

Fündigkeitsprognose für die Sandsteine des Norddeutschen Beckens

Ingmar Budach, Inga Moeck, Marco Wunsch, Nestor
Karafotis, Thorsten Agemar, Matthias Franz

12.11.2020

Komplexe
Geothermische
Lösungen
aus einer Hand



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN



Überblick

■ Wo bohren?

Die geothermischen Reservoirre Norddeutschlands

■ Wahrscheinlichkeiten würfeln

Fündigkeitsprognose durch Monte Carlo Simulation

■ Der erste Würfelwurf

Prognose der Faziesassoziation

Überblick

■ Wo bohren?

Die geothermischen Reservoir Norddeutschlands

■ Wahrscheinlichkeiten würfeln

Fündigkeitsprognose durch Monte Carlo Simulation

■ Der erste Würfelwurf

Prognose der Faziesassoziation

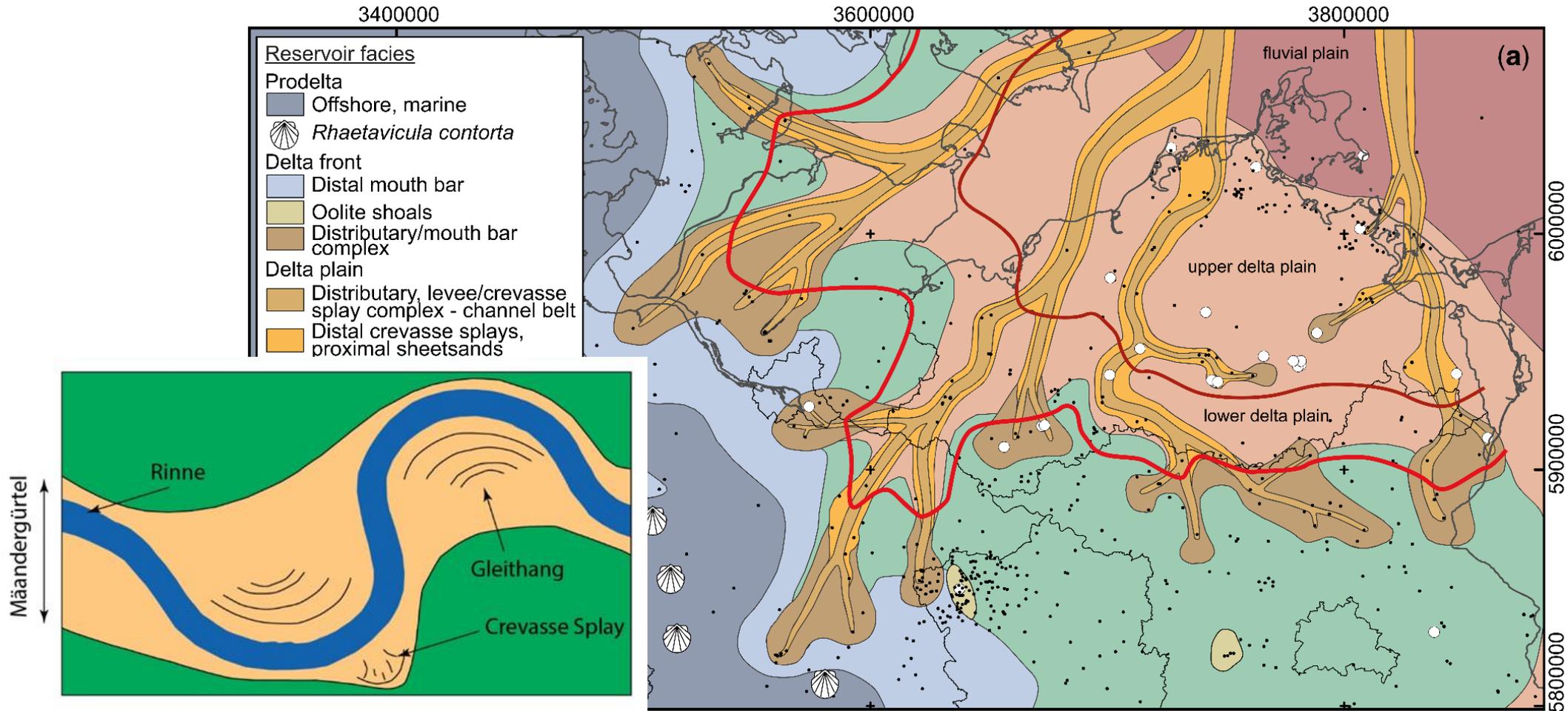
Wo bohren?

Sandsteine und Fazies



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN



Franz et al. (2018)

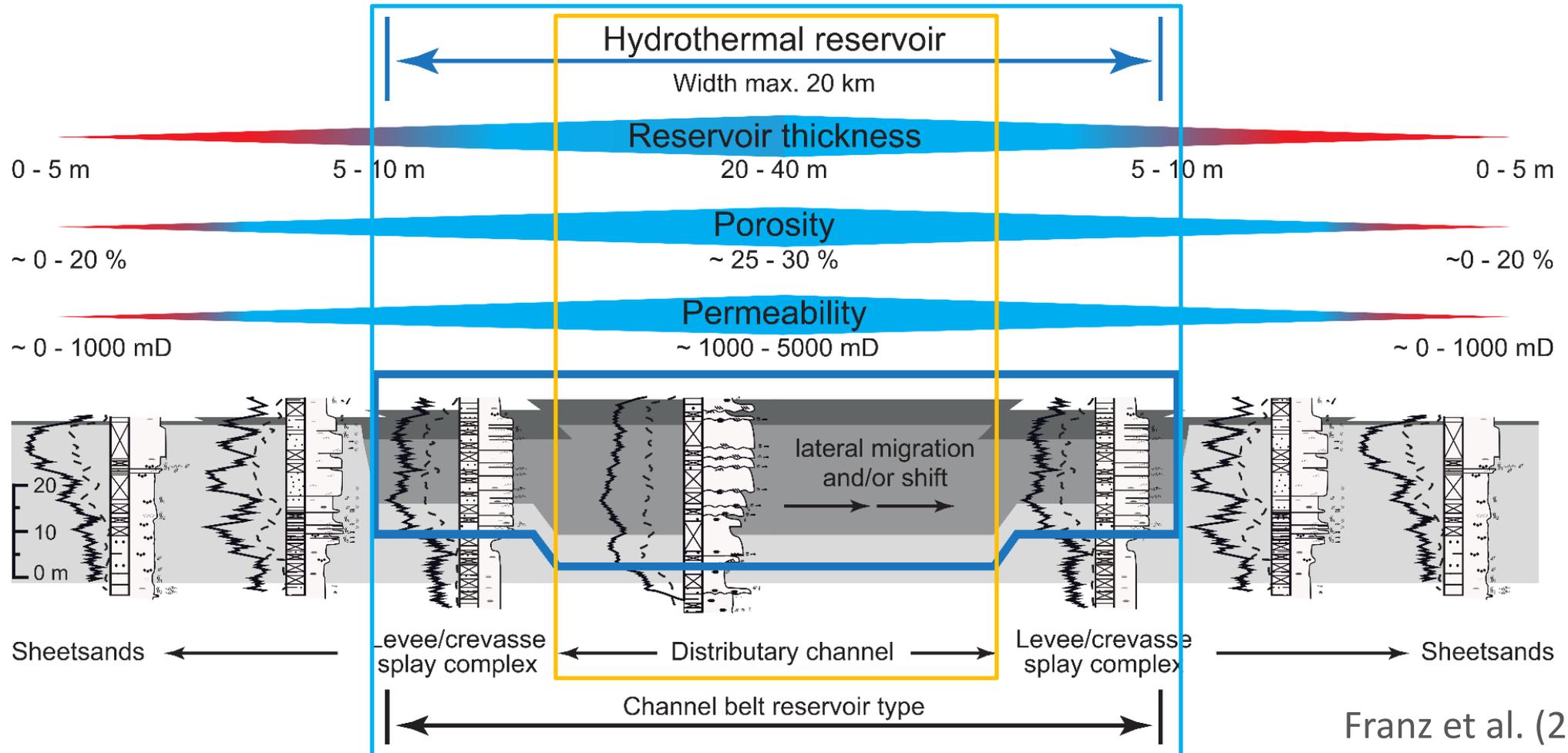
Wo bohren?



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Fazies und Reservoirqualität



Franz et al. (2018)

Überblick

■ Wo bohren?

Die geothermischen Reservoir Norddeutschlands

■ Wahrscheinlichkeiten würfeln

Fündigkeitsprognose durch Monte Carlo Simulation

■ Der erste Würfelwurf

Prognose der Faziesassoziation

Wahrscheinlichkeiten würfeln



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Monte Carlo Simulation

1. Deterministisches Modell aufbauen $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$.
2. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDF) für Eingangsparameter x_1, x_2, \dots, x_i definieren.
3. Mit WDF aus Schritt 2. Eingangsparameter für Modell aus 1. „würfeln“ und Modellantwort als y_j speichern.
4. Schritt 3. wiederholen für $j = 1$ bis n (mit n der Anzahl an Monte Carlo Runs).
5. Ergebnisse analysieren durch:
 - Histogramme
 - Kumulierte Verteilungsfunktionen
 - etc.

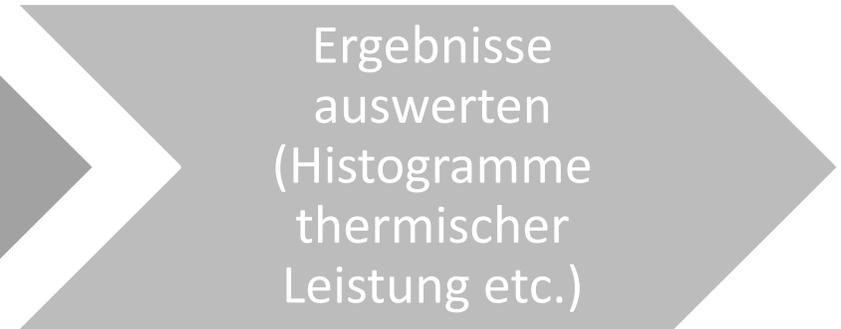
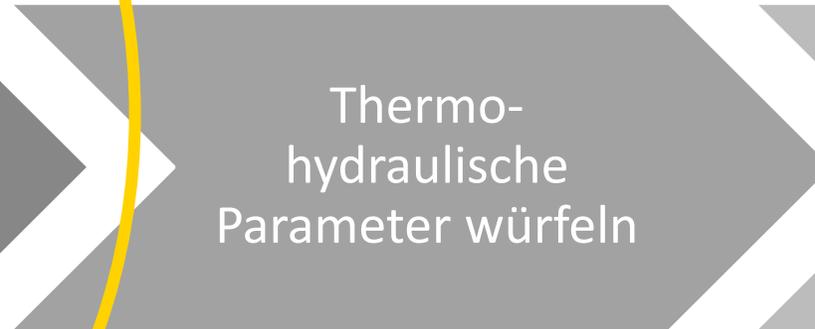
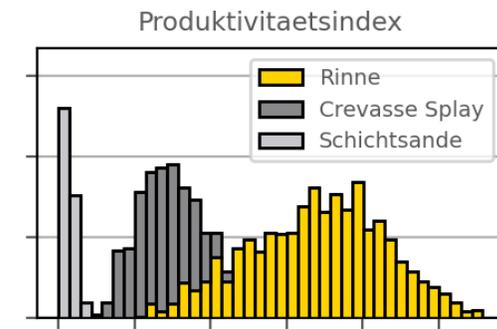
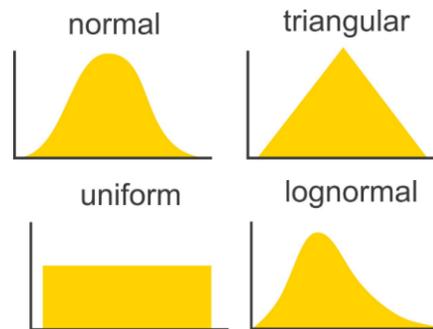
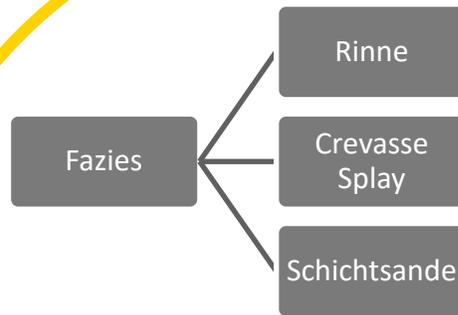
Wahrscheinlichkeiten würfeln



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Ansatz für das Norddeutsche Becken



Überblick

■ Wo bohren?

Die geothermischen Reservoir Norddeutschlands

■ Wahrscheinlichkeiten würfeln

Fündigkeitsprognose durch Monte Carlo Simulation

■ Der erste Würfelwurf

Prognose der Faziesassoziation

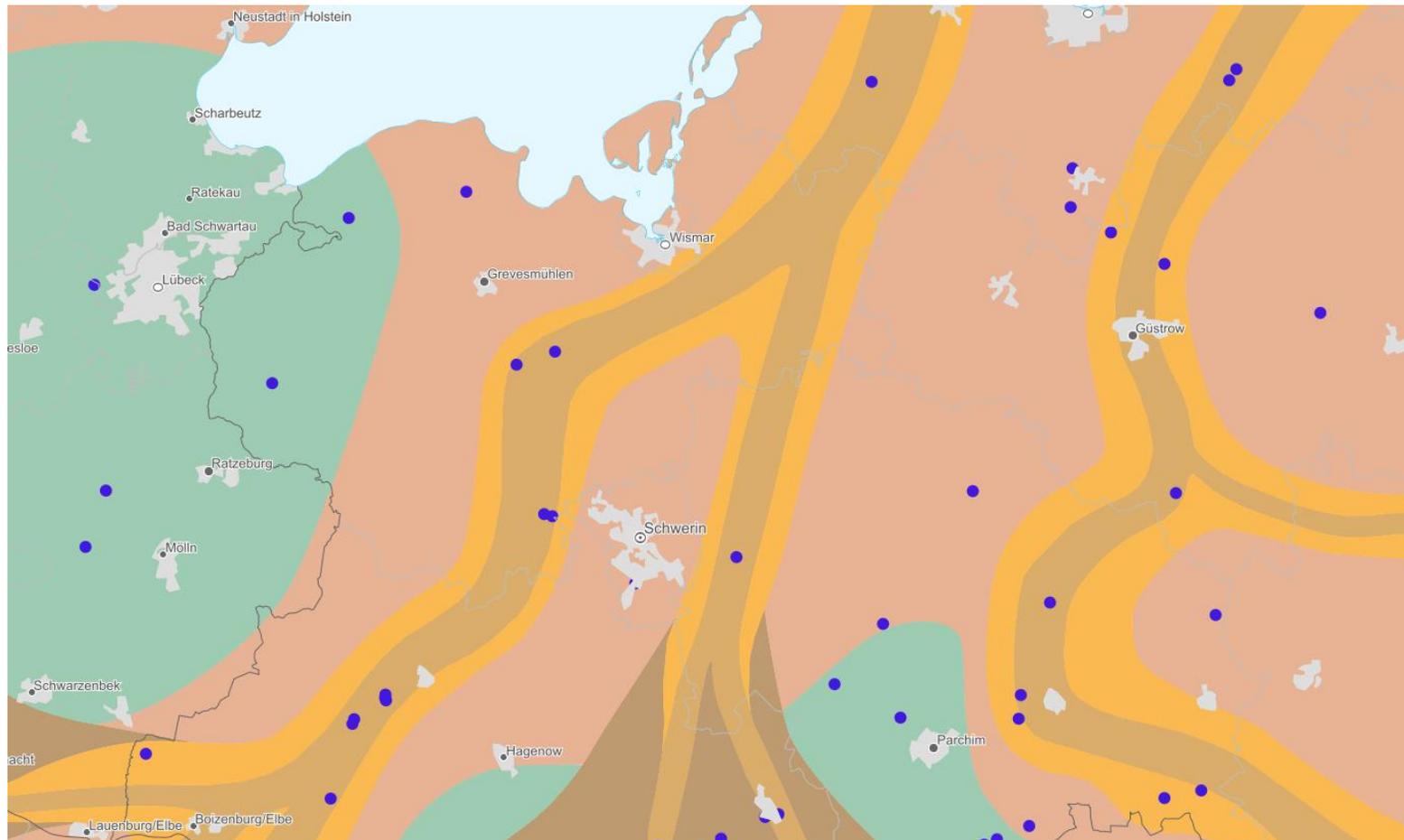
Der erste Würfelwurf

Bohrungen und Fazies



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

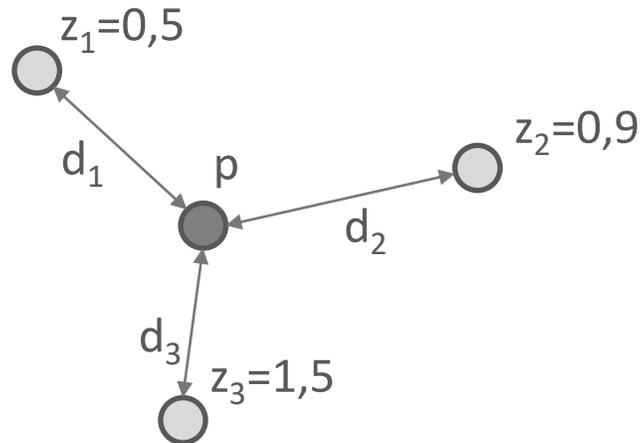


- Regionales Faziesmodell
- Basierend auf Punktdaten
- Was ist zwischen den Punkten?

GeotIS: Agemar et al. (2014); Franz et al. (2018); Zimmermann et al. (2018)

Der erste Würfelwurf

Inverse Distanz



$$p = \sum_{i=1}^3 \lambda_i z_i$$

$$\lambda_i = \frac{1/d_i^2}{\sum 1/d_i^2} \text{ z.B. } \lambda_3 = \frac{1/d_3^2}{(1/d_1^2) + (1/d_2^2) + (1/d_3^2)}$$

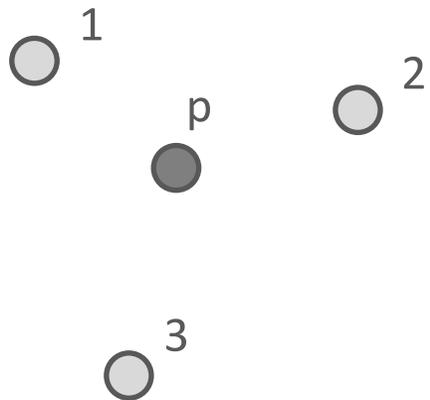
Der erste Würfelwurf



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

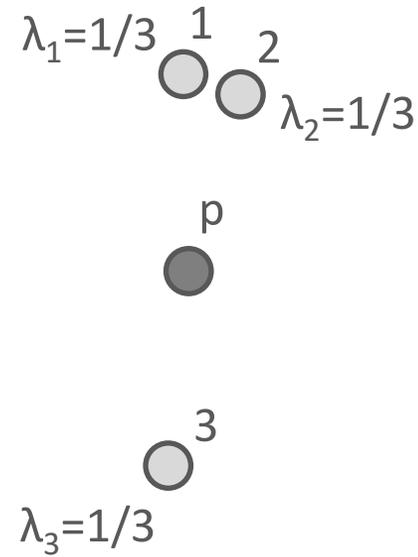
Inverse Distanz



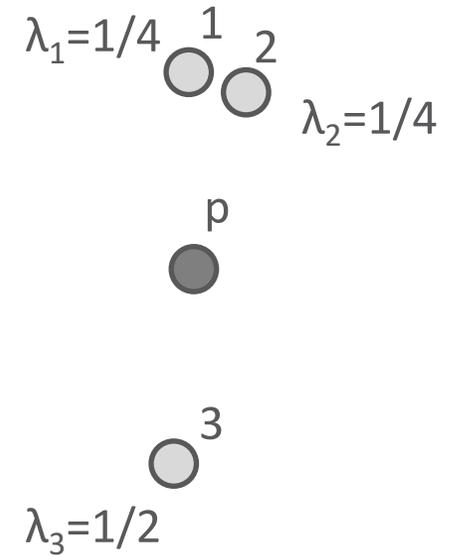
Situation 1



Situation 2



Inverse Distanz



Kriging

Der erste Würfelwurf

Kriging & Variogramme



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

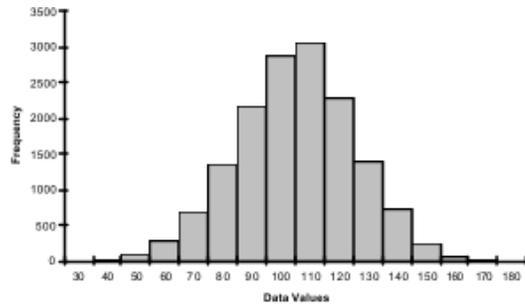


Figure 1.1 Data Set A Histogram

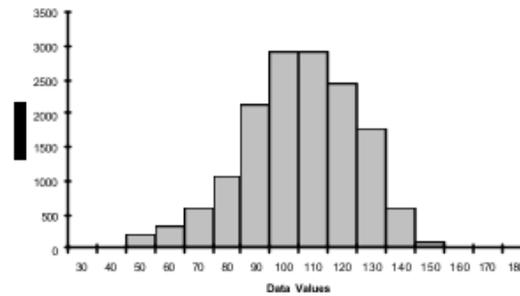


Figure 1.2 Data Set B Histogram

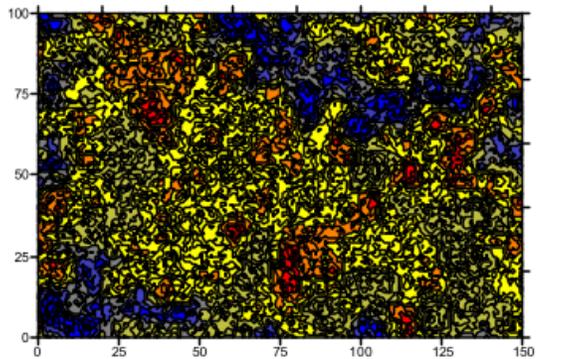
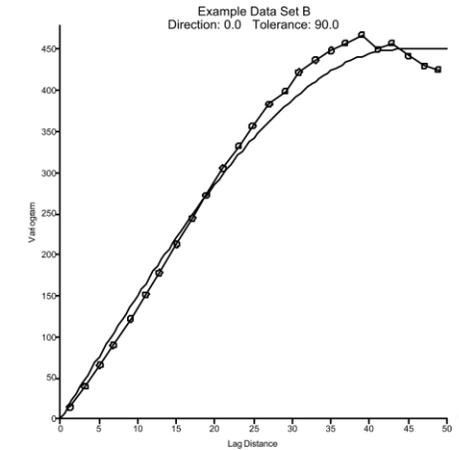
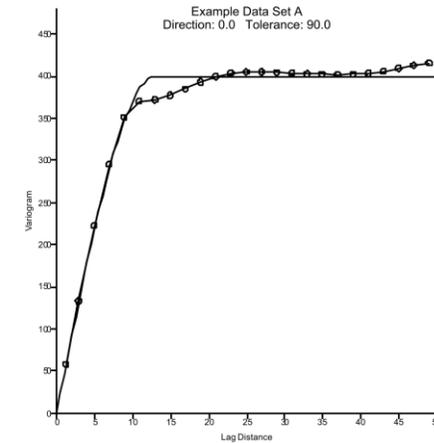


Figure 1.3 Data Set A Contour Plot

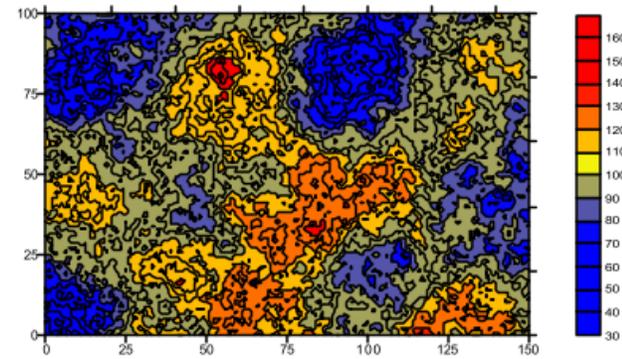


Figure 1.4 Data Set B Contour Plot

Kein Unterschied der Daten nach klassischer, beschreibender Statistik (Durchschnitt, Mittelwert etc.)

Große, strukturelle Unterschiede in Varianz (Rauigkeit)

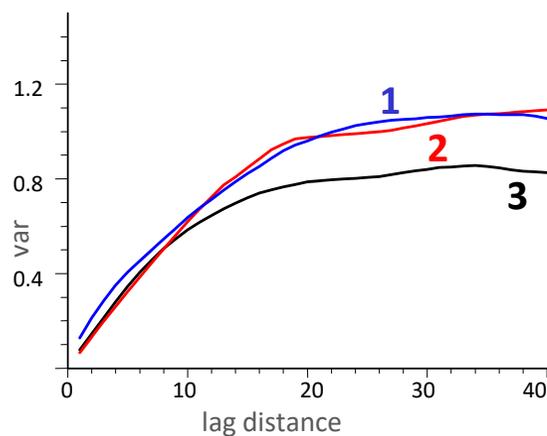
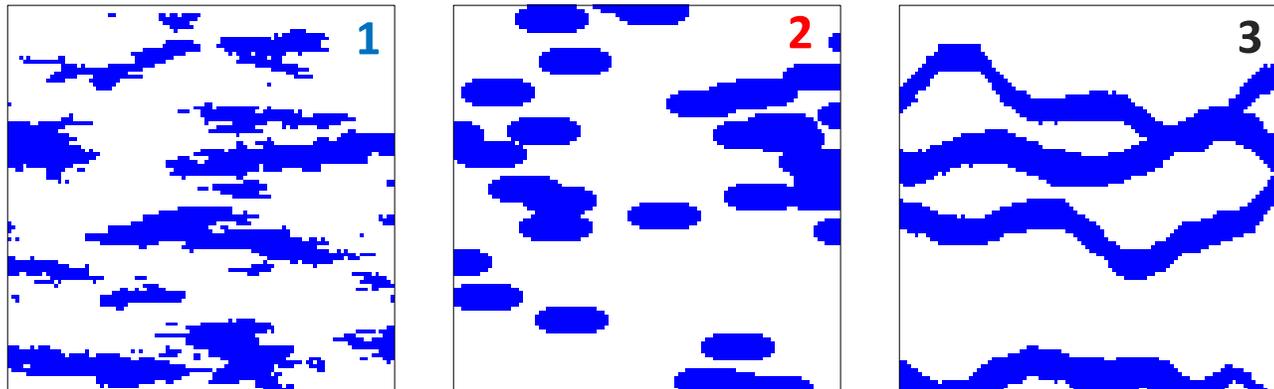
Der erste Würfelwurf



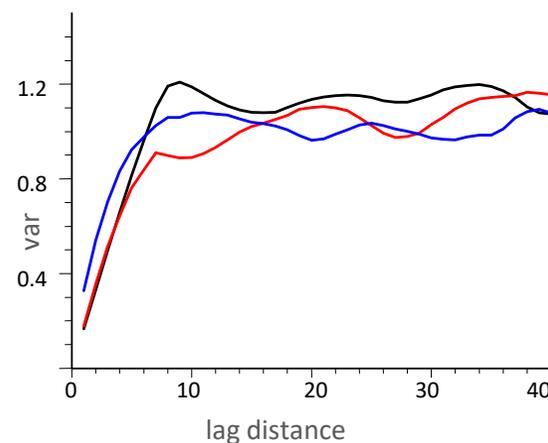
GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Kriging & Variogramme



E-W



N-S

Strebelle, SNESIM theory

2-Punkt-Korrelation ergibt fast identische Variogramme für strukturell unterschiedliche Datensätze

Variogramm-basierte Statistik kann keine komplexen Strukturen reproduzieren

Geologische a priori Informationen einbeziehen!

- Multiple Point Statistics (MPS)
- SNESIM Algorithmus

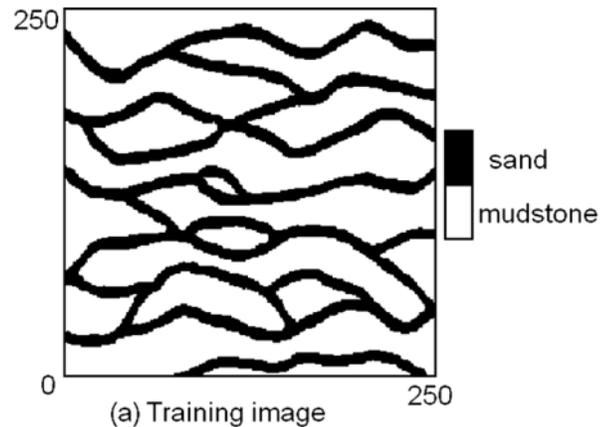
Der erste Würfelwurf



GTN

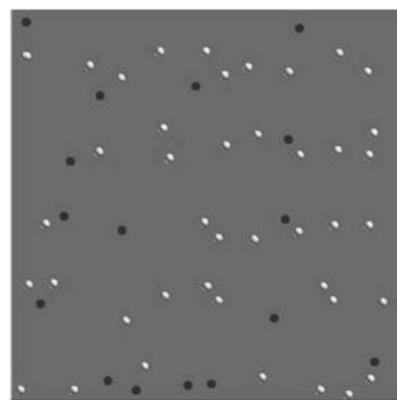
INGENIEURE & GEOLOGEN

Multiple-Point Statistics mit SNESIM



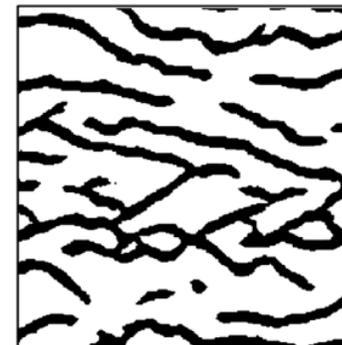
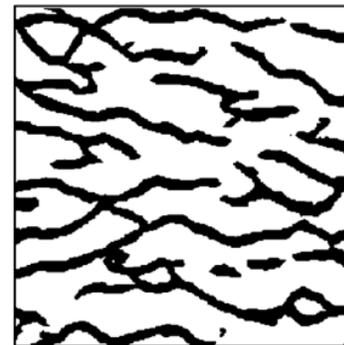
Algorithmus wird mit Bild trainiert, z.B.:

- Satellitenbild von rezentem Beispiel
- Foto von Aufschluß
- math. Objekt
- handgezeichnete Skizze
- Faziesmodell
- ...



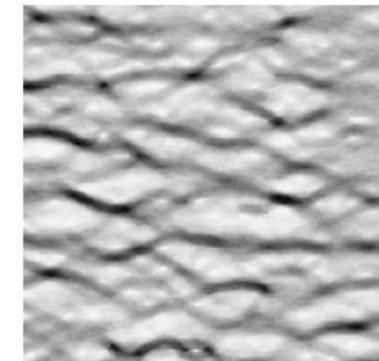
(b) Conditioning data

Eingangsdaten



Zwei separate Ergebnisse für konditionierte Modellierung (Diskontinuitäten können gefiltert werden)

100 runs



PDF

Strebelle & Cavelius (2014)

Der erste Würfelwurf



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

SNESIM für Obere Exter-Formation



Und nun?

Zusammenfassung und Ausblick

- Fluviales Faziesmodell zu komplex für einfache geostatistische Verfahren:
 - Inverse Distanz
 - Kriging
- MPS mit Trainingsbildern eine Möglichkeit (SNESIM-Algorithmus)

Nächste Schritte:

- Integration von *soft data* (z.B. Seismik)
- Parametrisierung weiterer Reservoirhorizonte

Website:

- sandsteinfazies.de

www.gtn-online.de