

# 3D-Temperaturmodell Deutschland

Thorsten Agemar

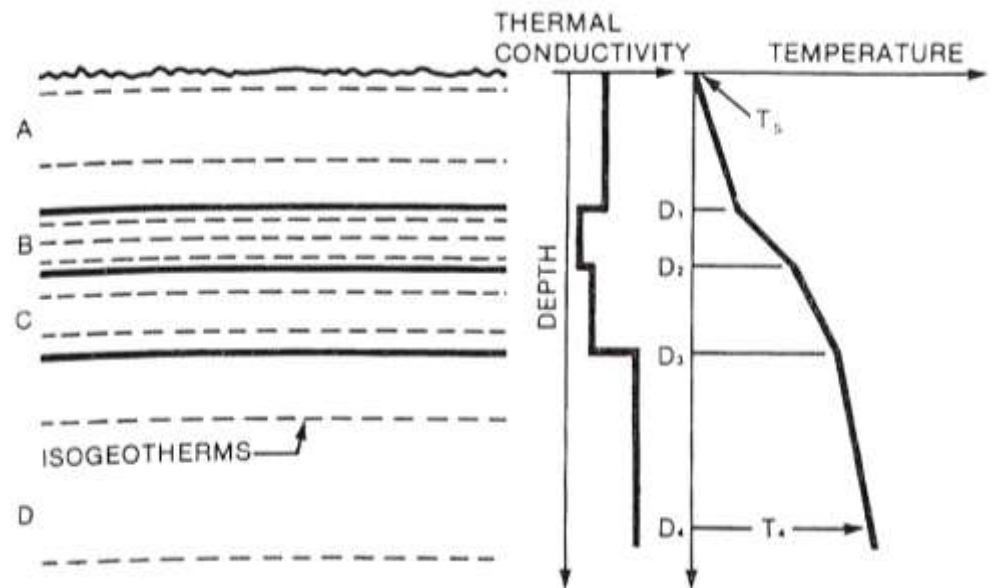
# Wärmetransport

Wärme kann auf verschiedene Weise transportiert werden:

- **Konduktion:**

$$q = k \cdot \Delta T / \Delta x$$

- **Konvektion / Advektion**  
(Grundwasser)



# 2D-Temperaturkarten vs. 3D-Temperaturmodell

## **Nachteile von 2D-Karten:**

- Verlust der Informationen aus flacheren Bohrungen
- Teilweise sind Karten für verschiedene Tiefen inkonsistent zueinander
- Keine Aussage über die Unsicherheit der Prognose

**→ Einsatz von 3D-Universal-Kriging**

# Grundlagen

---

- Daten Aufbereitung
- Univariate statistische Analyse
- Räumliche Analyse
  - Visualisierung der räumlichen Daten
  - Variographie
  - Variogramm-Modellierung
- Regionalisierung
  - Mehrfache zufällige Zustandsverteilung
  - Erwartungswerte an unbeprobten Orten

• Simulation

- Simple Kriging
- Ordinary Kriging
- Kriging mit ext. Drift
- Co-Kriging
- Universal Kriging
- Indikator Kriging

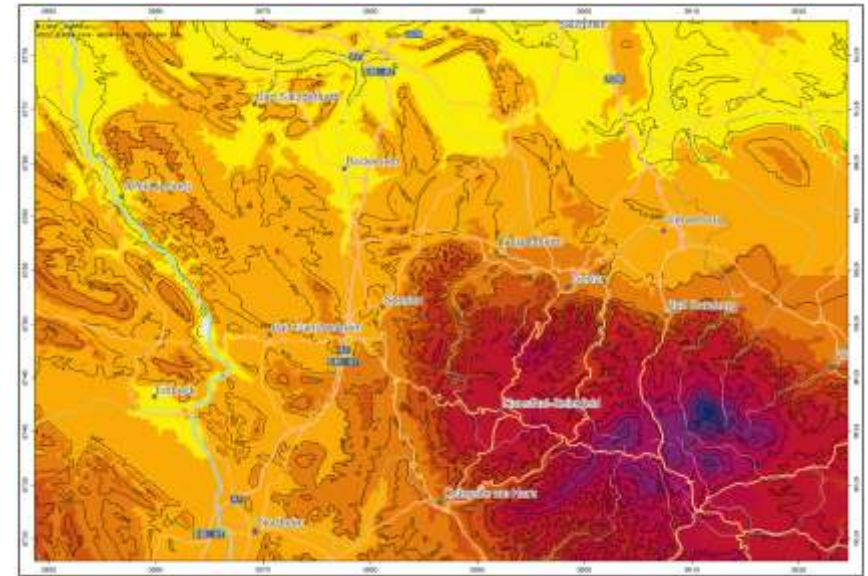
Koordinatensystem:

- Gauß-Krüger
- 3. Streifen, 9° Zentralmeridian
- Bessel-Ellipsoid



## Datengrundlage:

- Lufttemperatur 2 m über Gelände
- Mittelwerte über 30 Jahre (1961 – 1990)
- Daten von 712 Wetterstationen (675 aus Deutschland)
- Höhenmodell



## Methode:

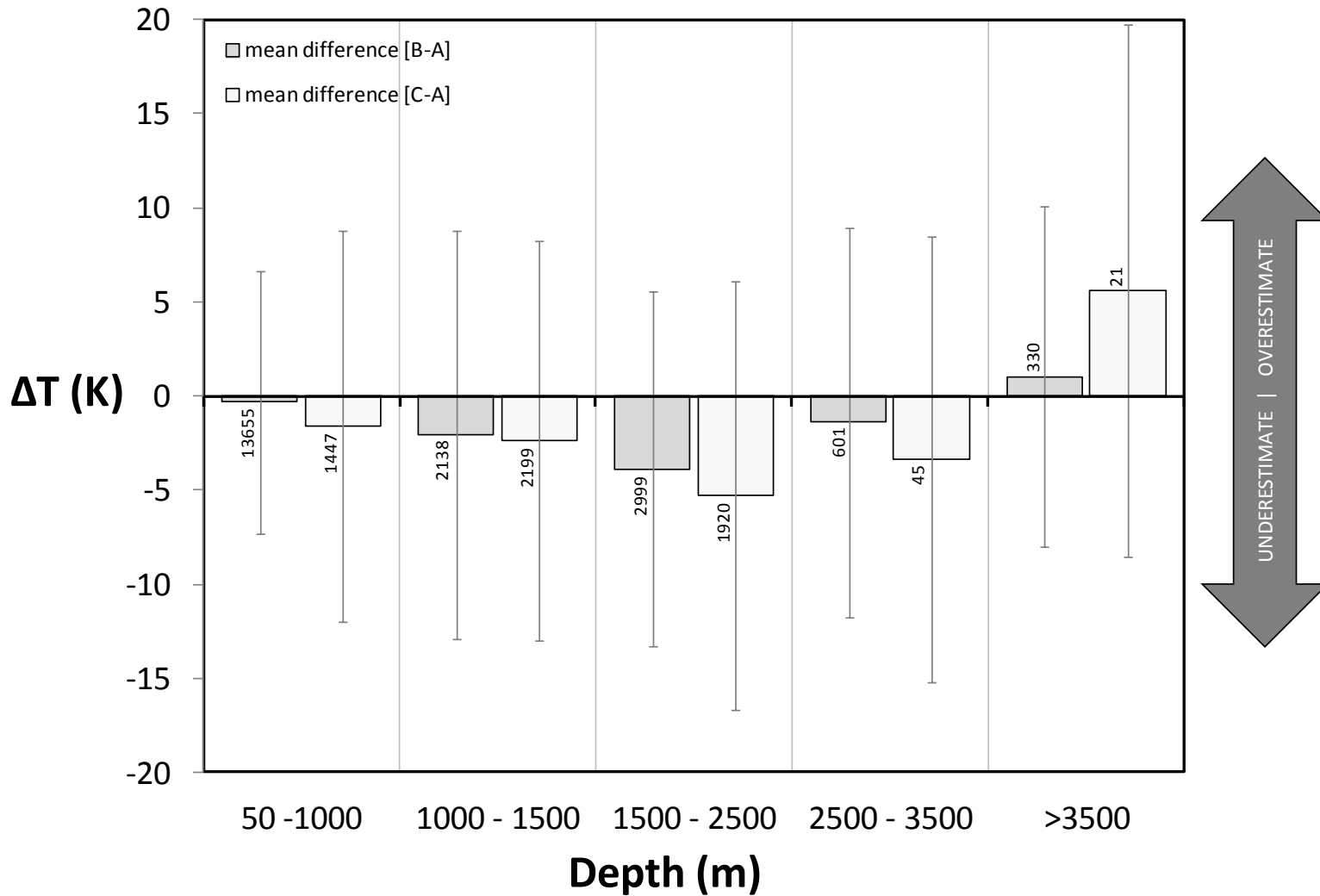
- Abzug des Höhengradienten
- Kriging im Raster 1 x 1 km
- Höhenanpassung (0,1 x 0,1 km)

# Qualität der Untergrundtemperaturdaten

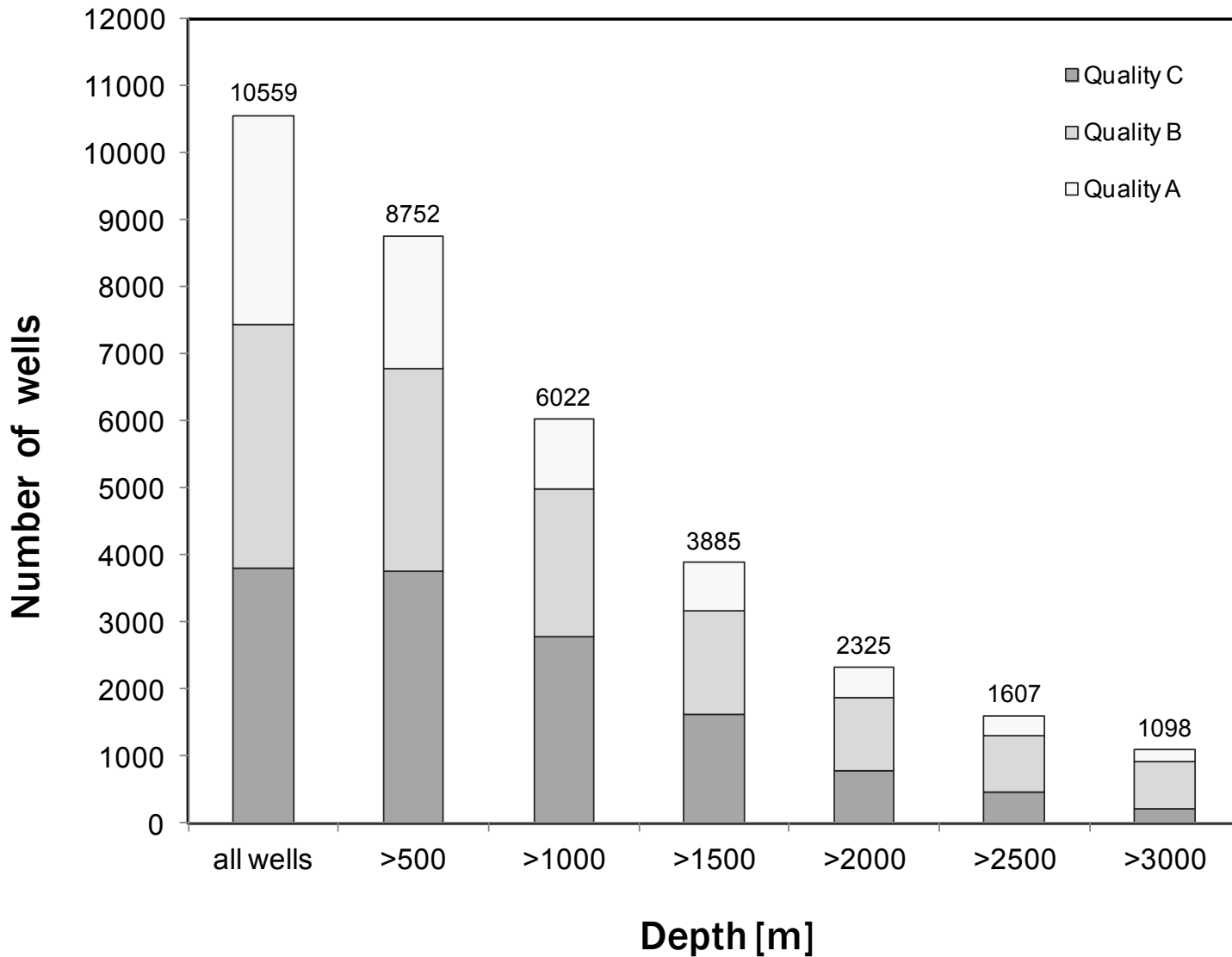
Typ	Beschreibung	Kategorie
LOG-1	Ungestörtes Log	A
RESERVOIR	Lagerstätte	
TEST	Fördertest	
MINE	Bergwerk oder Tunnel	
3Z	BHT, mehr als 2 Werte Cylinder Source Model	B
2L	BHT, 2 Werte Instantaneous Line Source Model	
2H	BHT, 2 Werte Continuous Line Source Model	
LOG-2	Gestörtes Log	
1E	BHT mit Standzeit und Radius Cylinder Source Model	
1ES	BHT mit Standzeit	
1ER	BHT mit Radius	C
1EO	BHT ohne weitere Angaben	



# Qualität der Untergrundtemperaturdaten



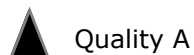
# Qualität der Untergrundtemperaturdaten





# Verteilung der Untergrundtemperaturdaten

## RECORD CATEGORY:



Quality A



Quality B



Quality C



Discarded

## MAXIMUM DEPTH LEVEL OF RECORD:



50 - 1000 m



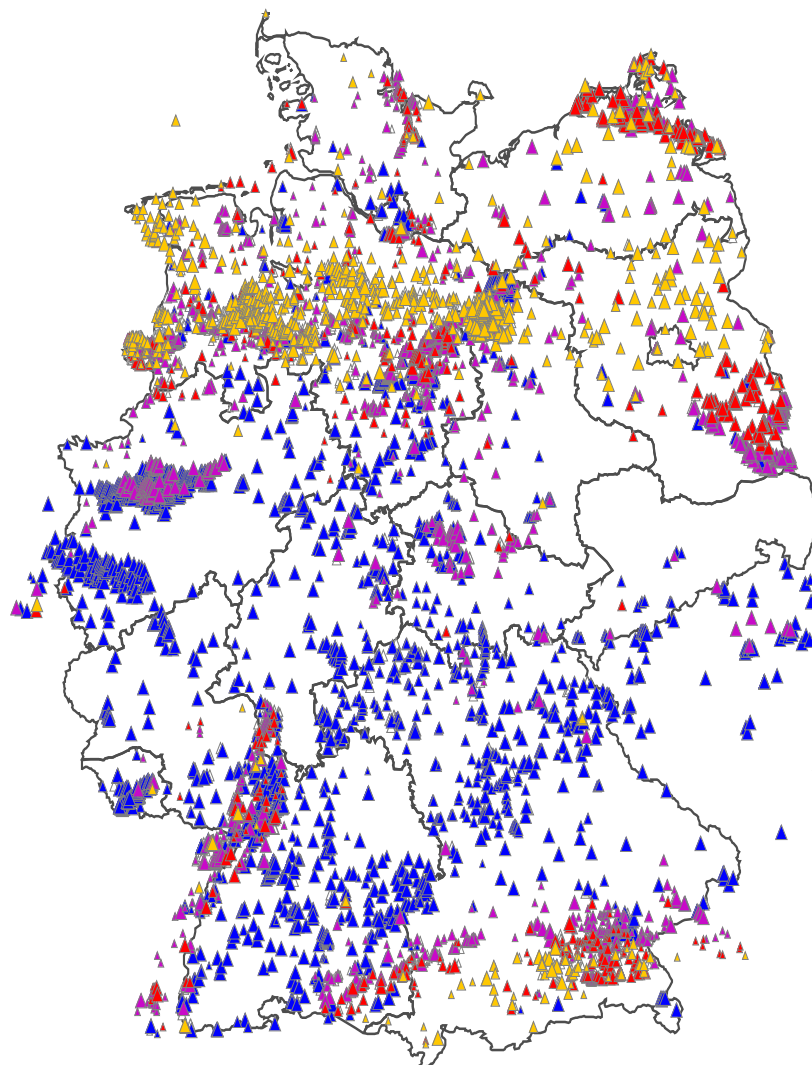
1000 - 2000 m



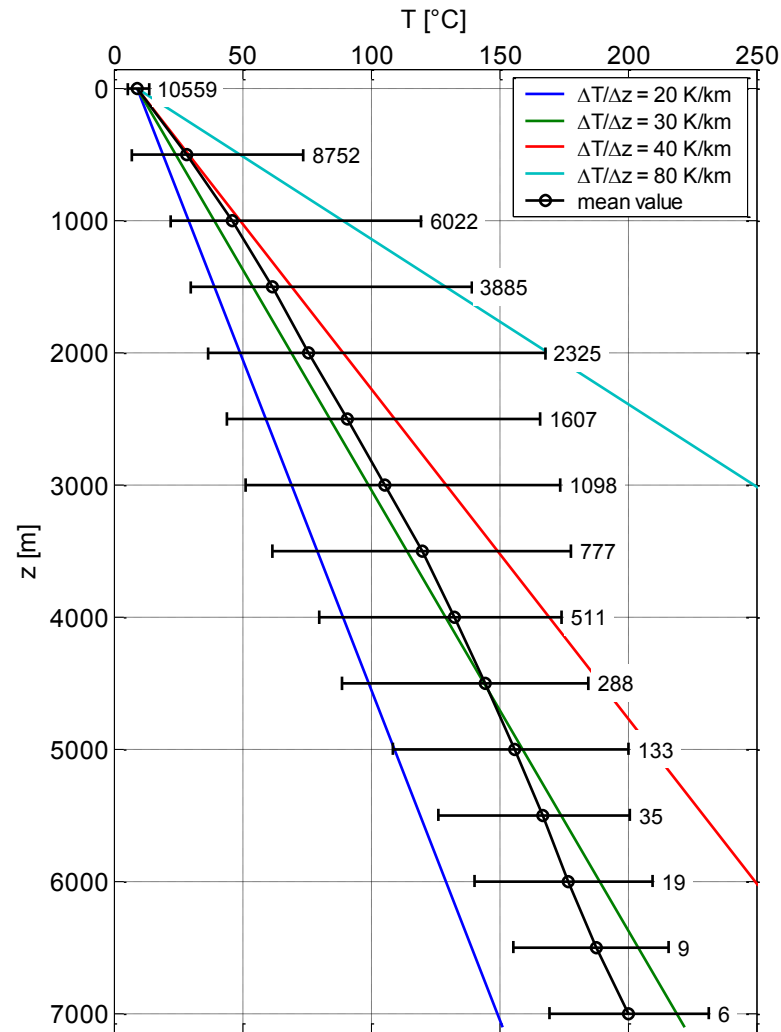
2000 - 3000 m



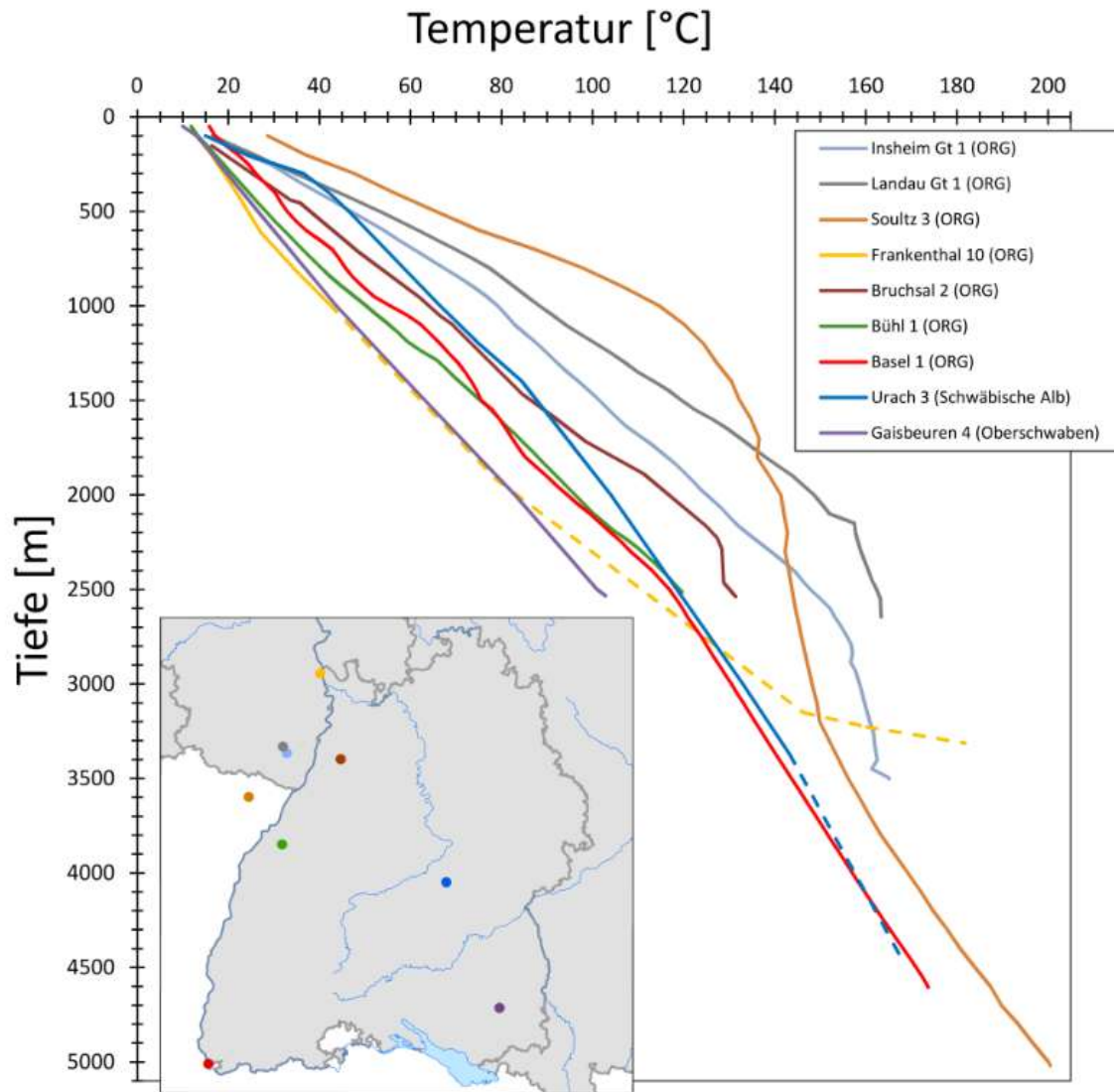
> 3000 m



# Temperaturzunahme mit der Tiefe

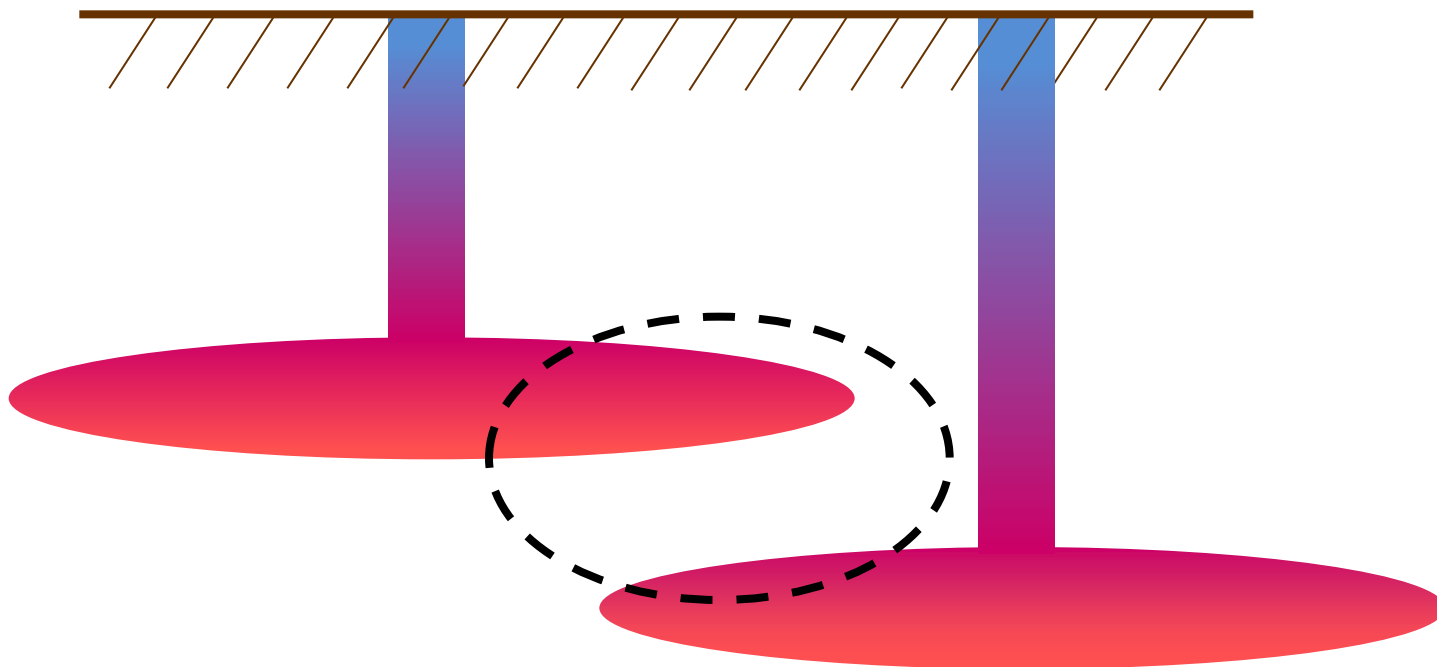


# Temperaturprofile



# 3D-Modell Untergrundtemperatur

---



Bohrungen mit unterschiedlich positiven Gradienten kann im Modell zu negativen Gradienten führen.

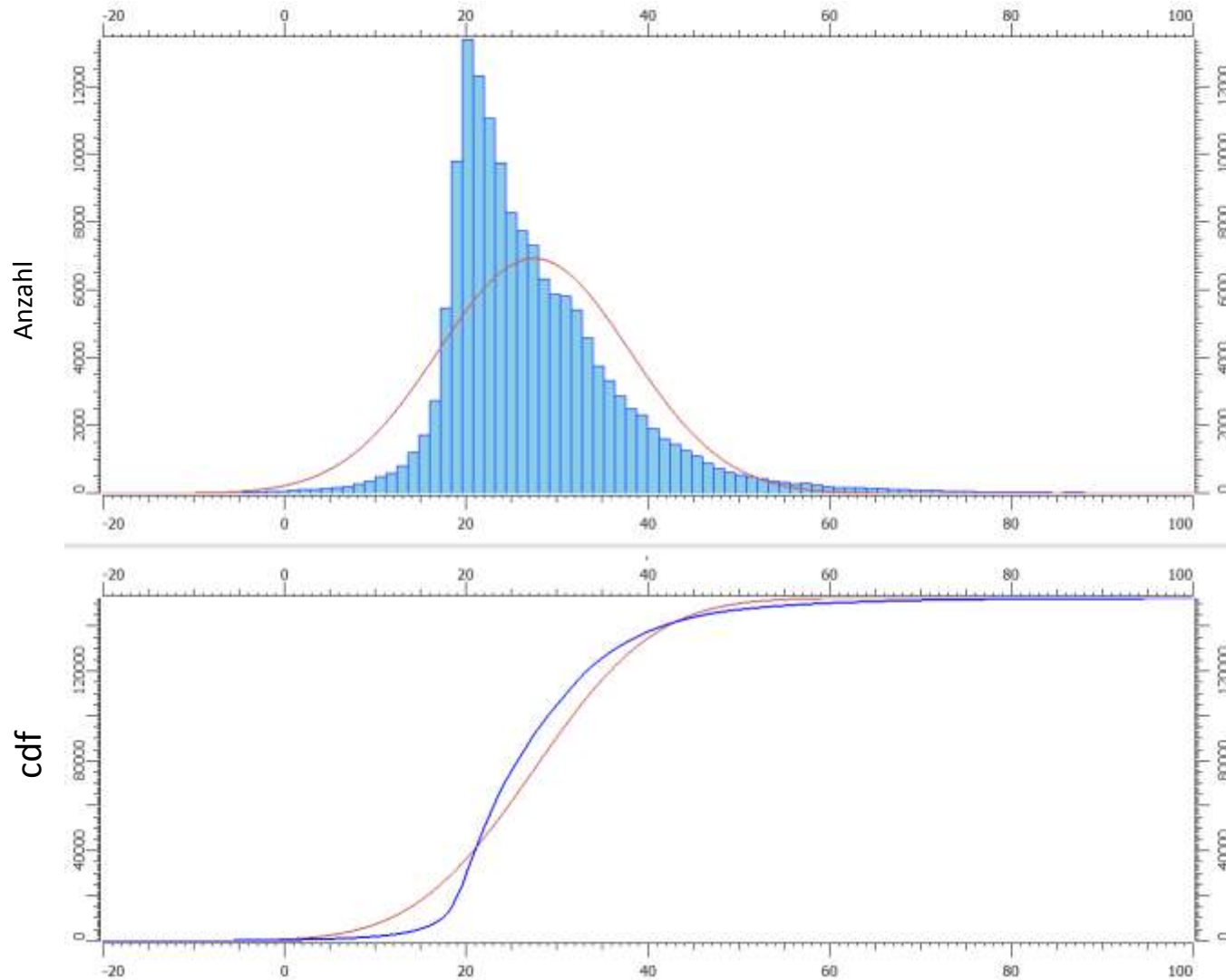
→ Temperaturanomalien für 0,37% der geschätzten Werte

# Erweiterte Datenbearbeitung

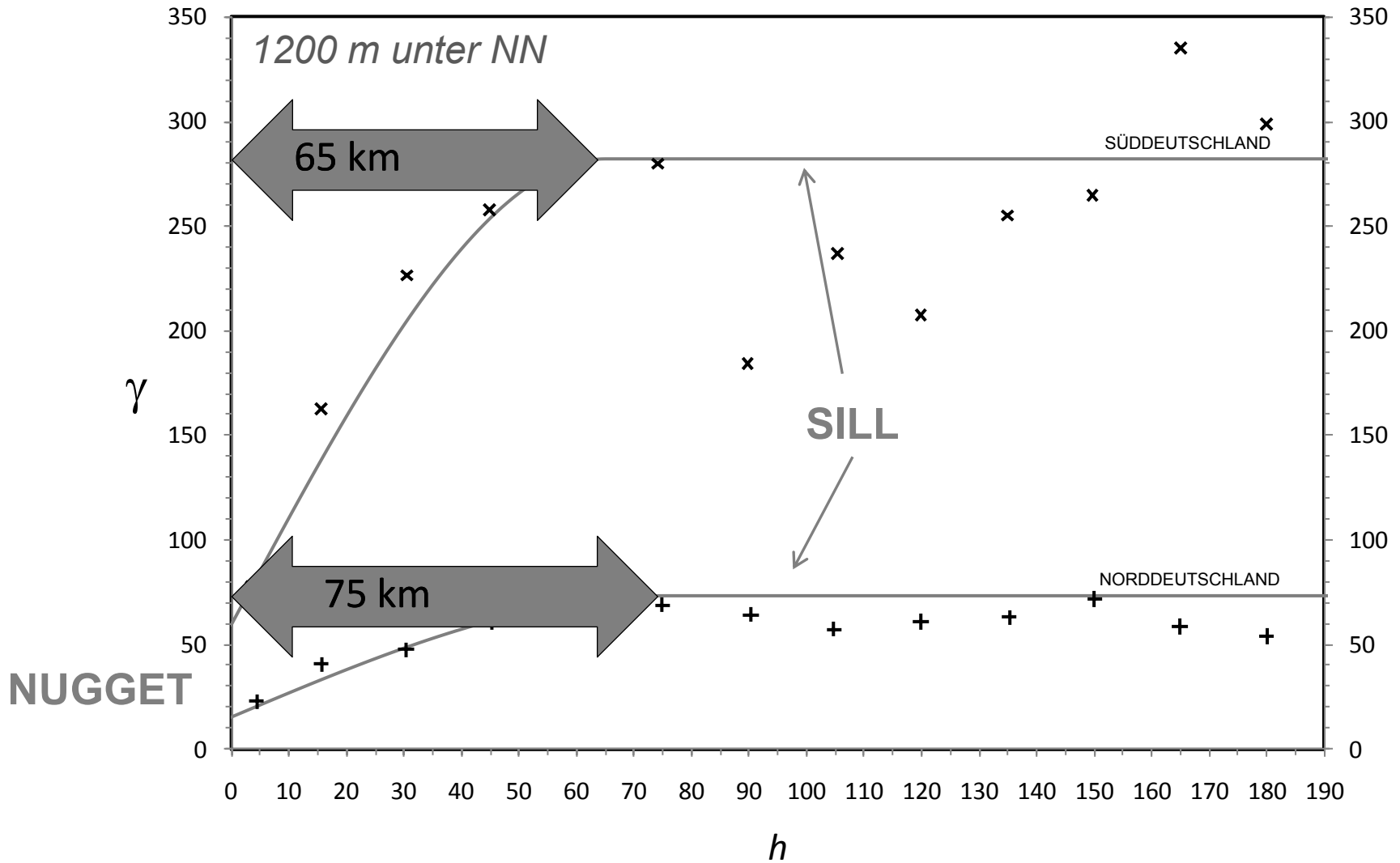
---

- Plausibilitätsprüfung
- Vorrang höherwertiger Untergrundtemperaturen:
  - 5000 m Radius
  - 300 m vertikaler Abstand
- Vertikale Interpolation
  - 100 m Schritte
  - keine Extrapolation
- Bezugsniveau: NN (Meeresspiegel)

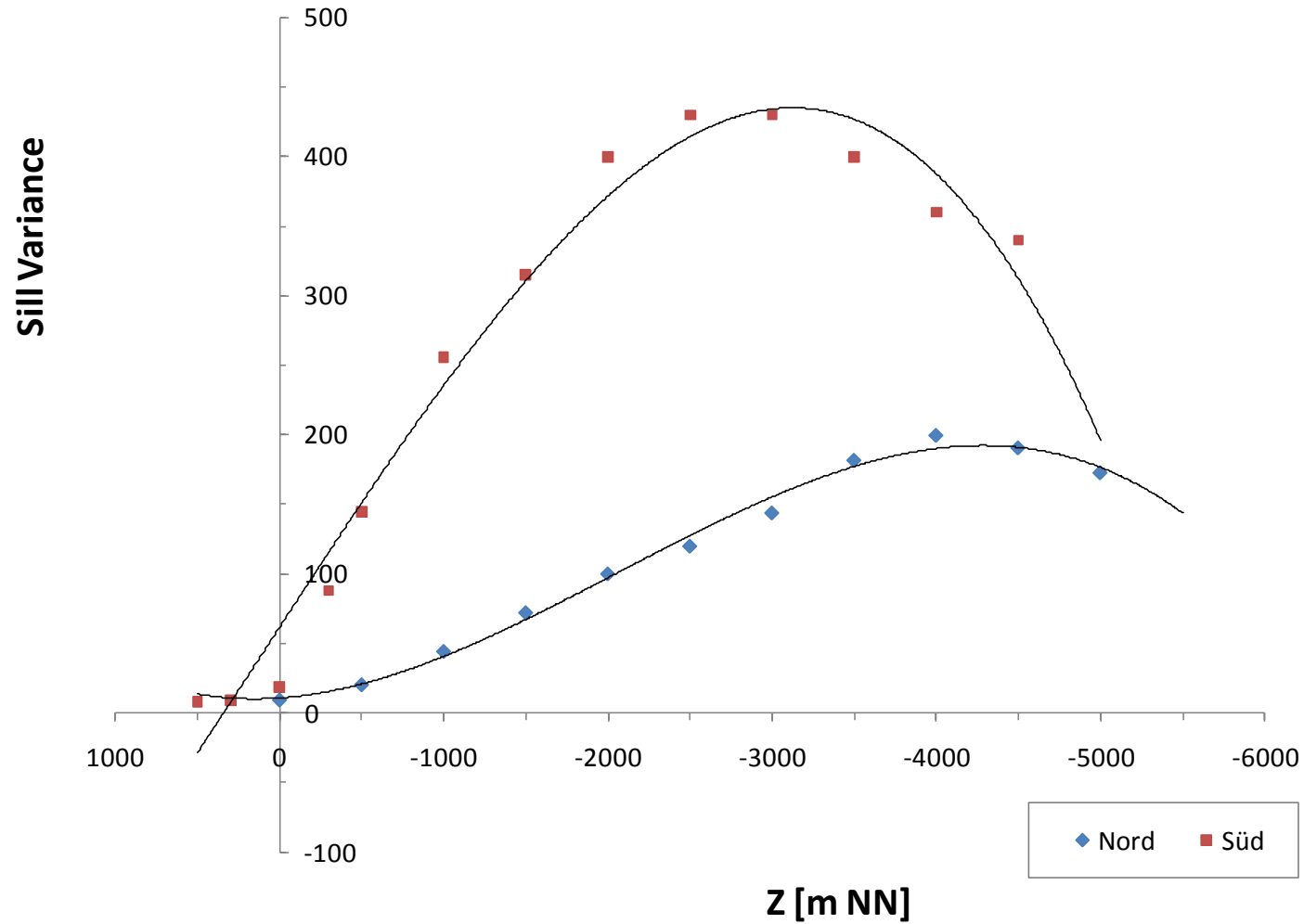
# Verteilung der Messwerte [trendbereinigt]



# Variogramm Temperaturdaten



# Kriging: geostatistische Analyse





# 3D-Modell Untergrundtemperatur

---



- Aktualisierung Dez. 2013
- ca. 320 neue Bohrungen mit T-Daten
- ca. 11 000 Bohrungen mit T-Daten insgesamt
- davon ca. 7 000 verwendet (Qualitätsfilter)
- in GeotIS verfügbar

# Ergebnis

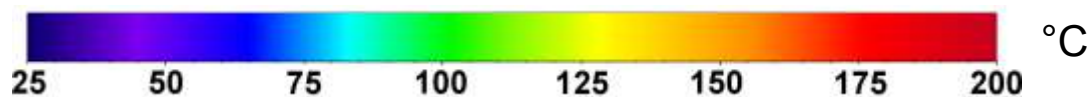
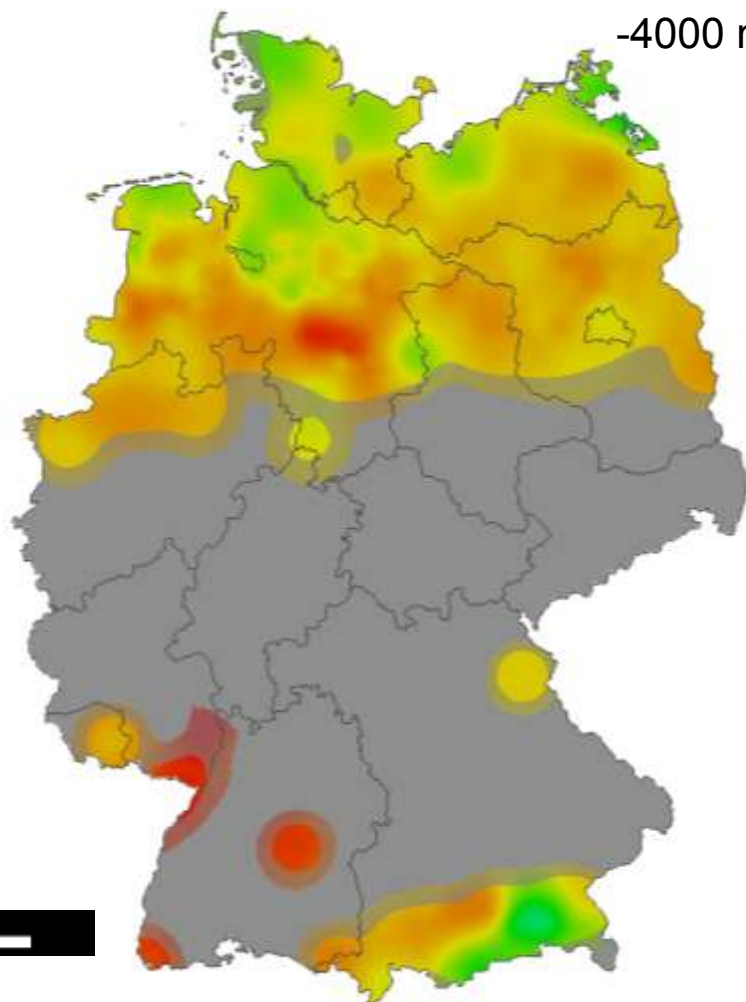
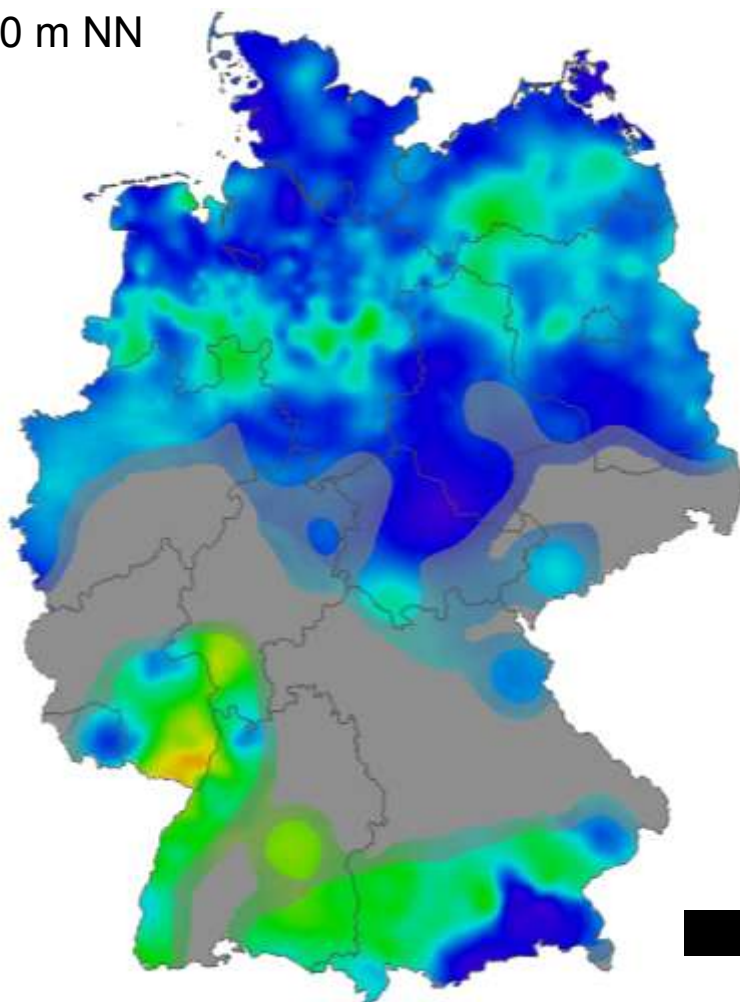
---

- 3D-Temperaturmodell beruht allein auf Messwerten
- Auswahl der verwendeten Daten nach Qualitäts- und Lagekriterien
- 3D-Universal-Kriging berücksichtigt räumliche Variabilität
- Genauigkeit
  - beste Anpassung an gemessene Werte
  - Minimierung der Varianz
  - Optimierung durch Normal-Score-Transformation
- Unsicherheitsabschätzung erfolgt über Kriging-Varianz als Teil der Prognose

# 3D-Modell Untergrundtemperatur

-2000 m NN

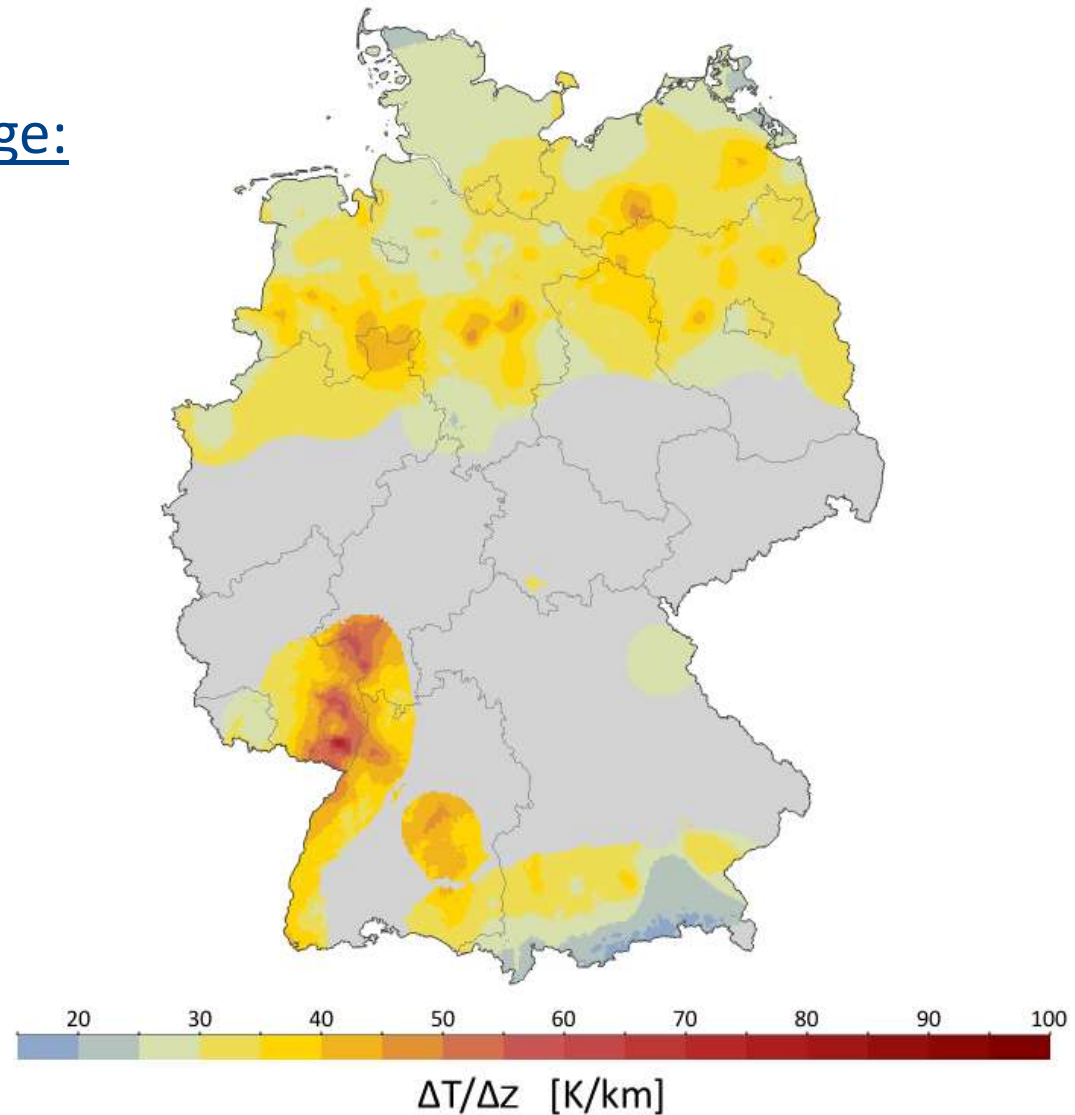
-4000 m NN



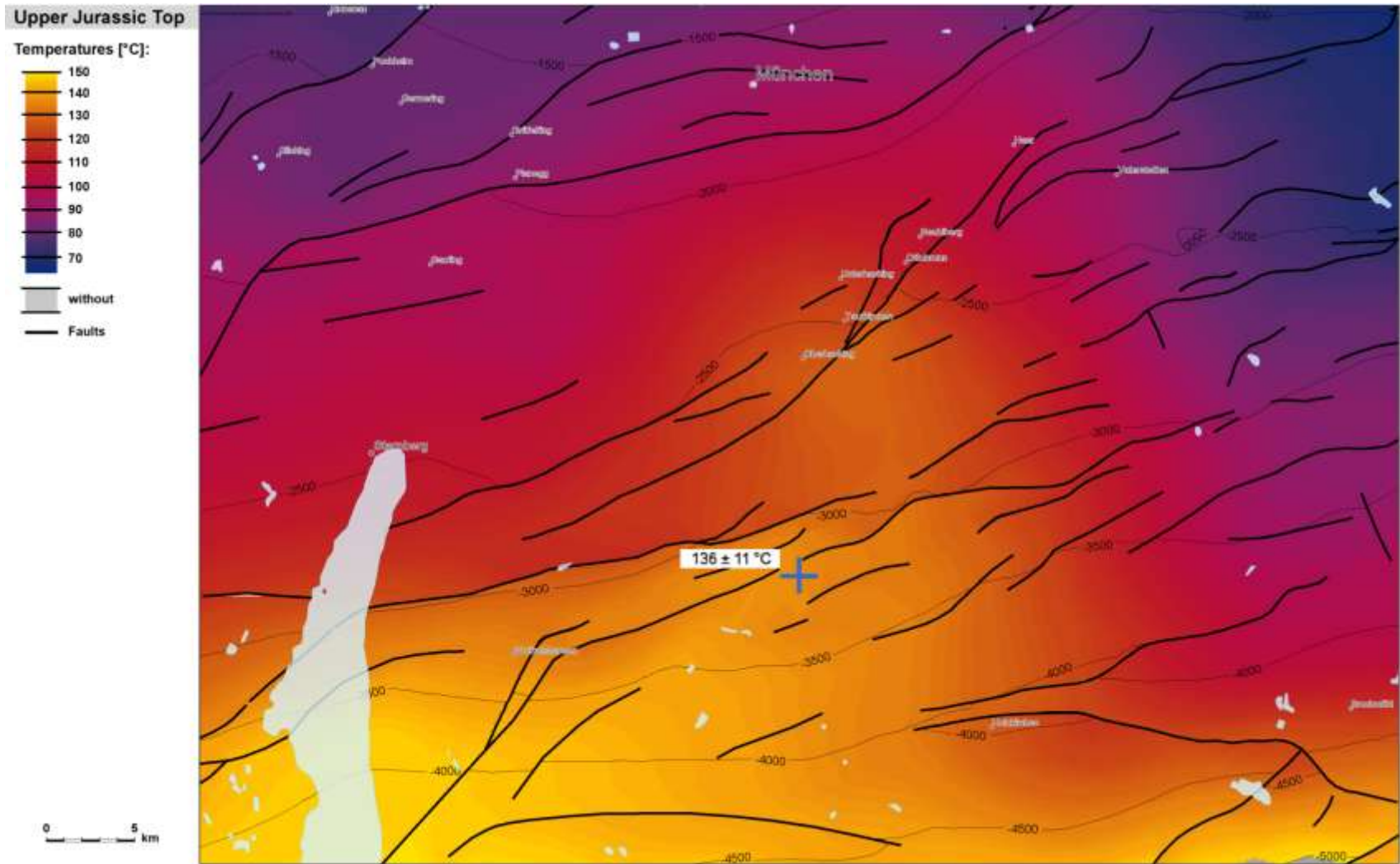
# Temperaturgradient

## Berechnungsgrundlage:

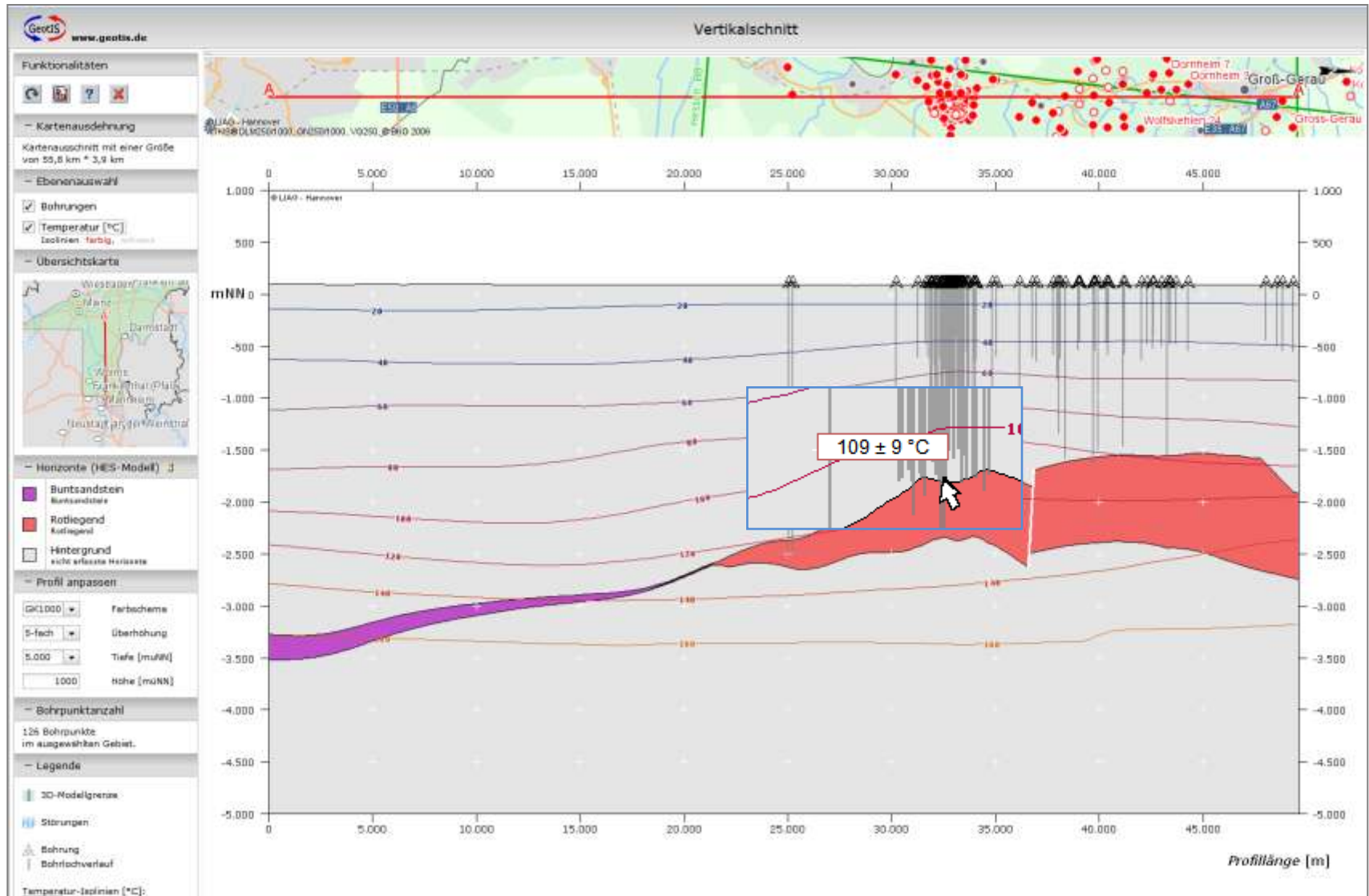
- Modelldaten
- $\Delta T = 100 \text{ K}$
- $z_0 = \text{Oberfläche}$
- $T_0 = \text{Bodentemperatur}$



# Geothermische Potenziale



# Geothermische Potenziale



# Probleme

---

- keine Berücksichtigung der Geologie
- fehlende Berücksichtigung der Messungenauigkeit im Kriging-Prozess
- schwierige Abschätzung der räumlichen Varianz in Z-Richtung
- keine automatisierte Aktualisierung der Temperaturmodelle

# Zusammenfassung

---

- Bodentemperaturkarte
- Durchgehendes 3D-Temperaturmodell von -5000 m NN bis zur Oberfläche
- Optimale Anpassung an gemessene Werte
- Echtes 3D-Verfahren
- Verlässlichkeit für jeden Schätzwert bestimmbar
- Umfangreiche Visualisierung über



*<http://www.geotis.de>*