

# Modellierung von induzierten Rissen in Geothermischen Simulationsstudien

Alexander Diab, Oleksandr Burachok

Reservoir Engineers

Schlumberger Information Solutions

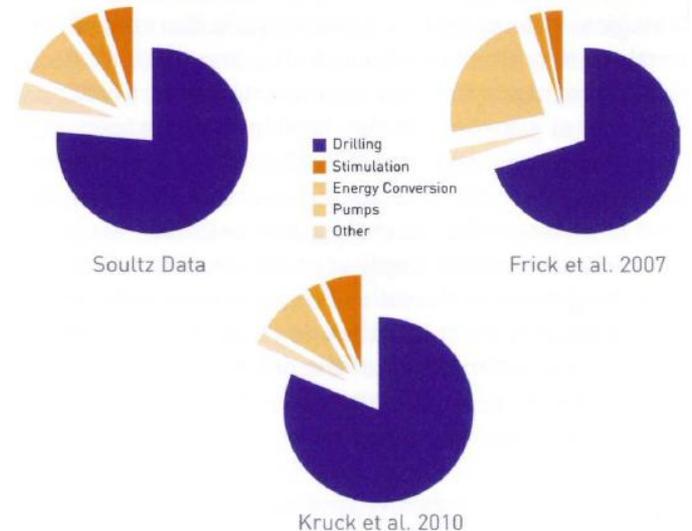
**Schlumberger**

# Agenda

- Einführung
- Projektablauf
  - Simulationsmodell
  - Adjustierung
  - Sensitivität
- Ergebnisse und Ausblick

# Einführung

- Induzierte Risse in geothermische Bohrungen erhöhen die Produktivität
- Hohe Operationskosten können die Wirtschaftlichkeitsrechnung gefährden
- Sensitivitätsstudien mit dynamischen Simulationsmodellen helfen, das wirtschaftliche Risiko zu bestimmen
- Projektablauf wurde anhand eines synthetischen Falles durchgeführt

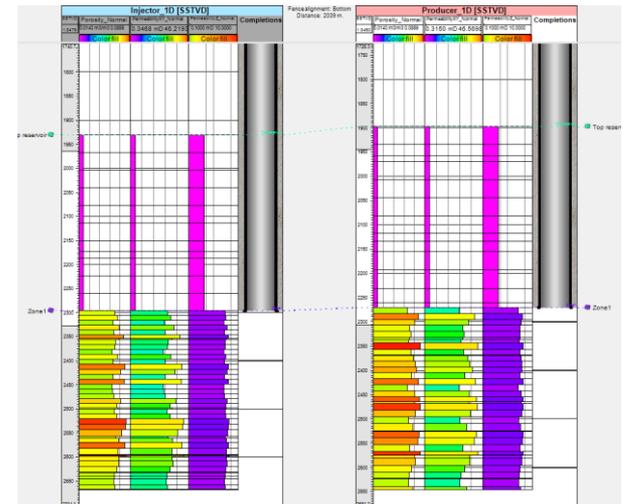
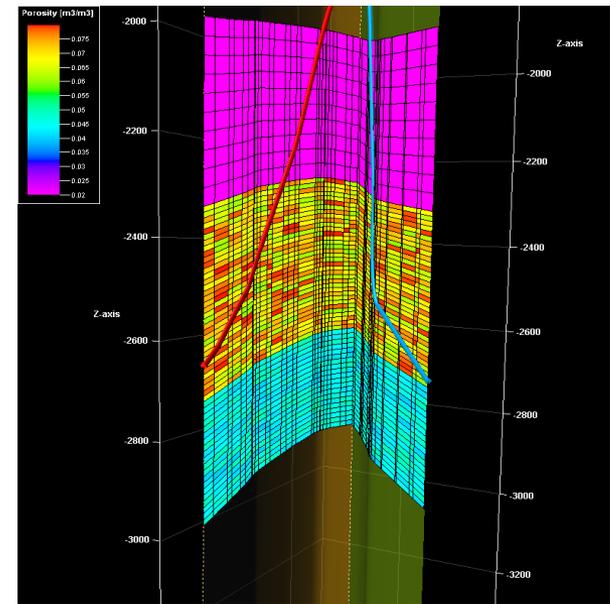


# Projektlauf

1. Statisches Modell wurde mit verfügbaren Informationen erstellt:
  - 2D Seismic
  - Öffentliche geologische Karten
2. Dynamische Eigenschaften des Simulationsmodells wurden geschätzt
3. Simulationsmodell wurde initialisiert
4. Dynamische Modelleigenschaften wurden mit einem Produktionstest adjustiert (History Match)
5. Produktionsverhersage wurde erstellt mit Bohrungen mit induzierten Rissen (Prediction)
6. Sensitivität des Designs der induzierten Risse bezüglich der zu erwartenden Produktivität wurde untersucht

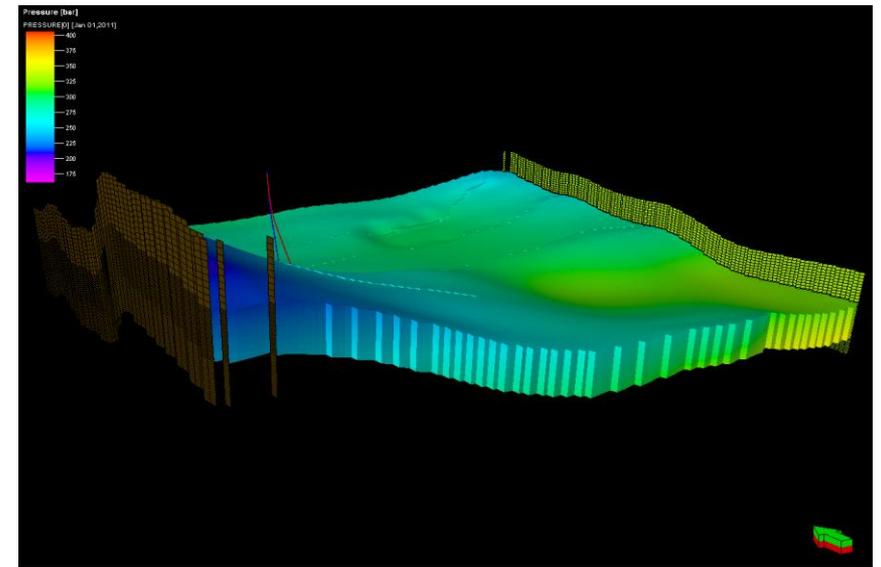
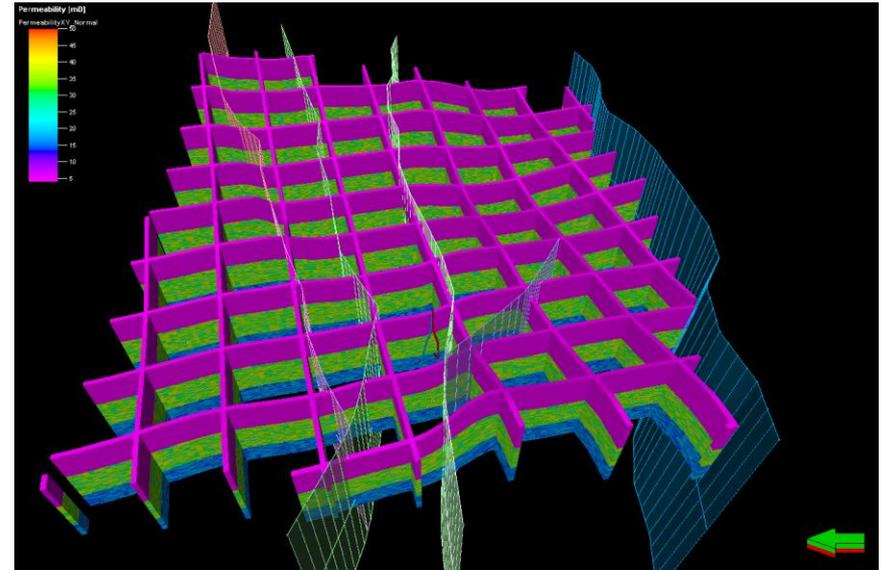
# Das Simulationsmodell 1

- Modell wurde mit Reservoir Modellierungsprogramm PETREL erstellt
- Statisches Model (Struktur und Störungen) wurde mit verfügbaren Informationen erstellt:
  - 2D Seismic
  - Öffentliche geologischen Karten
- 1.68 Millionen Zellen
- Areale Ausdehnung: 37 x 31 km
- Vertikal: 3 stratigraphische Zonen zwischen 1500 und 3300 m tief
- Zwei Bohrung
  - Mit Bohrspfadmessung
  - Eine mit einem Produktionstest
  - Keine Logs für beide Bohrungen



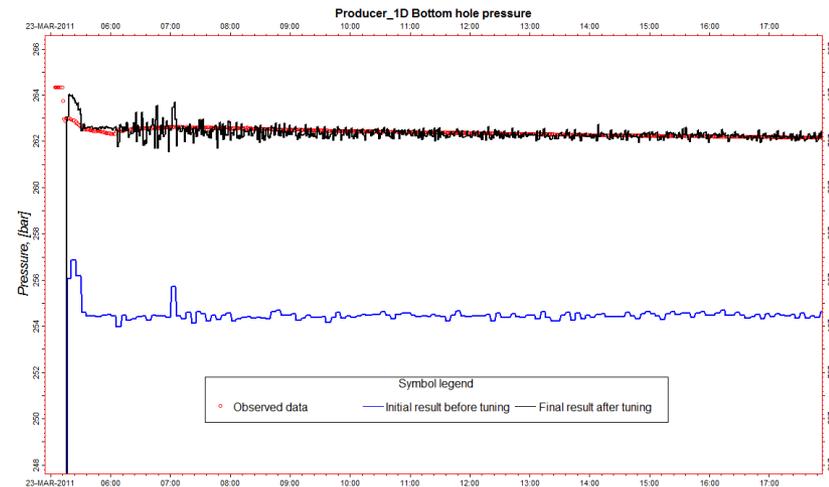
# Das Simulationsmodell 2

- Porositätswertpopulierung basierend auf regionalgeologischen Informationen mit einer Normalverteilung zwischen 6 – 8 %
- Permeabilitätsmodellierung korreliert mit Porosität (wird später durch das History Match angepasst)
- Temperaturverteilung wurde mit einer geothermischen Tiefenstufe von 3.2 Grad pro 100 m erstellt
- Zwei Aquifer mit konstantem Fluss an gegenüberliegenden Seiten des Modell simulieren den Grundwasserfluss
- Modell wird initialisiert, bis konstanter Fluss erreicht ist
  - Zeitschritt t+1 und Zeitschritt t haben denselben Fluss an jeder Zellwand
  - Tritt nach etwa 40 Jahren ein



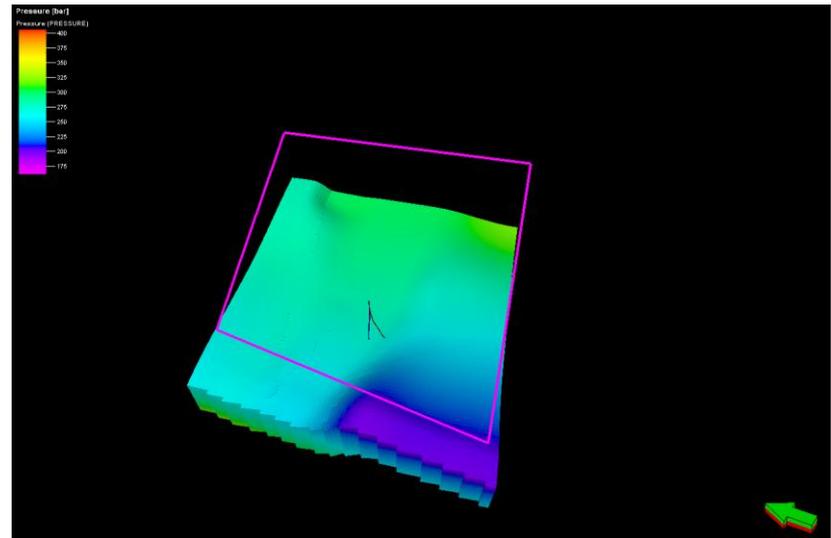
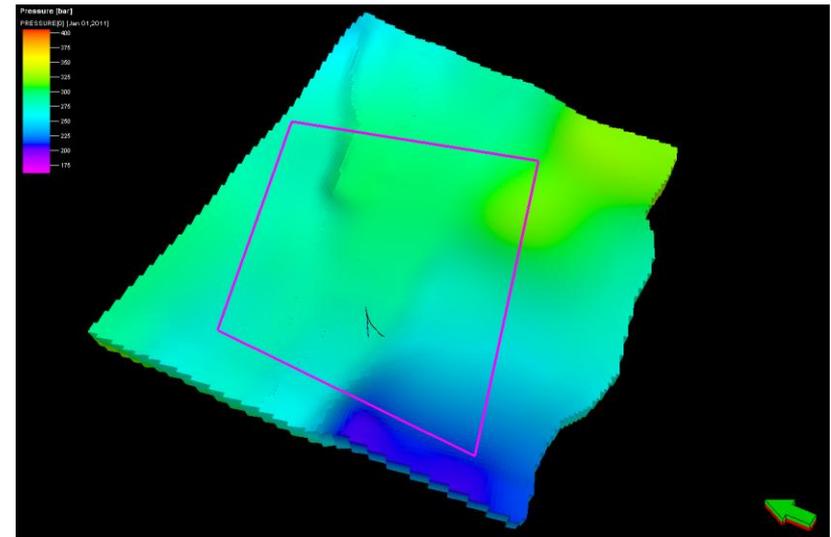
# Adjustierung des Dynamischen Modelles

- Einzige verfügbare dynamische Information ist der Produktionstest (Druck, Rate) aus einer Bohrung
- Wegen der hohen Messfrequenz (1 Punkt pro Minute über 7 Tage) müssen viele Zeitschritte simuliert werden, was viel Rechenzeit benötigt
- Ein Sektorsimulationsmodell wird erstellt, mit dem die dynamischen Eigenschaften adjustiert werden (History Match)
- Die anzupassenden Eigenschaften sind:
  - Horizontale Permeabilität
  - Vertikale Permeabilität
  - Produktivitätsfaktor der Bohrung



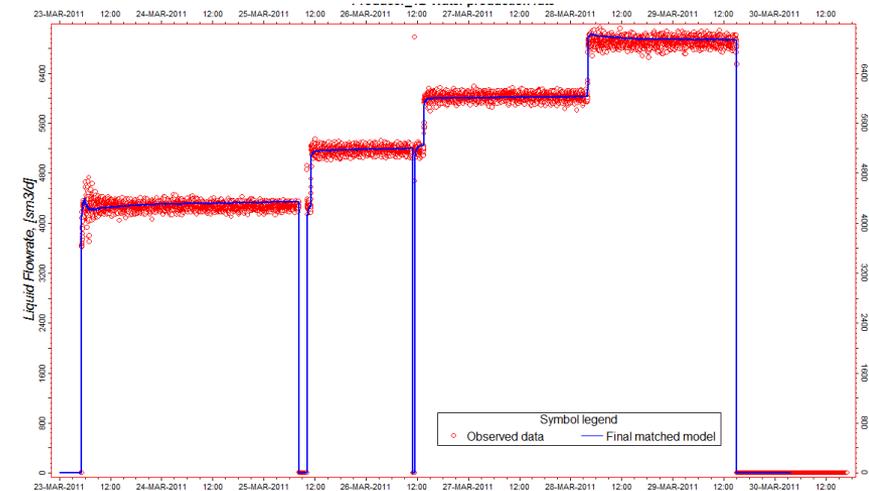
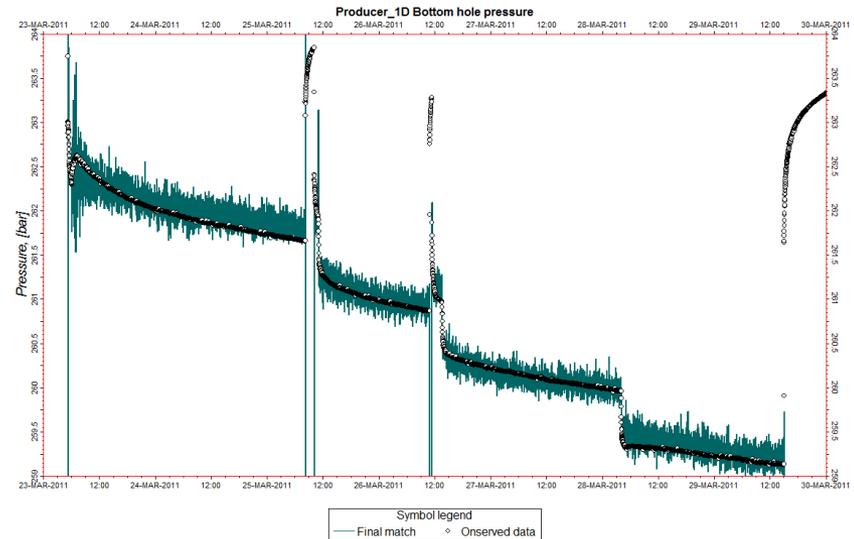
# Sektorenmodellierung

- Ein komplettes Feldmodell wird simuliert mit der gesamten Produktionshistorie
- Ein Sektor mit 177.000 Zellen um die Bohrung innerhalb des Gesamtmodelles wird definiert
- An den Sektorengrenzen wird der Durchfluss über die Simulation des Testes gespeichert
- Wenn das Sektormodell simuliert wird, bleibt der Durchfluss an der Sektorengrenze konstant
- In dem Sektorenmodell werden Eigenschaften verändert, um den Druckverlauf dynamisch nachzubilden (History Match)



# Validierung der Ergebnisse

- Nach dem Prozess wurden folgende Änderungen vorgenommen:
  - Horizontale Permeabilität multipliziert mit 1.45
  - Vertikale Permeabilität verzehnfacht
  - Produktivität der Bohrung um den Faktor 0.232 reduziert
- Nach dem History Match werden die Änderungen im Sektormodell auf das Gesamtmodell übertragen
- Produktionstest wird mit dem Gesamtmodell validiert nach Druck und Rate

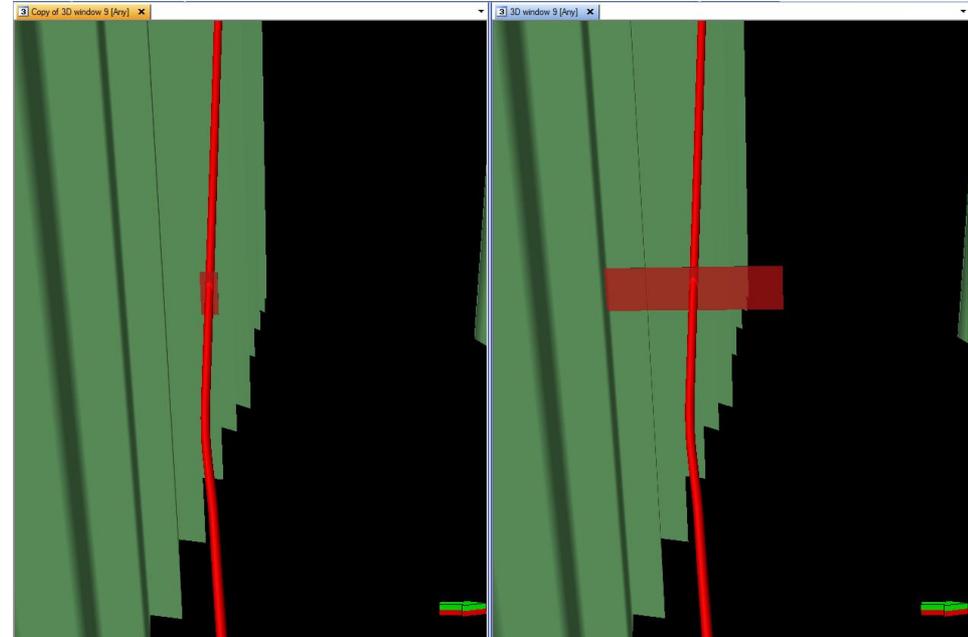


# Rissinduktionsdesign gegen Bohrlochbodendruck

- Gesamtmodell als Basis für Wirtschaftlichkeitsstudie bei Produktivitätsverbesserung durch induzierte Risse
- Erfolgsparameter für die Produktivitätsverbesserung ist der realisierte Bohrlochbodendruck bei konstanter Rate
  - Weil sich damit eine höhere Rate realisieren liesse
  - Weil bei gegebener Rate ein höherer Druck im Oberflächenprozess realisiert werden kann
- Vorhersageläufe wurden über 50 Jahre mit einer konstanten Produktions- wie Injektionsrate von 150 Liter/Sekunde simuliert
- Rissmodellierung wird mithilfe eines Algorithmus erstellt, der die Konnektivität anhand der Rissgeometrie errechnet und in die Simulation einfügt
- Andere Rissmodellierungen sind möglich, aber aufwendiger in der Sensitivitätsbetrachtung

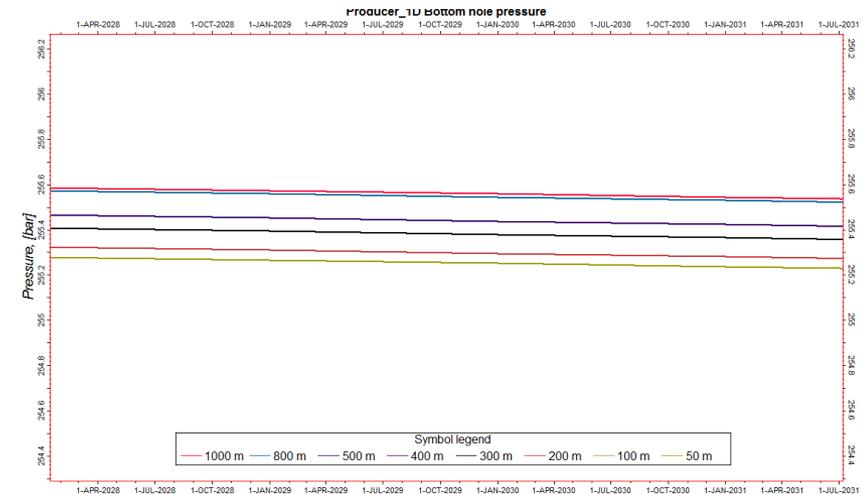
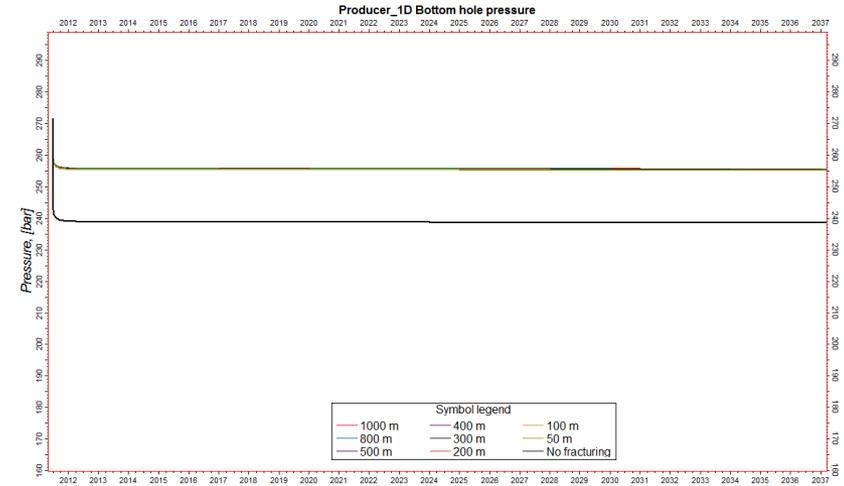
# Sensitivität 1: Risslänge

- Je länger der induzierte Riss in die Lagerstätte reicht, desto höher die Konnektivität und potentiell desto grösser ist Produktivität der Bohrung
- Eigenschaften des induzierten Risses
  - Risspermeabilität: 10.000 mD
  - Rissweite: 5 mm
  - Risshöhe: 50 m
- Sensitivität auf die Länge des Risses in die Formation hinein: 50 – 1000 Meter



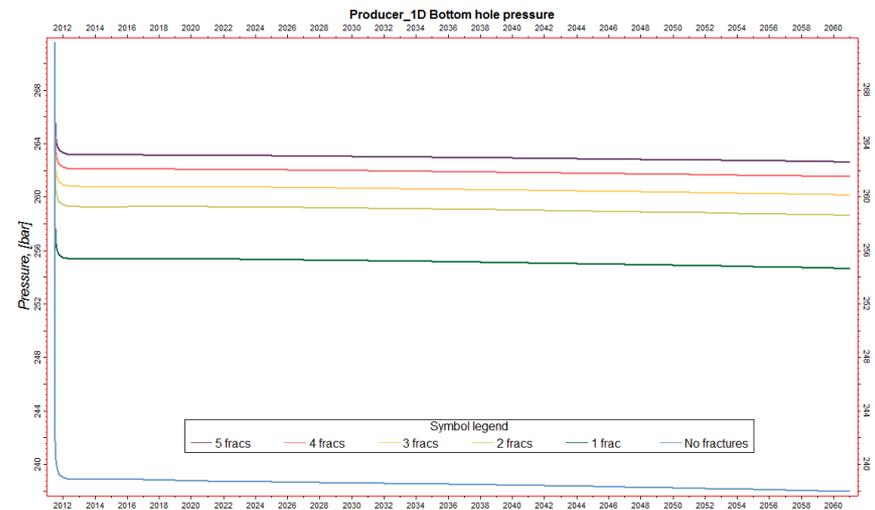
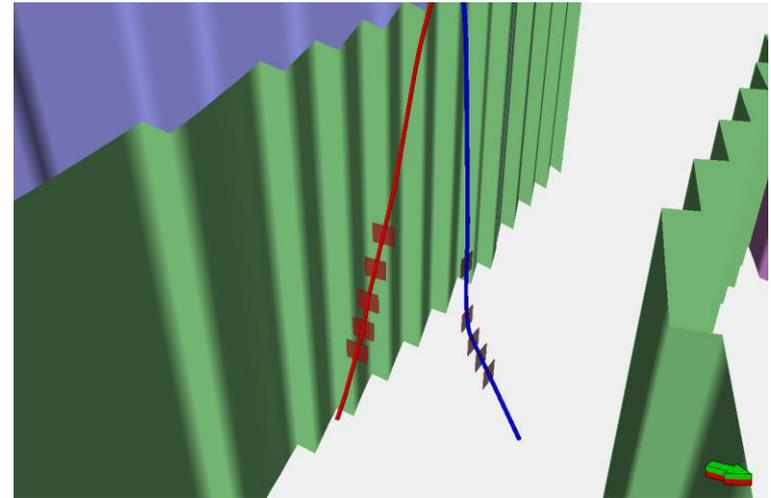
# Sensitivität 1: Ergebnisse

- Unterschied zwischen Stimulation und Nicht-Stimulation: 16 bar
- Unterschied zwischen kleiner (50 m) und grosser (1000 m) Risslänge: 0.3 bar



# Sensitivität 2: Anzahl der Risse entlang des Bohrungspfades

- Je mehr Risse entlang des Bohrloches induziert werden, desto grösser die Stimulation entlang des Bohrloches und potentiell desto grösser ist Produktivität der Bohrung
- Eigenschaften der induzierten Risse
  - Rissermeabilität: 10.000 mD
  - Rissweite: 5 mm
  - Risshöhe: 50 m
  - Abstand zwischen des einzelnen Rissen: 200 m
- Sensitivität auf die Anzahl der induzierten Risse entlang des Bohrpfad: zwischen 1 und 5
- Unterschied zwischen 1 und 5 Rissen: 8 bar



# Ergebnisse

- Alle verfügbare Informationen sollten in einem dynamischen Simulationsmodell Beachtung finden, um eine verlässliche Basis für eine Vorhersagestudie zu bilden
- Bohrungen erlangen signifikanten Produktivitätszuwachs wenn sie mit induzierten Rissen stimuliert werden
- In diesem Model ist die Länge des Risses für den Produktivitätszuwachs kaum von Bedeutung
- Mehrere Risse erhöhen die Produktivität signifikant

# Ausblick

- Weitere Geologische Unsicherheiten kann in die Untersuchung ebenfalls mit einfließen, erfordern aber erheblich mehr Simulationsläufe
- Es können noch andere Szenarios von Rissplatzierung, Risstiefe oder Stimulierung nur für den Produzenten, nur für die Injektionsbohrung untersucht werden, erfordern aber erheblich mehr Simulationsläufe
- Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung mit den geschätzten Kosten der Stimulationen würden die jeweiligen Ergebnisse qualitativ wie quantitativ gewichten

# F & A

Innovate. For the Long Run.

**Schlumberger**