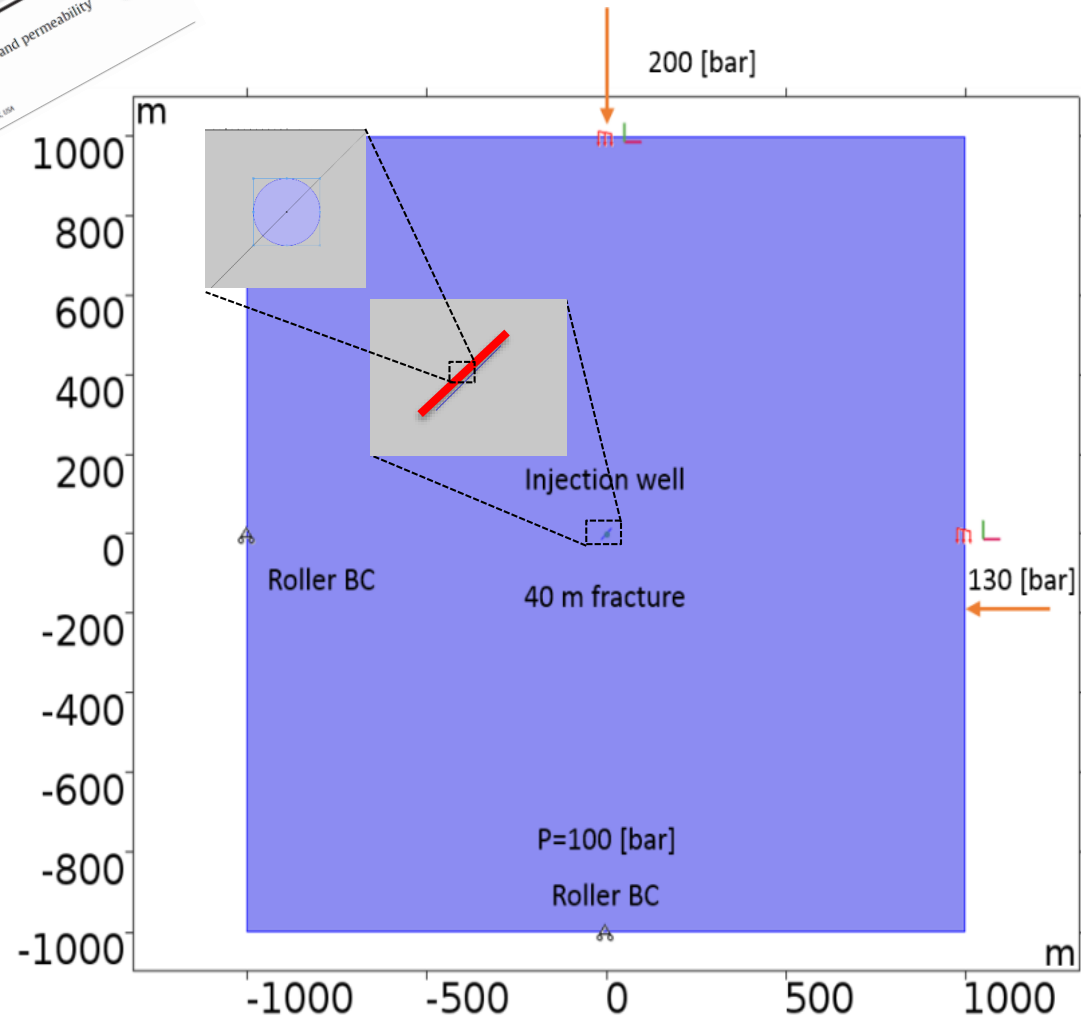


# Modellbeschreibung (benchmark Modell)

## Modellbeschreibung:

(White, et al. 2016; Ghassemi and Tao 2016)

- Riss-Halblänge: 20 m
- Riss als 1-D Element
- 2 km × 2 km
- Am Rand: No-flow
- Injektionsrate:  $6 \times 10^{-5}$  l/s
- Riss-Permeabilität: Cubic law
- Spannungsrandbedingung
- Single Phase Darcy's law



# Material Eigenschaften

---

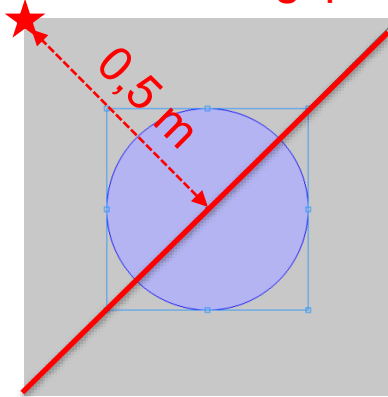
Reservoir Temperatur	420	K
Injektionstemperatur	340	K
Spannung-x	13	MPa
Spannung-y	20	MPa
Reservoirdruck	10	MPa

---

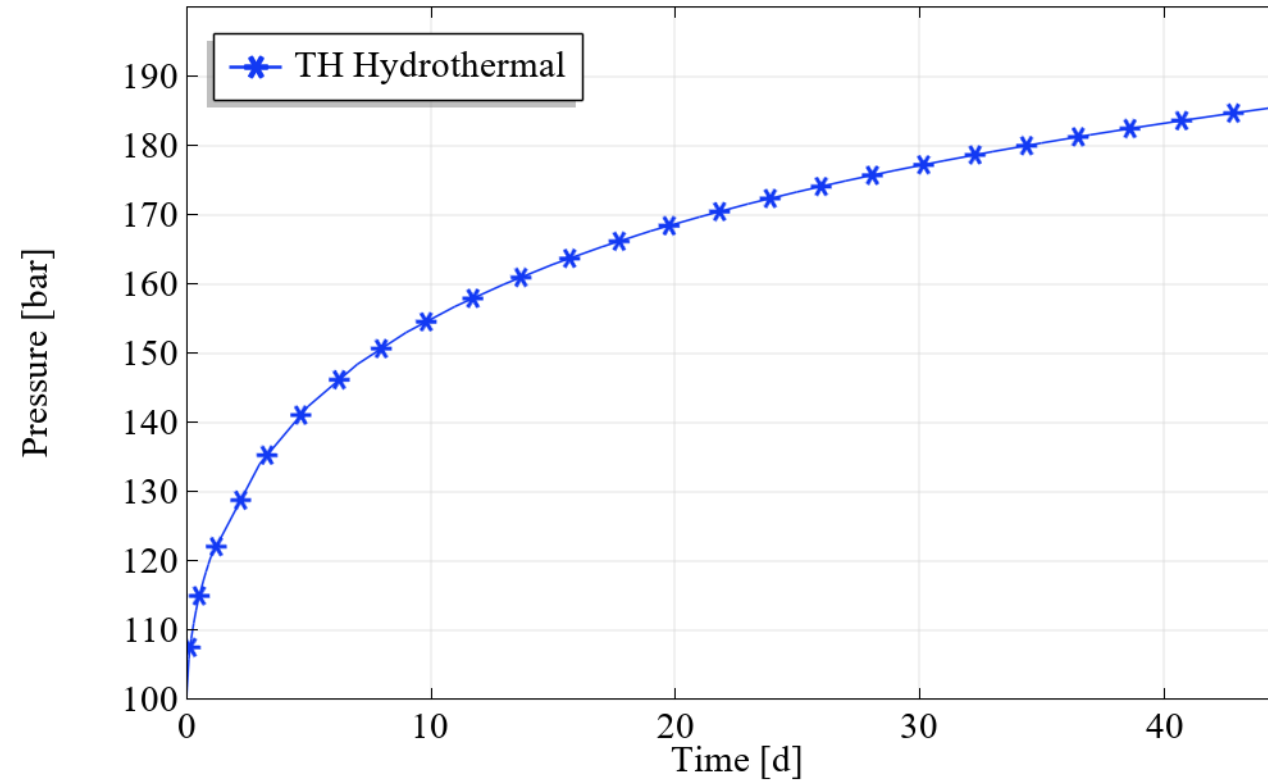
Matrix Permeabilität	$4 \times 10^{-19}$	m <sup>2</sup>
Matrix Porosität	0.01	-
Schermodul	15	GPa
Poissonzahl	0.25	-
Biot-Koeffizient	1	-

# Hydrothermische Charakteristik

Beobachtungspunkt

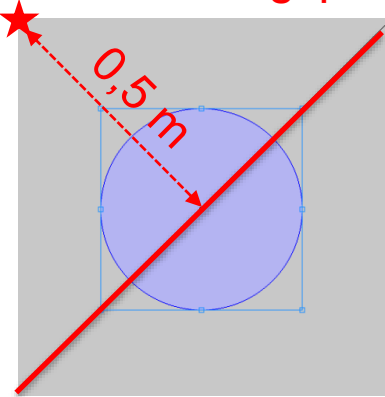


- Injektionsrate:  
 $6 \times 10^{-5}$  l/s
- $T_{inj} = 340$  K
- $T_0 = 420$  K

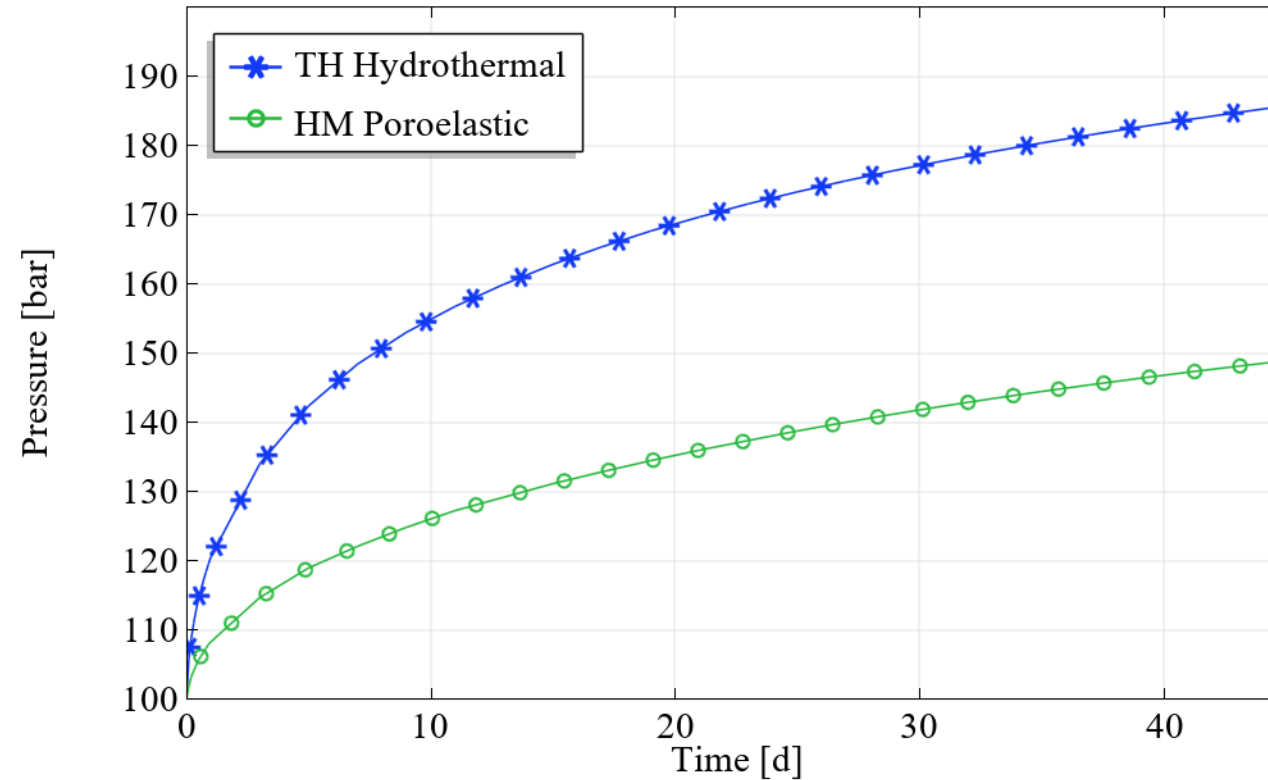


# Hydrothermische und porenelastische Charakteristik

Beobachtungspunkt



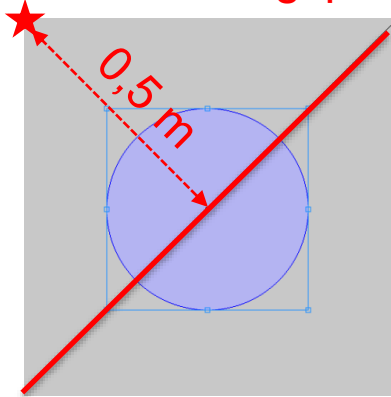
- Hydrothermisches Modell (TH)
- Isothermales und porenelastisches Modell (HM)



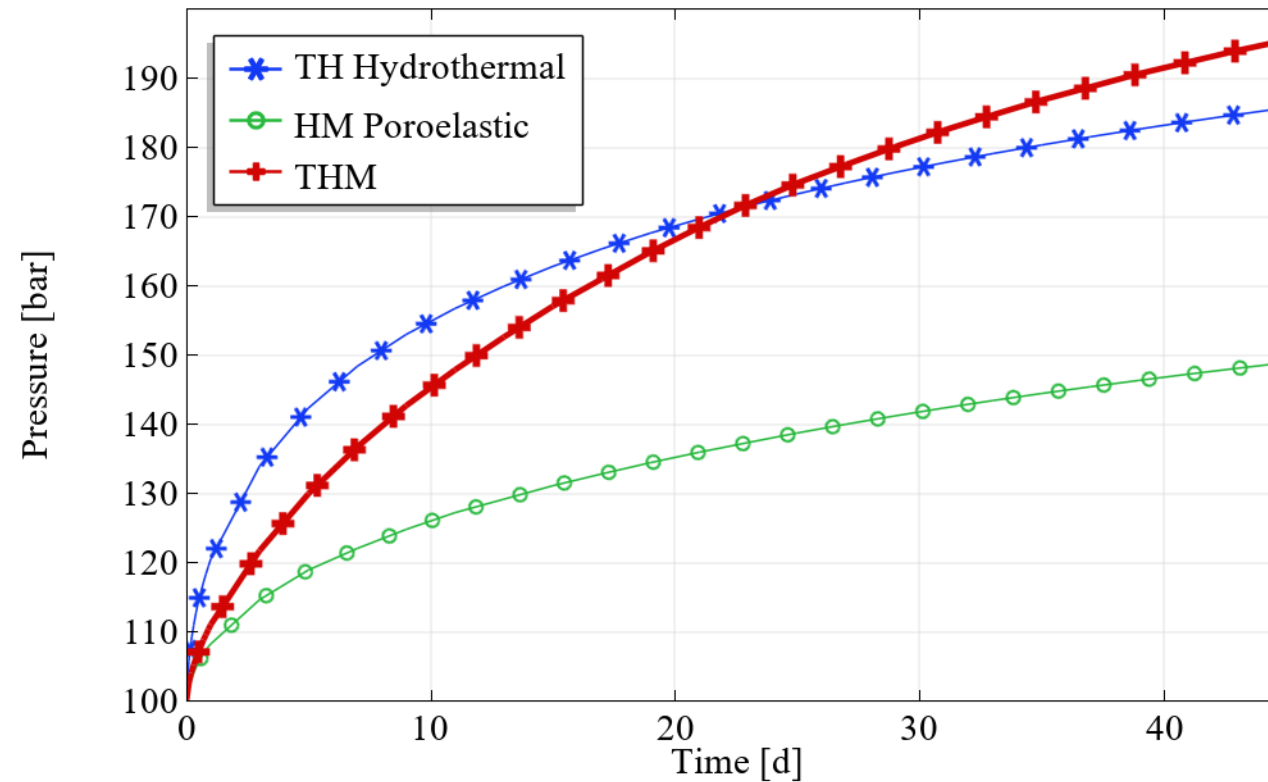


# THM Charakteristik

Beobachtungspunkt

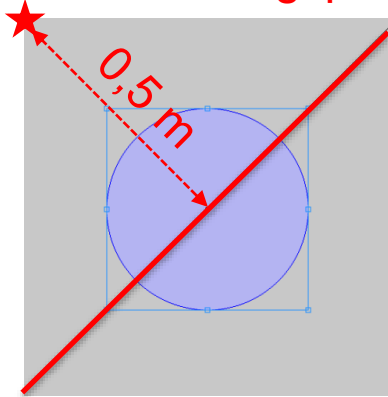


- Hydrothermisches Modell (TH)
- Isothermales und porenelastisches Modell (HM)
- Thermo-Hydro-mechanisches Modell (THM)

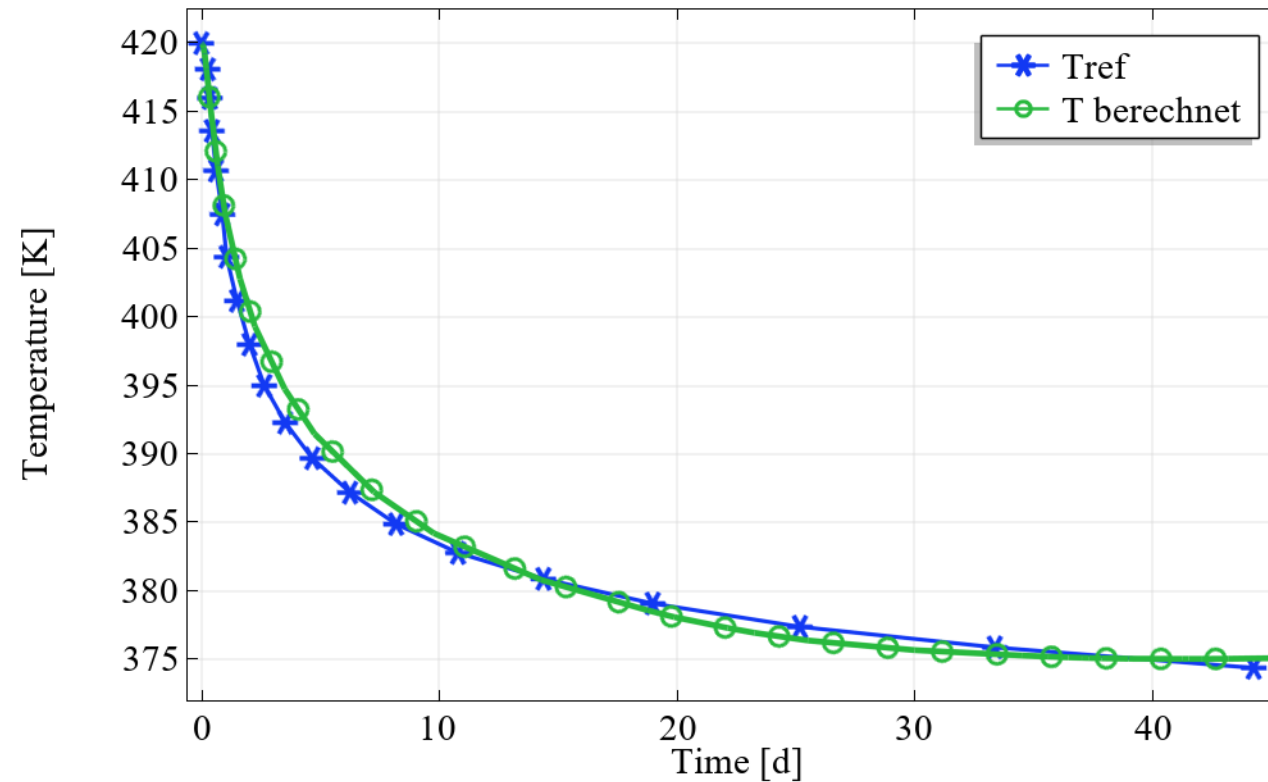


# Thermische Charakteristik

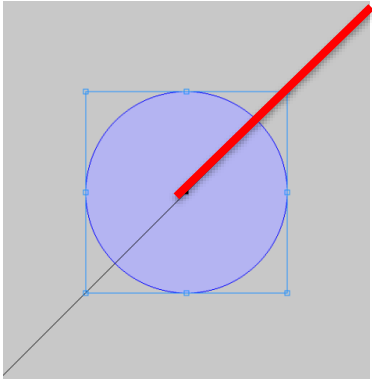
Beobachtungspunkt



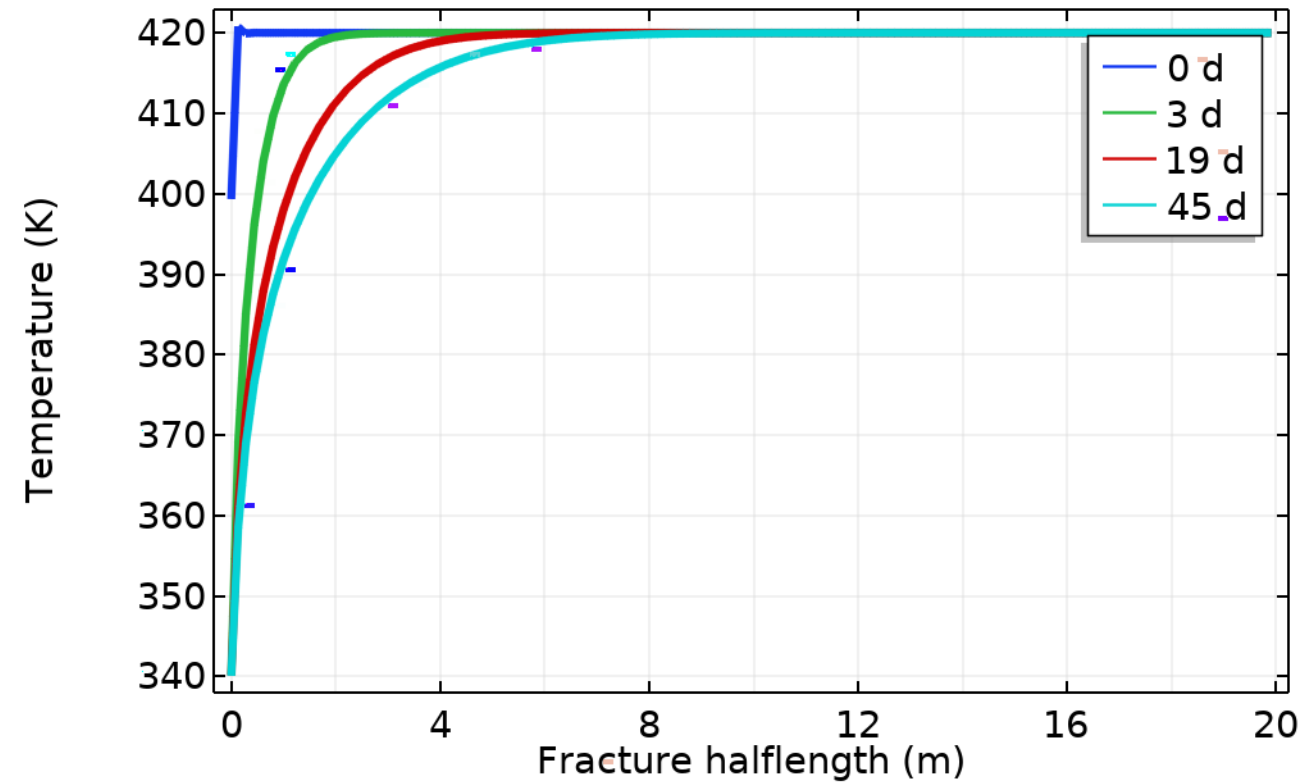
- Thermo-Hydro-mechanisches Modell (THM)
- $T_{inj} = 340\text{ K}$
- $T_0 = 420\text{ K}$
- $T_{ref}$ : Ghassemi und Tao, 2016



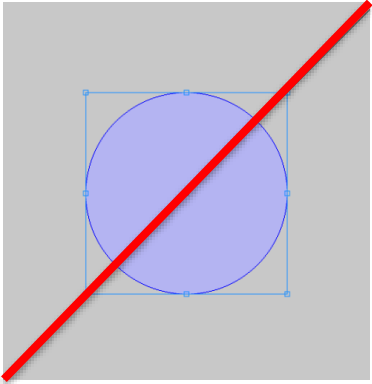
# Thermische Charakteristik



- Thermo-Hydro-mechanisches Modell (THM)
- $T_0 = 420\text{ K}$
- $T_{inj} = 340\text{ K}$

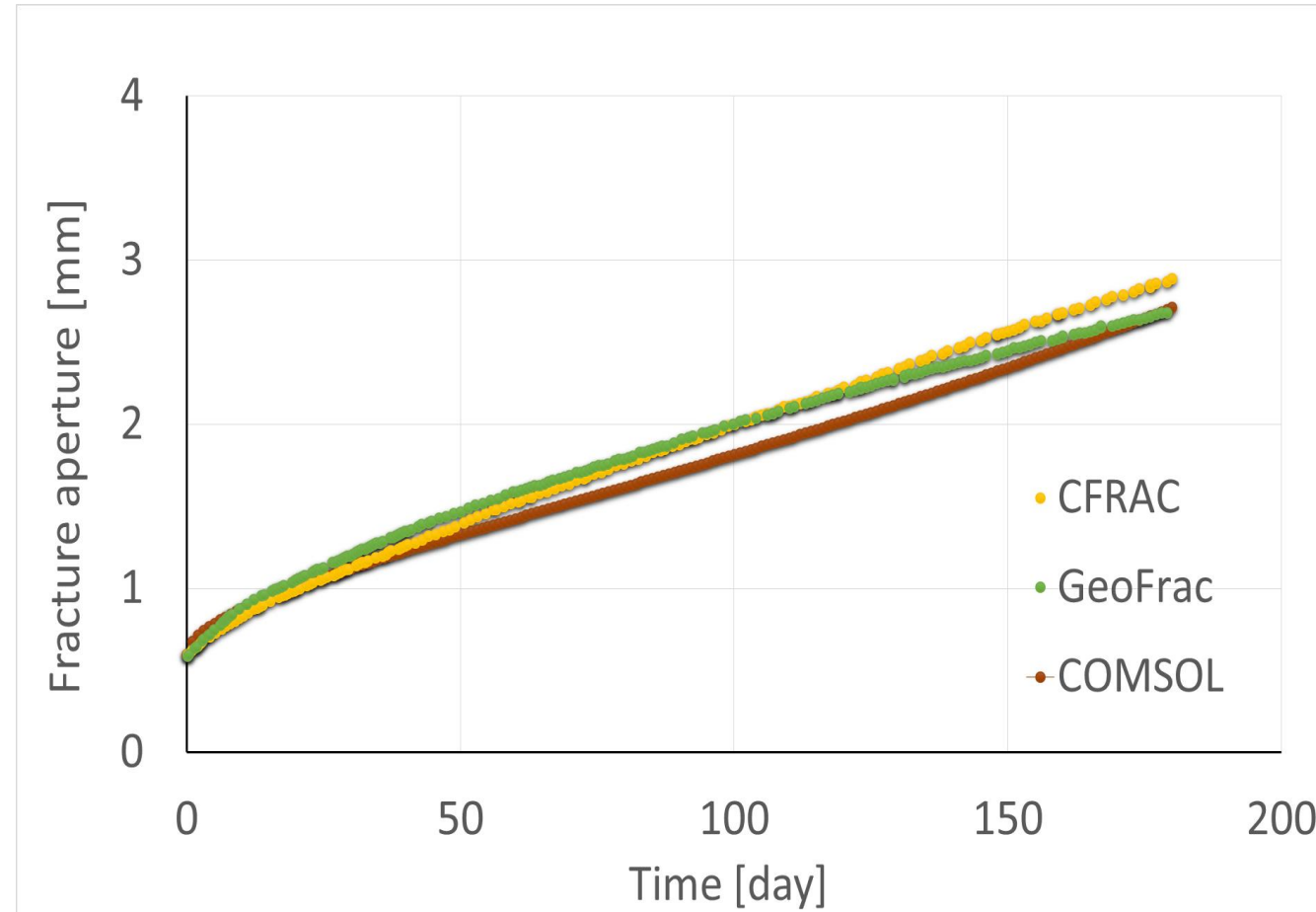


# Modellvergleich: Porenelastische Modelle

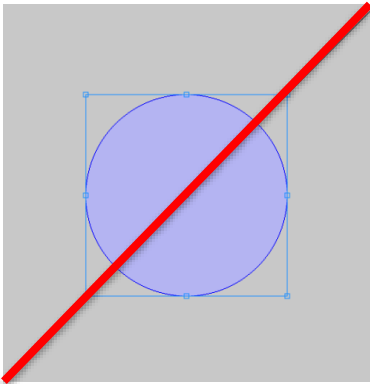


- Isothermales und porenelastisches Modell (HM)

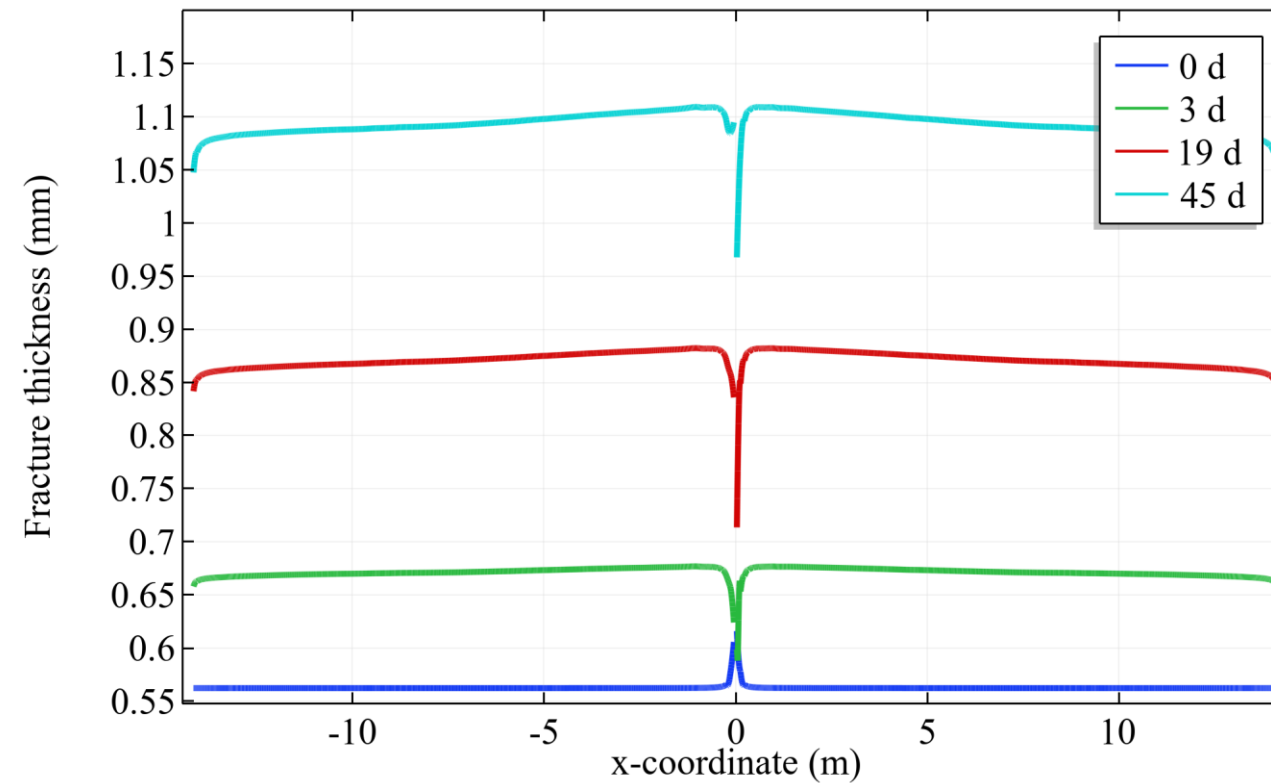
- ✓ Durchschnittliche Rissapertur



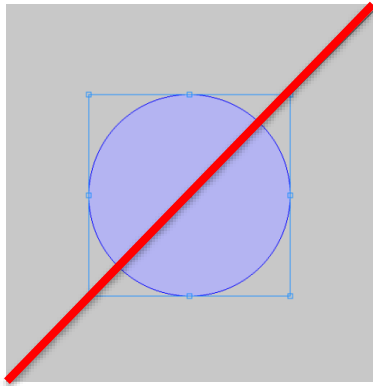
# Rissapertur im porenelastischen Modell



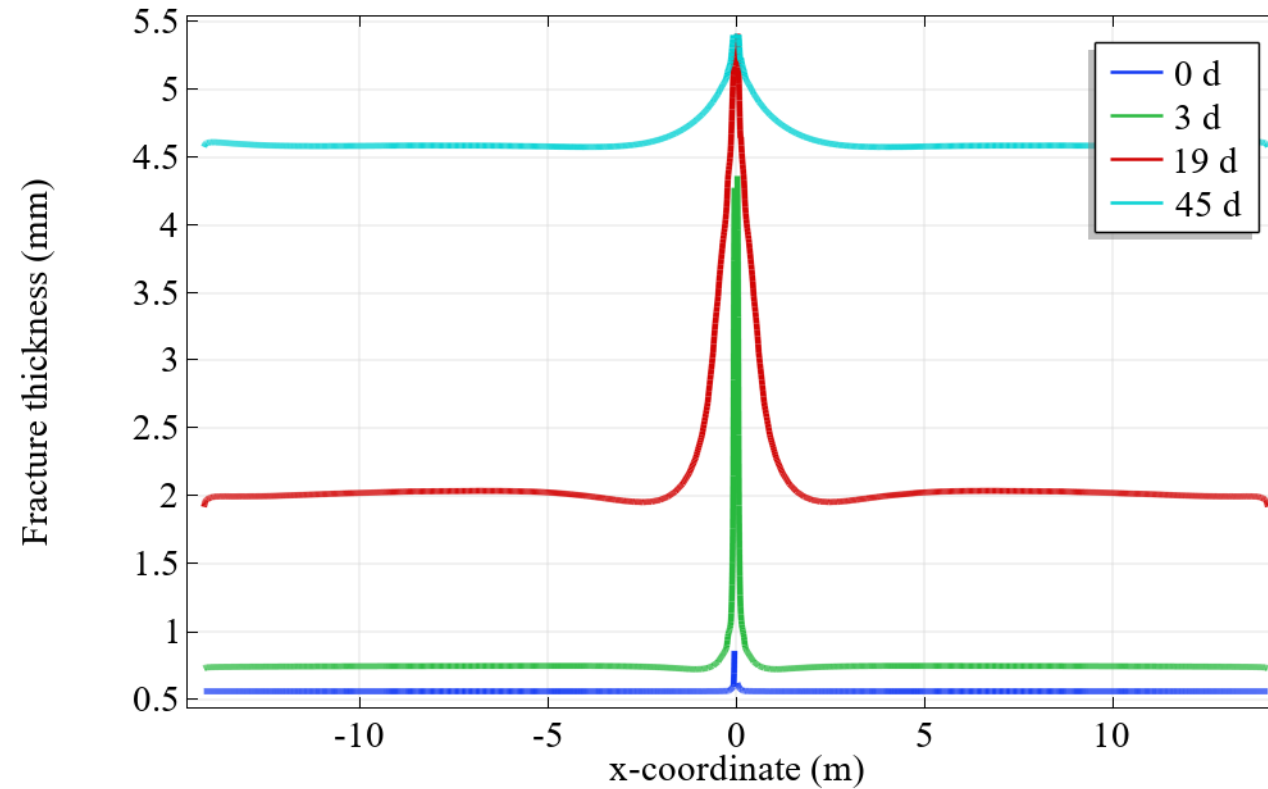
- Isothermales und porenelastisches Modell (HM)



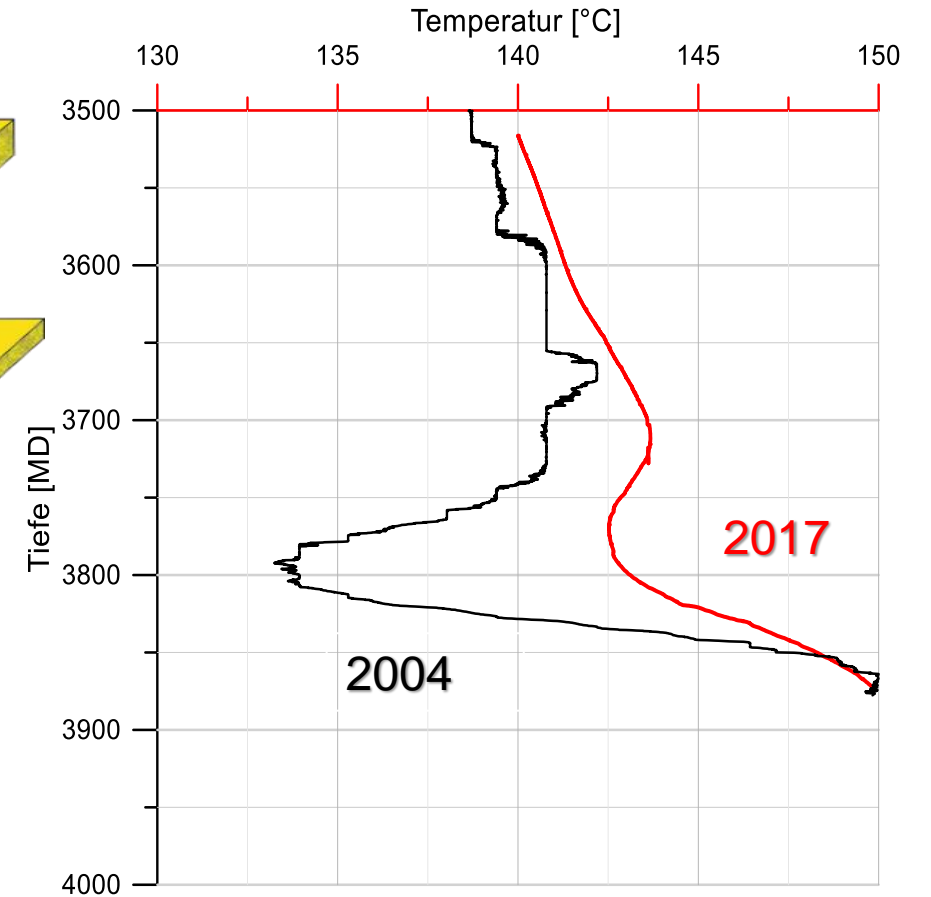
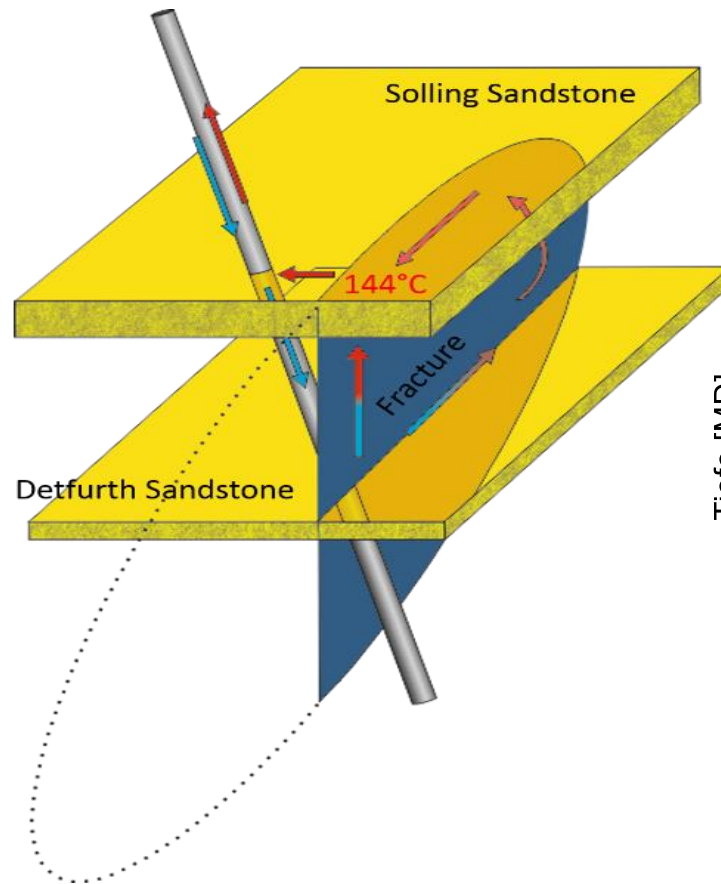
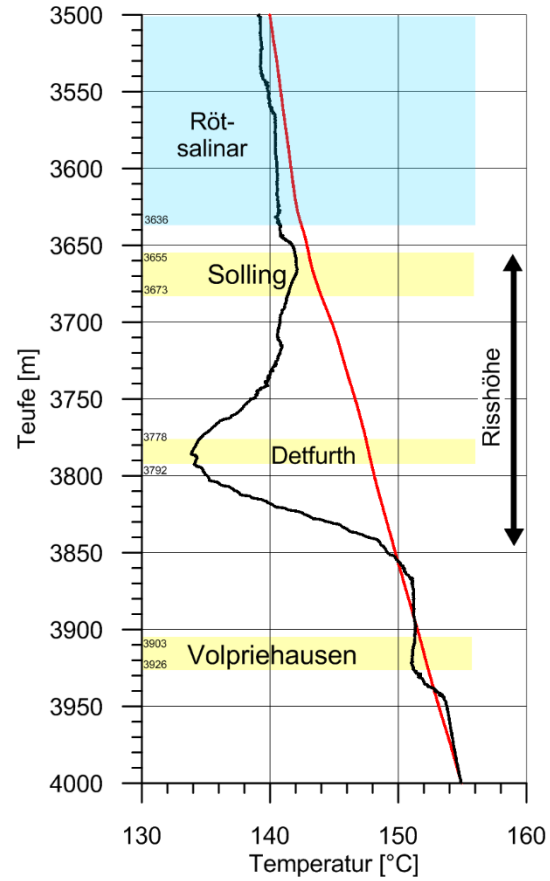
# Rissaperturänderung unter Berücksichtigung der Auskühlung



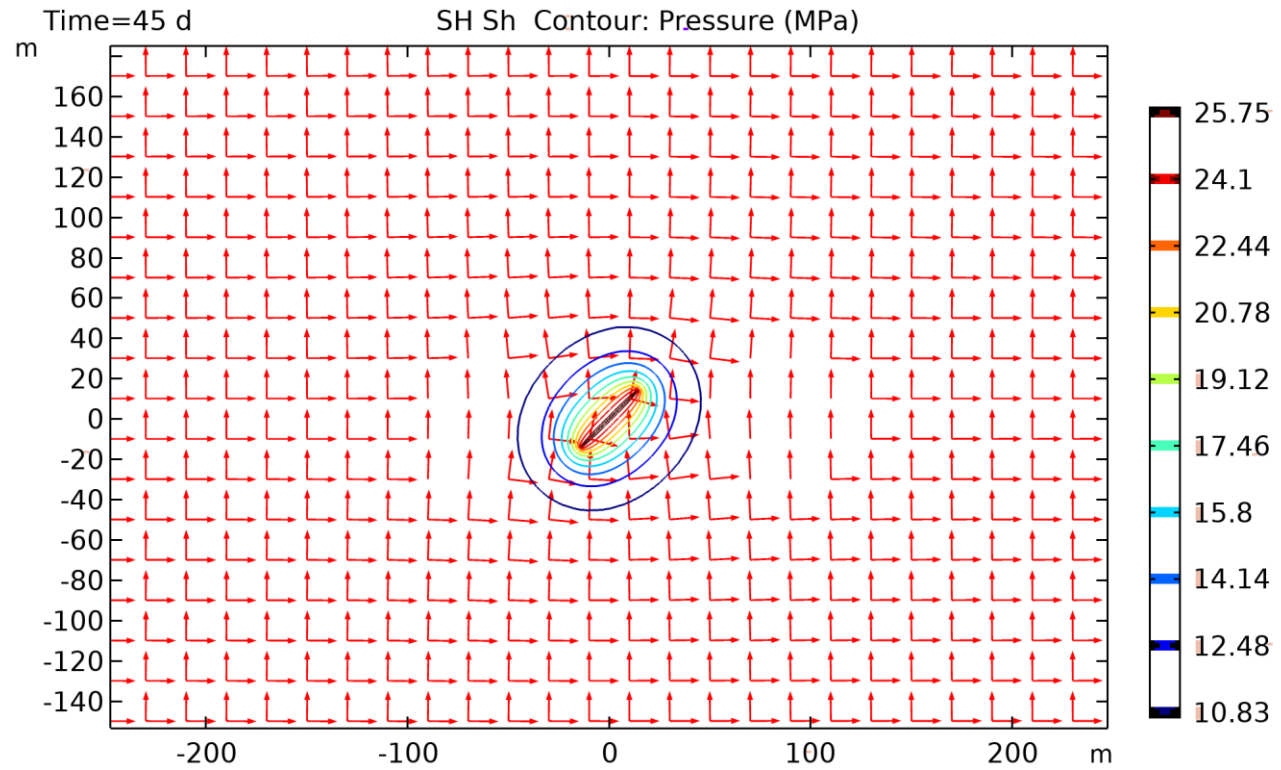
- Thermo-hydro-mechanisches Modell (THM)



# Riss bleibt offen am Rand der Bohrung



# Spannungsänderung





# Zusammenfassung & Ausblick

- Implementierung des Barton & Bandis – Rissmodell
- Gute Übereinstimmung der porenelastischen Ergebnisse mit benchmark
- Druckantwort geringer bei Berücksichtigung der Porenelastizität
- Signifikanter Effekt der Temperatur auf die Rissapertur
- Permanente Rissöffnung durch Temperatureffekt?
- Horstberg 3D THM-Modell, reale Szenarien, ...



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy



Vielen dank für Ihre Aufmerksamkeit,  
**FRAGEN?**

