

Thermische Integrität von Ton und Tonsteinen: Experiment und gekoppelte THMC-Simulationen (THMC-Sim)

A. Meleshyn^a, M. Hinze^a, M. Kröhn^a, M. Middelhoff^a,
L. Nguyen-Thanh^b, J. Kasbohm^c, T. Hoang-Minh^d, R. Ferreiro Mählmann^b,
K. Jantschik^a, L. Friedenberga, O. Czaikowski^a

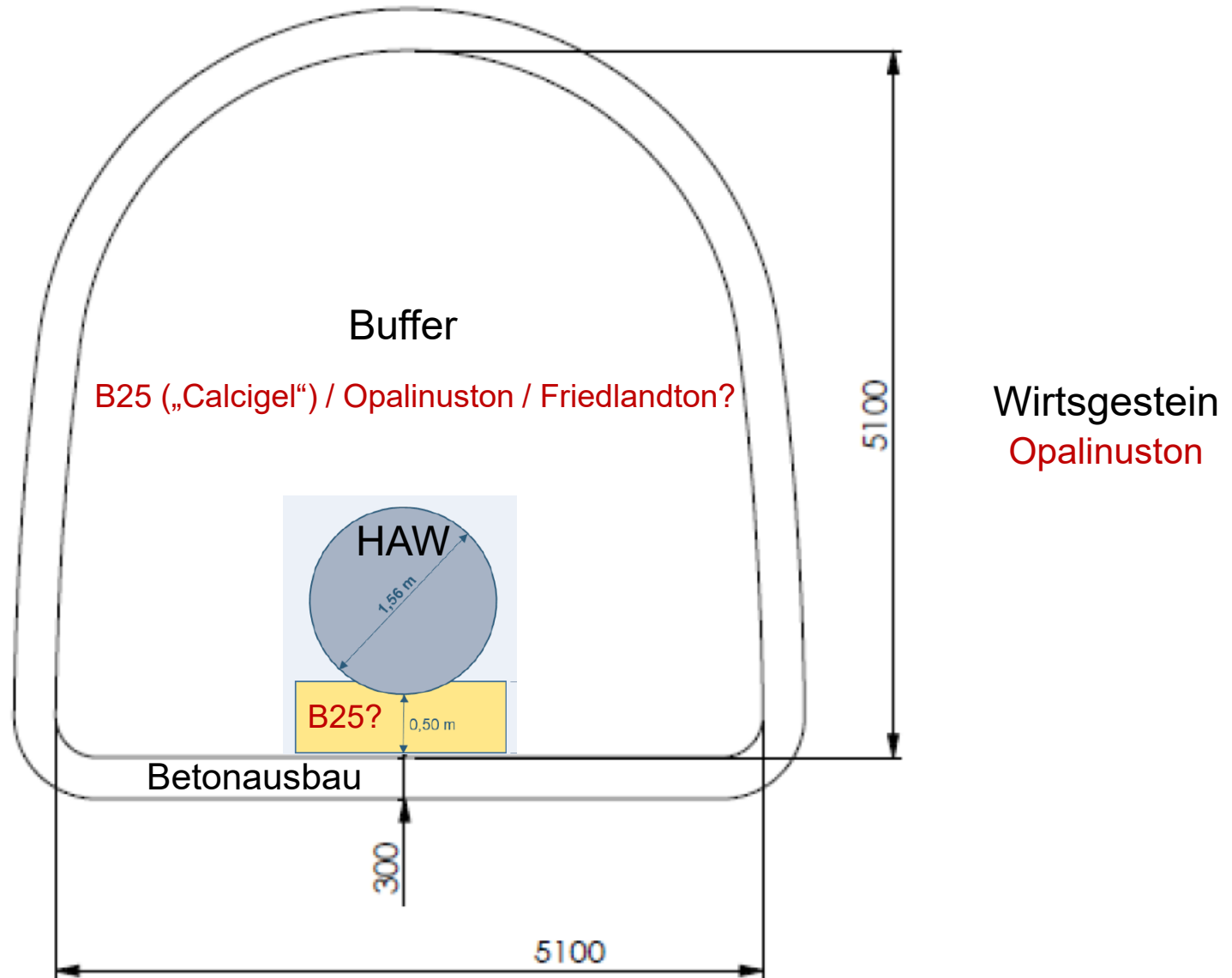
^a GRS Braunschweig, ^b TU Darmstadt, ^c Jörn Kasbohm - Consulting,
^d Vietnam National University

Stand der Arbeiten, 20. März 2023

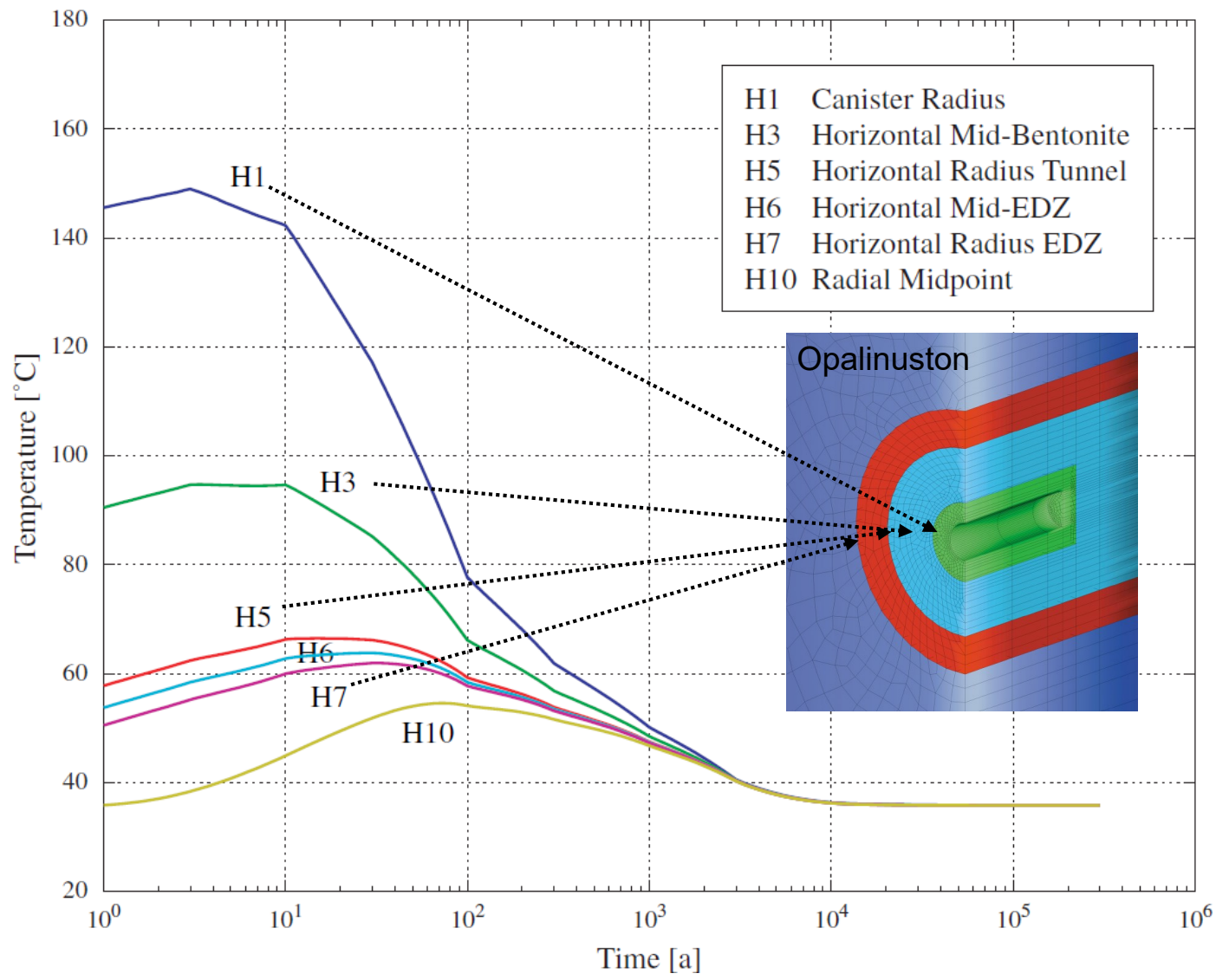
Zielsetzung durch den Bereich Standortauswahl
der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH:



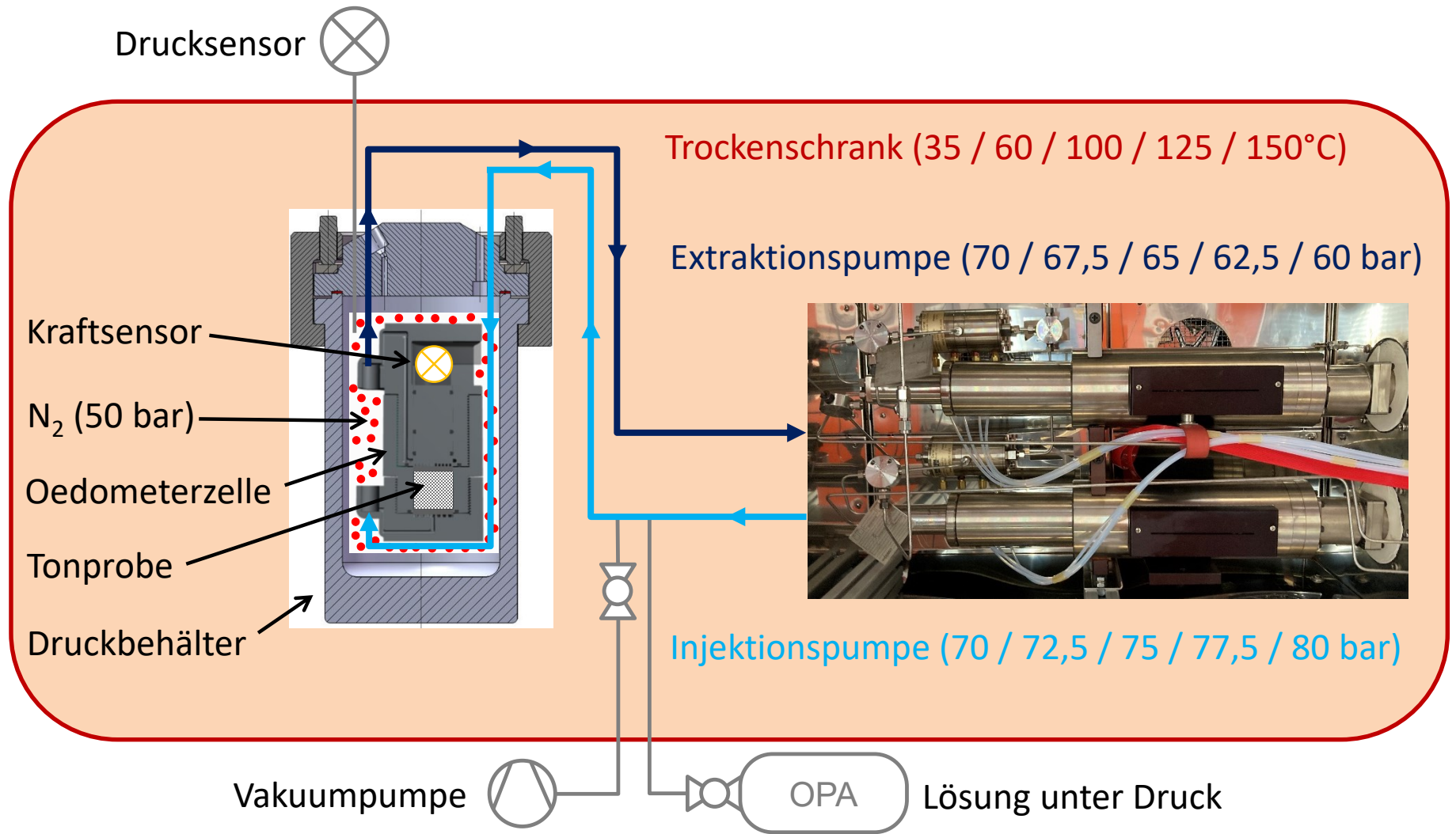
- Experimentelle und numerische Untersuchung der geomechanischen Integrität von Barrieregesteinen und Barriersystemen bei Temperaturen über 100 °C:
 - Entwicklung eines Versuchsstandes und Durchführung von Laborversuchen zur Untersuchung des gekoppelten Einflusses der Wärme und Fluidperkolation auf Bentonit und Tongestein bei Temperaturen von 35 °C bis zu 150 °C und einem Fluiddruck von 70 bar
 - Simulation der Ergebnisse mit Hilfe eines thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemisch (THMC) gekoppelten Modells



(BGE 2022)



(Johnson 2002)





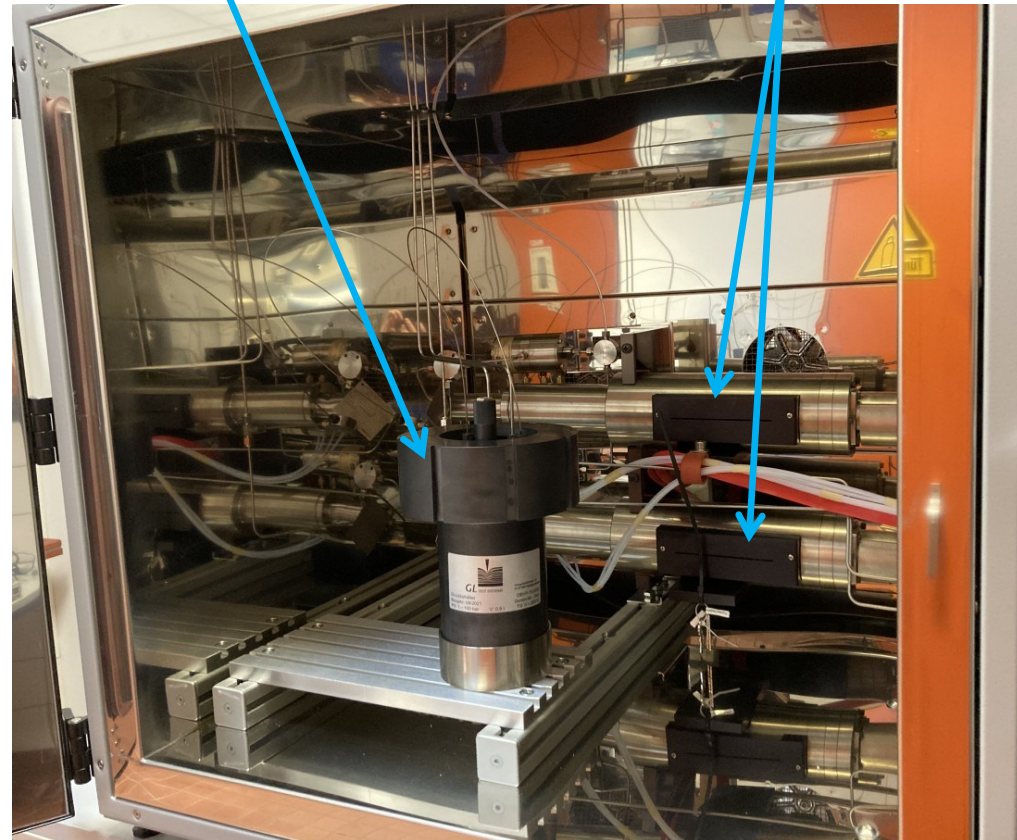
Lösung unter Druck

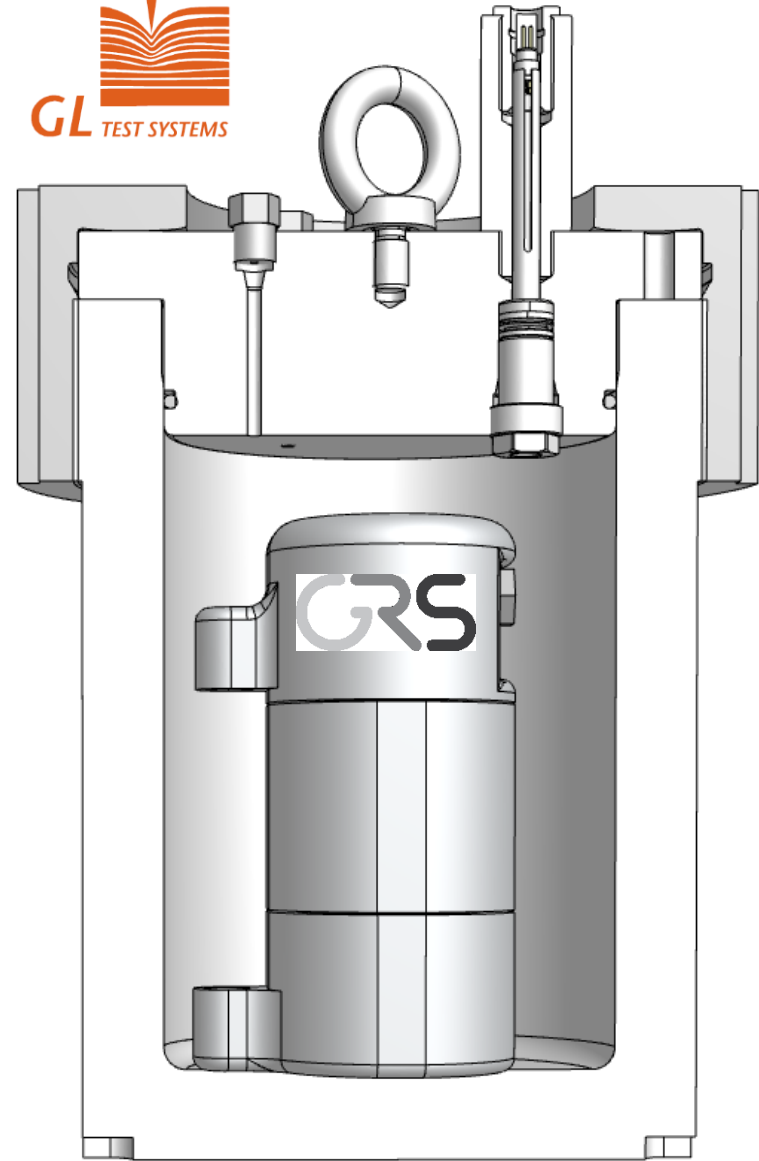
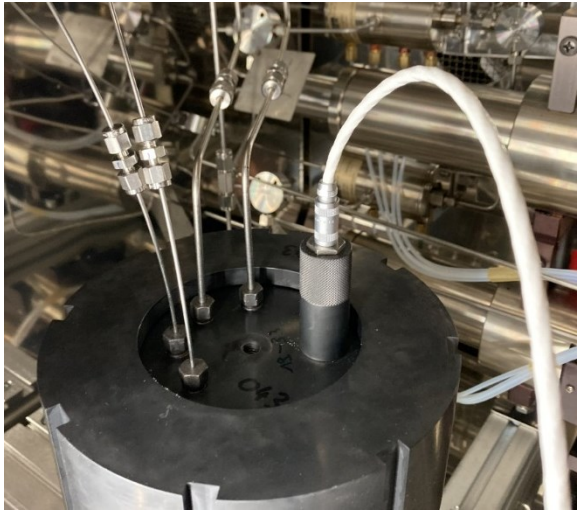


Druckbehälter



Präzisionspumpen
Quizix 5210





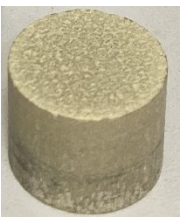


Kraftsensor



500°C, 4h

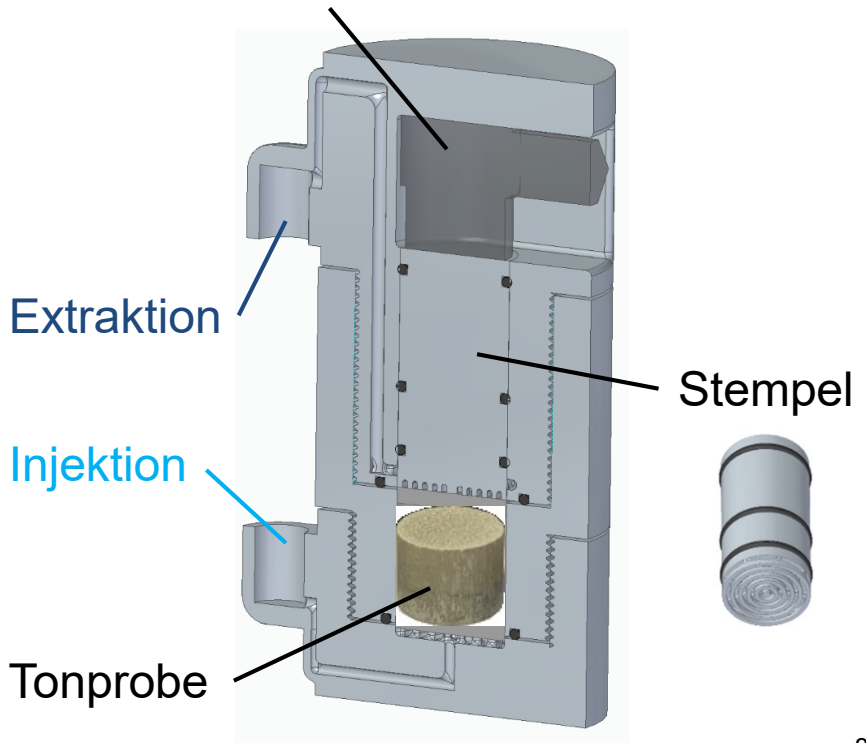
B25
kompaktiert



Opalinus
gebohrt



Friedland
gestanzt, kompaktiert

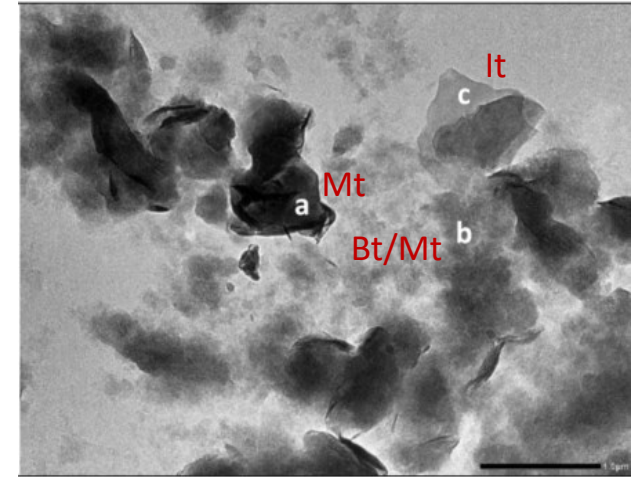


XRD

	B25	Opalinus
Ca-smectite	44%	
IS-ml		3%
Illite_1Mt	5%	2%
Illite_2M1	23%	18%
Chlorite		4%
Kaolinite	14%	40%
Σ clay	86%	67%
Quartz	11%	11%
Orthoclase	1%	2%
Albite	2%	2%
Pyrite		1%
Calcite		14%
Siderite		1%
Dolomite		1%
Rutile		
Gypsum		
Σ total	100%	99%

TEM

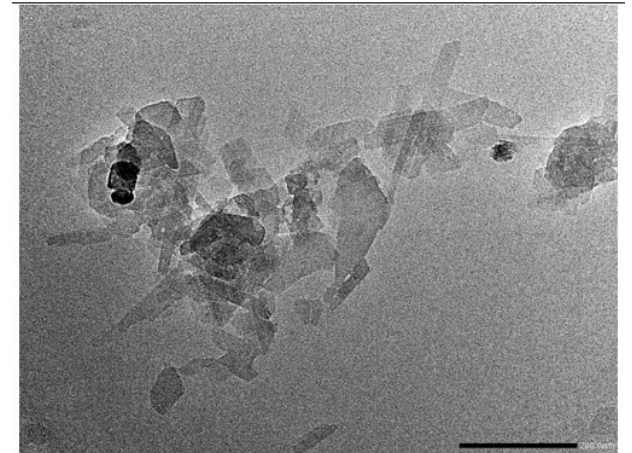
B25



JEM-2100_MAG_X10k_B25-40um_I08.bmp

Magnification: 10k

Opalinus

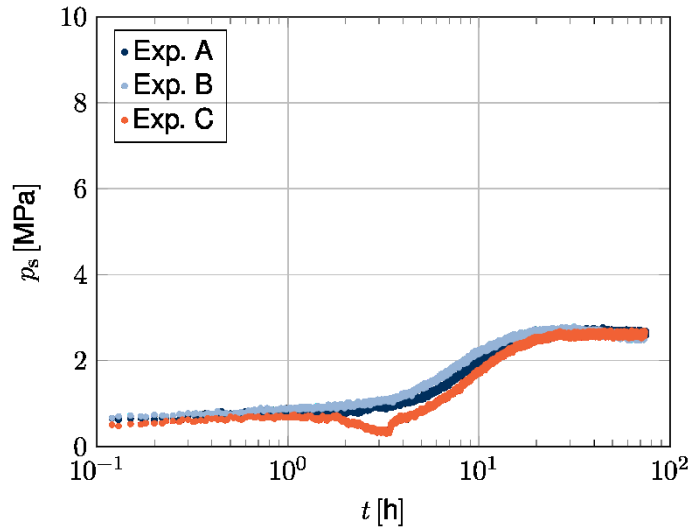


JEM-2100_MAG_X50k_Opalinus-40um-16.9_011.bmp

Magnification: 50k

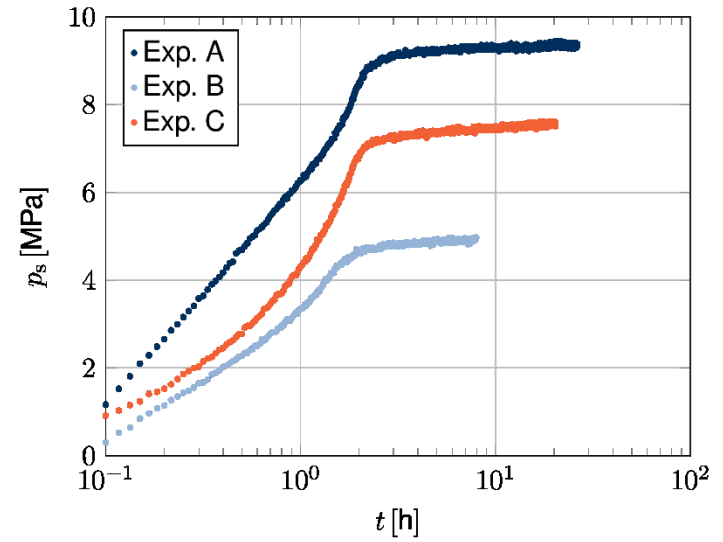
B25

35°C

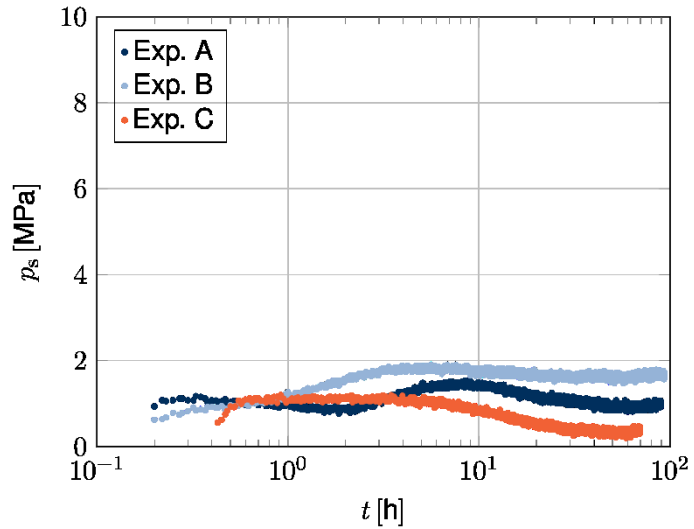


Opalinuston

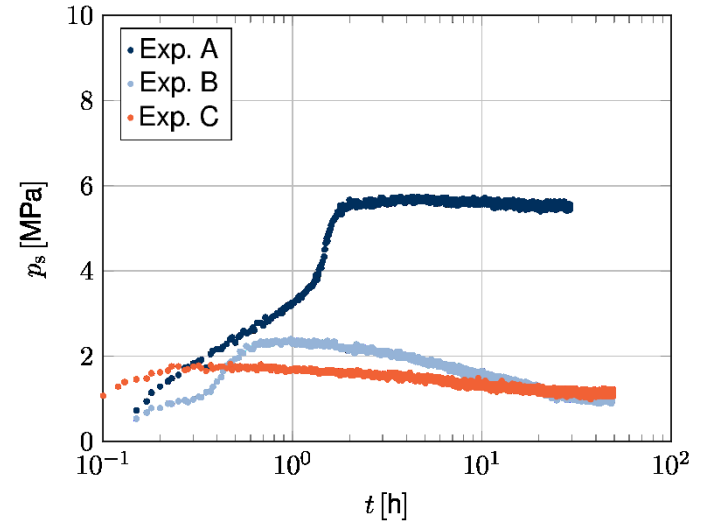
35°C

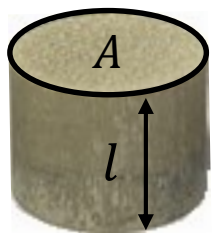
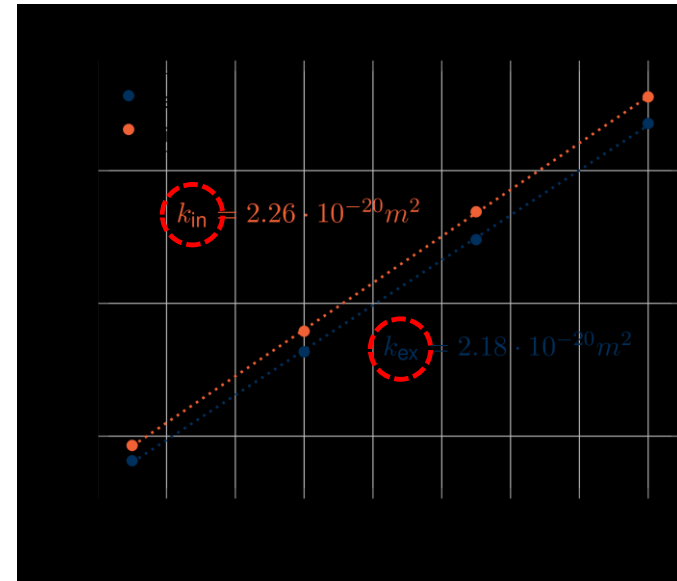
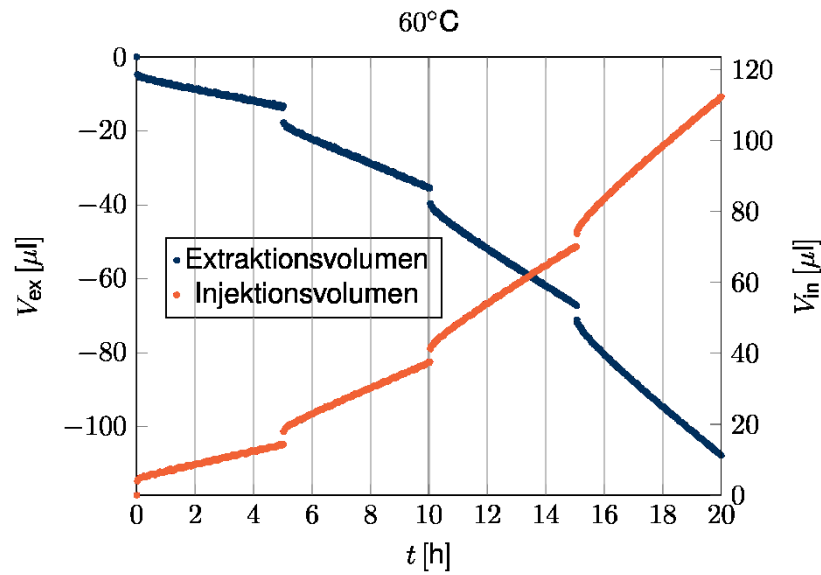


100°C

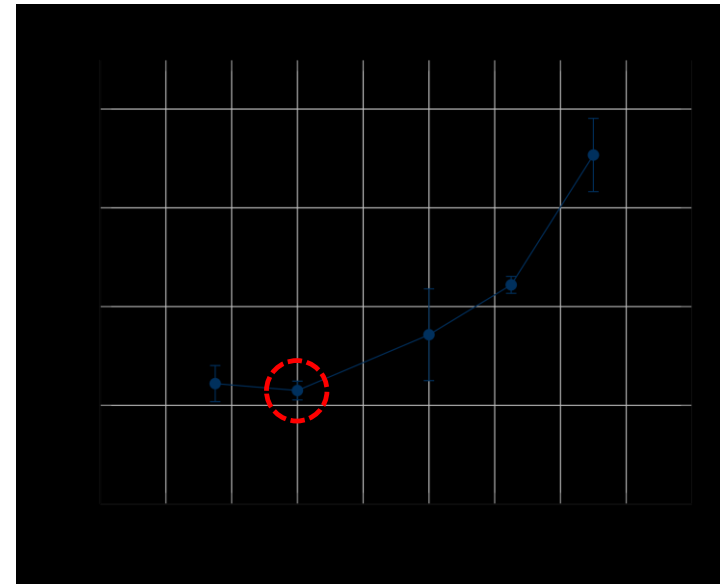
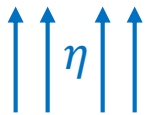


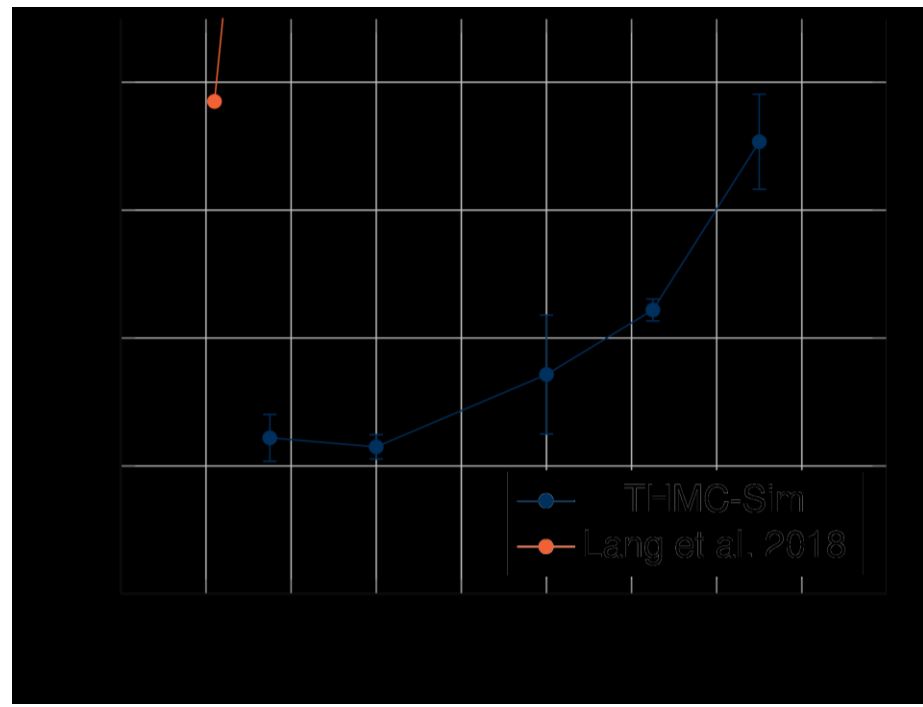
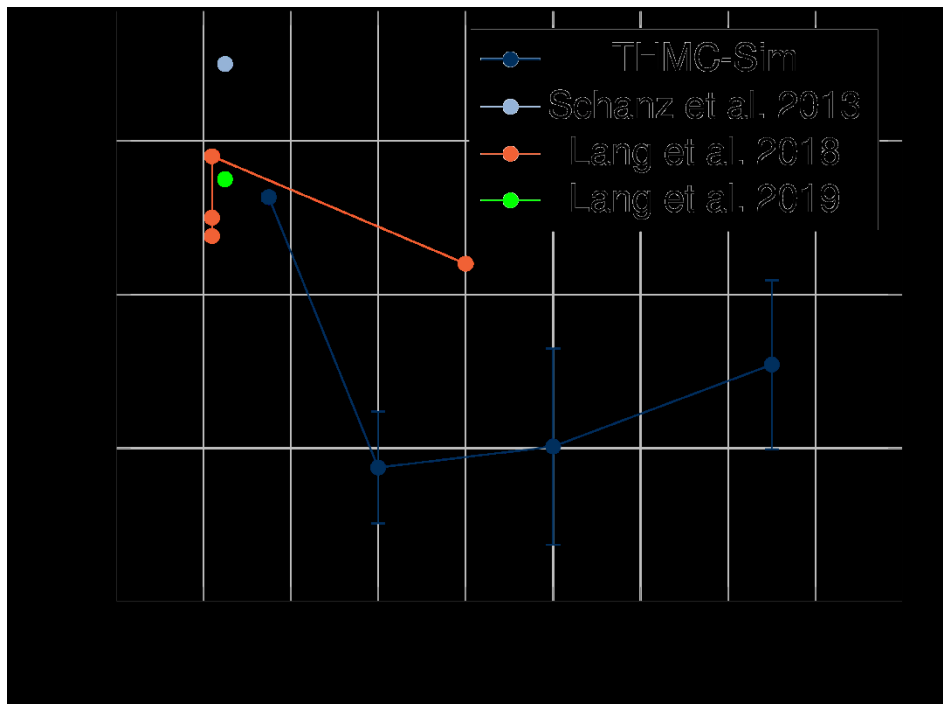
100°C



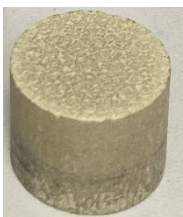


$$k = \frac{Q}{\Delta p} \cdot \frac{\eta l}{A} \quad [\text{m}^2]$$

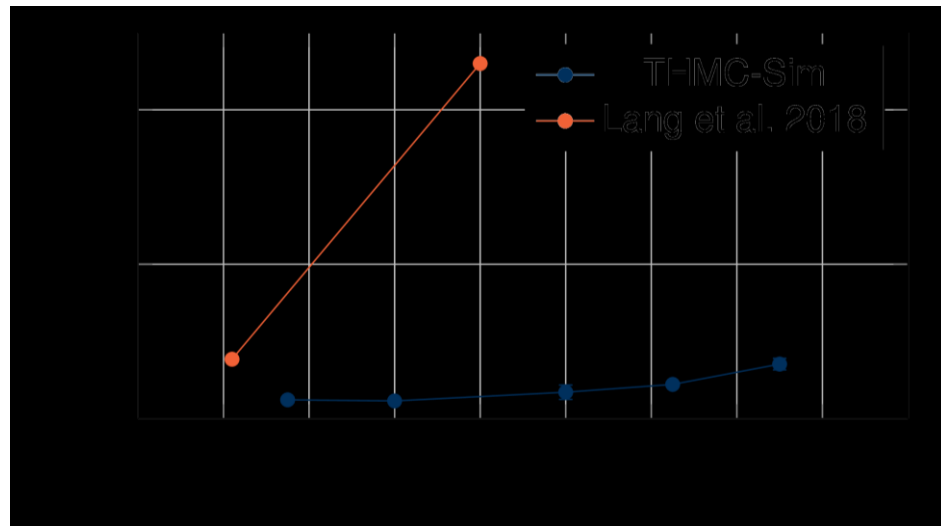


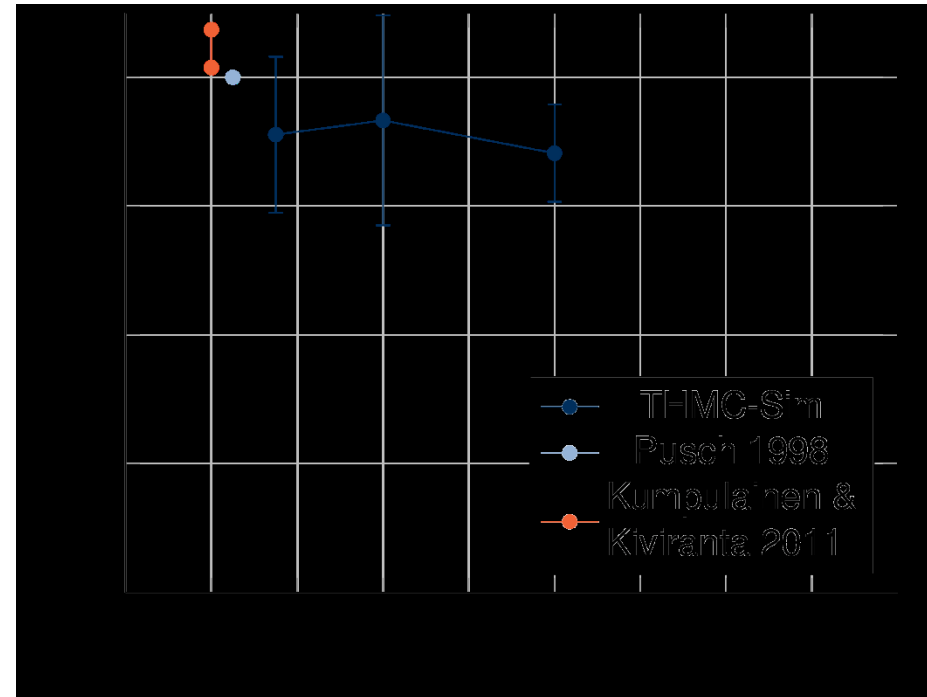
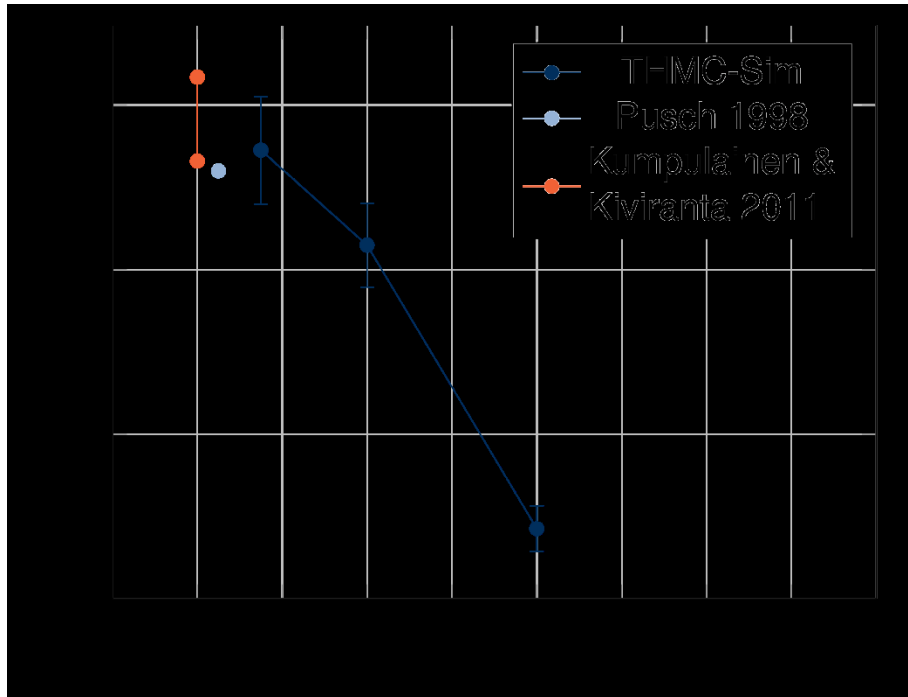


B25
kompaktiert



$$\rho_{Trocken} = 1,6 [g/cm^3]$$





Friedland

gestanzt, kompaktiert



$$\rho_{Trocken} = 2,0 \text{ [g/cm}^3 \text{]}$$

35°C (2/3)

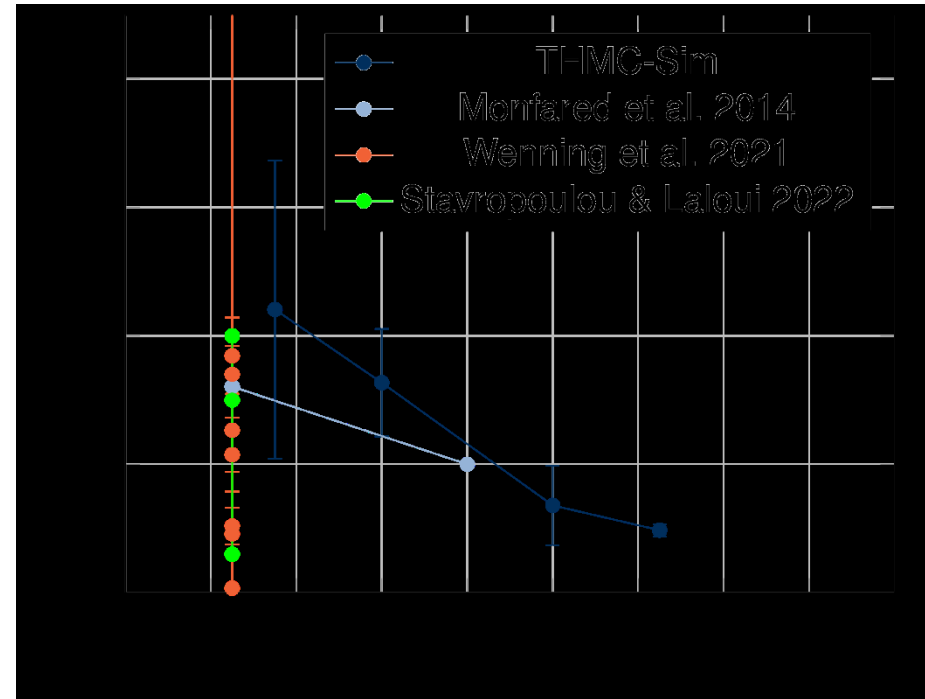
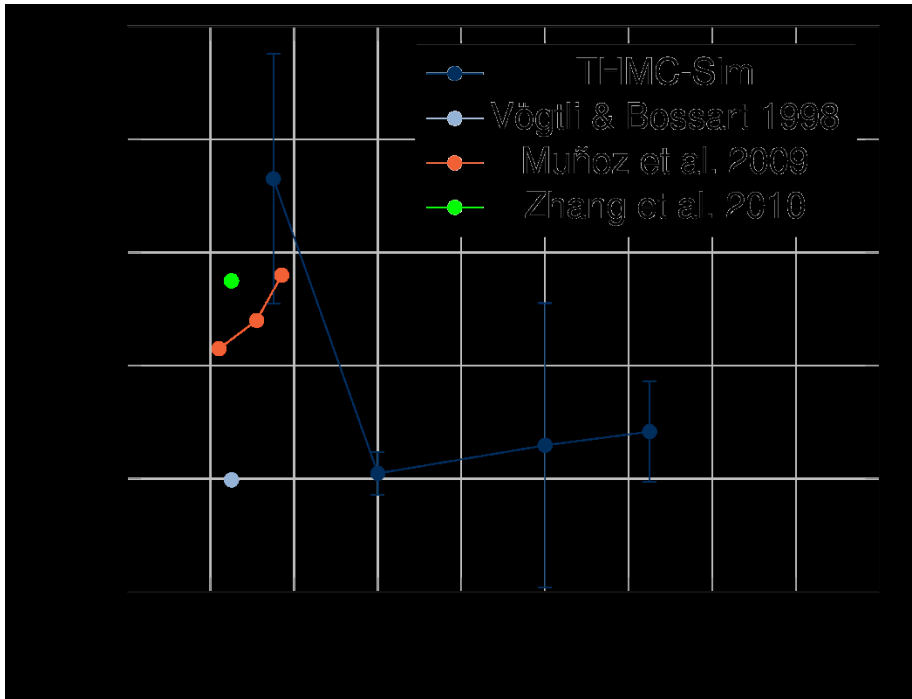
60°C (2/3)

100°C (2/3)

125°C (0/3)

150°C (0/3)

40%



Opalinus
gebohrt



$$\rho_{Trocken} = 2,33 \text{ [g/cm}^3 \text{]}$$

35°C (3/3)

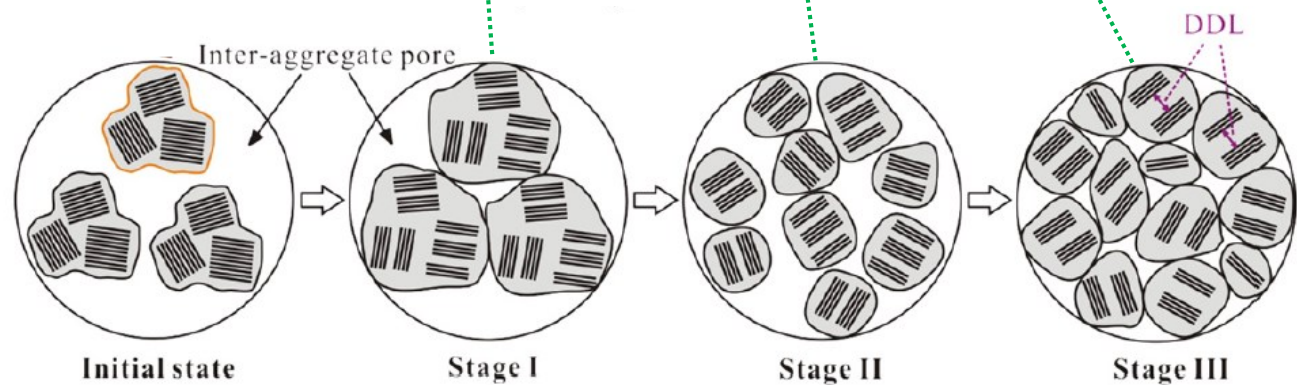
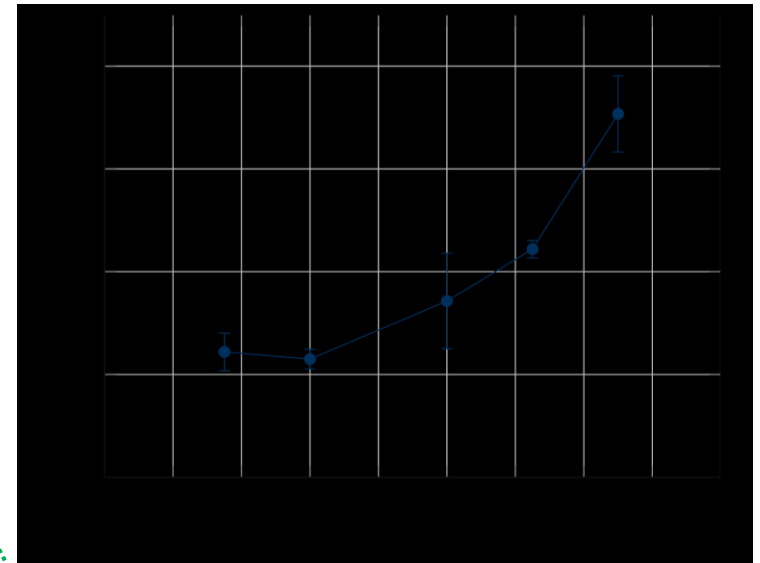
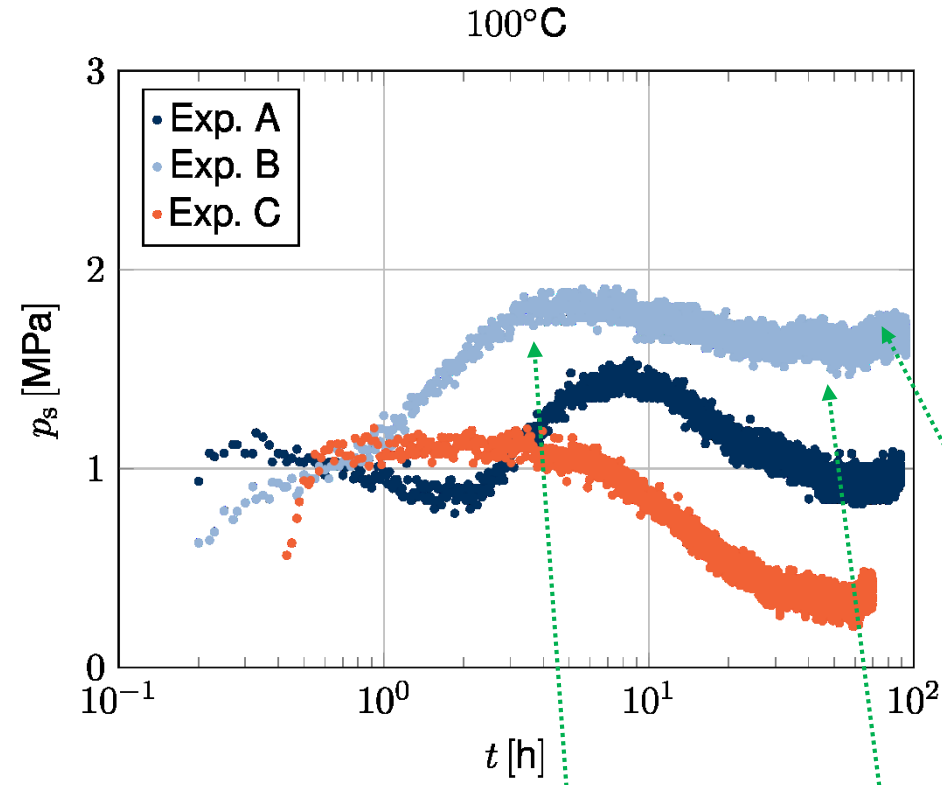
60°C (3/3)

100°C (3/3)

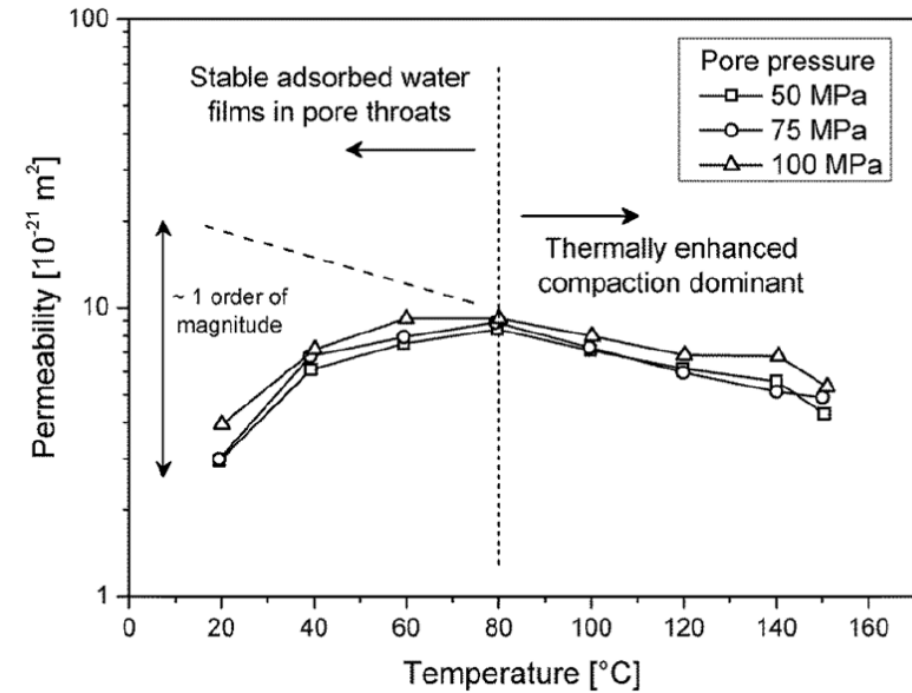
125°C (2/3)

150°C (0/3)

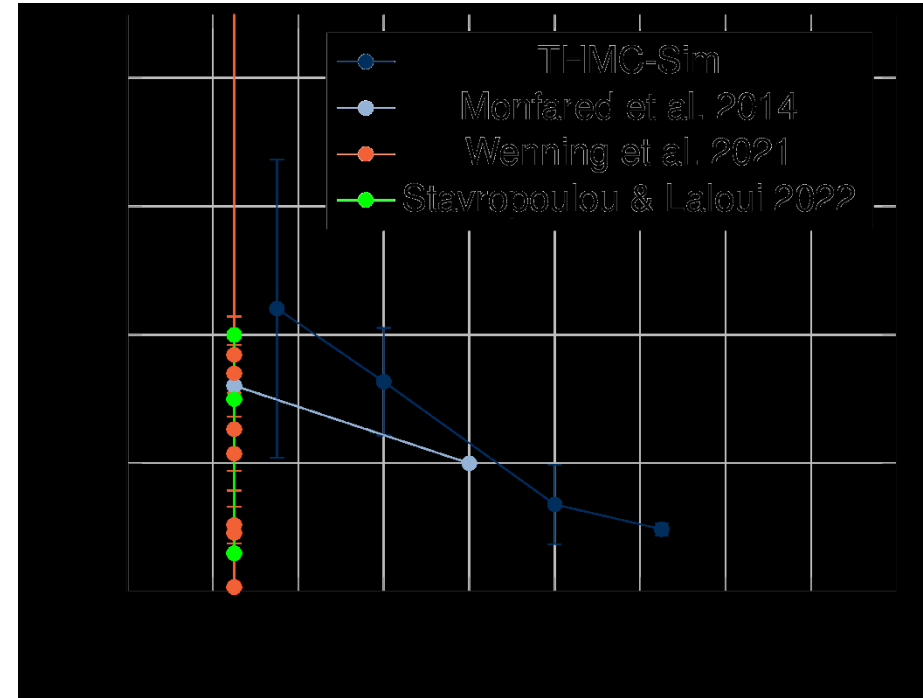
73%



(Zhu et al. 2013)



Tongesteinsprobe aus einer Störungslette
(Faulkner et al. 2004)



Opalinuston

- Quelldruck- und Permeabilitätsmessungen zwischen 35 °C und 150 °C weisen ein temperaturabhängiges Verhalten der Tone nach.
- Temperaturabhängige Änderung der Permeabilität wird durch die Dichte bzw. den Tonmineralanteil der Tone gesteuert.
- THM: Zwischen 35 °C und 100 °C findet eine starke Abnahme des Quelldrucks der untersuchten Tone statt, allerdings zeigen B25 und Opalinuston keine weitere Abnahme bis 150°C. Die Permeabilität nimmt oberhalb von 100°C bei B25 zu und bei Opalinuston tendenziell ab.
- Abschluss der restlichen Messungen.
- THC: Mineralogische und mikrostrukturelle (u. A. Porosität) Untersuchungen der Tone (TU Darmstadt).
- Simulation der Ergebnisse mit CODE_BRIGHT und PHREEQC (GRS).

Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)
für die Finanzierung des Projektes
(SEVGV3T-19-02-Huc)



Viktor Gillich (GRS) für die Laborarbeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!