

MAGS EP5 - Stand der Arbeit

FU Berlin, FR Geophysik

17. April 2013



Motivation

MAGS Projektreffen München, März 2012:

Heterogenität der elastischen Eigenschaften
⇒ **Nicht-homogene Spannungsverteilung**

Bohrloch-Logging:

- ▶ elastische Gesteinseigenschaften
- ▶ elektrische Gesteinseigenschaften
- ▶ hydraulische Gesteinseigenschaften

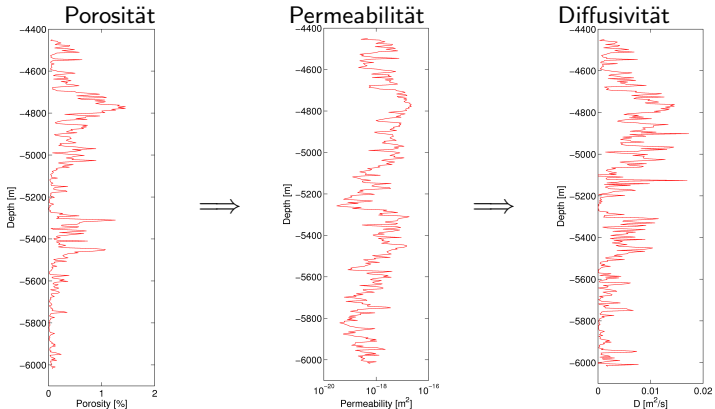
Was ist der Einfluss hydraulischer Heterogenität des Reservoirgesteins auf Porendruckänderungen als Folge von Fluidinjektionen?

Diffusivität aus Logging Messungen

Datenüberblick:

- ▶ Bohrloch-Messungen von der KTB
- ▶ Logs vom zentralen Bereich der Hauptbohrung (4.4 km – 6.0 km)
- ▶ Daten-Präprozessierung mittels *moving-window averaging*

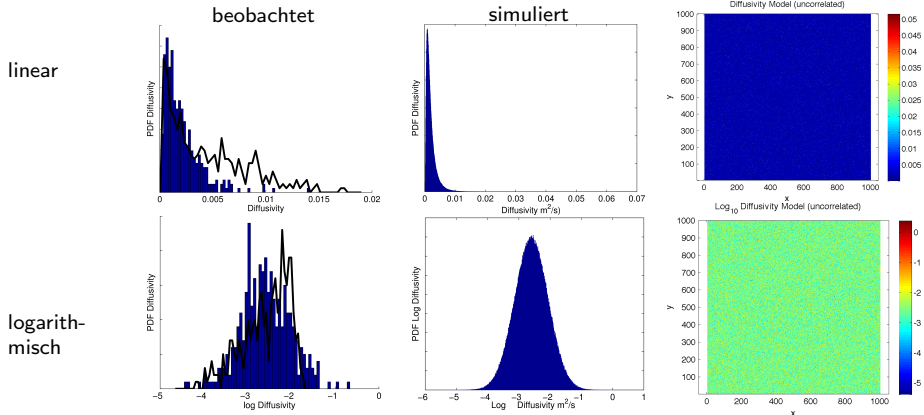
Work-Flow:



Erstellung eines Zufallsmediums

Schritt 1 - Statistische Analyse

Wahrscheinlichkeitsdichte-Funktion der Fluktuationen:

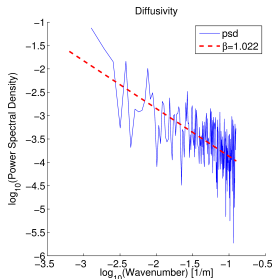


→ log-normal verteilte Fluktuationen
↪ räumlich unkorreliertes Zufallsmedium

Erstellung eines Zufallsmediums

Schritt 2 - Spektrale Analyse

Power-Spektrum:



Potenz-Gesetz $k^{-\beta}$

Fraktale Parameter:

Hurst Exponent H

$$\beta = E + 2H$$

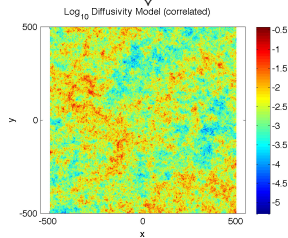
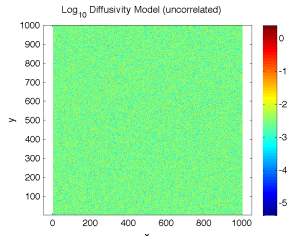
fraktale Dimension D_f

$$D_f = (E + 1) - H$$



$$D_f = 2.984 \text{ (2D)}$$

$$D_f = 3.984 \text{ (3D)}$$



↪ Zufallsmedium mit räumlich korrelierten
Fluktuationen der Diffusivität

Modellierung Porendruck-Perturbation (2D)

Modell Setup

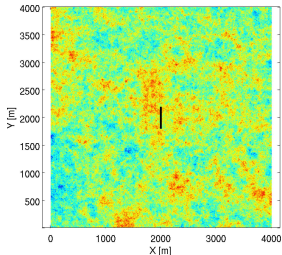
- ▶ räumliche Abmessungen: Block mit $x = y = 4000 \text{ m}$ (1000 \times 1000 Zellen)
- ▶ Geometrie und Stärke der Quelle: Linienquelle, Injektionsdruck 10 MPa
- ▶ Simulationszeit: 20 Tage mit zweitägigem Sampling-Intervall

hydraulische Diffusivität:

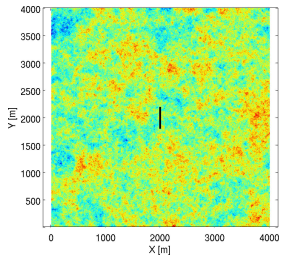
2 verschiedene Realisationen eines Zufallsmediums

homogenes Medium

↓
Modell 1

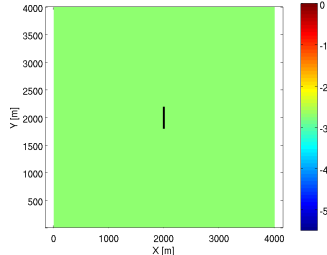


↓
Modell 2



(log-normal D)

↓
Modell 3



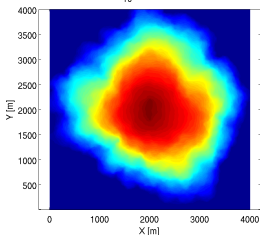
(effektive D gleich dem
Mittelwert von log-normal D)

Modellierung Porendruck-Perturbation (2D)

Ergebnisse: Porendruck-Perturbation nach 10/20 Tagen Injektion

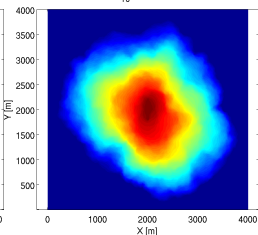
Modell 1

\log_{10} pore pressure



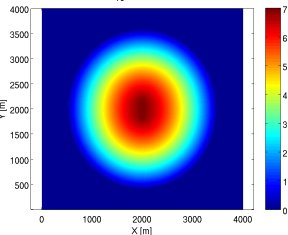
Modell 2

\log_{10} pore pressure



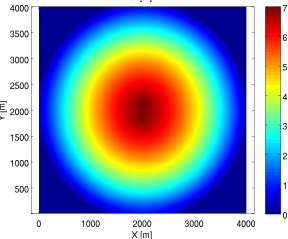
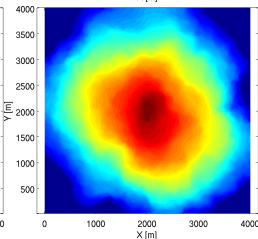
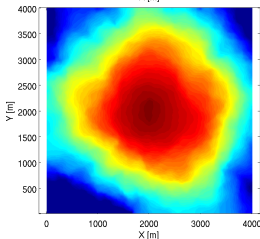
Modell 3

\log_{10} pore pressure



10 Tage

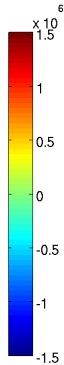
20 Tage



Modellierung Porendruck-Perturbation (2D)

Ergebnisse: Unterschied zwischen heterogenem und homogenem Modell

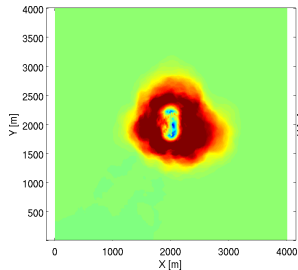
10 Tage



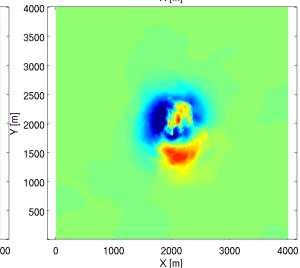
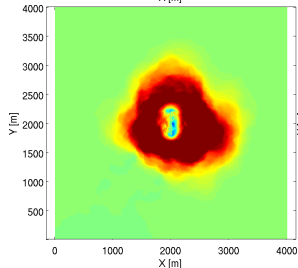
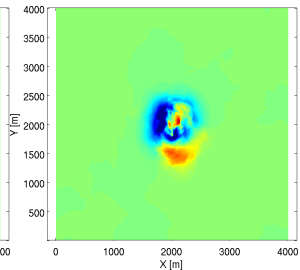
[Pa]

20 Tage

Modell 1 - Modell 3



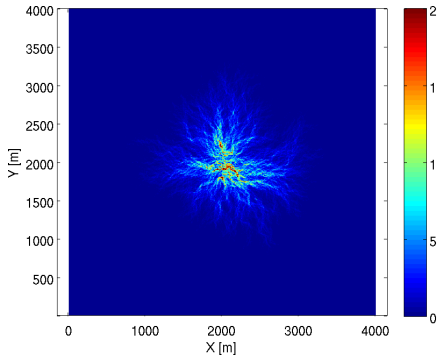
Modell 2 - Modell 3



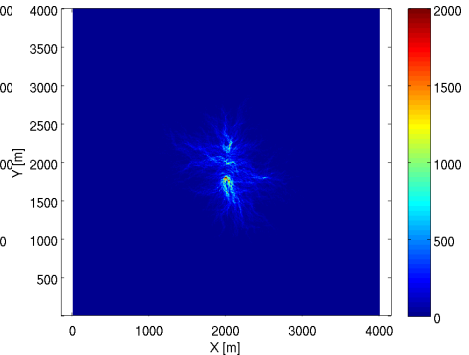
Modellierung Porendruck-Perturbation (2D)

Ergebnisse: Magnitude of Diffusive Flux

Modell 1



Modell 2



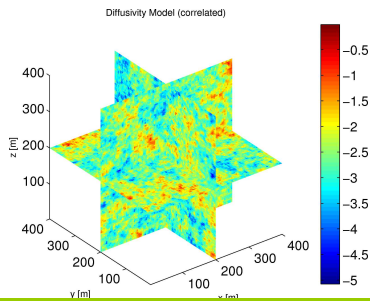
- Ausbildung von Kanälen, welche den Drucktransport begünstigen
- verbinden die permeablen Bereiche im Modell
- Brüche, Störungen, Klüfte

Status Quo...

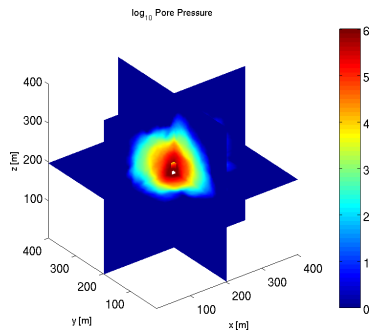
2D Modellierung → 3D Modellierung

Modell Setup:

- ▶ räumliche Abmessungen:
 $x = y = z = 400 \text{ m}$
(100 × 100 × 100 Zellen)
- ▶ Quellgeometrie und -stärke:
Zylinderquelle, Druck 1 MPa
- ▶ Simulationszeit:
24 h mit 1 h Sampling-Intervall

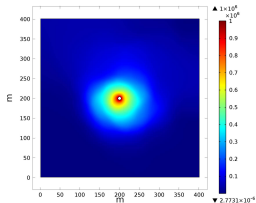


Porendruck-Perturbation

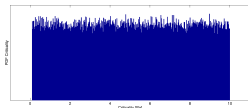


Status Quo...

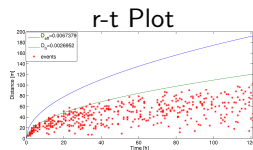
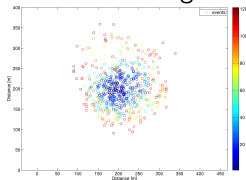
Erzeugung synthetischer Seismizität



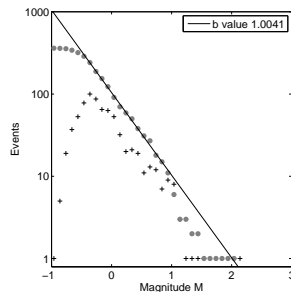
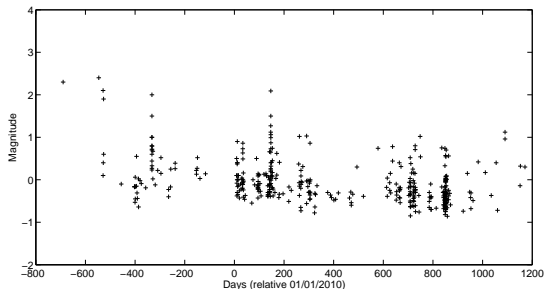
Vergleich:
simulierte
Porendruck-
Perturbation and
Kritikalität



seismische Ereignisse



Status Quo - Unterhaching



b-Wert 1.004, Seismogenit Index -5.03 ± 0.02

Datenbasis: EP2 Katalog 418 Ereignisse, 361 seit 01.01.2010,
Vollständigkeitsmagnitude -0.36

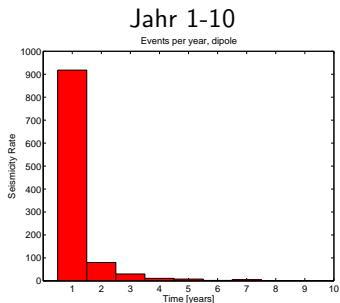
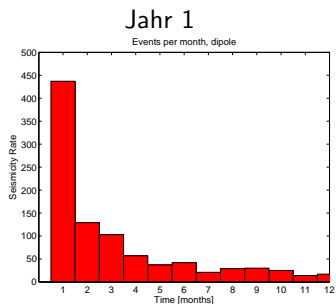
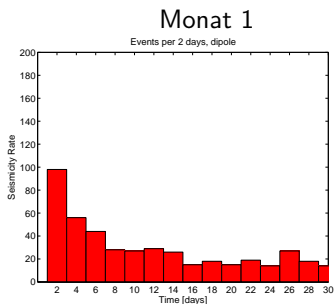
Status Quo - Dipolmodellierung

Abmessung x, y, z , Sampling	8000 m, 160 m
Abstand Dipol Δ_{Dipol}	3798 m
Zeit	$t_1 = 30$ Tage, $\Delta_{t_1} = 2$ Tage $t_2 = 12$ Monate, $\Delta_{t_2} = 1$ Monat $t_3 = 10$ Jahre, $\Delta_{t_3} = 1$ Jahr
Permeabilität, anisotrop	$\kappa = \text{diag}(6, 600, 6) \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$
Fließrate	$q = 110 \text{ l/s}$
Young Modul	$E = 47 \text{ GPa}$
Bulk Modul, grain material	$K_{gr} = 76 \text{ GPa}$
Wasser	$K_{fl} = 2.25 \text{ GPa}$
Viskosität	$\eta = 1.9 \cdot 10^{-4} \text{ Pa s}$
Porosität	$\phi = 0.1$
Poisson Zahl	$\nu = 0.297$

(Sources: Rock Physics Handbook, Geschwindigkeit-Porosität Beziehung
Geschwindigkeit-Dichte Beziehung)

- Porenfluiddruckänderungen $p(r, t)$
- Spannungsänderungen $\sigma_{i,j}(r, t)$, $i, j = 1, 2, 3$
- Hauptspannungen $\sigma_i(r, t)$, $i = 1, 2, 3$
- Normalspannung, Scherspannung
- Änderungen Coulomb-Failure-Stress (Annahme Reibungskoeffizient: 0.8)

Status Quo - Dipolmodellierung: Seismizitätsrate



Danksagung

Das Verbundprojekt **MAGS** - Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und betreut vom Projektträger Jülich.

Förderkennzeichen: 0325191A-F



Projektträger für



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit