

# TIEFENGEOTHERMISCHE GROSSKRAFTWERKE

Mit einem effizienten Simulator für hydraulische Rissbildung bietet Dynardo die Softwarebasis für eine optimale Generierung und den Betrieb von Wärmetauschern von petrothermalen Großkraftwerken.



## Optimierungsaufgabe

Bei petrothermalen Kraftwerken sollen tiefe Gesteinsschichten mit Temperaturen von bis zu 200° C über das Einpressen von Wasser zur Energiegewinnung ausgenutzt werden.

Neben der wirtschaftlichen Erstellung der Bohrung ist die Generierung und die Gewährleistung einer ausreichenden Durchlässigkeit des Wärmetauschers in den tiefen Gesteinsschichten eine der zentralen Herausforderungen der Geothermie. Zur Erstellung des Wärmetauschers wird die sogenannte hydraulische Rissbildung (Hydraulic Fracturing), ein Verfahren aus der Gasindustrie, zur Stimulierung von Gaslagerstätten eingesetzt. Dabei wird mittels Wasserdruck ein Felsbereich zwischen zwei Bohrlochenden stimuliert, um eine ausreichende Durchlässigkeit für die Funktion des Wärmetauschers zu generieren. Für den störungsfreien Betrieb muss das initiierte Kluftsystem auch unter den Betriebsdrücken und des sich regenerierenden Gebirgsspannungszustandes eine ausreichende Durchlässigkeit über lange Zeiträume gewährleisten. Um die Lage des Bohrloches und die hydraulische Stimulierung optimieren zu können ist es notwendig, den Prozess der hydraulischen Rissbildung und die Evolution der Durchlässigkeiten im Betrieb in ausreichender Prognosegüte zu berechnen. Hierfür gab es bisher keine leistungsfähigen kommerziellen Softwareprogramme, die die Rissbildung im 3-dimensionalen Gebirgsmodell sowie die Degradation der Durchlässigkeiten unter Betriebsbedingungen im geklüfteten Fels ermitteln konnten.

*“It is recommended to use hydraulic stimulation. Controlling and optimizing the stimulated fracture network is recommended to control the costs of stimulation and production. The development of a 3D fracture diagnostic tool is necessary to optimize stimulation techniques”.*

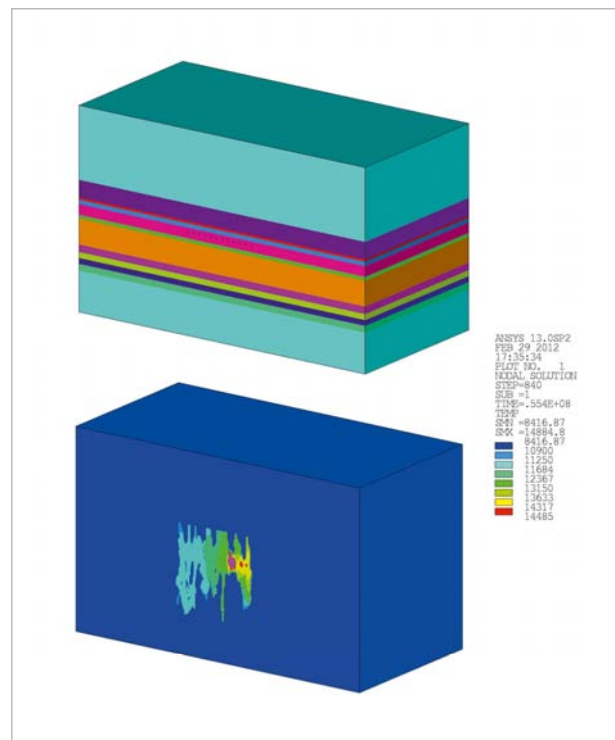
Zitat Forschungsbericht 2007, US renewable energy project

## Lösungsmethoden

### ANSYS/multiPlas/optiSlang® - Simulator

Dynardo kann heute, als einziger Ingenieurdienstleister weltweit, die hydraulische Rissbildung in Gaslagerstätten in 3-dimensionalen FEM-Berechnungen mit ausreichender Prognosefähigkeit berechnen und mit Messungen er-

folgreich abgleichen. Das gelingt durch die Kopplung von ANSYS, eines der leistungsfähigsten FEM Programme, mit den Dynardo Softwarekomponenten multiPlas – Materialbibliothek für die Geotechnik und optiSlang – Software zur Modellkalibrierung und Optimierung. Entscheidend für ein prognosefähiges Simulationsmodell ist, dass die wichtigen Mechanismen der hydraulischen Rissbildung, die zur Ausbildung eines Rissnetzwerkes führen, in ausreichender Genauigkeit abgebildet werden können. Die Simulationmöglichkeiten werden zur Zeit innerhalb eines Forschungsvorhabens\* über die Berechnung der Degradation der Durchlässigkeiten unter Betriebsbedin-



3D gekoppelte mechanisch-thermisch-hydraulische FEM Simulation des Hydraulic Fracturing

gungen erweitert und für die Gegebenheiten der Geothermie angepasst. Zur Optimierung und zum Nachweis des Wärmetauschers ist es essentiell, die wichtigen Ein-

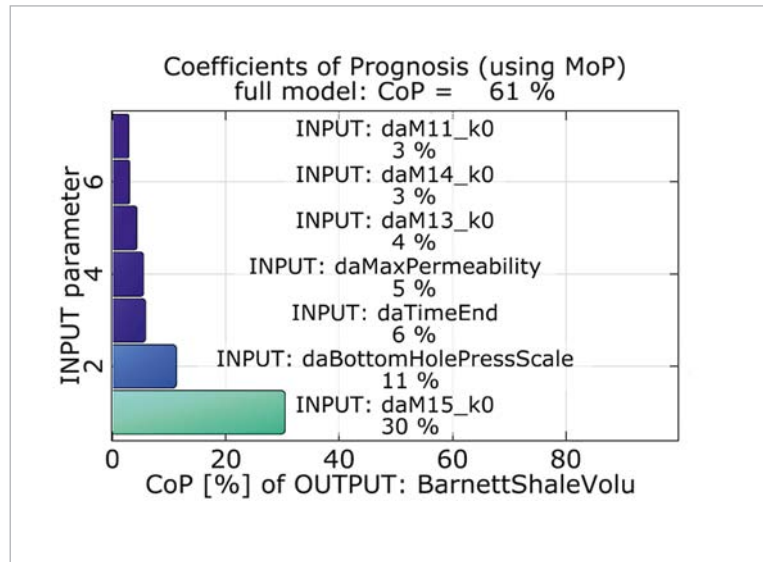
gangparameter, welche die Rissbildung wesentlich bestimmen, zu ermitteln sowie die damit verbundenen Mechanismen zu verstehen und mit Messungen abzugleichen. Nach einem erfolgreichen Abgleich einer hydraulischen Stimulation mit Messungen kann ein Simulator für das Reservoir entwickelt werden. Unter Verwendung des kalibrierten Modells kann dann die Optimierung des Wärmetauschers erfolgen. Um den Simulator zu verwenden, ist eine parametrische Modellierung im homogenisierten Volumenmodell notwendig. Die Berechnung einer hydraulischen Stimulation und des Betriebes muss extrem effizient sein, da mehrere hundert Berechnungen für die Validierung, Kalibrierung und Optimierung notwendig werden könnten. Zur parametrischen Modellierung sowie zur effizienten Berechnung wird AN-SYS verwendet.

Im zweiten Schritt berechnet Dynardo's Materialbibliothek mutiPlas die Rissbildung im Fels und im Trennflächensystem im homogenisierten Volumenmodell. Die nichtlineare Berechnung der Lastgeschichte beginnt mit der Spannungs- und Porenwasserdruckinitialisierung. Die hydraulische Rissbildung wird in der Folge als gekoppelte hydraulisch-mechanische Berechnung durchgeführt. Die Kopplung erfolgt dabei über die Strömungskräfte, die sich aus Porenwasserdruckunterschieden der hydraulischen Berechnung sowie über die Änderung der Durchlässigkeiten infolge Rissbildung aus der mechanischen Berechnung ermitteln.

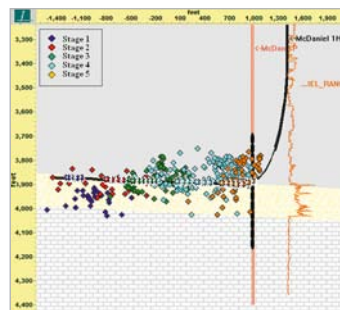
Die dritte wichtige Komponente ist Dynardo's optiSlang. Die Software wird zur Validierung und Kalibrierung des Reservoirmodells sowie zur Optimierung des Wärmetauschers eingesetzt.

## Kundennutzen

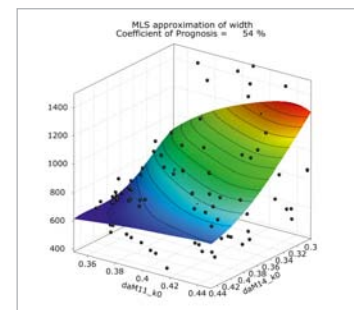
- Simulation zur Generierung des Wärmetauschers mittels Hydraulic Fracturing
- Simulation der Durchlässigkeiten und Rissöffnungen unter Betriebsbedingungen und Änderungen des Gebirgsspannungszustandes



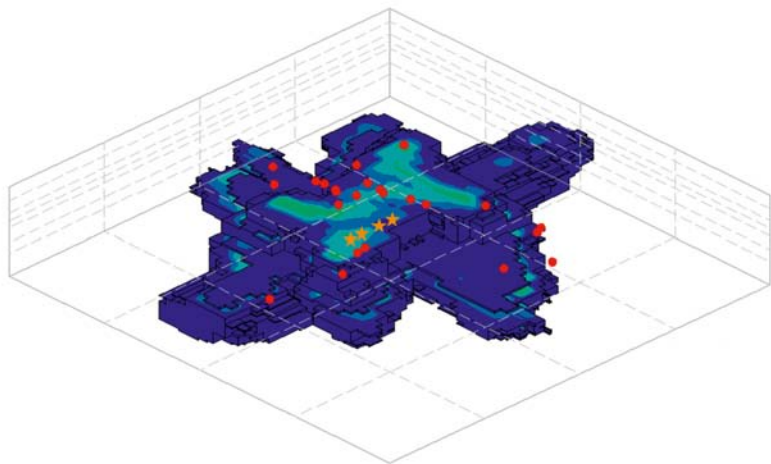
Identifikation wichtiger Unsicherheiten in der Formation sowie wichtiger Parameter der Stimulierung



Abgleich der Simulation mit Messungen (Microseismic)



Metamodell der optimalen Prognosefähigkeit



Stimulierter Gesteinskörper nach 193 Minuten Druckbelastung (blau-simuliert / rot-gemessen)



\* gefördert vom Freistaat Thüringen und der Thüringer Aufbaubank, kofinanziert durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (Förderzeichen: 2011 FE0018), Zeitraum Mitte 2011 bis Mitte 2013