

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 Wärmegewinnung

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

GEOWATT AG SWISS
GEO-THERMAL
EXPERT
GROUP

Entwicklungsstand des Reservoirs in Sultz-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

The figure is a 3D plot showing the locations of three geothermal boreholes (GPK2, GPK3, GPK4) in a coordinate system. The vertical axis is labeled 'Depth z' and ranges from 0 to -6000 meters. The horizontal axes are 'x, Easting' and 'y, Northing', both ranging from -2000 to 2000 meters. Three boreholes are shown as vertical lines: GPK2 (red), GPK3 (blue), and GPK4 (black). Each borehole has a main shaft extending to approximately -5000 meters and a shorter side branch. The plot shows the spatial distribution of these boreholes relative to each other and the coordinate system.

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

GEOWATT AG SWISS
GEO-THERMAL
EXPERT
GROUP

Ziel der Stimulation: Erhöhung der Durchlässigkeit des Reservoirs

Reservoir:

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

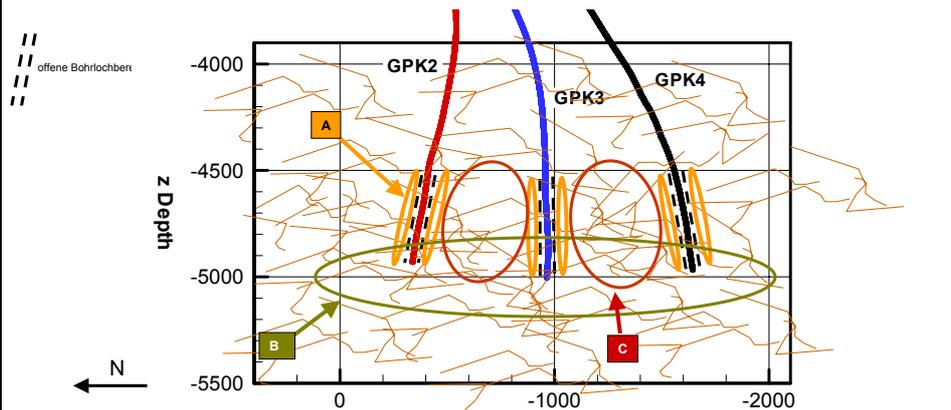
Stimulation = Technische Vergrößerung der Öffnungen von bestehenden Klüften in der Zieltiefe

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



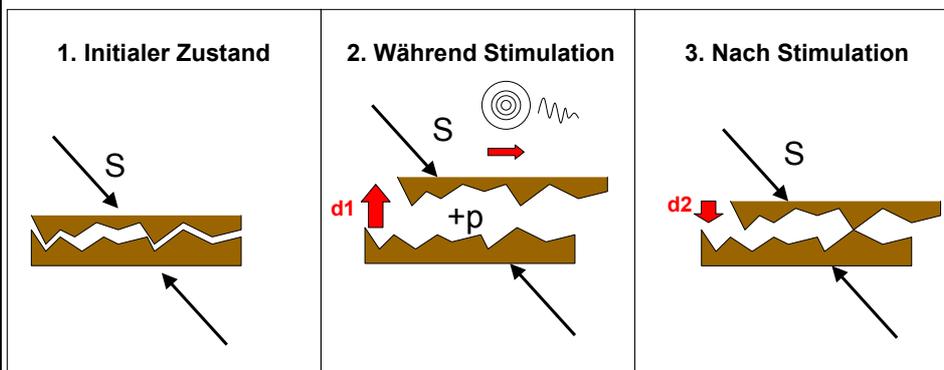
Planung:

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

Vergrosserung von Klüftöffnungen durch verschiedene Prozesse :

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

Bauphase : Hauptsächlich mechanische Klüftöffnung infolge Scherbewegung



↳ $d_1 > d_2$

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

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

GEOWATT AG SWISS GEOTHERMAL EXPERT GROUP

Scherbewegung ↔

↓

Erschütterung

↓

Lokalisierung der gesicherten Kluft ⊕ →

Events GPK2 | 19 Oct 2004

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

GEOWATT AG SWISS GEOTHERMAL EXPERT GROUP

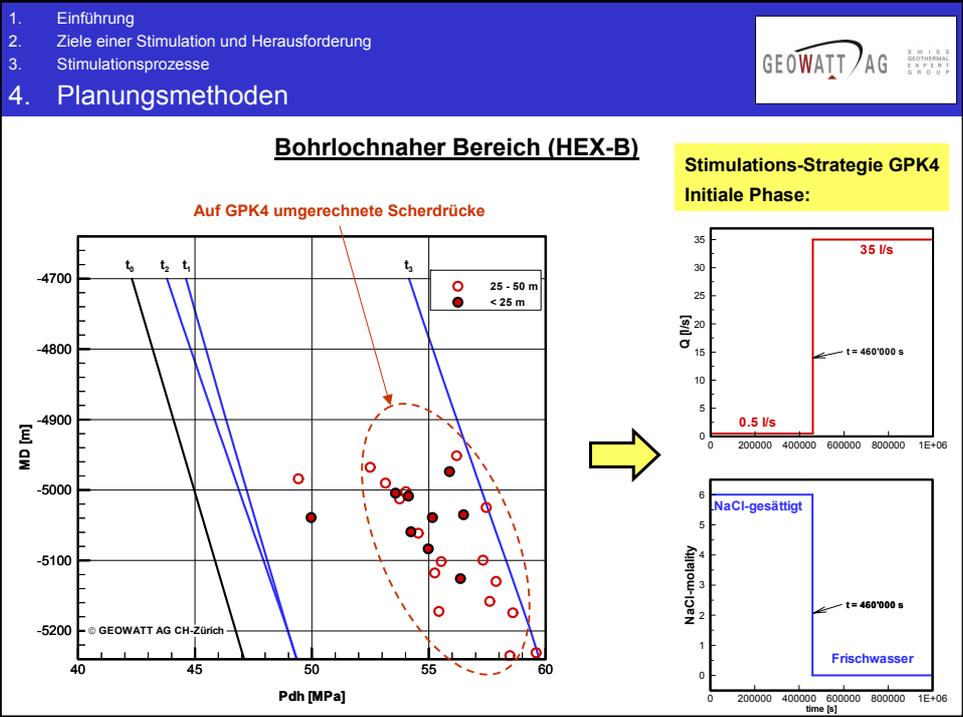
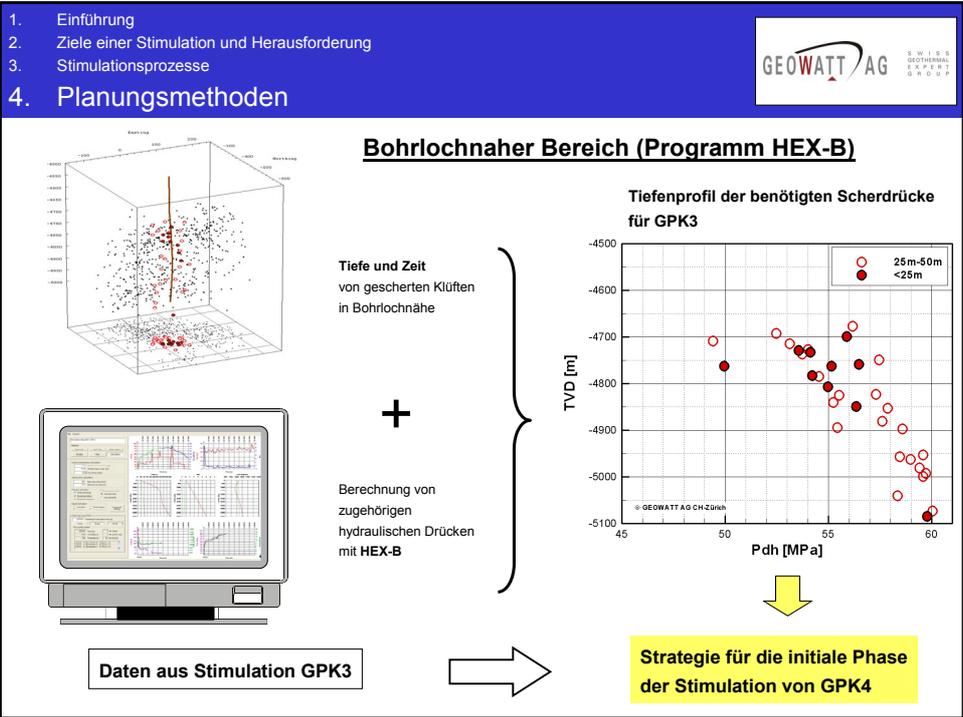
Stimulations-Strategie = Kombination der technisch kontrollierbaren Injektionsparameter

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

← ca. 10 Tage →



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

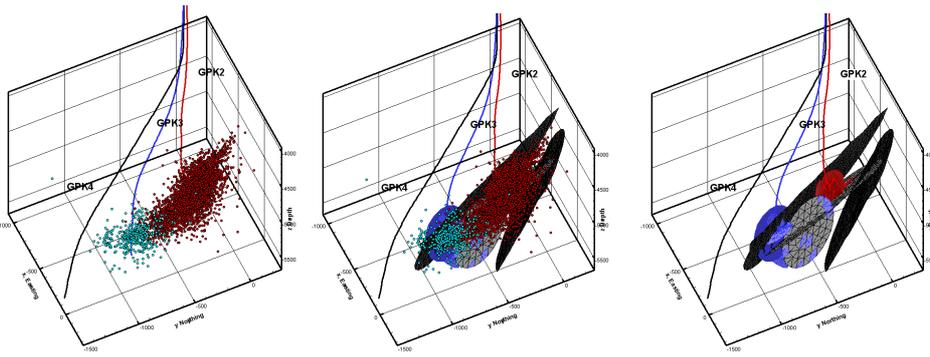


Reservoir Bereich (Programm HEX-S)

Interpretation der Lokationen
in geeigneten Zeitintervallen:



- Kluffstrukturen
- hydr. Barrieren

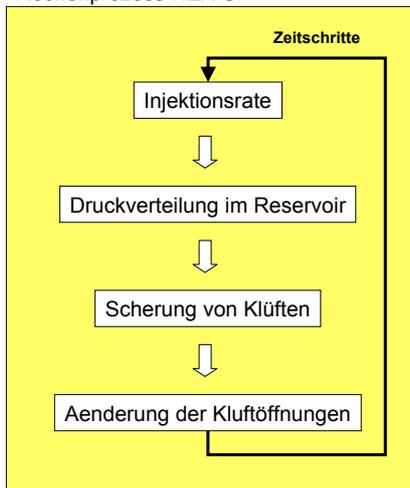


1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

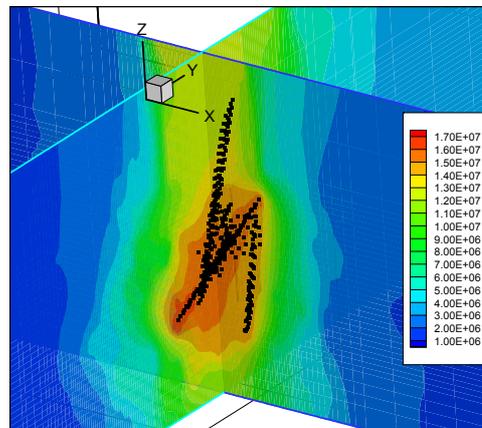


Reservoir Bereich (HEX-S)

Rechenprozess HEX-S:



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

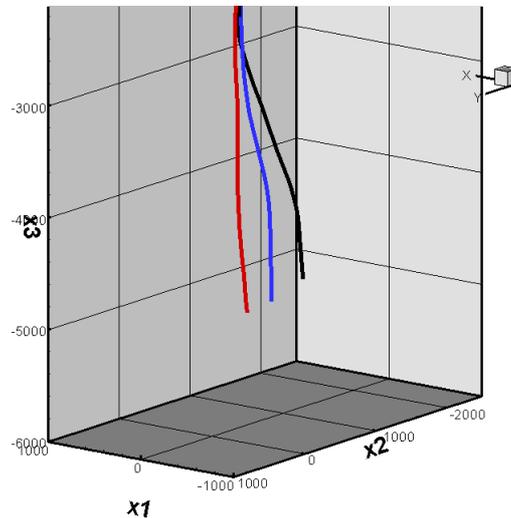


1. Einführung
2. Ziele einer Stimulation und Herausforderung
3. Stimulationsprozesse
4. Planungsmethoden

Reservoir Bereich (HEX-S)

Berechnete Entwicklung
der Klufscherungen 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



Vielen Dank.