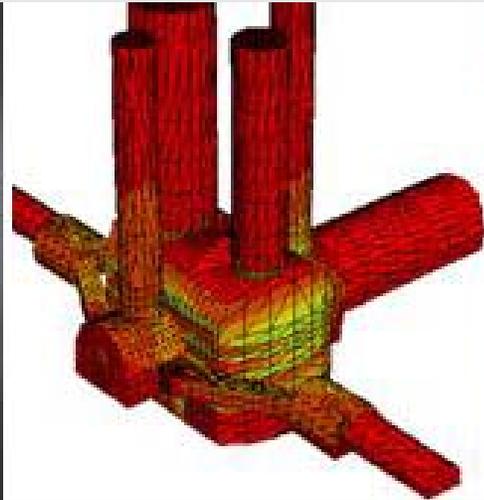


MAGS2

EP 7: Methoden zur Abschätzung der induzierten Seismizität durch petrothermale Geothermieanlagen vor Bohrbeginn mittels Laborversuchen und Interpretation über numerische Modelle



Prof. Dr. -Ing. habil. Heinz Konietzky, Dipl.-Geophys. Holger Schütz

Lektionen aus MAGS 1

Klassische statistische Auswertung benötigt große Anzahlen von Beben für einigermaßen zuverlässige Aussagen

- große Anzahl von Beben mit guter Magnitudenverteilung
- lange Zeitreihen, welche in der Regel nicht vorliegen

weitere Probleme:

- Prognose verlangt physikalisch fundierte Modelle
- Ermittlung der wirklich relevanten Parameter (Kernparameter) (mech./hydraul./technolog.)
- Wechselwirkung der einzelnen Komponenten (Spannungsfeld und HTM-gekoppeltes Bruchverhalten des Gesteins)
- Dämpfungsverhalten der Gesteine bzw. des Gebirges nur ungefähr ermittelbar, ist aber sehr sensibler Parameter für Vorhersagen für PGV
- Keine belastbaren Aussagen über Kluffverhalten bei Druckimpulsen
- Temperatureinfluß weitgehend vernachlässigt
- Triggerung zu wenig verstanden

Geplante Untersuchungen und Arbeiten:

Untersuchungen der komplexen Abhängigkeiten zwischen Spannungsfeld, Fluidparametern, mechanischen Parametern, Bruch- und Energieverhalten sowie HTM-Kopplung am kristallinen Gestein



hydro-mechanisch und thermo-hydro-mechanisch gekoppelte Laborversuche



begleitende numerische Simulationen zur Datenbewertung sowie zu prognostischen Betrachtungen



Laborversuche 1

Triaxialversuche ohne HM-Kopplung

Variation der Versuchsrandbedingungen:

Druckstufe	Manteldruck	Korrespondierende Teufenlage (angenommene, mittlere Deckgebirgswichte 23.5 kN/m ³)
1	35.3 MPa	1500 m
2	47.0 MPa	2000 m
3	58.8 MPa	2500 m
4	70.5 MPa	3000 m
5	79.9 MPa (technisches Limit)	3400 m

Wichtige Erkenntnisse:

- Bruchhüllkurve (Festigkeitsgrenze)
- Restfestigkeitsniveau (Abhängigkeit vom Belastungsregime)
- Beim Bruch freigesetzte, elastische Energie (Abhängigkeit vom Belastungsregime)
- Rate der Energiefreisetzung (Abhängigkeit vom Belastungsregime)
- Porosität-Permeabilität-Beziehung auf verschiedenen Druckniveaus
- Bruch-Charakteristika (zeitliche und räumliche Bruchentwicklung, Herdlagen, Herdparameter, abgestrahlte Energie) eines „mechanisch-induzierten“ Bruches

Laborversuche 2

Mini-Frac-Versuche

Variation der Versuchsrandbedingungen:

Größe des Probekörpers	Ø = 50 mm		Ø = 100 mm	
	Temperatur (Prüfkörper + Fluid)	25°C	50°C	100°C
Viskosität Fluid	gering (Wasser)	mittel (Öl)	hoch (Gel)	
Pumpregime	Pumprate konstant, schnell (Volumen stetig steigend)	Pumprate konstant, langsam (Volumen stetig steigend)	Pumprate zyklisch ohne Volumensteuerung (variables Volumen in Pumppausen)	Pumprate zyklisch mit Volumensteuerung (konstantes Volumen in Pumppausen)

Wichtige Erkenntnisse:

- Abhängigkeit der Brucheinleitung und der maximal erreichbaren Festigkeitswerte von physikalischen Parametern des Fluids (Temperatur, Viskosität)
- Bruch-Charakteristika in Abhängigkeit von den physikalischen Parametern des Fluids
- Bruch-Charakteristika in Abhängigkeit von den Parametern des Pumpregimes
- Einfluss des Spannungsfeldes (isotrop – anisotrop) auf die Brucheinleitung und -ausbreitung

Laborversuche 3

Triaxialversuche mit Vorschädigung und HM-Kopplung

Variation der Versuchsrandbedingungen:

Vorschädigung	global (statistisch verteilte Schädigung des gesamten Prüfkörper-Volumens)		lokal (diskrete Schädigung des Prüfkörper)	
Größe des Probekörpers	Ø = 50 mm		Ø = 100 mm	
Spannungsfeld	stark anisotrop		isotrop	
Viskosität Fluid	gering (Wasser)	mittel (Öl)	hoch (Gel)	
Pumpregime	Pumprate konstant, schnell (Volumen stetig steigend)	Pumprate konstant, langsam (Volumen stetig steigend)	Pumprate zyklisch ohne Volumensteuerung (variables Volumen in Pumppausen)	Pumprate zyklisch mit Volumensteuerung (konstantes Volumen in Pumppausen)

Wichtige Erkenntnisse:

- Gültigkeit des Effektivspannungskonzepts
- Bruch-Charakteristika (temporale und spatiale Bruchentwicklung, Herdlagen, Herdparameter, abgestrahlte Energie) eines „fluid-induzierten“ Bruches
- Einfluss des Pumpregimes auf die Energiefreisetzung
- Einfluss des Vorschädigungszustandes (z.B. Orientierung, Größe und Interkonnektivität des Rissnetzwerks) auf die den Bruchverlauf
- Porosität-Permeabilität-Beziehung auf verschiedenen Druckniveaus

Laborversuche 4

Scherversuche mit mechanisch vorgespannter Kluft

Variation der Versuchsrandbedingungen:

Auflastniveau	23.5 MPa (ca. 1000 m)	47.0 MPa (ca. 2000 m)	70.5 MPa (ca. 3000 m)
Ausnutzungsgrad α der Kluftfestigkeit durch die Vorspannung	mittel ($\alpha = 0.50$)	hoch ($\alpha = 0.80$)	sehr hoch ($\alpha = 0.95$)
Viskosität Fluid	gering (Wasser)	hoch (Gel)	hoch (Gel) + Proppants
Pumpregime	Pumprate konstant (Volumen stetig steigend)	Pumprate zyklisch (statisch)	Pumprate dynamisch (verschiedene Impulsformen)

Wichtige Erkenntnisse:

- Zusammenhang Energiefreisetzungsgrad (Verhältnis von im System gespeicherter, elastischer Energie zu freigesetzter Energie) und Pumpregime
- Mikromechanische Aspekte (zeitliche Abfolge Schallemissionen und makroskopische Scherbewegung)
- Änderung der Kluft-Permeabilität nach mechanisch- bzw. fluiddruck-induzierter Scherbewegung
- Unterschiede in der mikromechanischen Bruchcharakteristik bei mechanisch- bzw. fluiddruck-induziertem Scherversagen einer Trennfläche sowie deren makroskopische Auswirkungen (Veränderung der Kluft durch die Scherverschiebung)

Laborversuche 5

Scherversuche mit mechanisch und hydraulisch vorgespannter Kluft

Variation der Versuchsrandbedingungen:

Auflastniveau	23.5 MPa (ca. 1000 m)	47.0 MPa (ca. 2000 m)	70.5 MPa (ca. 3000 m)	
Ausnutzungsgrad α der Kluffestigkeit durch die Vorspannung	hoch ($\alpha = 0.90$)		sehr hoch ($\alpha = 0.95$)	
Dynamische Belastung	normal zur Trennfläche		parallel zur Trennfläche	
	Wellenform 1: synthetische Welle (z.B. sinusförmig)	Wellenform 2: gemessene Welle (aus vorherigem Versuchsteil)	Wellenform 1: synthetische Welle (z.B. sinusförmig)	Wellenform 2: gemessene Welle (aus vorherigem Versuchsteil)

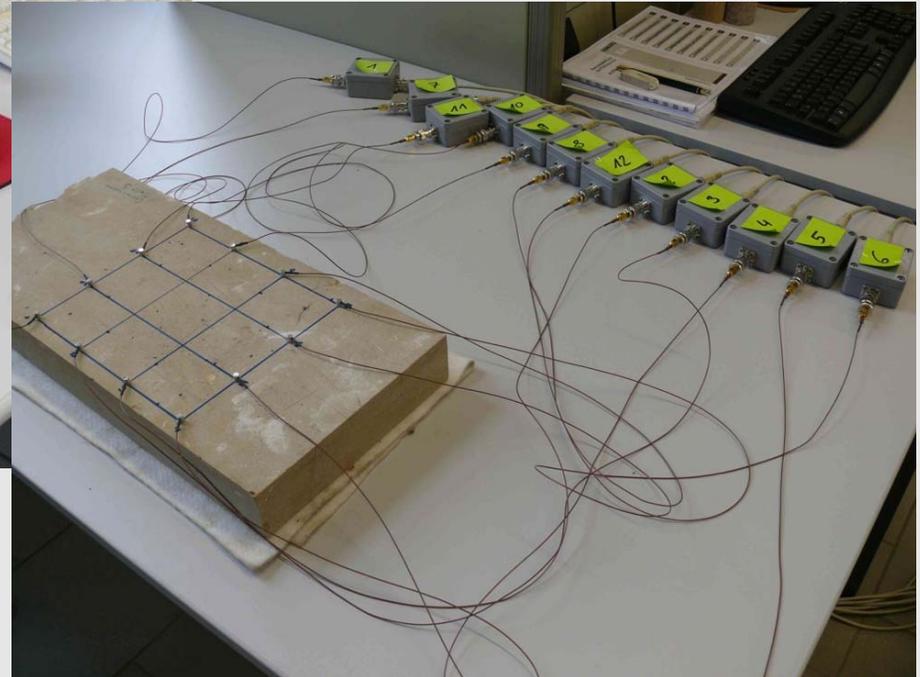
Wichtige Erkenntnisse:

- Verhalten einer kritisch vorgespannten Kluft bei dynamischer Anregung z.B. infolge eines induzierten seismischen Ereignisses im selben oder einem benachbarten Reservoir

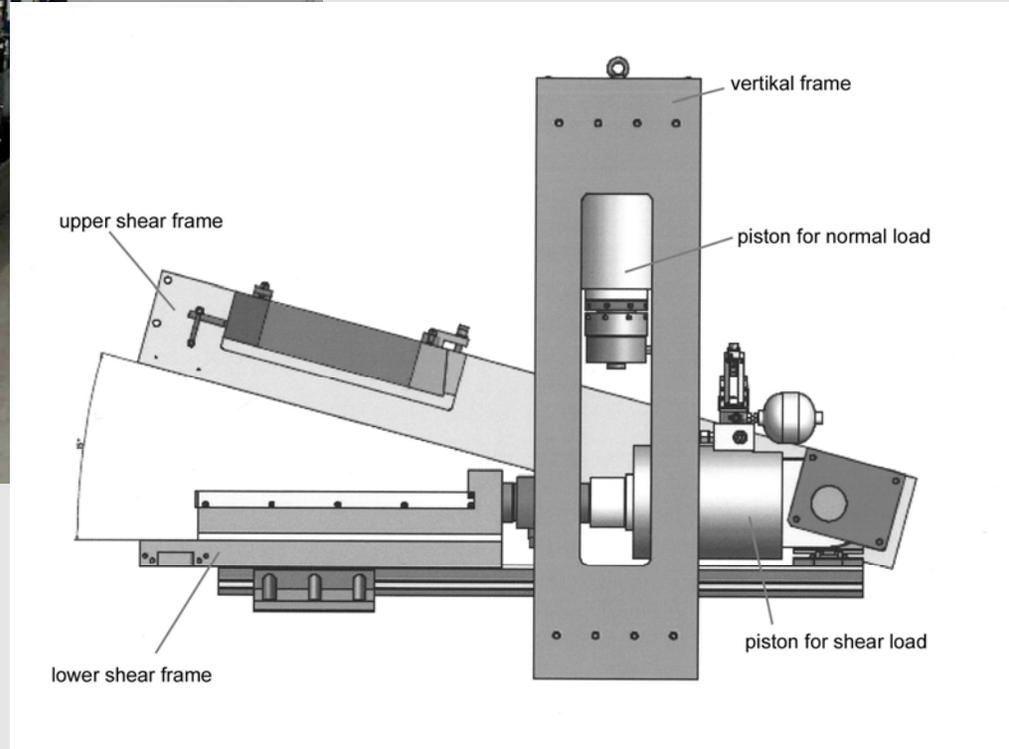
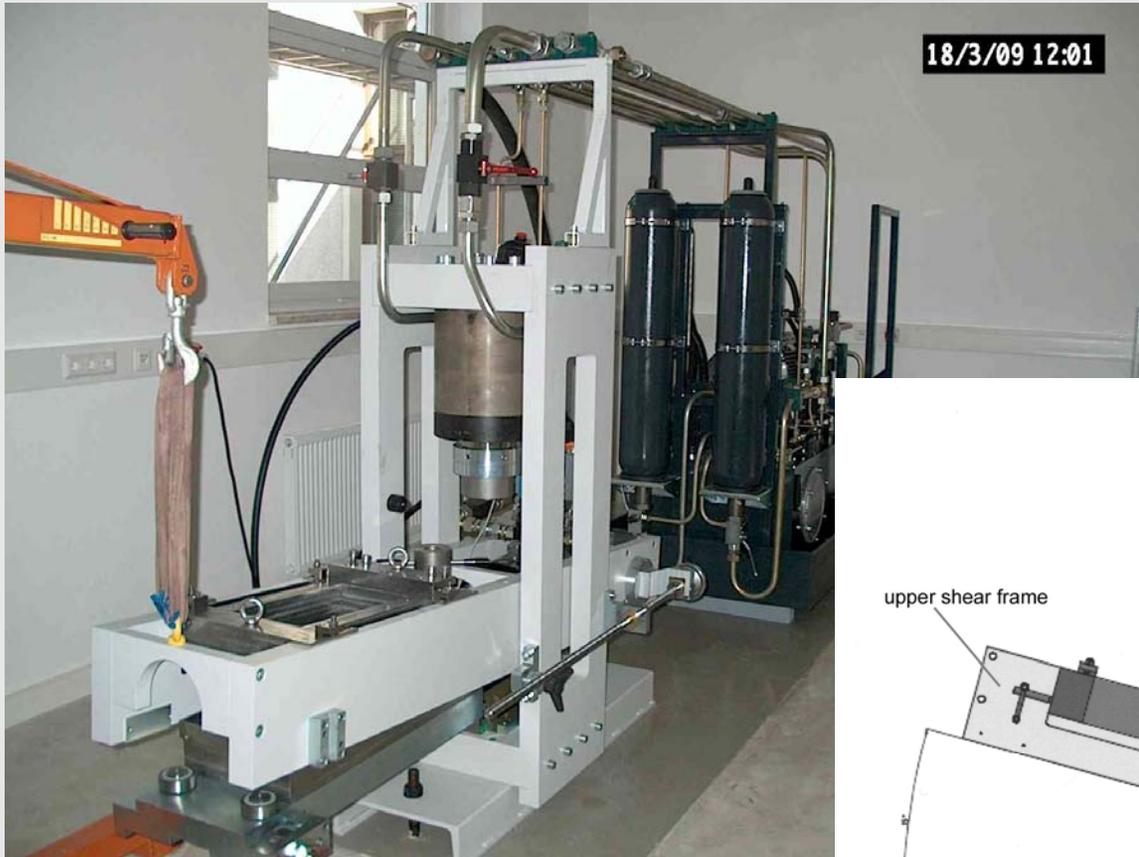
MTS 815 und Triaxialzelle



Schallemissionsanalysesystem AMSY-6 mit 12-Kanälen



Großschergerät GS-1000

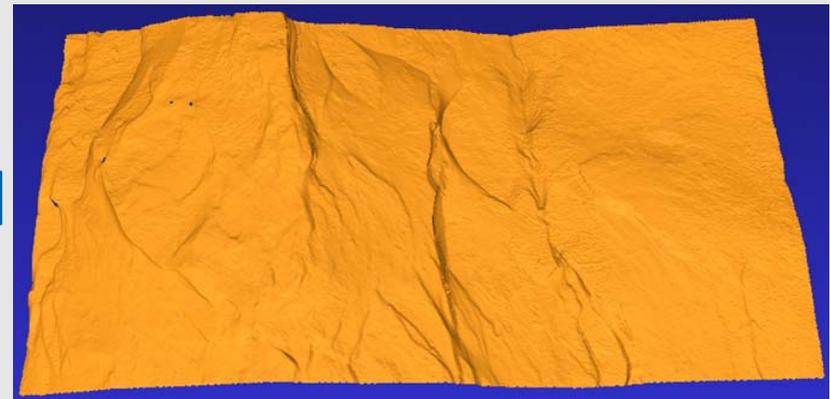
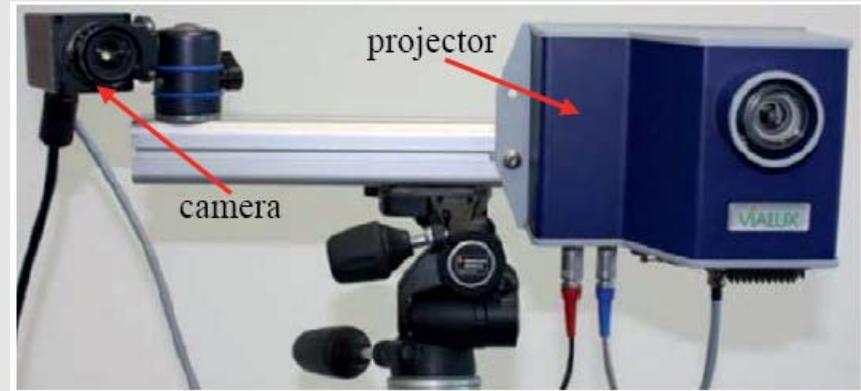




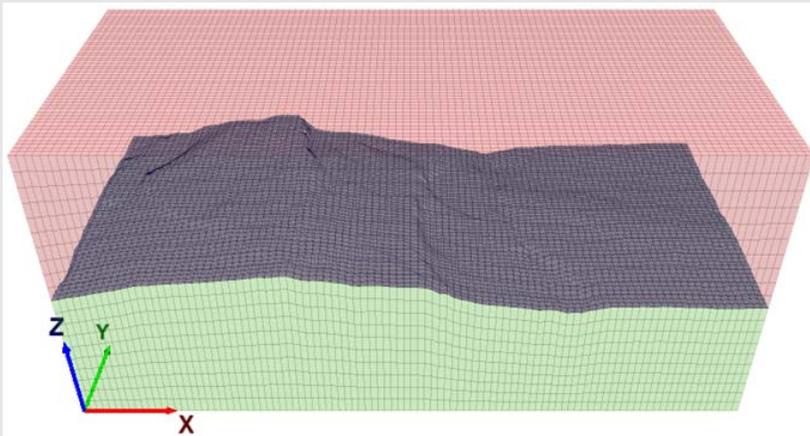
Gesteinsprobe



3D-Scanner

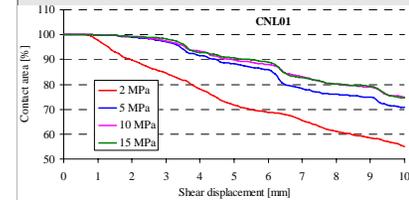
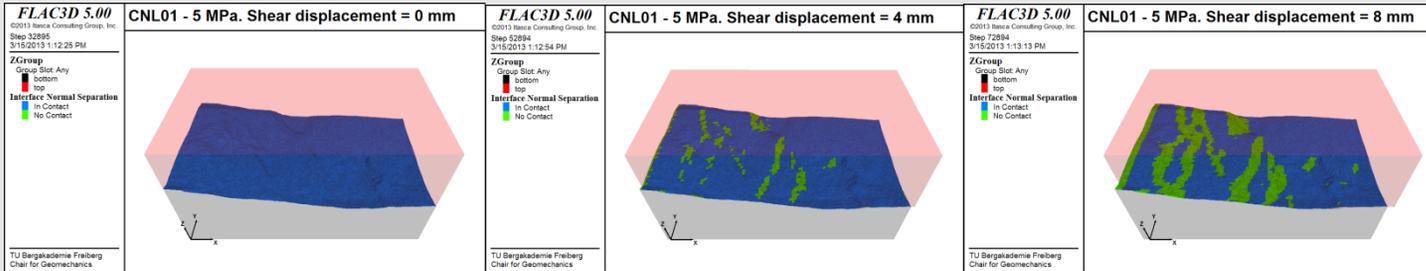


digitalisierte Oberfläche

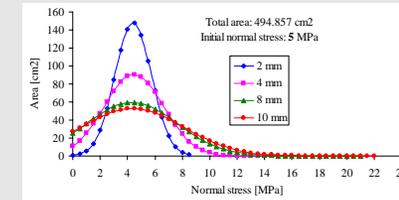
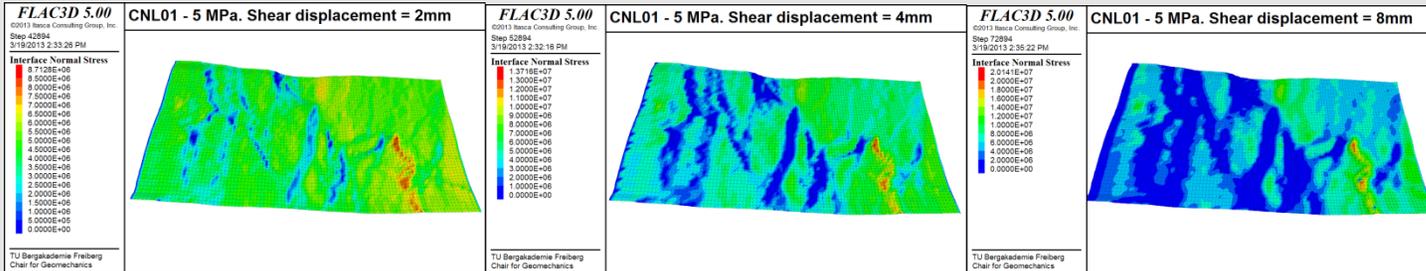


numerisches Modell

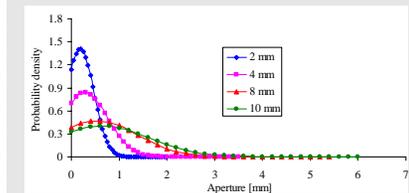
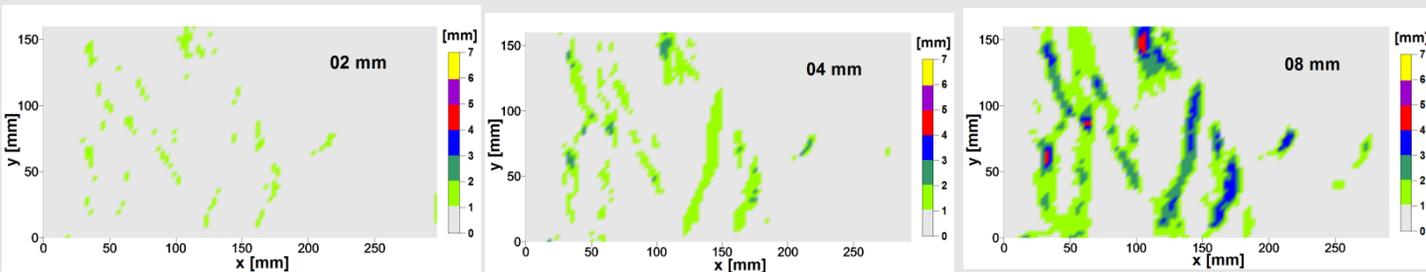
Geplante Simulationsmethodik (GS-1000):



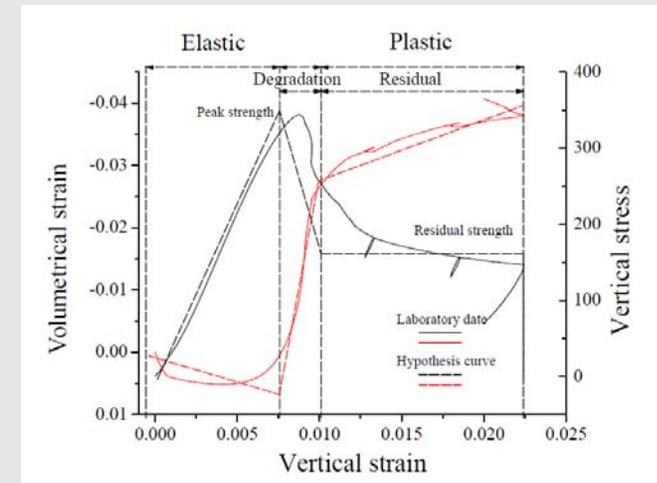
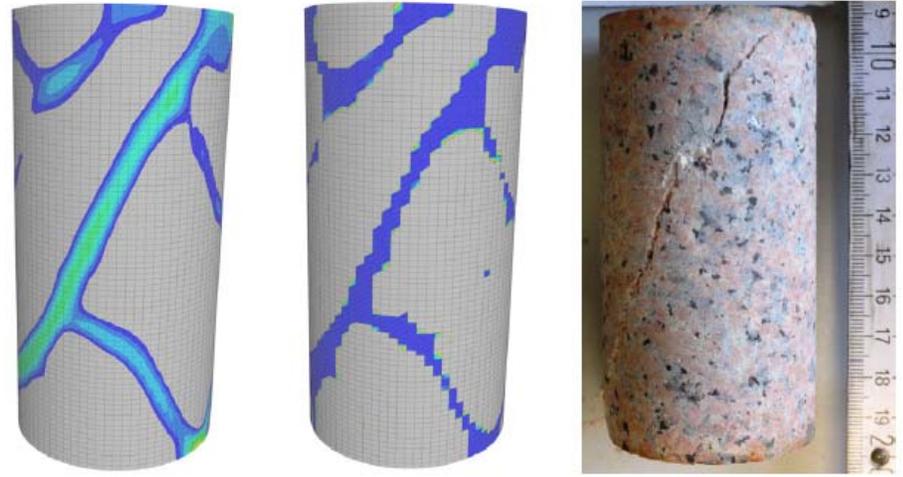
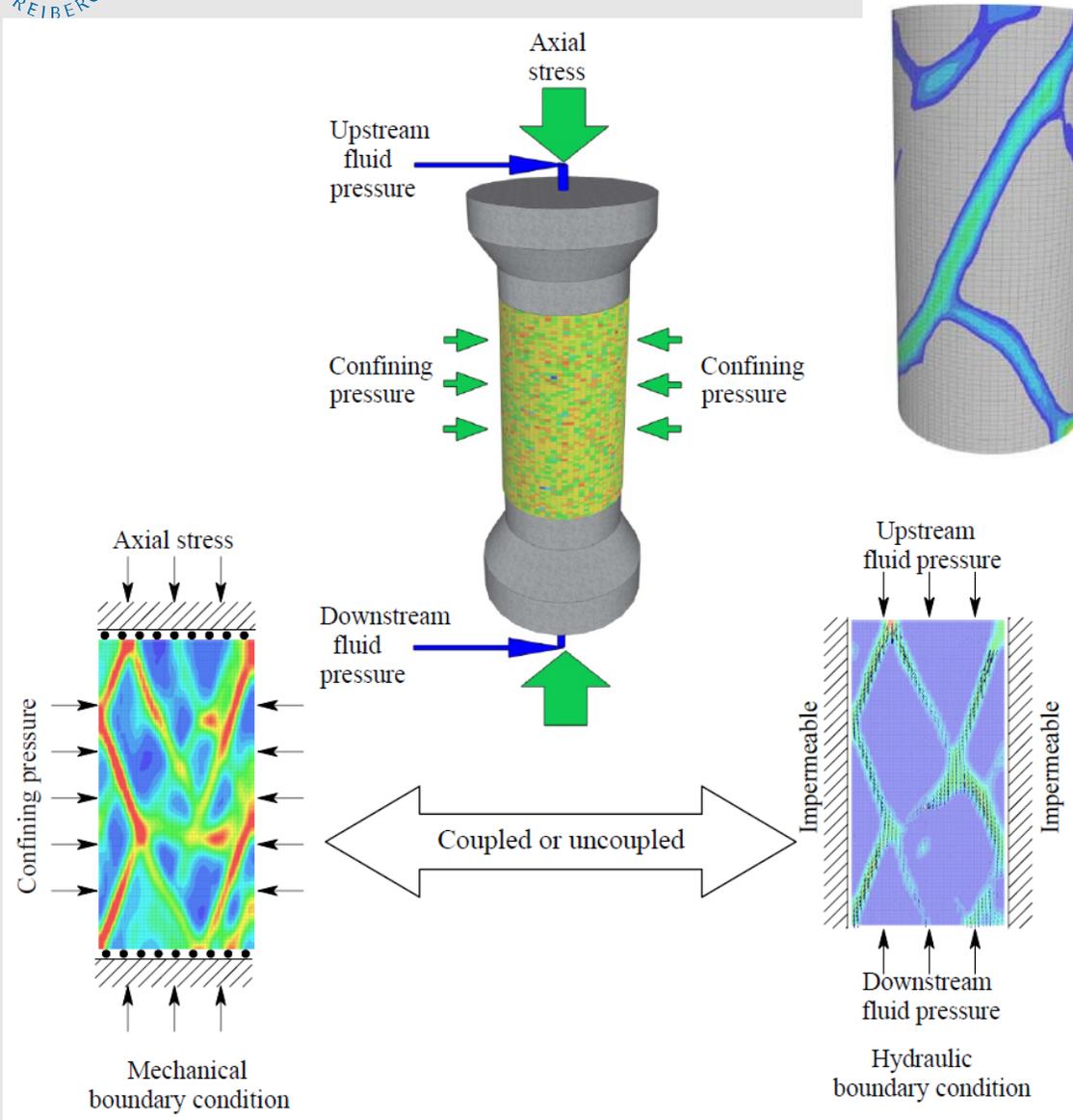
Normal Stress

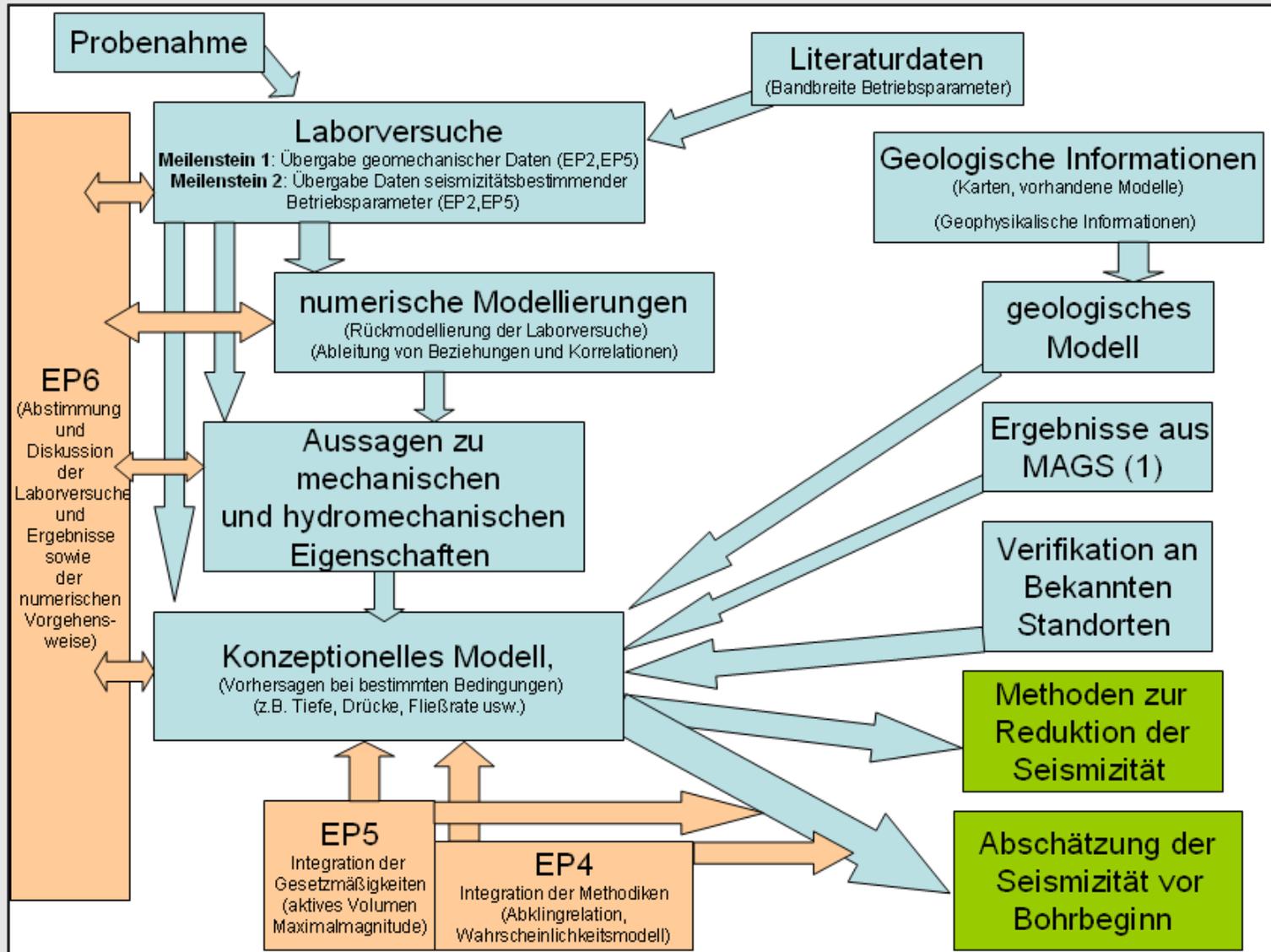


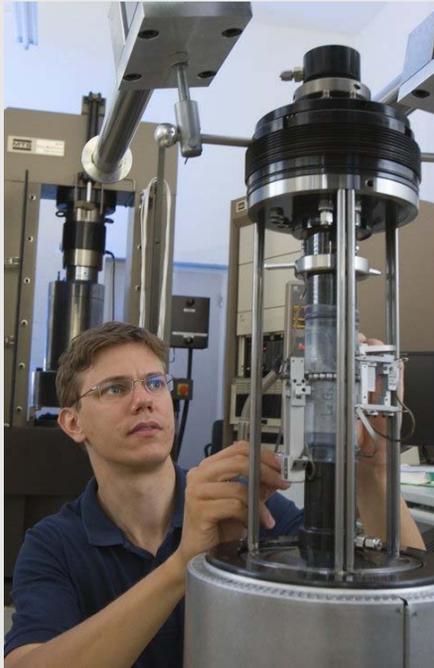
Contact Area



Aperture Size







**Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit**

Das Verbundprojekt MAGS 2 – „*Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme 2 – Vom Einzelsystem zur großräumigen Nutzung*“ wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.

Förderkennzeichen: 0325662A-G

