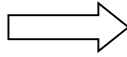


Le Projet Européen de Soultz-sous-Forêts
Stimulation des Reservoirs



1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Dr. Thomas Mégel
GEOWATT AG, CH-Zürich

15. Fachtagung der SVG/SSG, 22. Oktober 2004

Stimulierte Geothermische Systeme – Projekte und Technologien zur Strom- und Wärme Gewinnung

1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden



Kernaufgabe der EGS-Technologie: Bildung eines unterirdischen Wärmetauschers mit möglichst hoher Temperatur und Produktivität



Wichtiges Projektziel:

- Verständnis von Stimulationsprozessen
- Entwicklung eines „Stimulations-Engineering“



Herausforderung: Die hydraulischen, felsmechanischen, thermischen und chemischen Prozesse während einer Stimulation sind äusserst komplex !

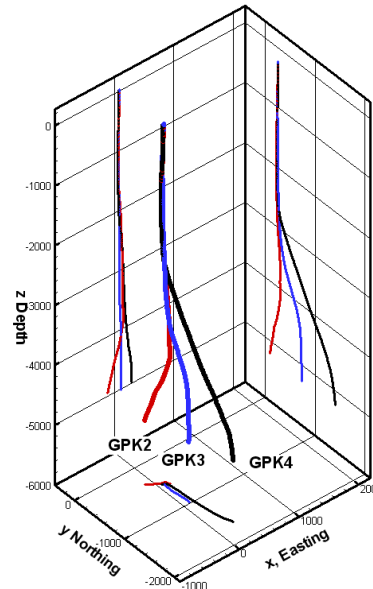
1. Einführung

2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden



Entwicklungsstand des Reservoirs in Soulz-sous-Forêts, Oktober 2004:

- Alle 3 tiefen Bohrlöcher (5000 m) erstellt, GPK 2/3/4
- Reservoir um GPK2 und GPK3 ist stimuliert
- Reservoir um GPK4 teilweise stimuliert – Vollständige Stimulation bis Ende 2004



1. Einführung

2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung

3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden



Ziel der Stimulation: Erhöhung der Durchlässigkeit des Reservoirs

Reservoir:

- Kristallin
- Durchlässigkeit aufgrund von Klüften
- i.R. nur geringe Porosität
- Tiefe: 4000 – 6000 m

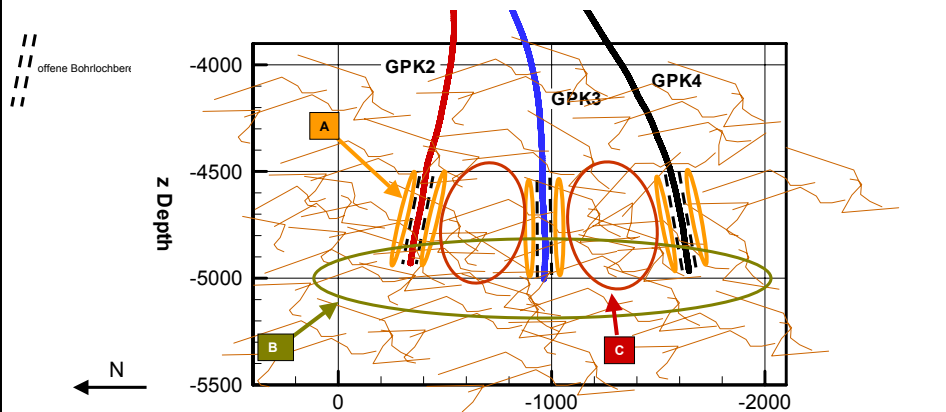
Stimulation = Technische Vergrößerung der Öffnungen von bestehenden Klüften in der Zieltiefe

1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

3 Hauptziele einer

Stimulation:

	künftige Betriebsphase	Stimulationsziel
A	Maximierung der Produktivität/Injektivität einer Bohrung	Erhöhung der Durchlässigkeit der bohrlochnahen Klüfte
B	Möglichst hohe Produktionstemperaturen	Erhöhung d. Durchlässigkeit möglichst tiefliegender Klüfte
C	Keine thermischen Kurzschlüsse	Räumlich möglichst gleichmässige Stimulation der Klüfte



1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Herausforderung:

- 3-dimensionaler Raum, direkter Einblick nur durch 3 Bohrungen
- Alle direkten Operationen durch die 5'000 m langen und nur 0,2 m breiten Bohrlöchern.
- Bis 200°C Temperatur
- Bis zu 500 bar Druck




Planung:

- Physikalisch-mathematisches Verständnis der Prozesse
- Entwicklung von numerischen Werkzeugen für die Simulation von verschiedenen Strategien

1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. **Stimulationsprozesse**
4. Planungsmethoden

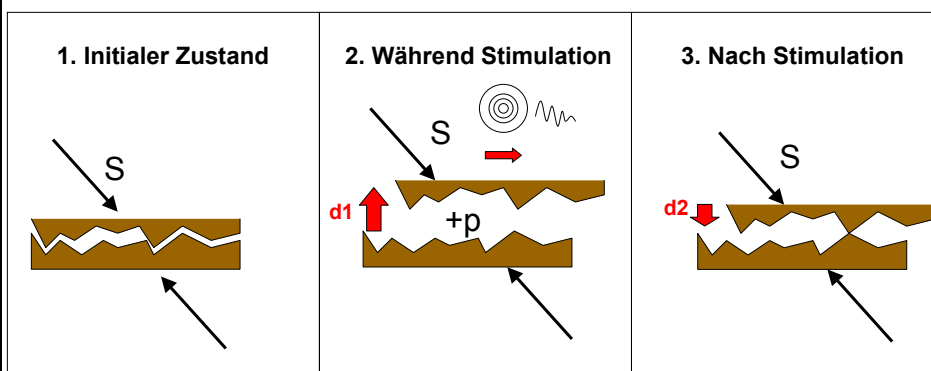
Vergrosserung von Kluftöffnungen durch verschiedene Prozesse :



	Prozesse der Kluftöffnung	Projektphase
I	Mechanische Kluftöffnung durch hydraulischen Überdruck	Bauphase
II	Chemische „Auswaschung“ von Klüften	Bau- und Betriebsphase
III	Thermische Kluftöffnung durch Injektion von Kaltwasser (Thermoelastizität infolge Abkühlung)	Betriebsphase
IV	andere...	

1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. **Stimulationsprozesse**
4. Planungsmethoden

Bauphase : Hauptsächlich mechanische Kluftöffnung infolge Scherbewegung



 **$d_1 > d_2$**

S = Spannungsfeld
 $+p$ = Hydraulischer Ueberdruck infolge Injektion

1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimationsprozesse
4. Planungsmethoden

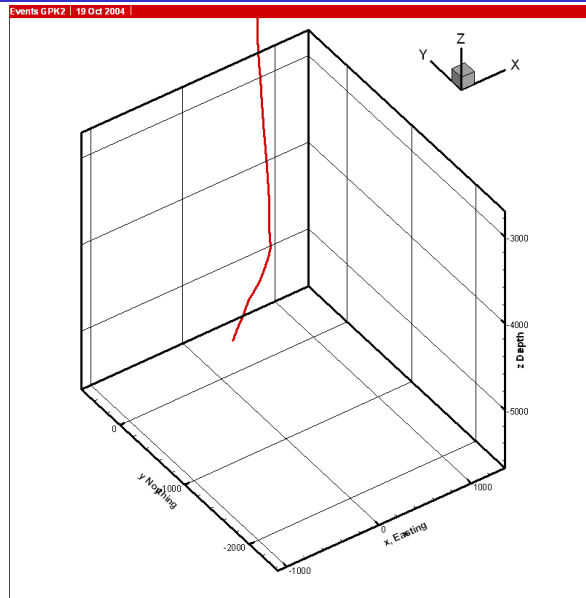
Scherbewegung \longleftrightarrow



Erschütterung



Lokalisierung der
gesicherten Kluft $\oplus \rightarrow$



1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimationsprozesse
4. Planungsmethoden

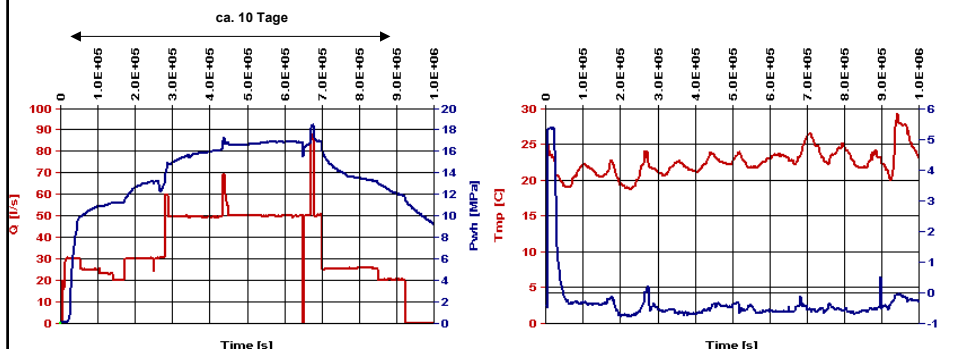
Stimulations-Strategie = Kombination der technisch kontrollierbaren Injektionsparameter



Stimulation GPK3, Mai 2003

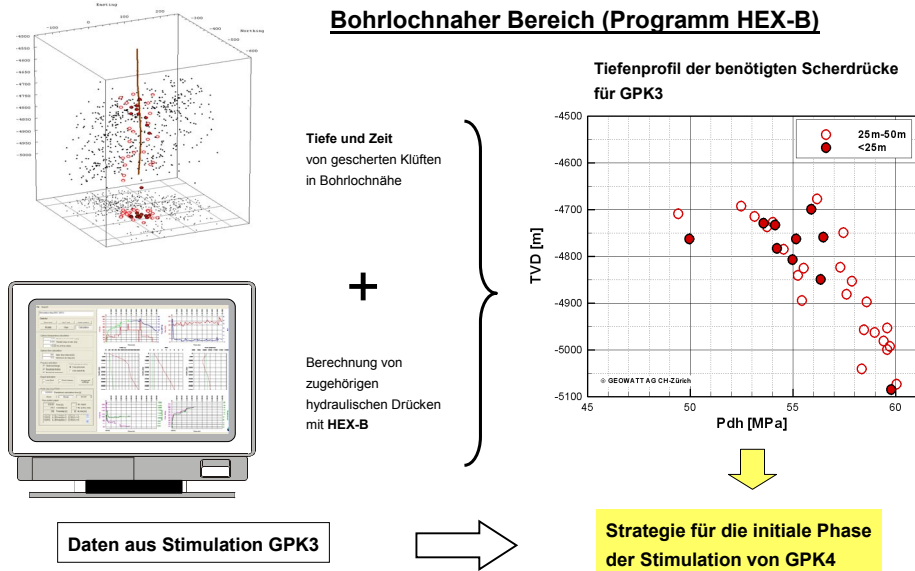
Technisch kontrollierbare
Injektionsparameter
am Bohrlochkopf:

- Injektionsrate oder Druck am Bohrlochkopf
- Dichte des Injektionsfluids
- Temperatur des Injektionsfluids (nur bedingt)
- Zeitverläufe dieser Parameter



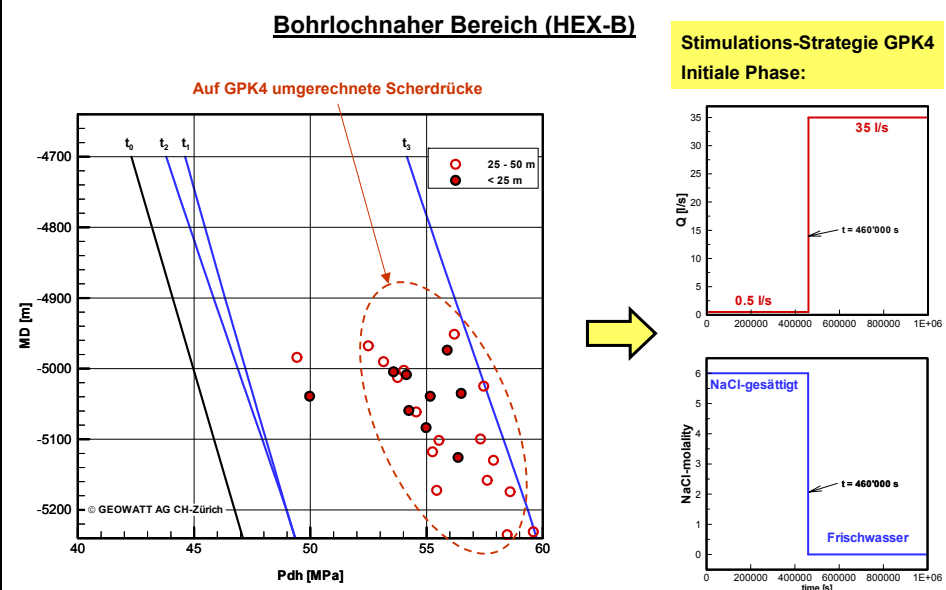
1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Bohrlochnaher Bereich (Programm HEX-B)



1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Bohrlochnaher Bereich (HEX-B)



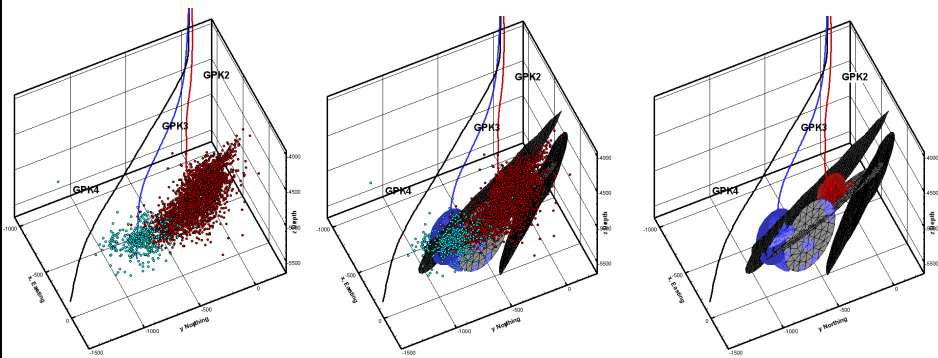
1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Reservoir Bereich (Programm HEX-S)

Interpretation der Lokationen
in geeigneten Zeitintervallen:



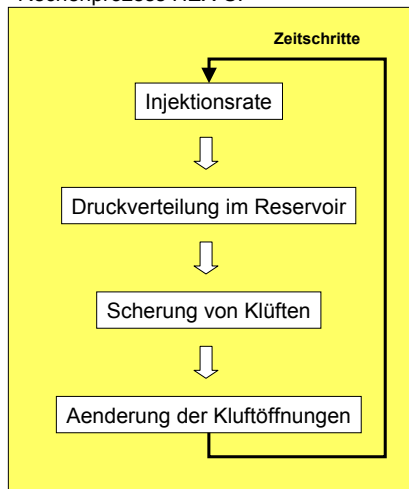
- Kluftstrukturen
- hydr. Barrieren



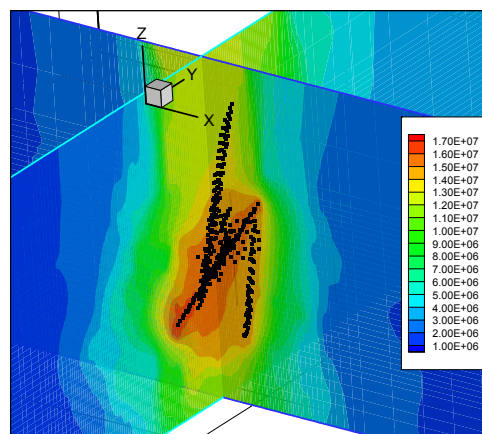
1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Reservoir Bereich (HEX-S)

Rechenprozess HEX-S:



Bsp. Stimulation GPK3 nach 5 Stunden:
Berechnete Druckverteilung [Pa] und Scherungen

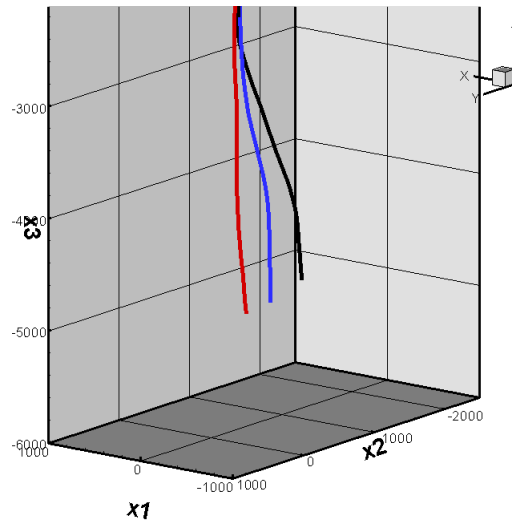


1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Reservoir Bereich (HEX-S)

Berechnete Entwicklung
der Kluftscherungen im
Reservoir:

(Stimulation in GPK3)



1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Schlussbemerkungen:

- **Physikalische Prozesse einer Stimulation sind komplex**
- **Der Einblick in den Untergrund ist begrenzt (Bohrloch)**
- **Numerische Werkzeuge unterstützen die Planung für**
 - A. Interpretation von Stimulations-Daten**
 - B. Prognose der Effekte einer bestimmten Stimulations-Strategie**
- **Die Entwicklung solcher Werkzeuge hat im Rahmen des EGS-Projektes in Soultz-sous-Forêts wichtige Fortschritte erzielt.**
- **An einen bestimmten EGS-Standort herrschen spezifische Bedingungen im Untergrund (Spannungsfeld, Klüftigkeiten, etc.) Numerische Werkzeuge, die diese spezifische Bedingungen berücksichtigen, sind unerlässlich.**

Le Projet Européen de Soultz-sous-Forêts
Stimulation des Reservoirs

