

**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

**MAGS**

## **MAGS EP6:**

THM:C gekoppelte Untersuchungen zu Mechanismen und freigesetzten Deformationsenergien der seismischen Ereignisse in der Reservoirstimulations- und Betriebsphase

-

### Stand der Arbeiten

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Z. Hou

M.Sc. Yang Gou

B.Sc. Xuerui Wang

**Dipl.-Geow. Tobias Kracke**

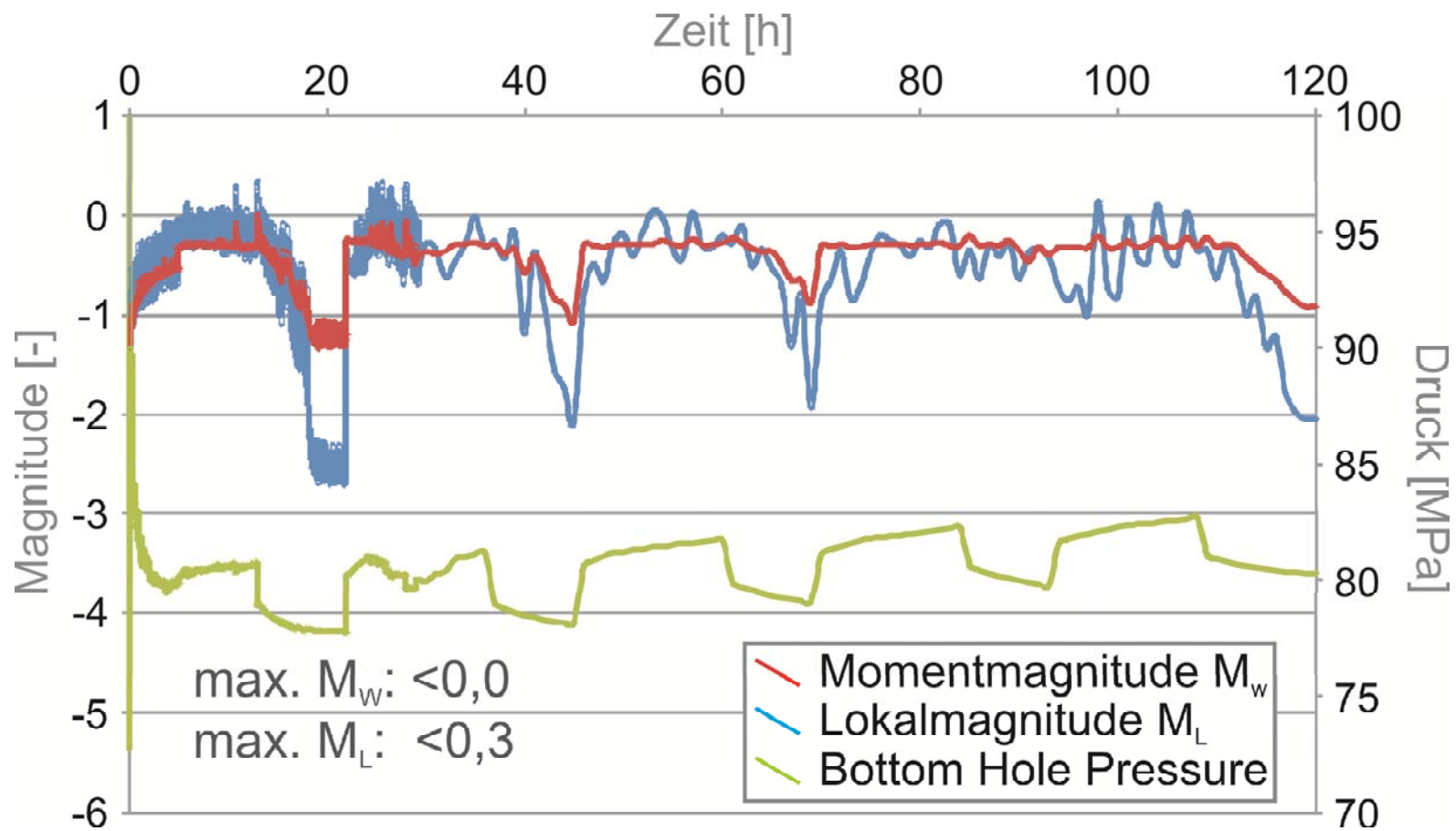
M.Sc. Lei Zhou

Berlin, 08. Oktober 2012

# Inhalt

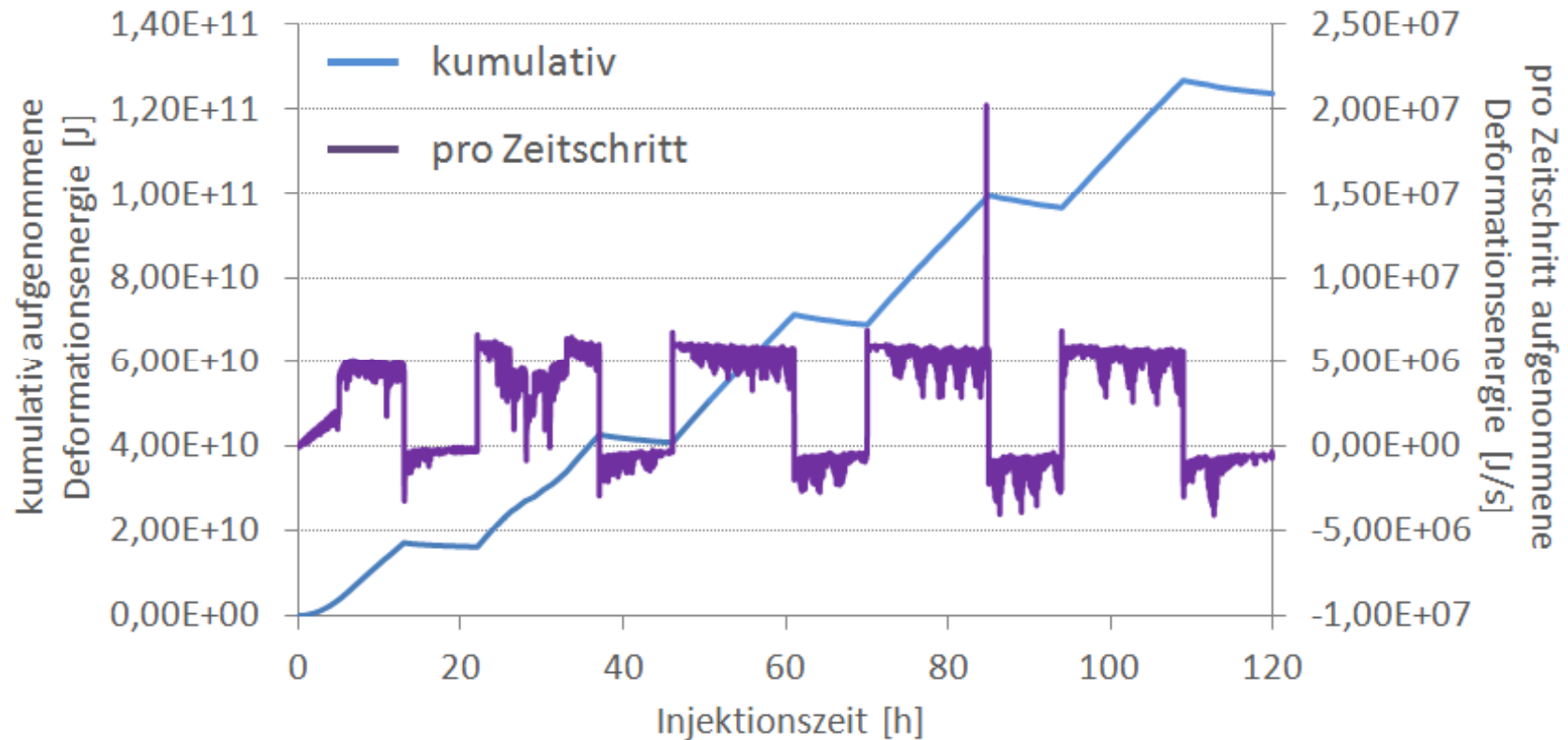
- Bewertung der numerischen Simulationsdaten zum GeneSys-Projekt für die Entwicklung von Stimulationstrategien in Zusammenarbeit mit EP4
- Konzeptvergleich: 3DEC und FLAC3D
- Modell-Generierung Soultz-sous-Forêts
- Status und Ausblick

# GeneSys - Seismizität



berechnete Seismizität nach Kalibrierung durch die realen Stimulationsdaten

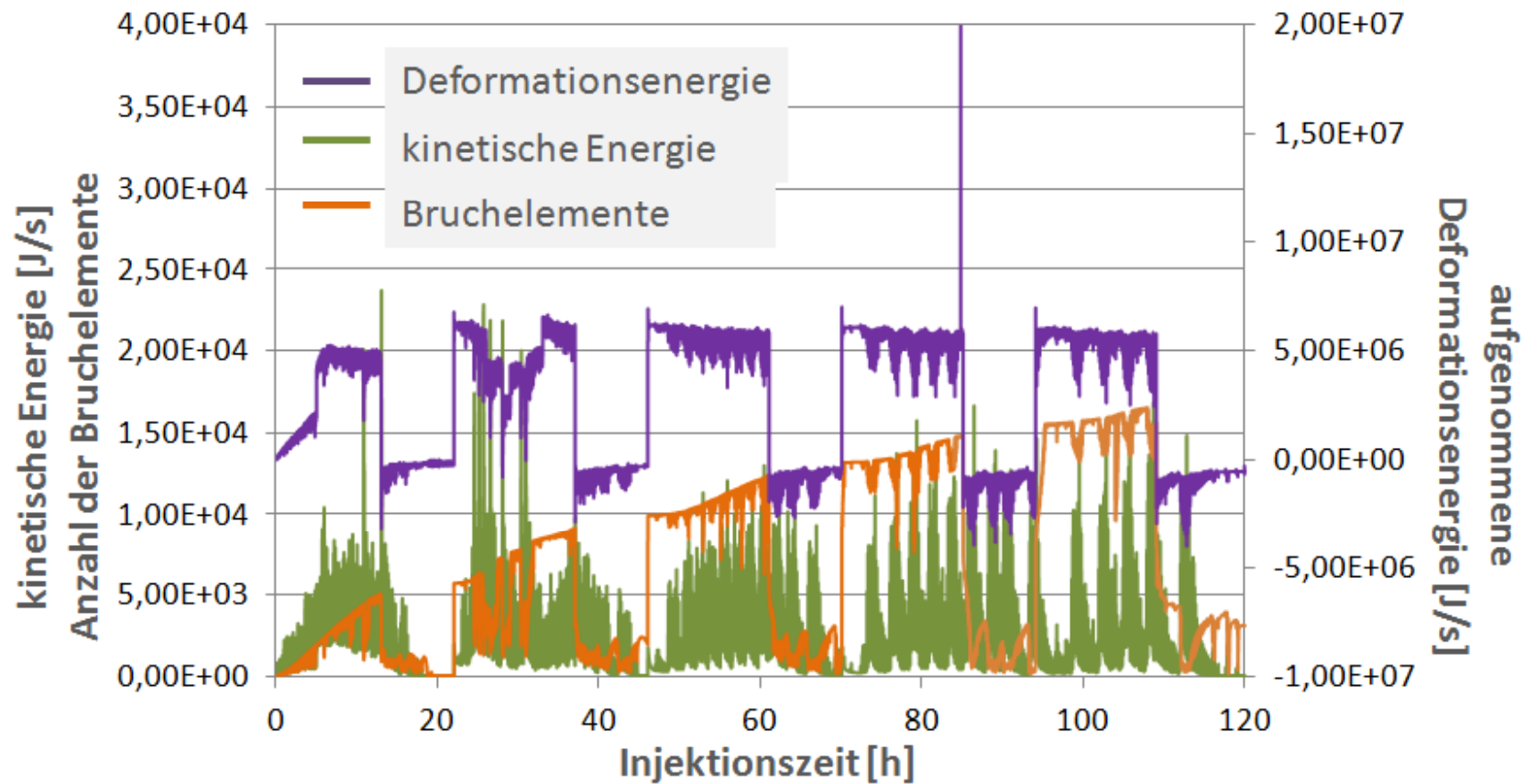
# GeneSys - Deformationsenergie



Aufnahmeverhalten von Deformationsenergie durch das Gebirge:

- Abbau von Deformationsenergie während der Injektions-Ruhephasen
- > dadurch Verringerung des seismischen Risikos möglich!

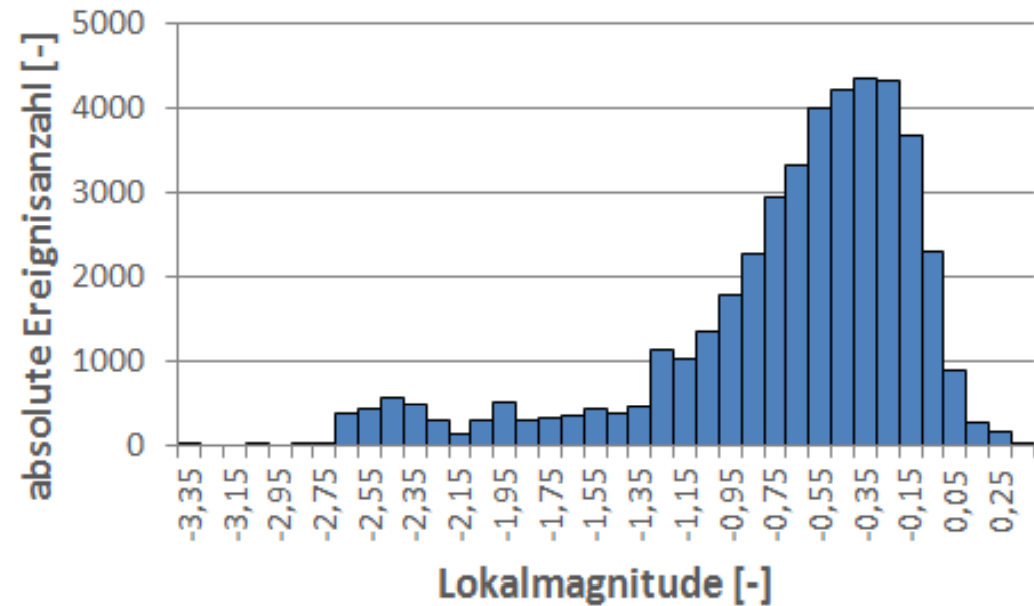
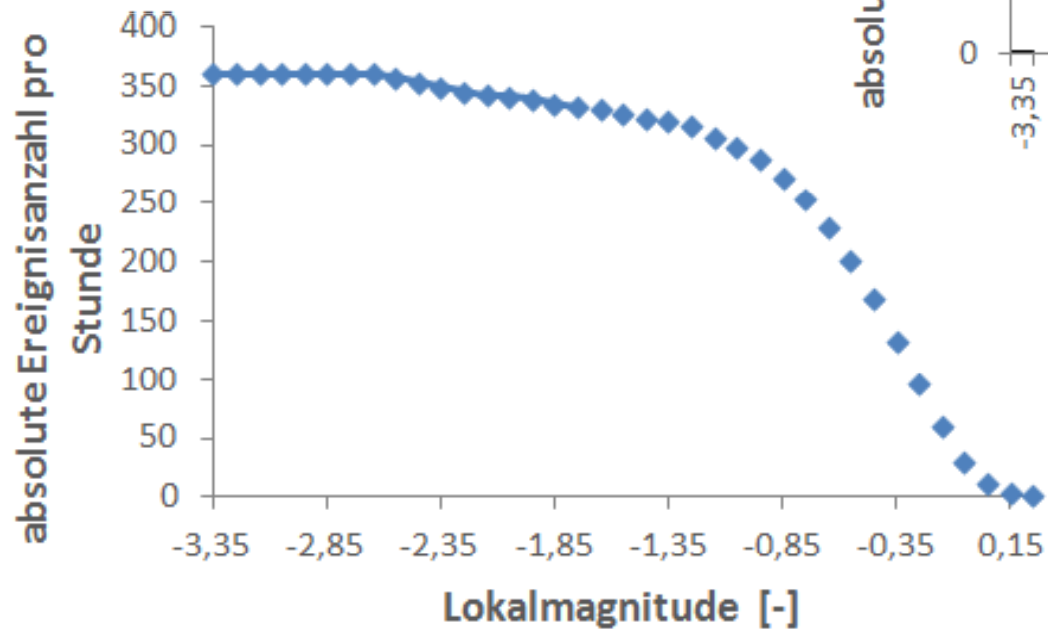
# GeneSys – Korrelation $E_{def}$ zu $E_{kin}$ / Bruchverhalten



sehr gute Korrelation zwischen der pro Zeitschritt aufgenommenen/ freigesetzten Deformationsenergie und der freigesetzten kinetischen Energie bzw. der Erzeugung von Brüchen

# GeneSys – Katalogentwicklung

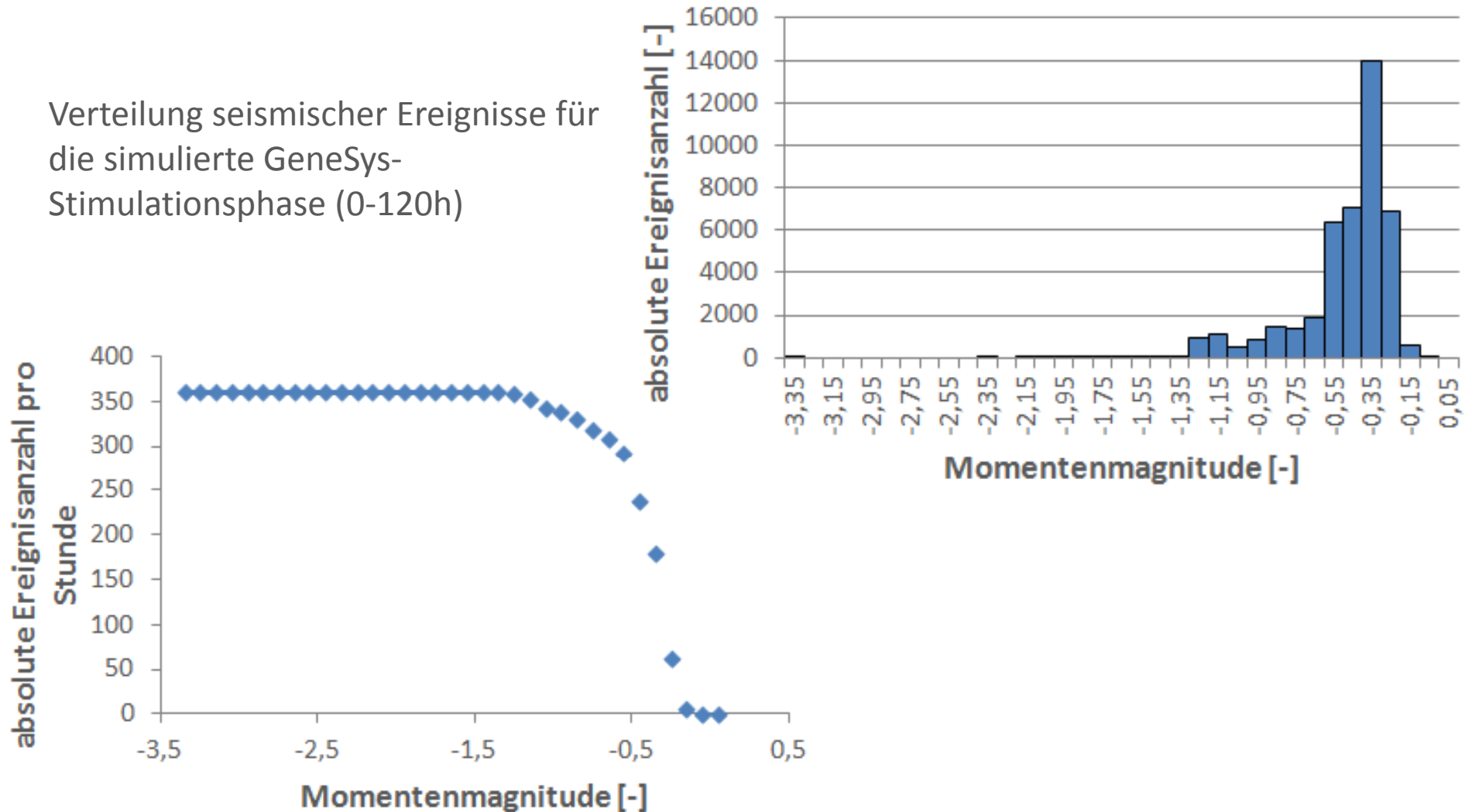
Verteilung seismischer Ereignisse für die simulierte GeneSys-Stimulationsphase (0-120h)



Entwicklung und Bewertung eines synthetischen Kataloges mit ~ 45.000 Datensätzen

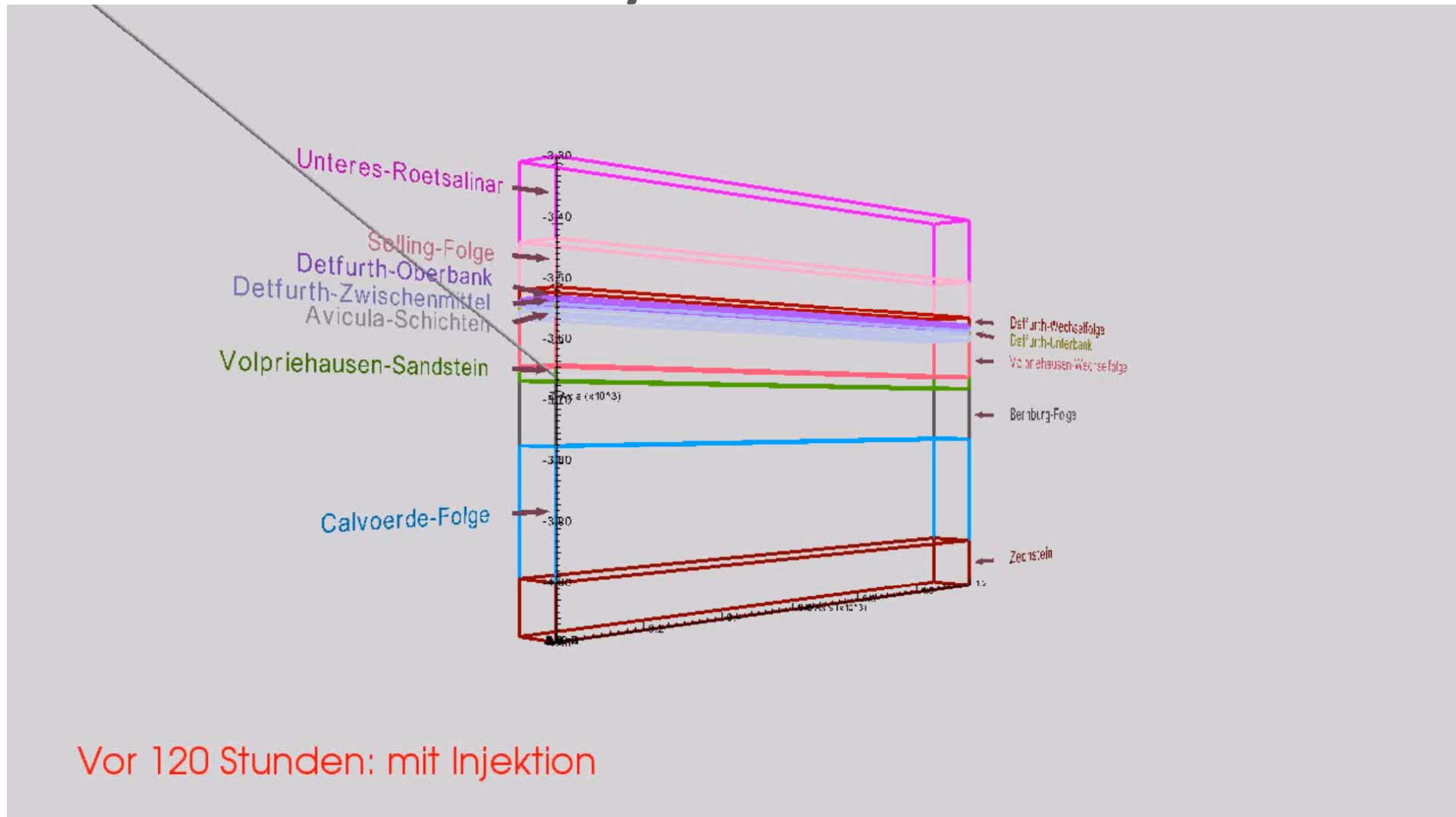
# GeneSys – Katalogentwicklung

Verteilung seismischer Ereignisse für die simulierte GeneSys-Stimulationsphase (0-120h)



Entwicklung und Bewertung eines synthetischen Kataloges mit ~ 45.000 Datensätzen

# GeneSys - Seismizität



räumlich-zeitliche Verteilung der synthetisch erzeugten seismischen Ereignisse



# Vergleich von Simulationskonzepten

## 1. Simulation mit FLAC3D

Berechnung in FLAC3D basiert auf der **Kontinuumsmechanik** und bietet Kopplungsmöglichkeiten, die durch das Coulomb'sche-Gleiten und/oder Zug- und Scherbindung charakterisiert sind:

- + Man kann die hydraulische Brucherzeugung modellieren
- Man kann keine Strömung im Bruch modellieren
- > Entwicklung und Integrierung eines Plug-in für FLAC3D, um FLAC3D mit einem anderen Reservoirsimulator (z.B. TOUGH2-MP) koppeln zu können

## 2. Simulation mit 3DEC

3DEC basiert auf der **Diskontinuumsmechanik** (DEM) und ist besonders dafür geeignet interagierende Körper in 3D zu modellieren:

- Strömung kann nur im Bruch simuliert werden (Matrix =impermeabel)
- Die Fluide in der Simulation sind stark vereinfacht
- > Es wird ein externer Reservoirsimulator benötigt

# Simulationstest mit 3DEC

## hydraulische Stimulation eines prä-existenten Bruchs

Bruchgeometrie:

- $a_0 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$
- $a_{\text{res}} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$
- $a_{\text{max}} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Brucheigenschaften (MC):

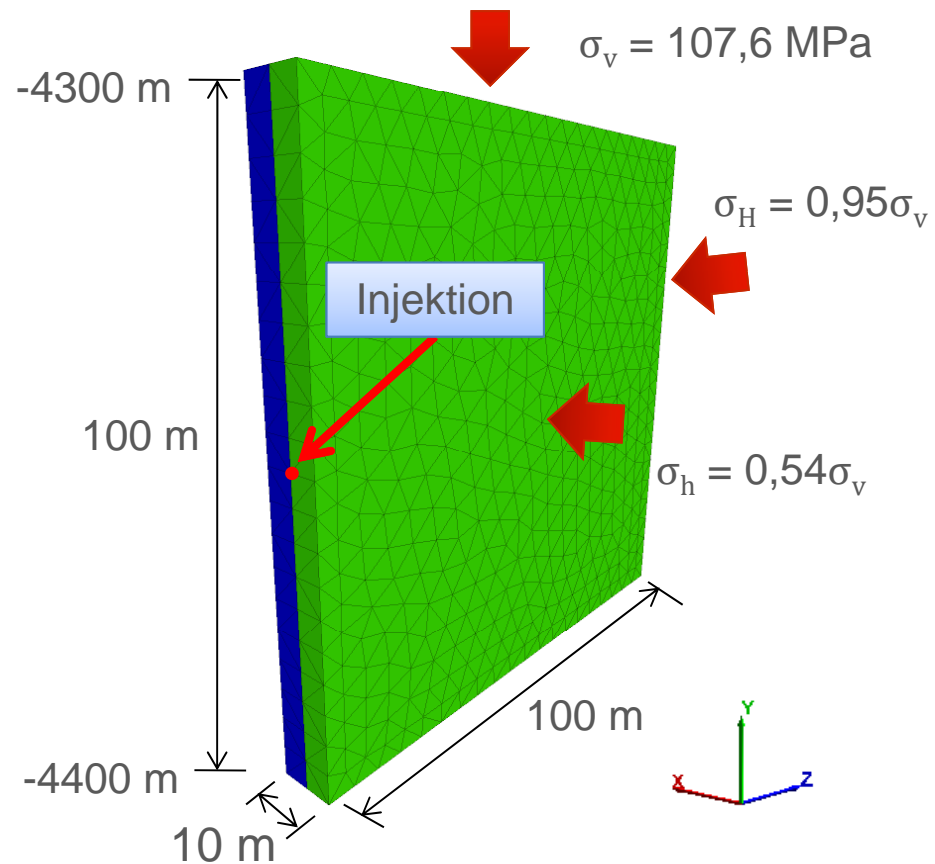
- $K_n = 100 \text{ GPa}$
- $K_s = 100 \text{ GPa}$
- $\phi = 24^\circ$
- $c = 0 \text{ MPa}$
- $\psi = 8^\circ$

Matraxeigenschaften (ELASTIC):

- $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$
- $E = 52 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,29$

Injektionsvolumen:

- $0,09 \text{ l}$

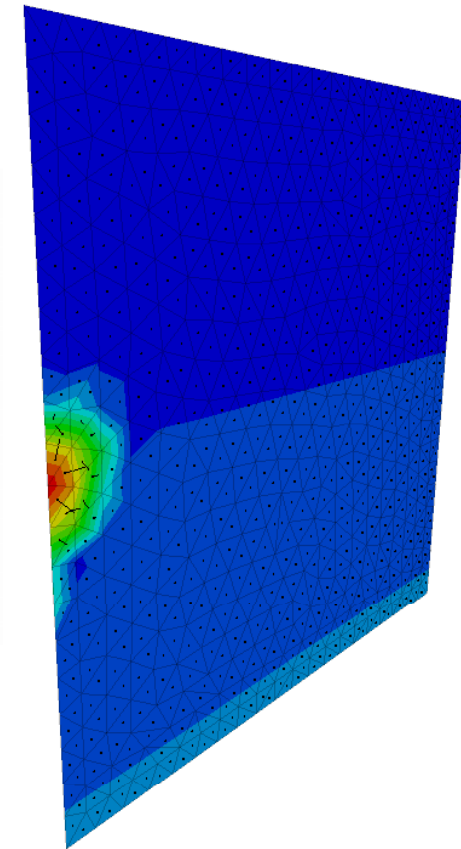
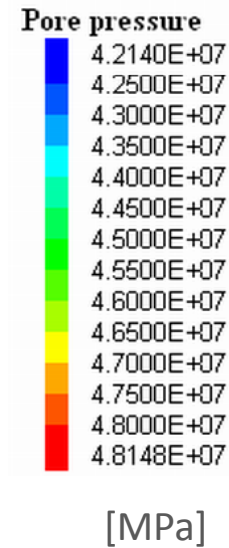
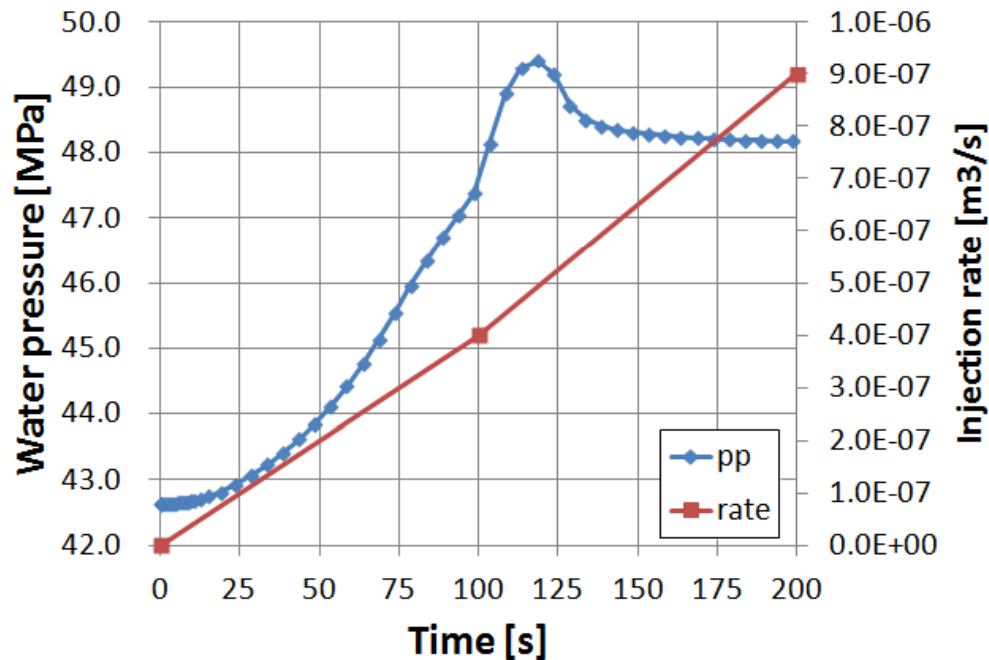


Das angenommene Spannungsregime ist ähnlich zu dem in Soultz-sous-Forêts.

# Simulationstest mit 3DEC

hydraulische Stimulation eines prä-existenten Bruchs

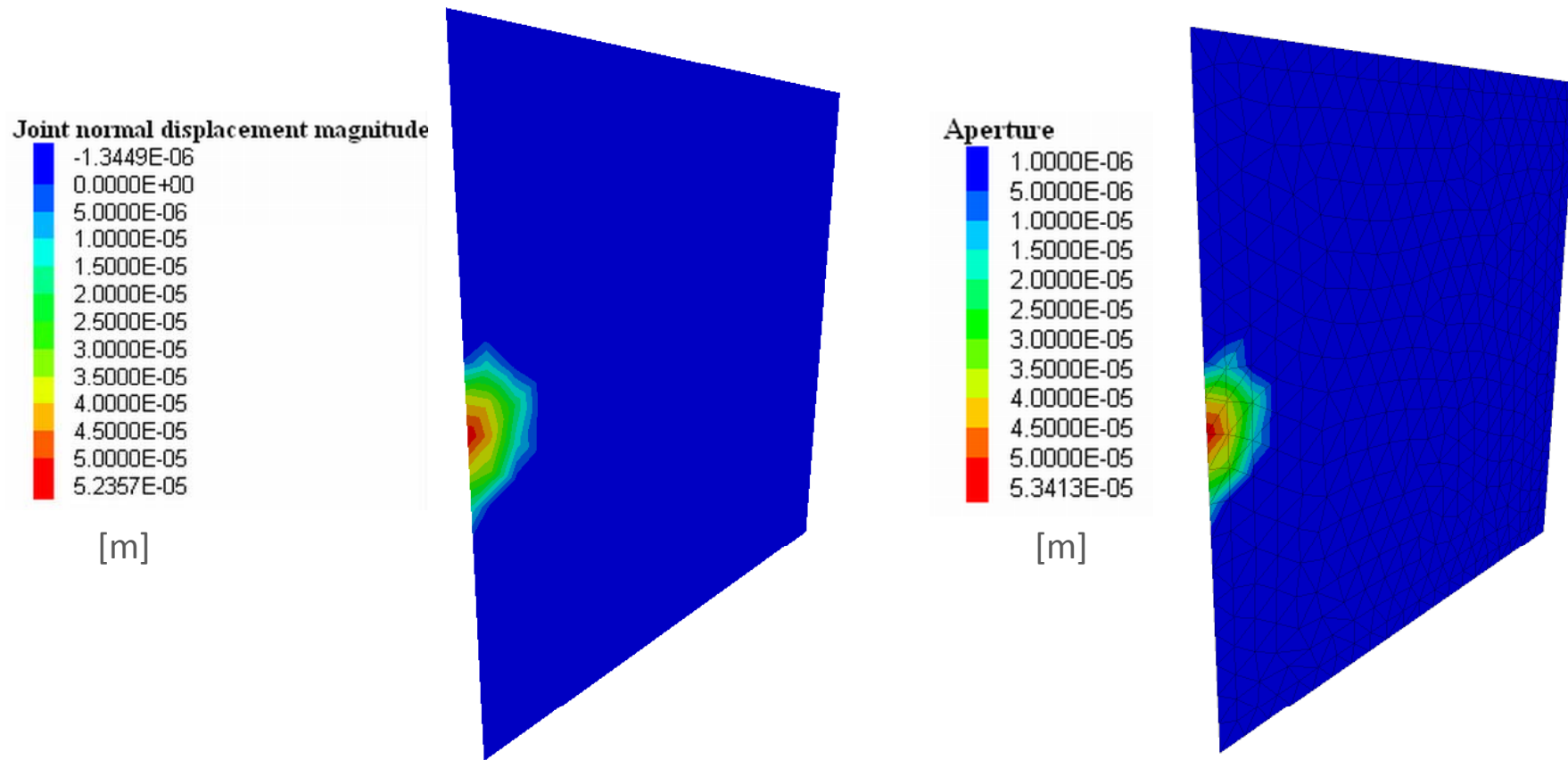
Injektionsrate und Fluiddruck  
am Injektionspunkt  
(pp= Porendruck)



Ergebnis nach einer Injektionsdauer von 200 Sekunden

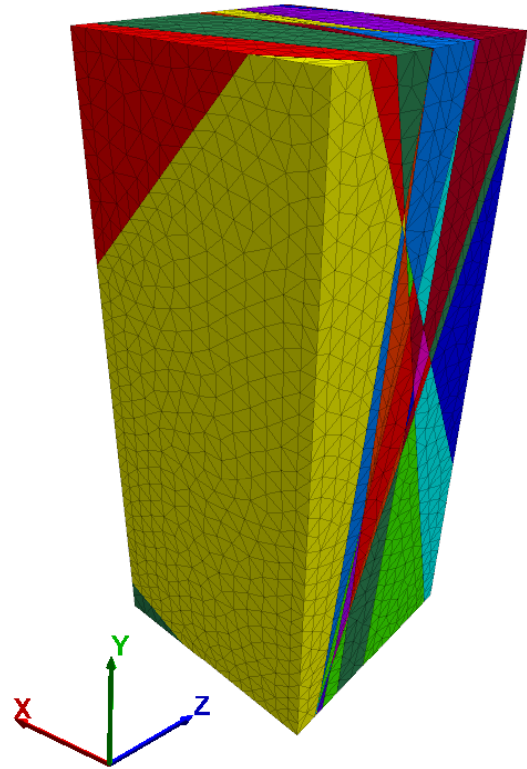
# Simulationstest mit 3DEC

hydraulische Stimulation eines prä-existenten Bruchs

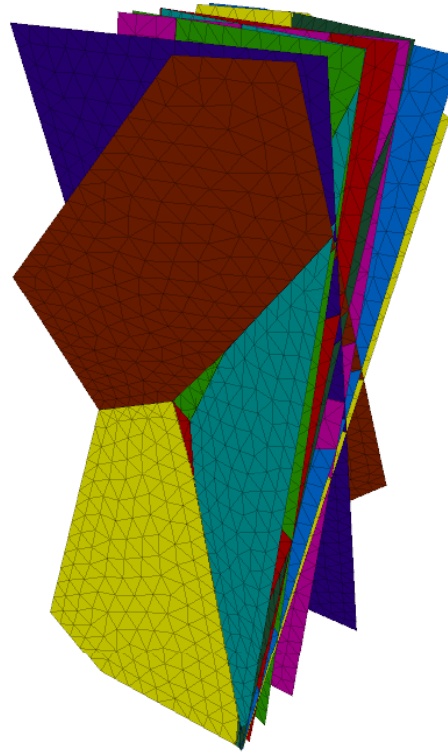


Ergebnis nach einer Injektionsdauer von 200 Sekunden

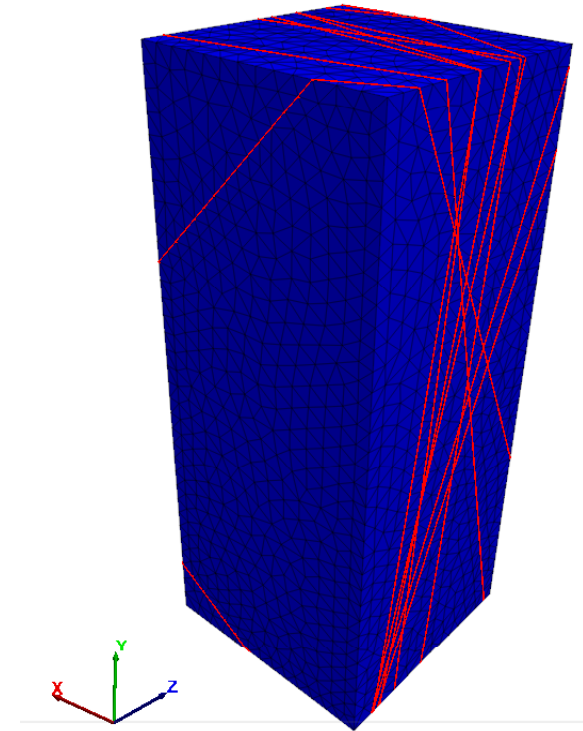
# Untergrundmodell für den Standort Soultz-sous-Forêts



Blockelemente, 3DEC



Störungszonen, 3DEC



vergleichbarer  
Modellkörper in FLAC3D

Modellgröße 400m x 400m x 1000m

# Status und Ausblick

## aktuell:

- Entwicklung eines synthetischen seismischen Katalogs
- Erstellung 3D-Animationsmodells aus GeneSys-Daten
- Programmierung des C<sub>++</sub>-Plug-in für FLAC3D und 3DEC, um die Programme mit einem Reservoirsimulator zu verbinden und die Strömung in der Matrix bzw. dem Bruchnetzwerk zu modellieren
- numerische Simulation Soutz-sous-Forêts
- Bearbeitung des Datensatzes aus Unterhaching

## Ausblick:

- numerische Analysen zu induzierter Seismizität bei Zirkulationsprozessen anhand Unterhaching
- Arbeiten entsprechend weiterer Betreiberdaten (Landau/ Insheim, Bernried etc.)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Danke dem BMU und dem Pt-J für die  
Finanzierung und Begleitung des MAGS-  
Projektes!