

Petrothermale Potenziale in Hessen: Potenzialabschätzung und Visualisierung mittels eines geologischen 3D-Strukturmodells

*Der Geothermiekongress, Essen, 28. November 2018
Forum F12 – Reservoire außerhalb Bayerns*



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

GFZ

Helmholtz-Zentrum
POTSDAM

Sebastian Weinert^{1,2}

Kristian Bär¹

Judith Sippel³

Magdalena Scheck-Wenderoth^{3,4}

Ingo Sass^{1,2}

Technische Universität Darmstadt

¹ Fachgebiet Angewandte Geothermie

² Darmstädter Exzellenz-Graduiertenschule für
Energiewissenschaft und Energietechnik

Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam

³ Sektion 4.1: Sedimentbeckenmodellierung

RWTH Aachen

⁴ Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik



HESSEN



Graduate School of
Energy Science
and Engineering

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen:
0325944 A und 0325944 B



virtualcitySYSTEMS

3D-Modelle von Hessen

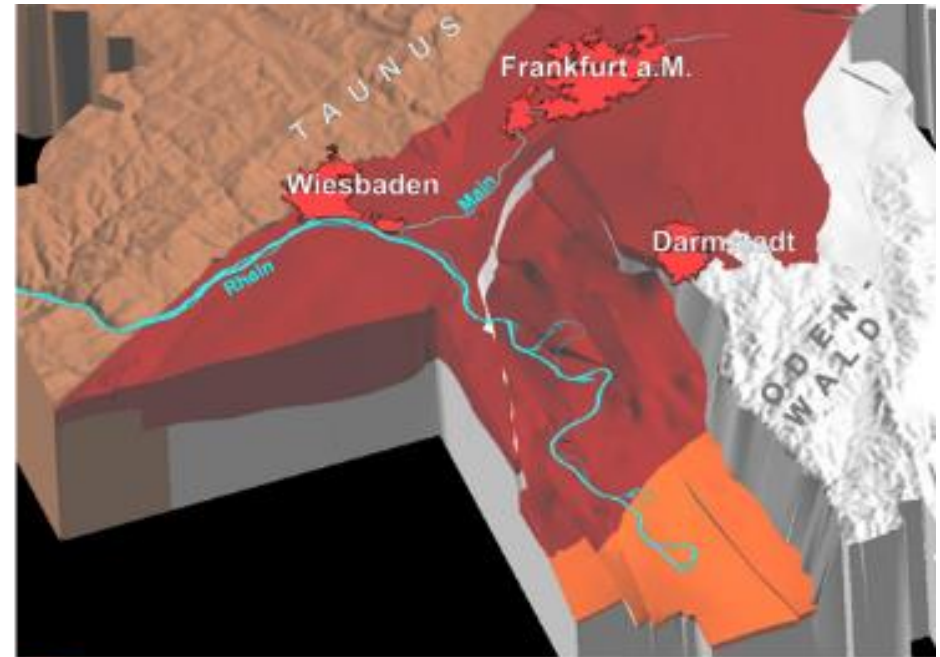
Arndt, 2012; Bär 2012







TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Modell Arndt 2012; Bär 2012 (Hessen 3D)

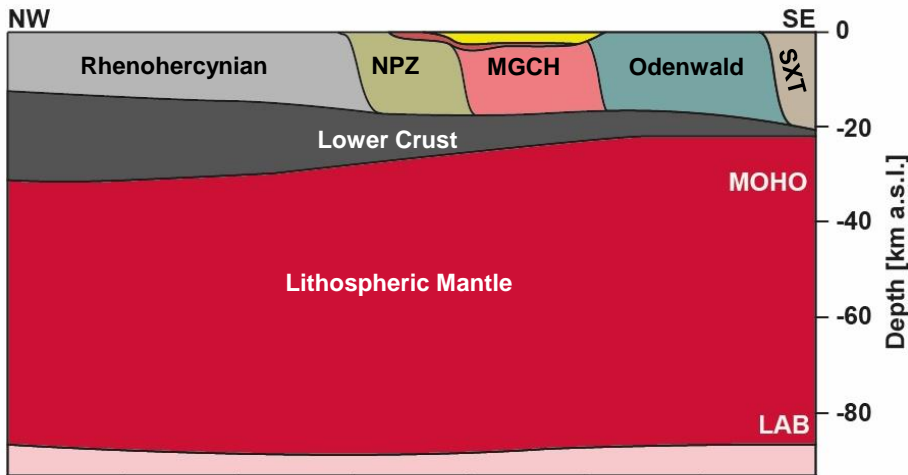
- Geologisches 3D-Strukturmodell bis 6 km Tiefe
- Parametrisierung mit petrophysikalischen Kennwerten
- Geothermische Potenzialberechnung
- Modelleinheiten:
 - Quartär und Tertiär
 - Keuper und Muschelkalk
 - Buntsandstein
 - Zechstein
 - Rotliegend
 - **Renoherzynikum inkl. Nördliche Phyllitzone**
 - **Mitteldeutsche Kristallinschwelle**



-  Buntsandstein
-  Rotliegend
-  Renoherzynikum und Nördl. Phyllitzone
-  Mitteldeutsche Kristallinschwelle

3D-Modelle von Hessen

Freymark et al. 2015

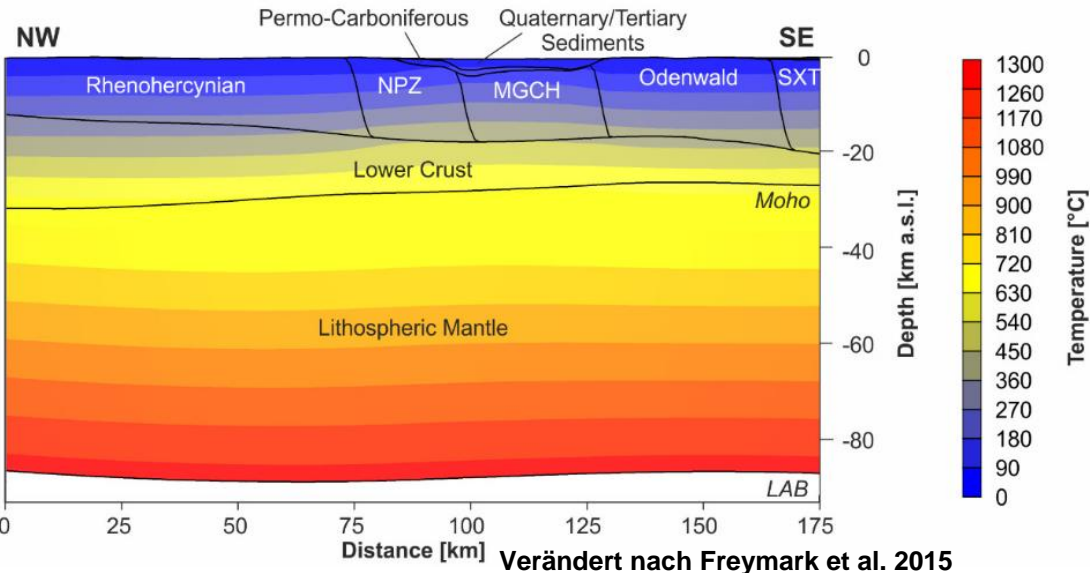


Modell Freymark et al. 2015

- Geologisches 3D-Strukturmodell bis 100 km Tiefe
- 3D gravimetrische Modellierung
- Konduktive 3D-Temperaturmodellierung

Modelleinheiten:

- Deckgebirge aus Arndt et al. 2011
- Obere Kruste:
 - Rhenohercynikum
 - Nördliche Phyllitzone (NPZ)
 - Mitteldeutsche Kristallinschwelle (MGCH)
 - Odenwald
 - Saxothuringikum (SXT)
- Untere Kruste
- Lithosphärischer Mantel

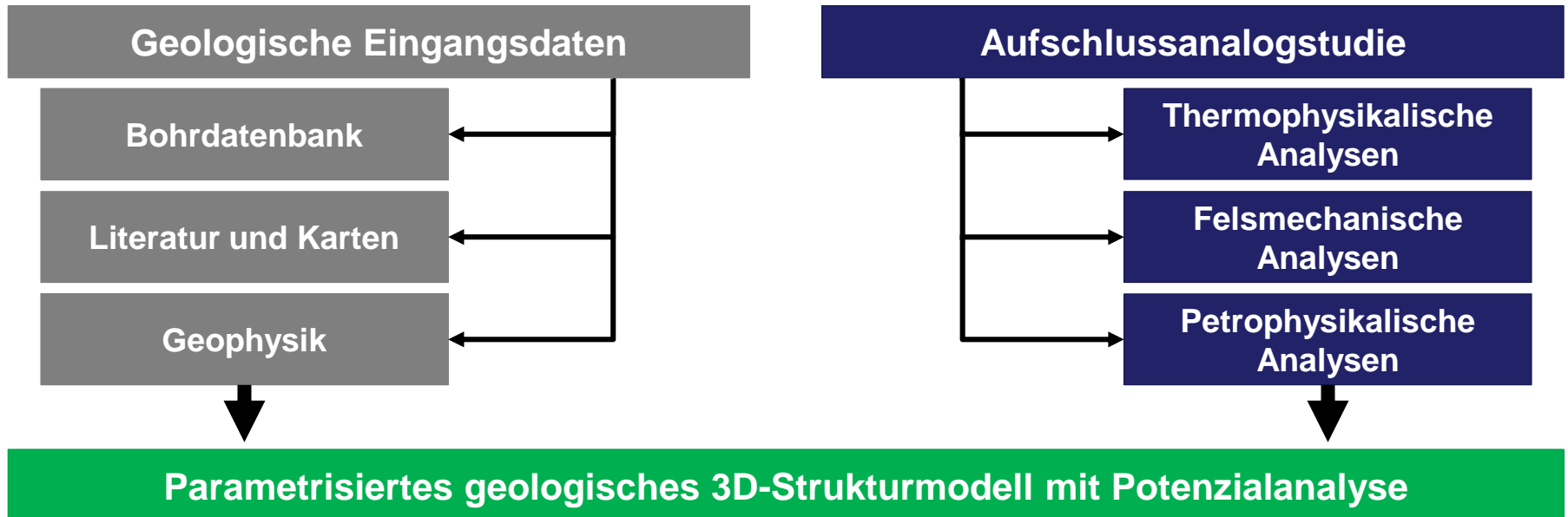


Verändert nach Freymark et al. 2015

Hessen 3D 2.0

- **Geologisches 3D-Strukturmodell des präpermischen Grundgebirges**
 - Modelleinheiten anhand petrophysikalischer Eigenschaften aufgelöst
 - Hauptstörungszonen implementiert
- **Modelltiefe von 6 km**

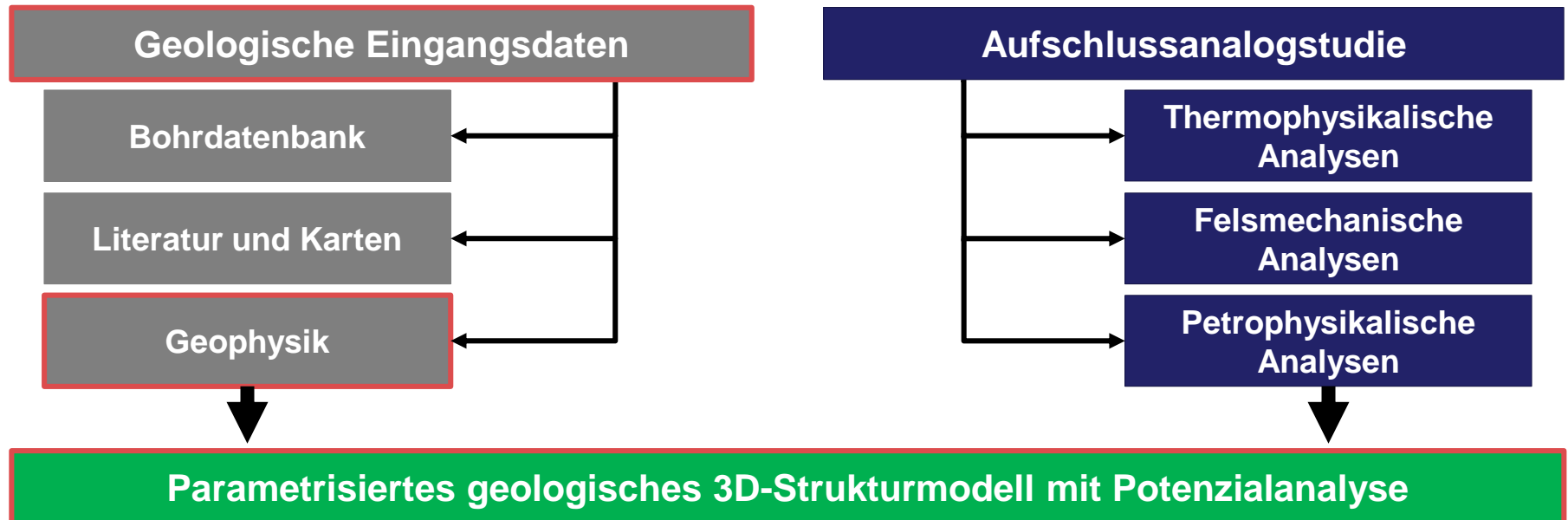
- **Parametrisierung des 3D-Modells**
- **Berechnung von tiefenabhängigen petrophysikalischen Kennwerten**
- **Slip-and Dilation-Tendencies**
- **Berechnung petrothermaler Potenziale**



Hessen 3D 2.0

- **Geologisches 3D-Strukturmodell des präpermischen Grundgebirges**
 - Modelleinheiten anhand petrophysikalischer Eigenschaften aufgelöst
 - Hauptstörungszonen implementiert
- **Modelltiefe von 6 km**

- **Parametrisierung des 3D-Modells**
- **Berechnung von tiefenabhängigen petrophysikalischen Kennwerten**
- **Slip-and Dilation-Tendencies**
- **Berechnung petrothermaler Potenziale**



Grundgebirge in Hessen

Grundgebirge in variskische Zonen untergliedert:

1. Rhenoharzynikum

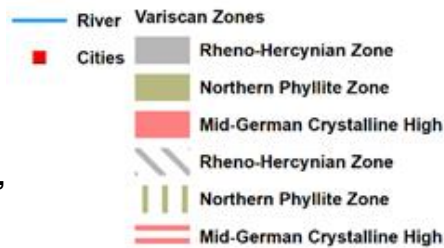
- Ton- und Siltschiefer
- Grauwacken und Sandsteine
- Karbonate und Vulkanite

2. Nördliche Phyllitzone

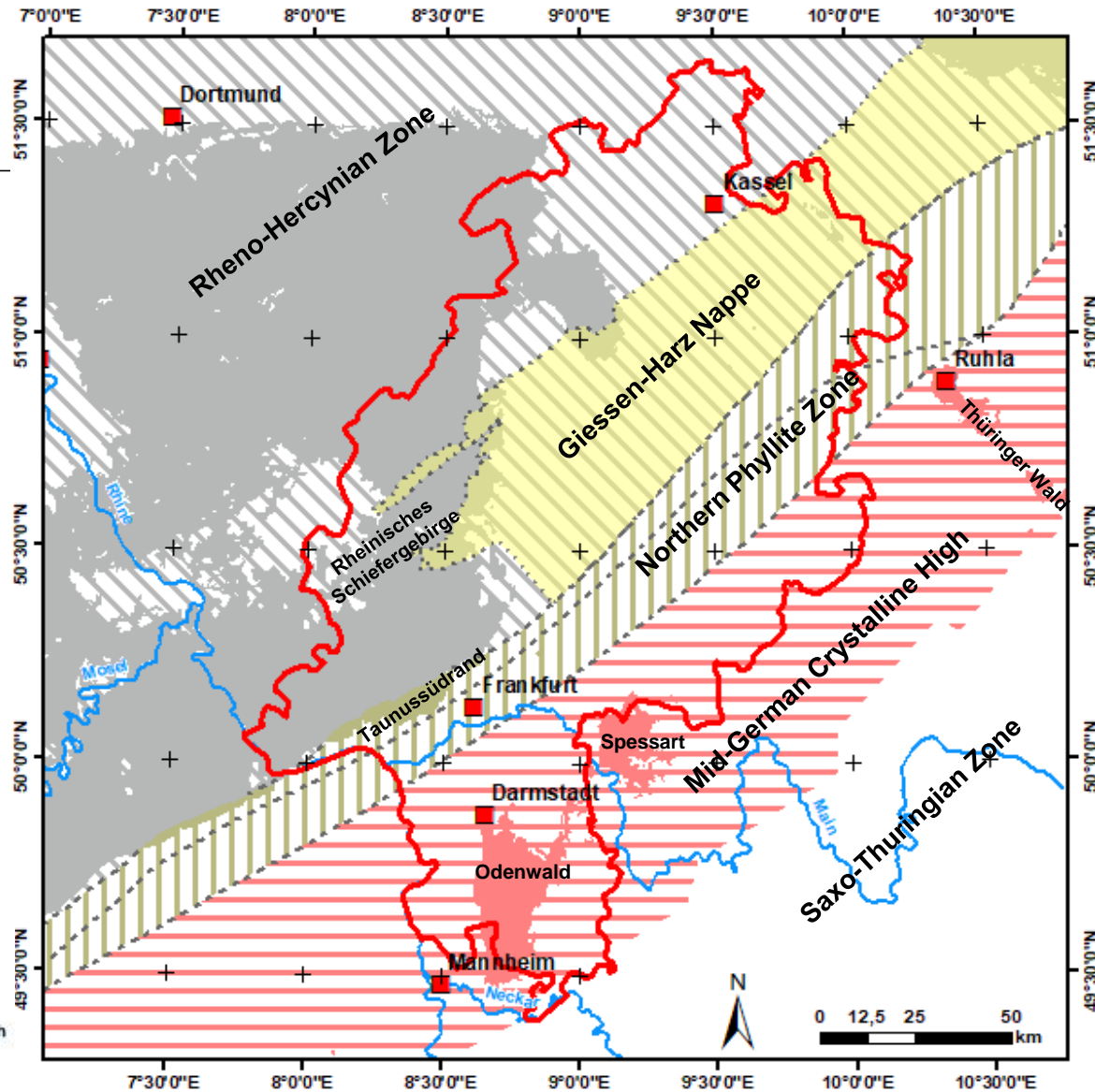
- Phyllite und Grünschiefer

3. Mitteldeutsche Kristallinschwelle:

- Granite und Granodiorite
- Gabbros und Diorite
- Gneise



Modified after
Hirschmann (1995),
Klügel (1997) and
Voges et al. 1993



Lithologische Modelleinheiten

Grundgebirge in variskische Zonen untergliedert:

1. Rhenohercynikum

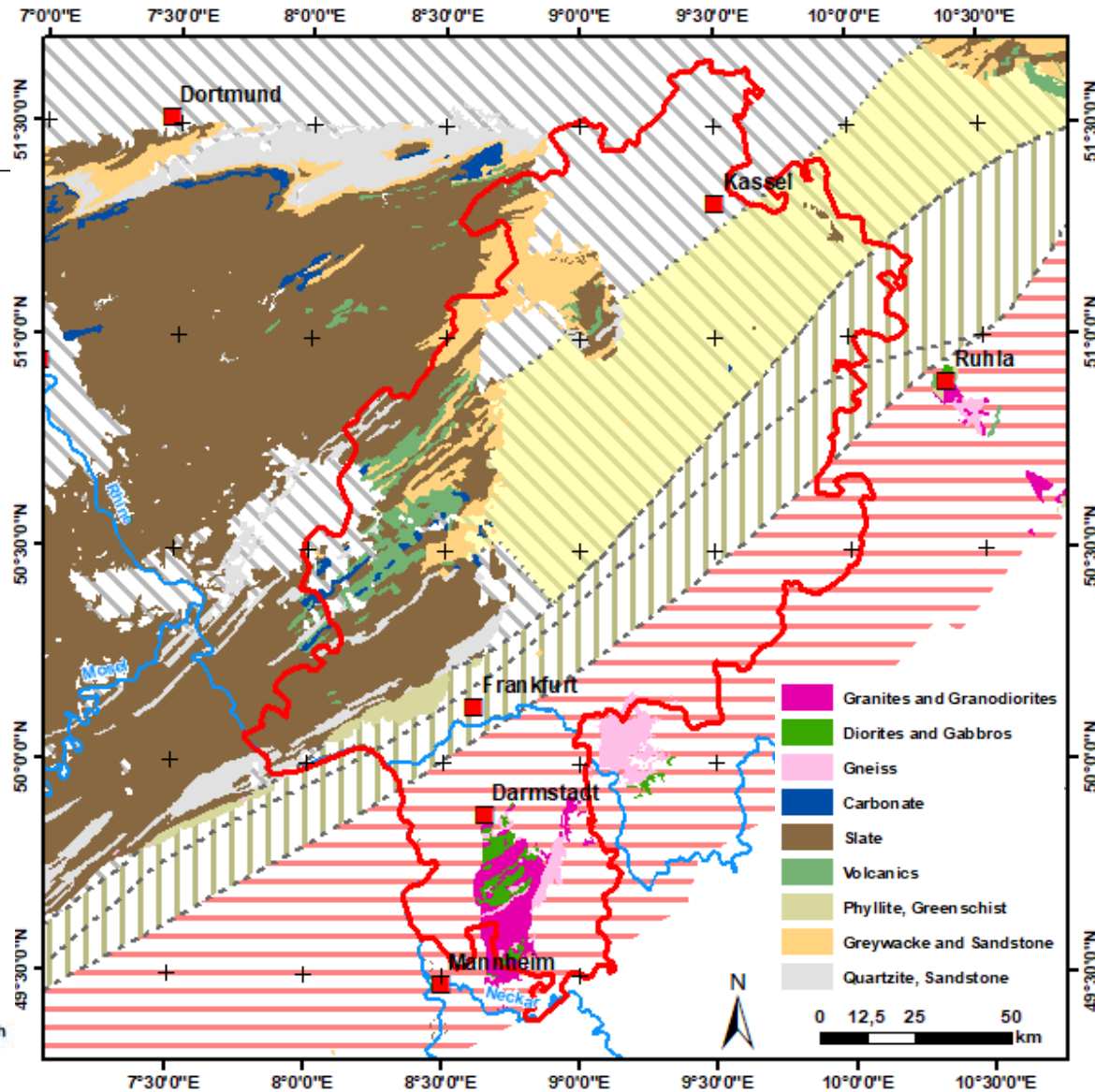
- Ton- und Siltschiefer
- Grauwacken und Sandsteine
- Karbonate und Vulkanite

2. Nördliche Phyllitzone

- Phyllite und Grünschiefer

3. Mitteldeutsche Kristallinschwelle:

- Granite und Granodiorite
- Gabbros und Diorite
- Gneise



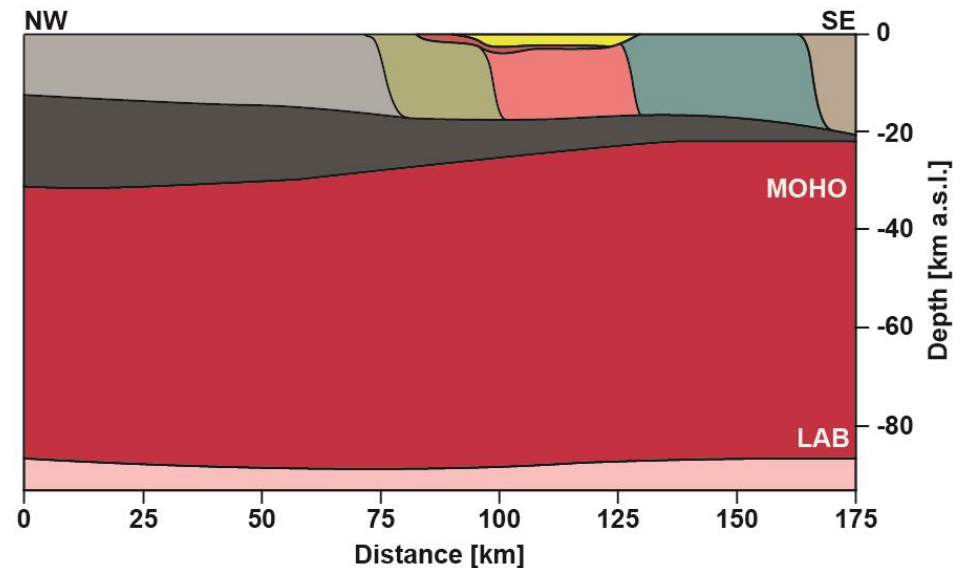
Modified after
Hirschmann (1995),
Klügel (1997) and
Voges et al. 1993

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem
3D-Strukturmodell



Verändert nach Freyemark et al. 2015

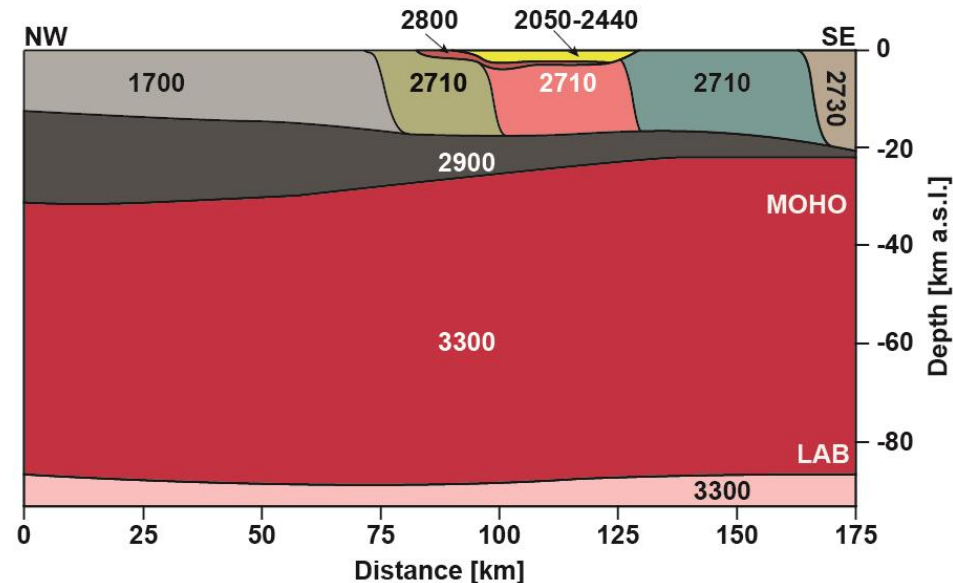
 Asthenosphärischer Mantel	 Renoherzynikum	 Odenwald
 Lithosphärischer Mantel	 Nördl. Phyllitzone	 Saxothuringikum
 Untere Kruste	 Mitteldeutsche Kristallinschwelle	 Permo-Karbon
		 Quartär und Tertiär

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem 3D-Strukturmodell
- Modelleinheiten werden gesteinstypische Dichten zugewiesen



Verändert nach Freyemark et al. 2015

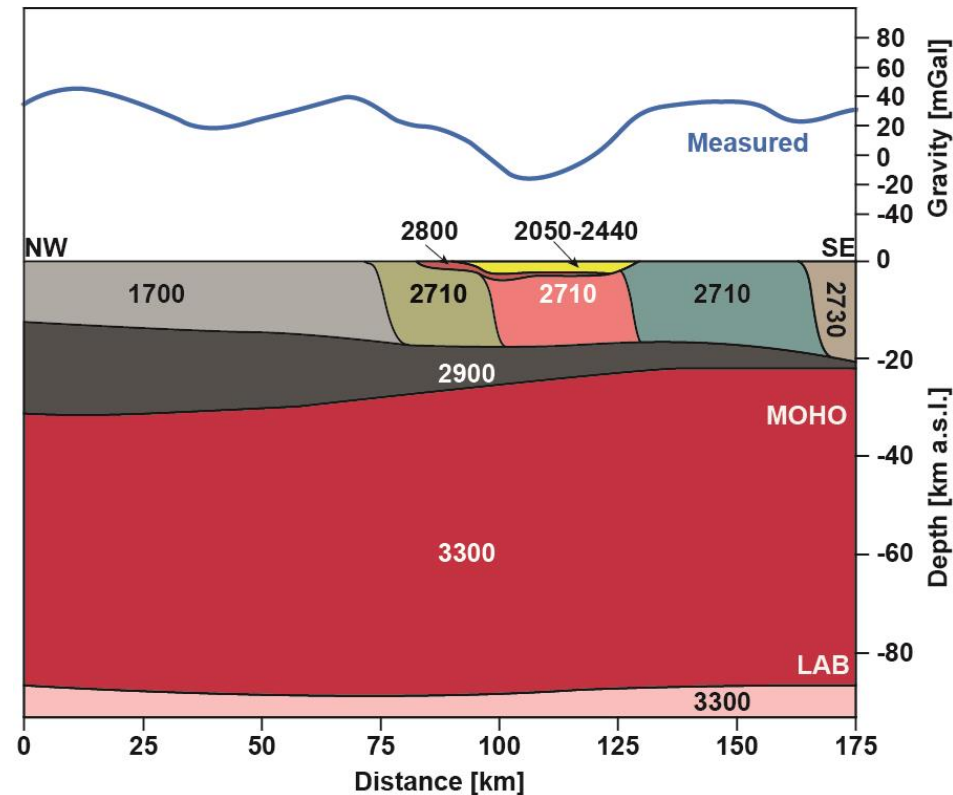
■ Astenosphärischer Mantel	■ Rhenohertzynikum	■ Odenwald
■ Lithosphärischer Mantel	■ Nördl. Phyllitzone	■ Saxothuringikum
■ Untere Kruste	■ Mitteldeutsche Kristallinschwelle	■ Permo-Karbon
		■ Quartär und Tertiär

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem 3D-Strukturmodell
- Modelleinheiten werden gesteinstypische Dichten zugewiesen
- Werte der gemessenen Freiluftanomalie werden als Stationen geladen



Verändert nach Freymark et al. 2015

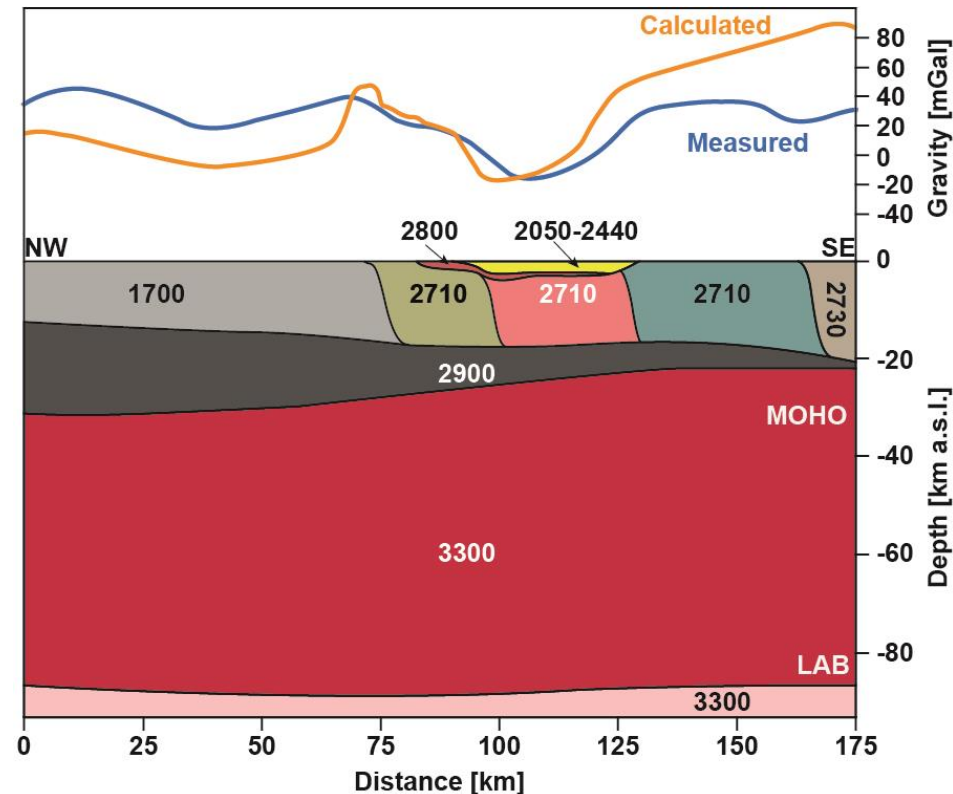
 Astenosphärischer Mantel	 Rhenoharzynikum	 Odenwald
 Lithosphärischer Mantel	 Nördl. Phyllitzone	 Saxothuringikum
 Untere Kruste	 Mitteldeutsche Kristallinschwelle	 Permo-Karbon
		 Quartär und Tertiär

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem 3D-Strukturmodell
- Modelleinheiten werden gesteinstypische Dichten zugewiesen
- Werte der gemessenen Freiluftanomalie werden als Stationen geladen
- Gravimetrieberechnung aus dem Strukturmodell und Gesteinsdichten



Verändert nach Freymark et al. 2015

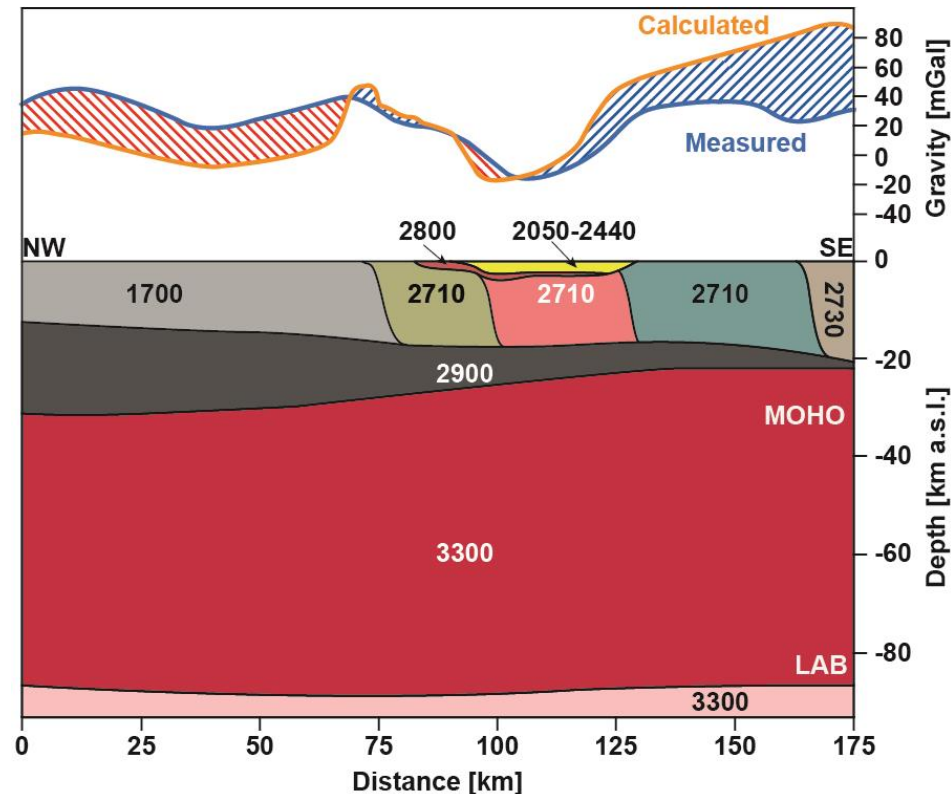
Astenosphärischer Mantel	Rhenoharzynikum	Odenwald
Lithosphärischer Mantel	Nördl. Phyllitzone	Saxothuringikum
Untere Kruste	Mitteldeutsche Kristallinschwelle	Permo-Karbon
	Quartär und Tertiär	

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem 3D-Strukturmodell
- Modelleinheiten werden gesteinstypische Dichten zugewiesen
- Werte der gemessenen Freiluftanomalie werden als Stationen geladen
- Gravimetrieberechnung aus dem Strukturmodell und Gesteinsdichten
- Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Schwerfeld als Residualfeld visualisierbar



Verändert nach Freymark et al. 2015

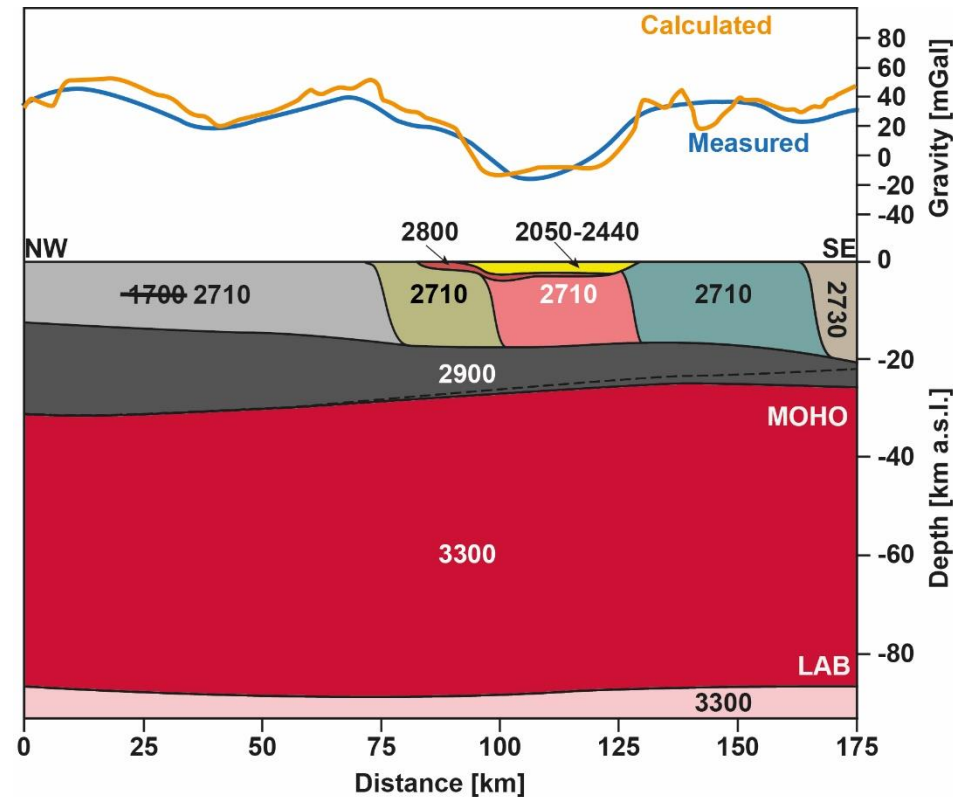
Astenosphärischer Mantel	Rhenoherynikum	Odenwald
Lithosphärischer Mantel	Nördl. Phyllitzone	Saxothuringikum
Untere Kruste	Mitteldeutsche Kristallinschwelle	Permo-Karbon
	Quartär und Tertiär	

3D gravimetrische Modellierung in IGMAS+

Iterative Modellierung

Modellierungsablauf in IGMAS+ (Schmidt et al. 2011):

- Basiert auf geologischem 3D-Strukturmodell
- Modelleinheiten werden gesteinstypische Dichten zugewiesen
- Werte der gemessenen Freiluftanomalie werden als Stationen geladen
- Gravimetrieberechnung aus dem Strukturmodell und Gesteinsdichten
- Abweichung zwischen gemessenem und berechnetem Schwerfeld als Residualfeld visualisierbar



Zusätzlich können interaktiv

- Gesteinsdichten verändert werden
- Strukturen modifiziert werden

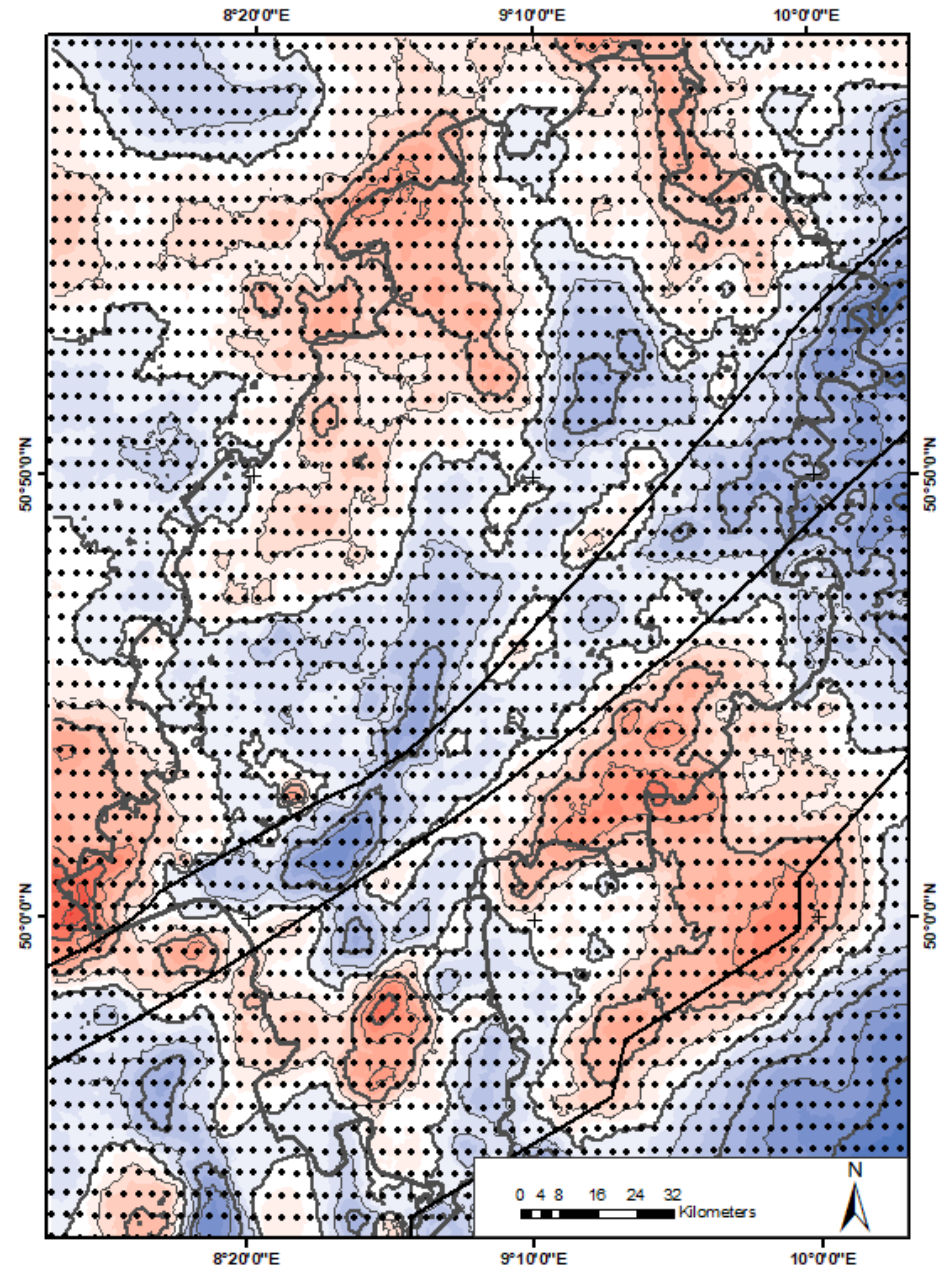
Verändert nach Freymark et al. 2015

Astenosphärischer Mantel	Rhenoharzynikum	Odenwald
Lithosphärischer Mantel	Nördl. Phyllitzone	Saxothuringikum
Untere Kruste	Mitteldeutsche Kristallinschwelle	Permo-Karbon
	Quartär und Tertiär	

Eingangsdaten des Vorgängermodells

Geologisches 3D-Strukturmodell (nach Freyremark et al. 2015):

- **Deckgebirge aus Hessen 3D**
- **Kruste aus 2D Reflexions- und Refraktionsseismik**
- **Grundgebirge aus Varisziden:**
 - **Renoherzynikum**
 - **Nördliche Phyllite Zone**
 - **Saxothuringikum**
 - **Mitteldeutsche Kristallinschwelle**
- **Odenwald als eigenständige Modelleinheit**
- **Gravimetriedatensatz des Earth Gravitational Model 2008 (EGM08, Pavlis et al. 2008)**
- **Modellierung in IGMAS+**



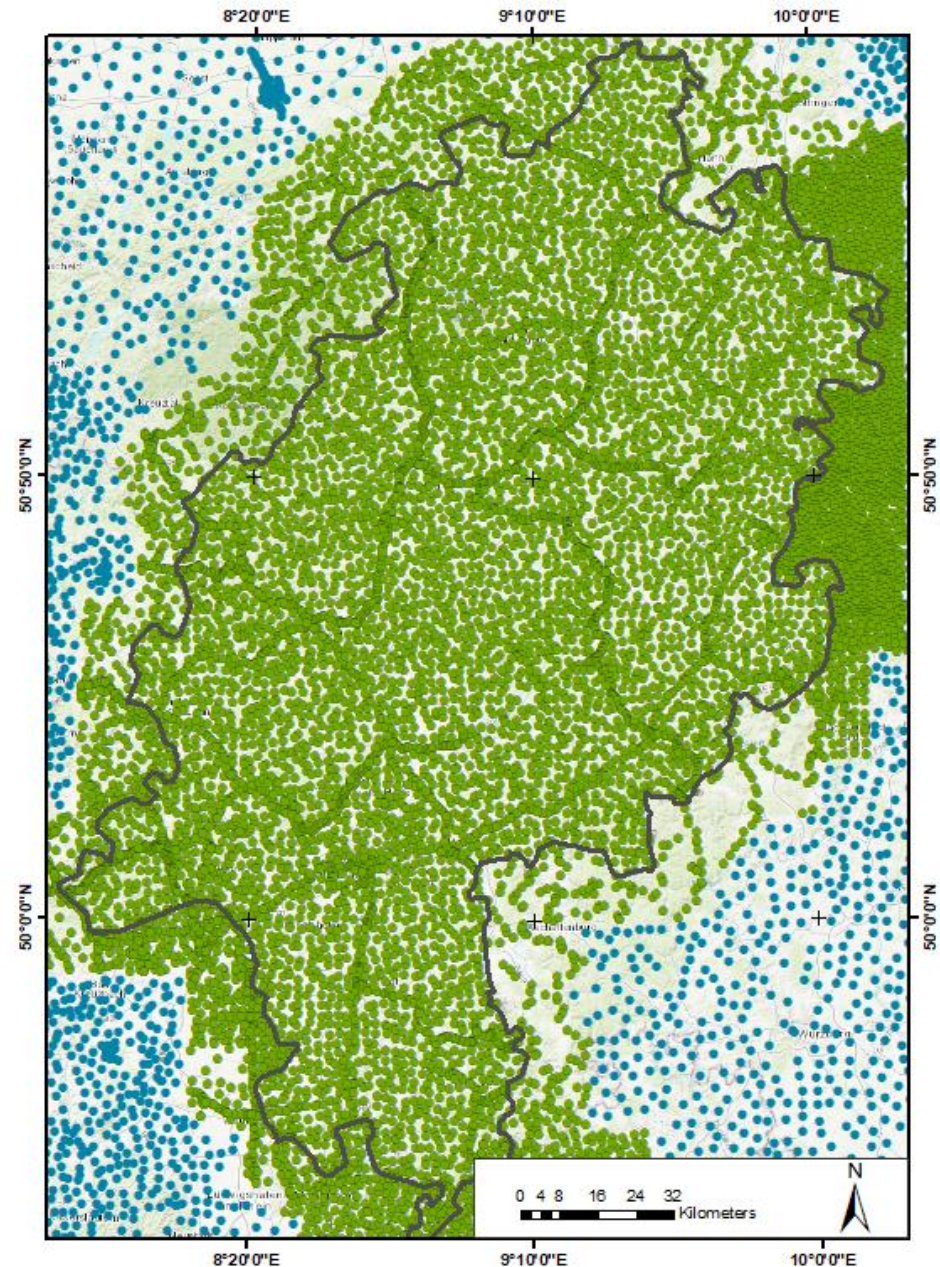
Gravimetrische Eingangsdaten

Modell Freyemark et al. (2015) mit 3.575
Punktdaten.

Neue Datensätze zur Freiluftanomalie:

- Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) ~ **13.500 Punktdaten**
- Leibnitz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) ~ **8.800 Punktdaten**

Zur Modellierung sind die Datensätze des **LIAGs** und **HVBGs** verschnitten worden. Somit stehen zur Modellierung ca. **17.000 Datenpunkte** zur Verfügung.

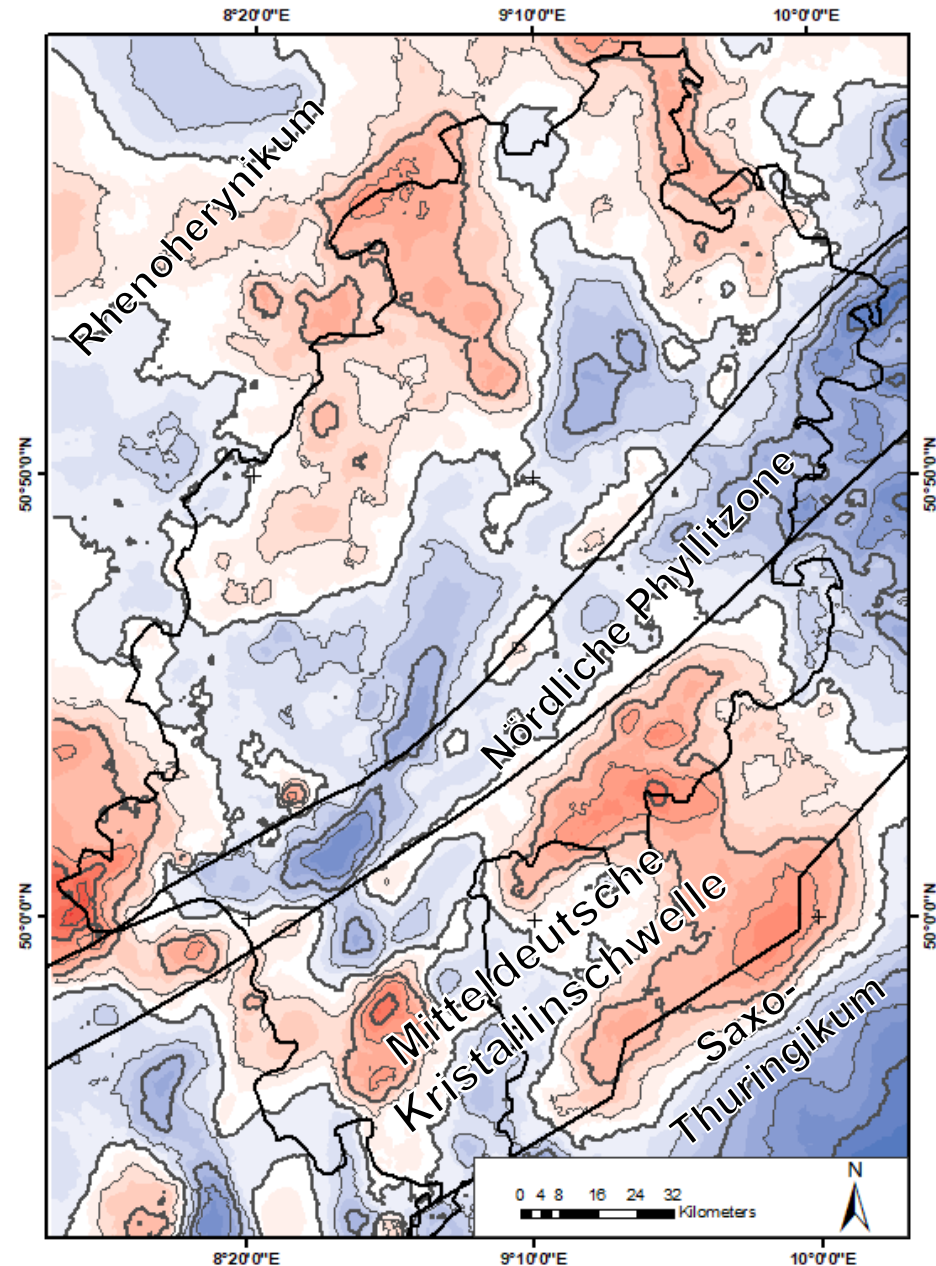


Gravimetriemodellierung

Identifizieren neuer Modelleinheiten

Modellierungablauf:

1. Schweredaten von LIAG und HVBG
2. Parametrisiertes Strukturmodell aus Freyremark et al. (2015)
3. Berechnung des Residuums
4. Identifikation von Regionen mit **Massenüberschuss** oder **Massendefizit**
5. Validierung des parametrisierten Modells durch Überprüfung von:
 - Gesteinsdichten
 - Eingangsdaten der Krustengrenzen
 - Eingangsdaten der Grenze des unteren Mantels

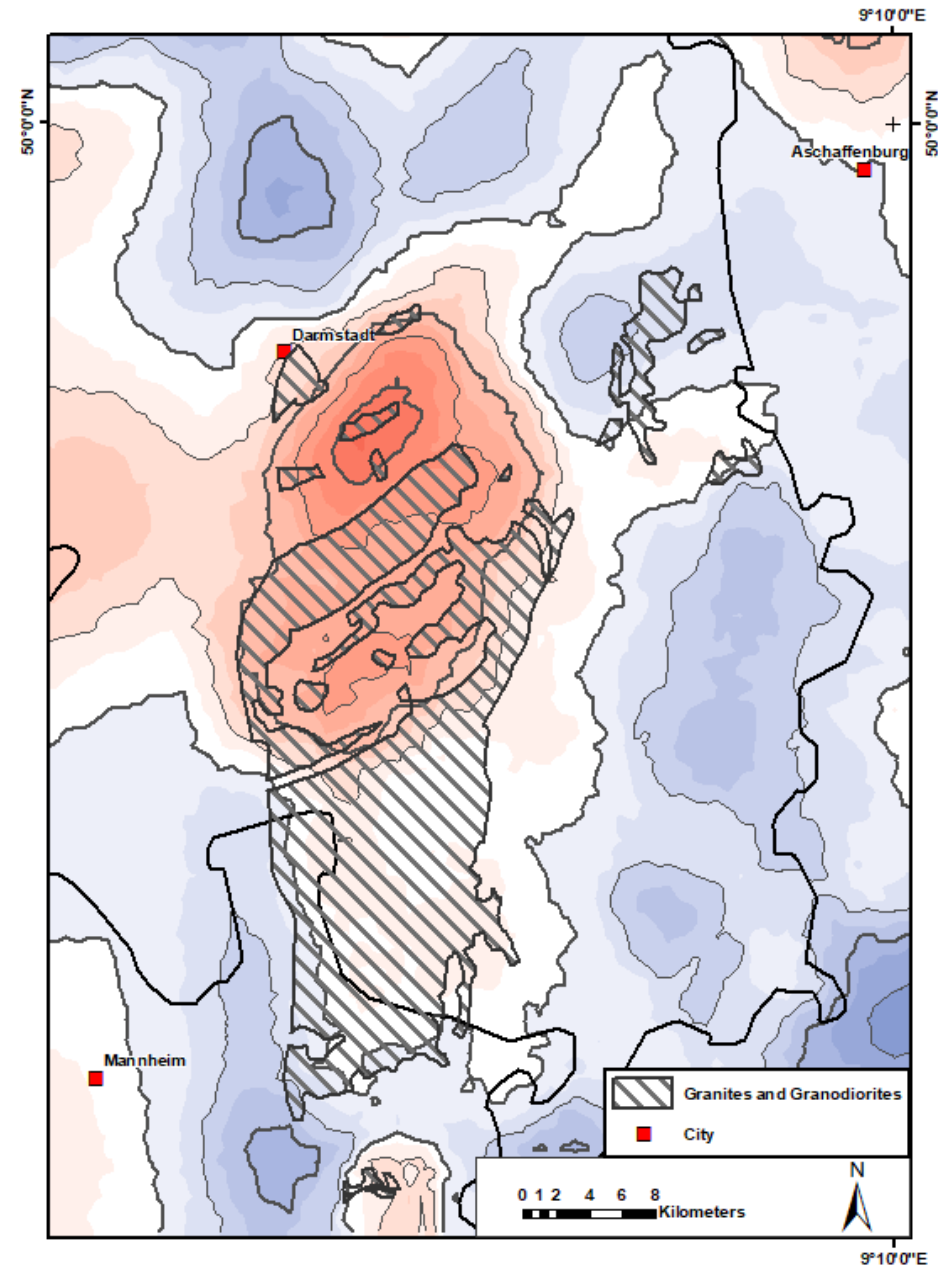


Gravimetriemodellierung

Erstellen neuer Modelleinheiten

Zur Definition neuer Modelleinheiten sind folgende Schritte notwendig:

1. Zusammenfassung von Lithologien vergleichbarer Dichte
2. Generalisierung kartierter Lithologien (GÜK200)

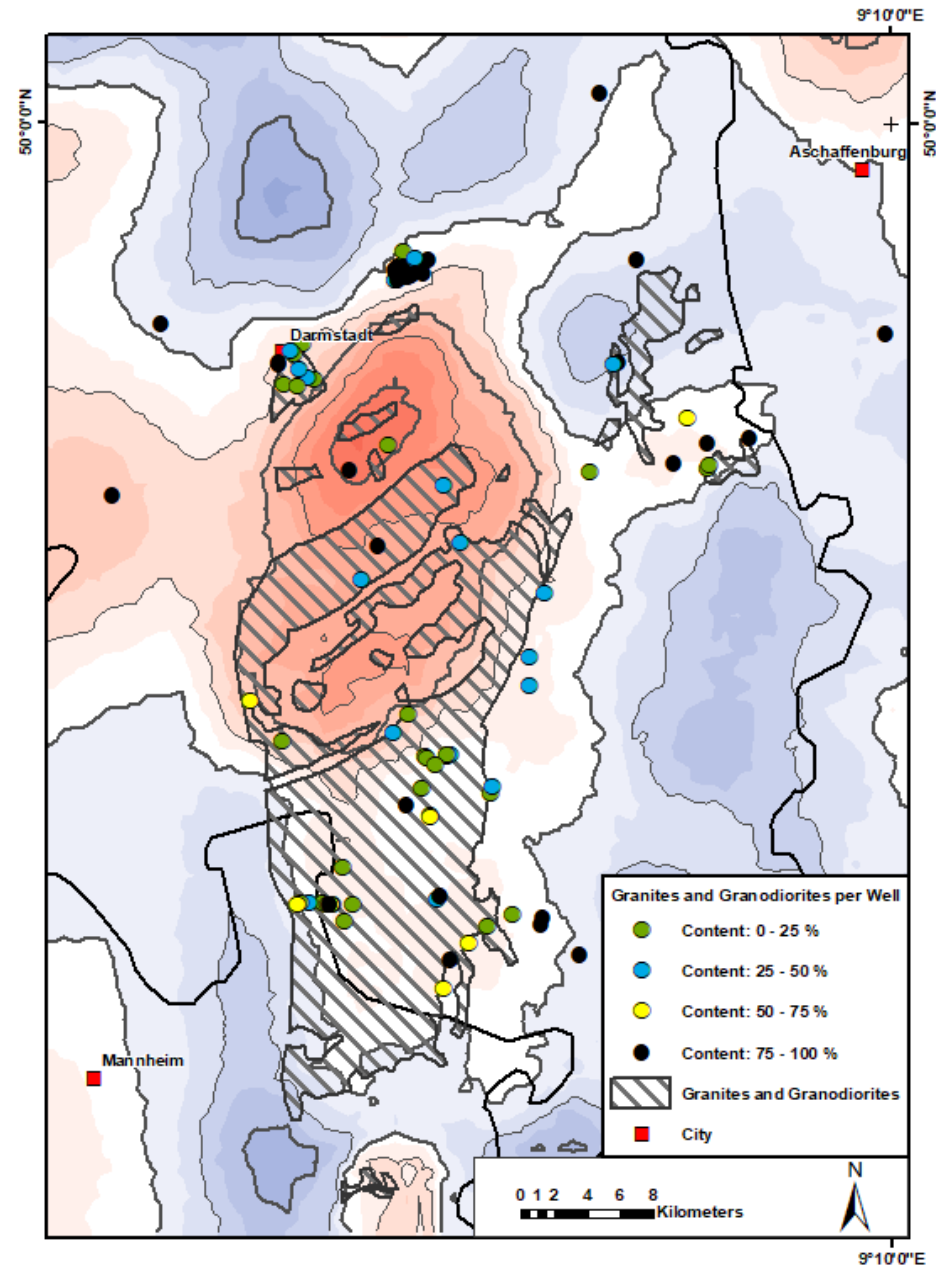


Gravimetriemodellierung

Erstellen neuer 3D-Körper

Zur Definition neuer Modelleinheiten sind folgende Schritte notwendig:

1. Zusammenfassung von Lithologien vergleichbarer Dichte
2. Generalisierung kartierter Lithologien (GÜK200)
3. Beurteilung der Tiefenerstreckung anhand der Schichtenverzeichnisse von Bohrungen und geologischer Schnitte



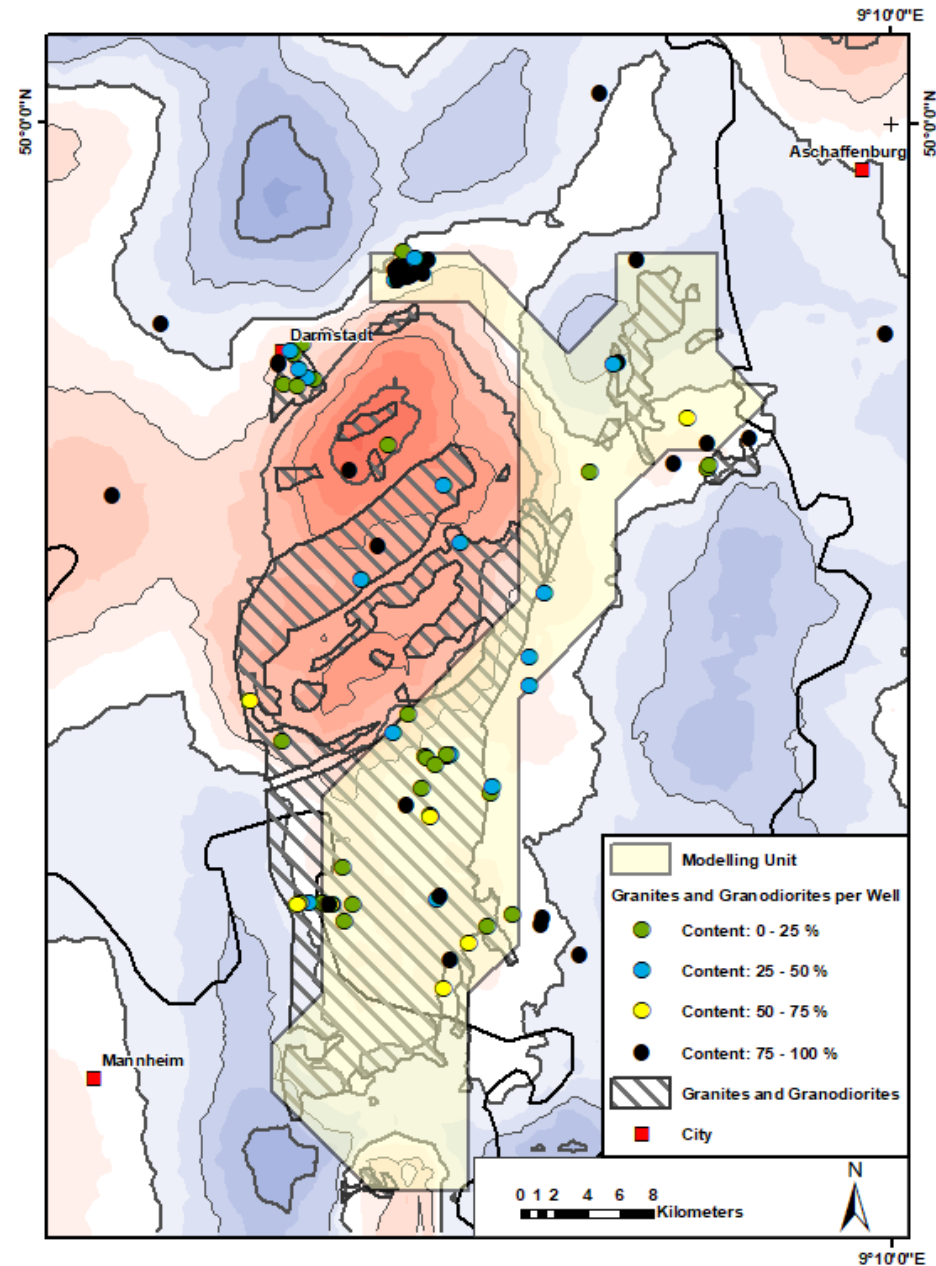
Gravimetriemodellierung

Erstellen neuer 3D-Körper

Zur Definition neuer Modelleinheiten sind folgende Schritte notwendig:

1. Zusammenfassung von Lithologien vergleichbarer Dichte
2. Generalisierung kartierter Lithologien (GÜK200)
3. Beurteilung der Tiefenerstreckung anhand der Schichtenverzeichnisse von Bohrungen und geologischer Schnitte

Die Mächtigkeit der neu erstellten Modelleinheiten erstreckt sich über die gesamte Oberkruste.

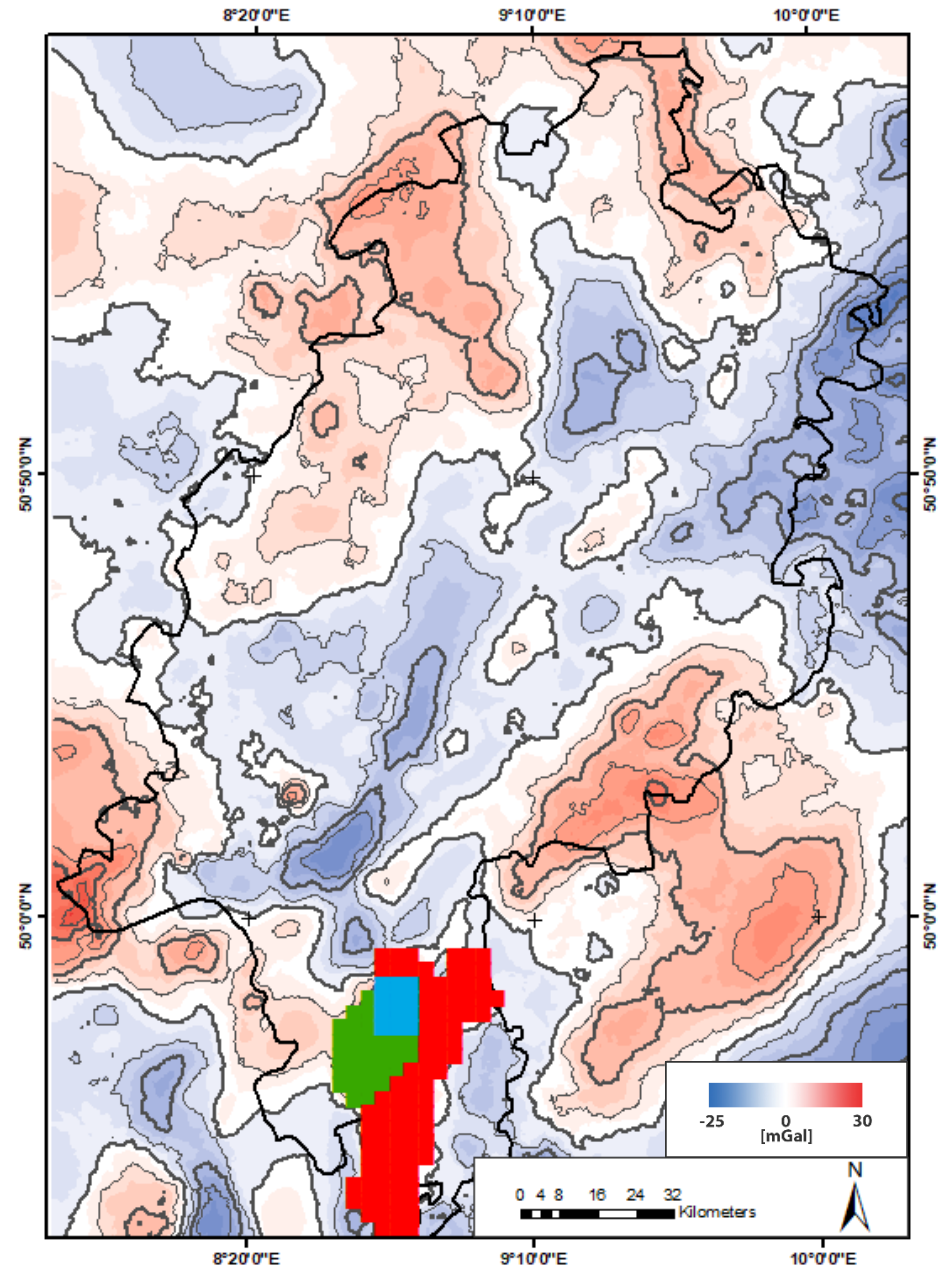


Ergebnisse

Kristalliner Odenwald

Durch die Gravimetriemodellierung konnte das Modell um folgende Einheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit (z. T. Gneis)
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit

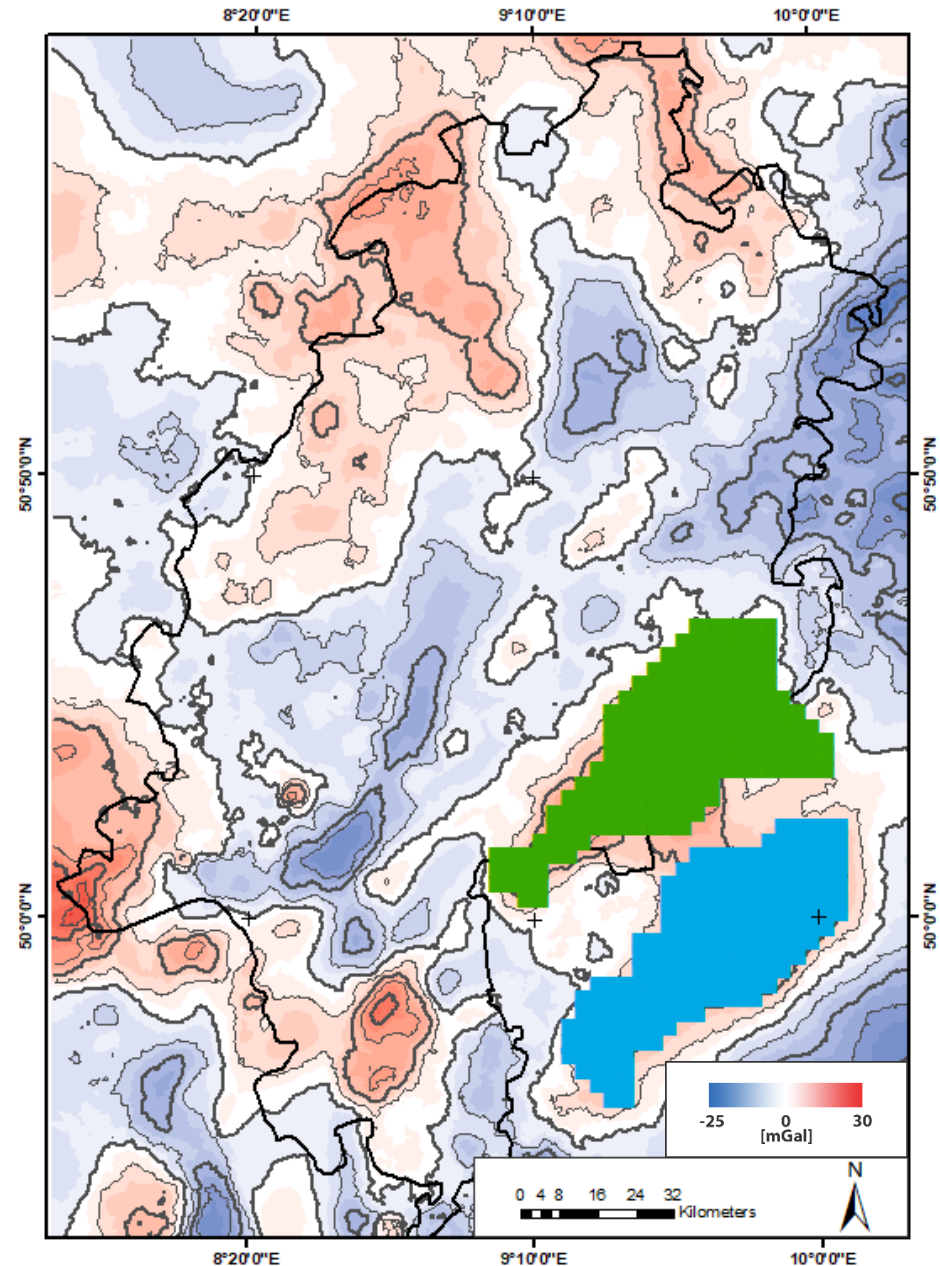


Ergebnisse

Spessart

Durch die Gravimetriemodellierung konnte das Modell um folgende Einheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit (z. T. Gneis)
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Spessart
 - Gneis
 - Diorit

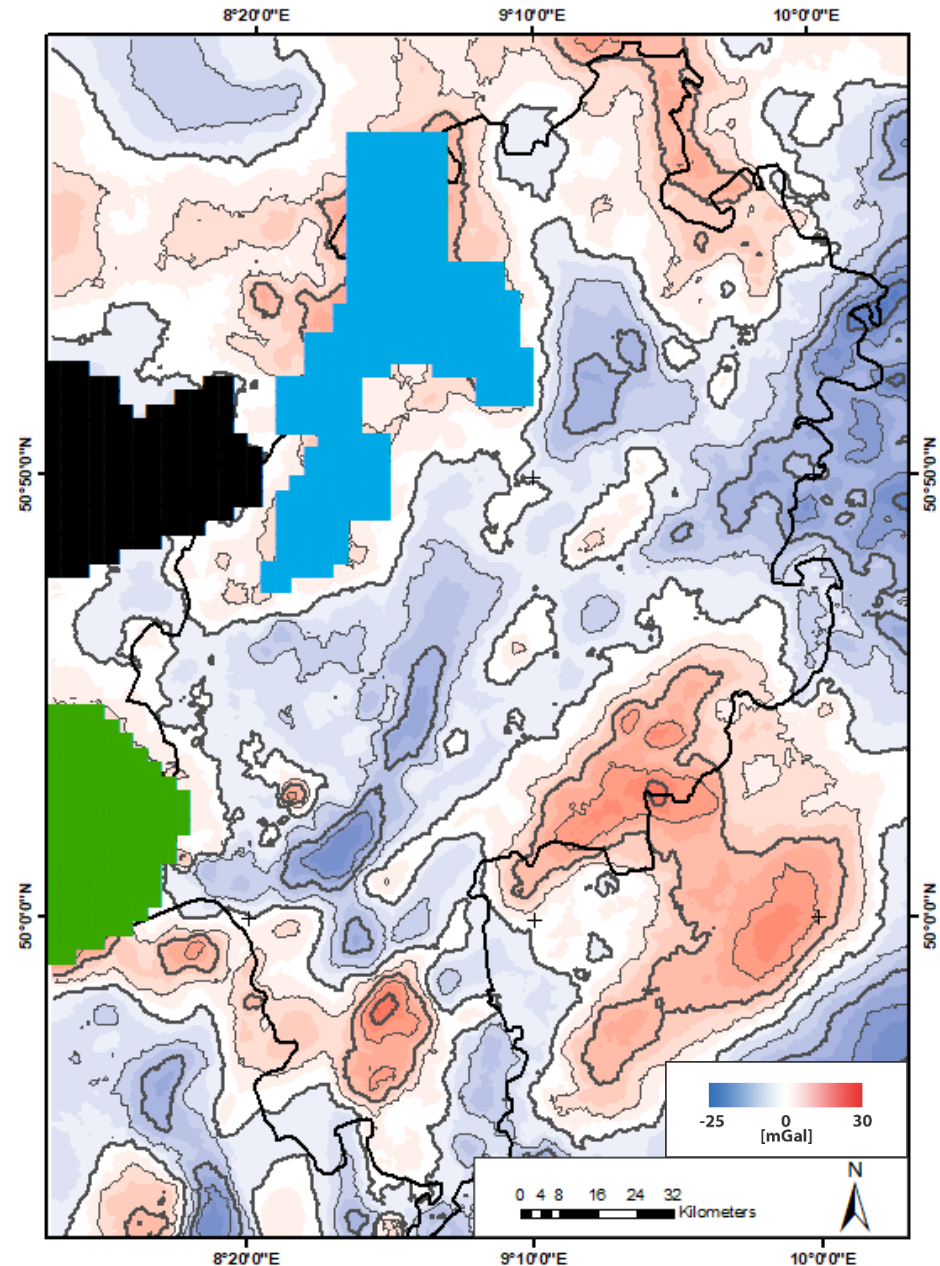


Ergebnisse

Renoherzynikum

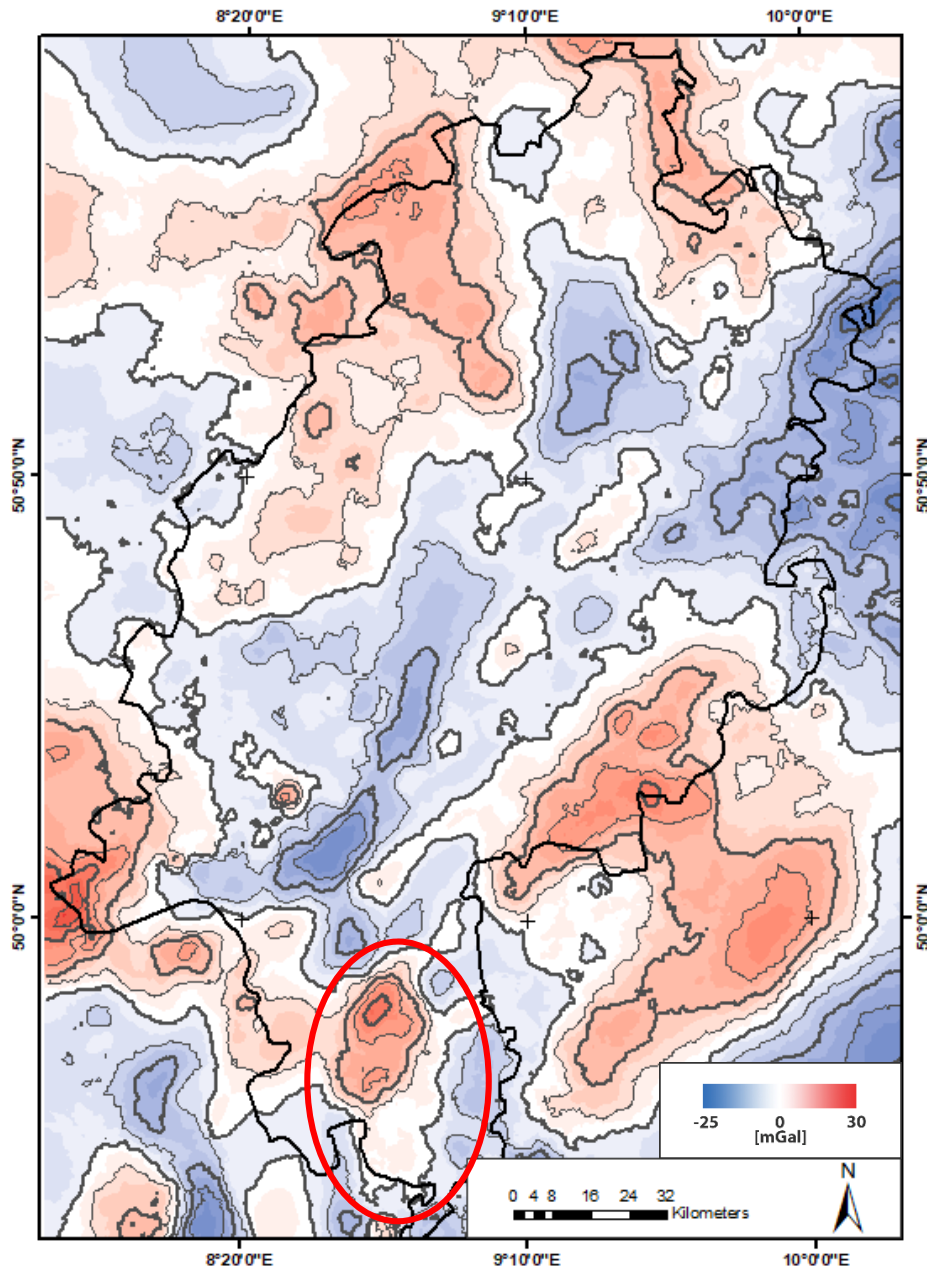
Durch die Gravimetriemodellierung konnte das Modell um folgende Einheiten erweitert werden:

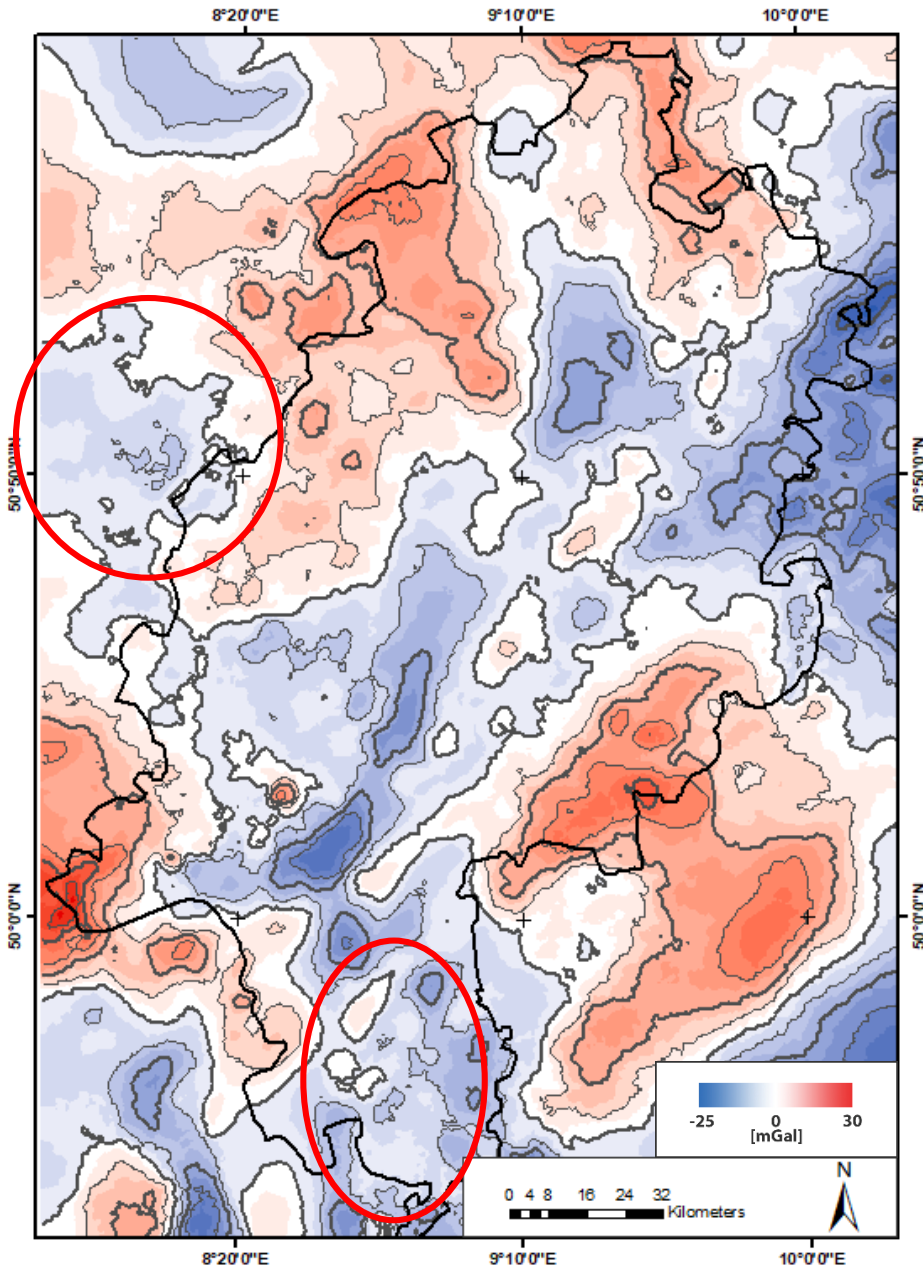
- Odenwald
 - Granit und Granodiorit (z. T. Gneis)
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Spessart
 - Gneis
 - Diorit
- Renoherzynikum
 - Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
 - Metapelite im südwestlichen Schiefergebirge
 - Grauwacken



Ergebnisse Initiales Modell

Innerhalb von Hessen konnte das Modell
um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

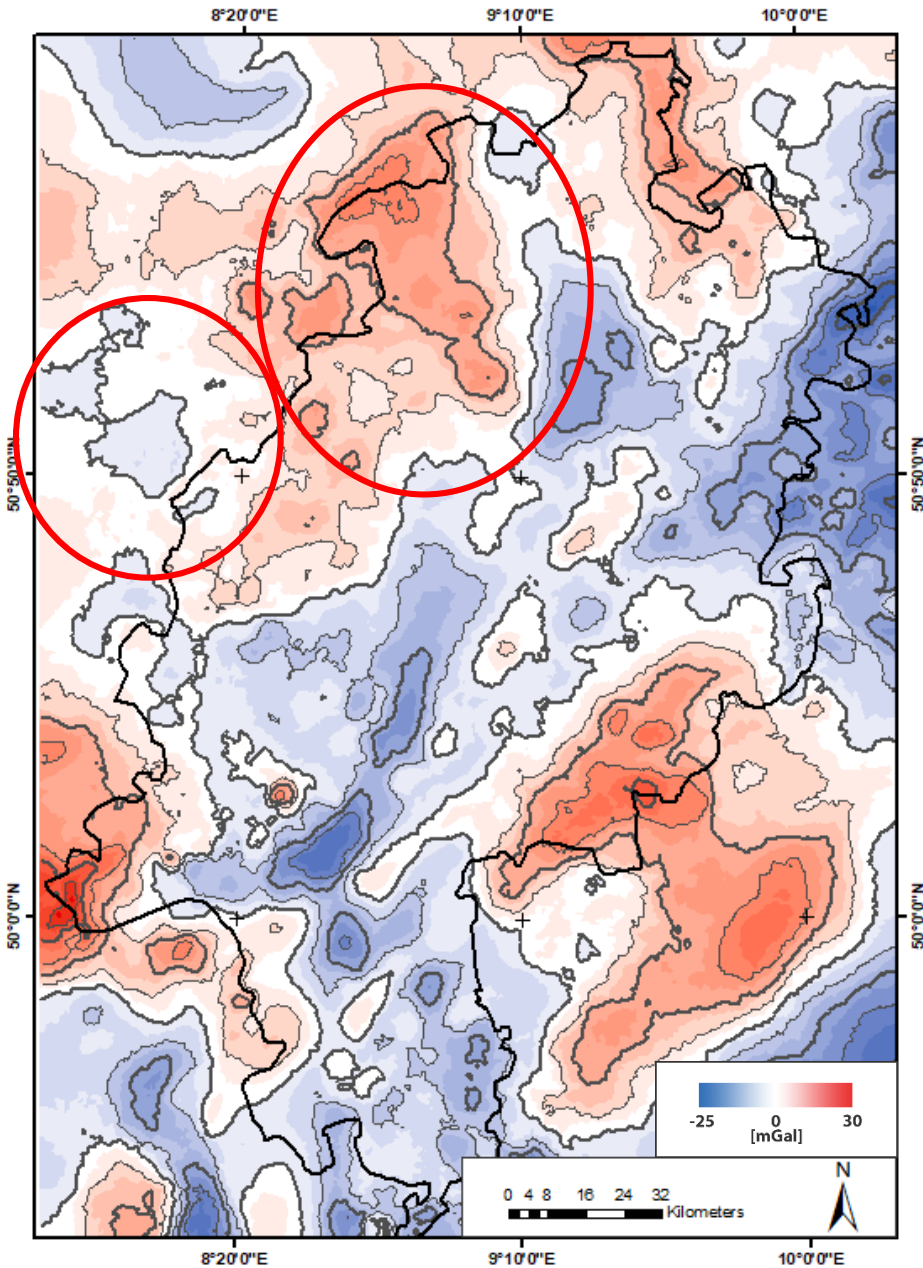




Ergebnisse Odenwald

Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit



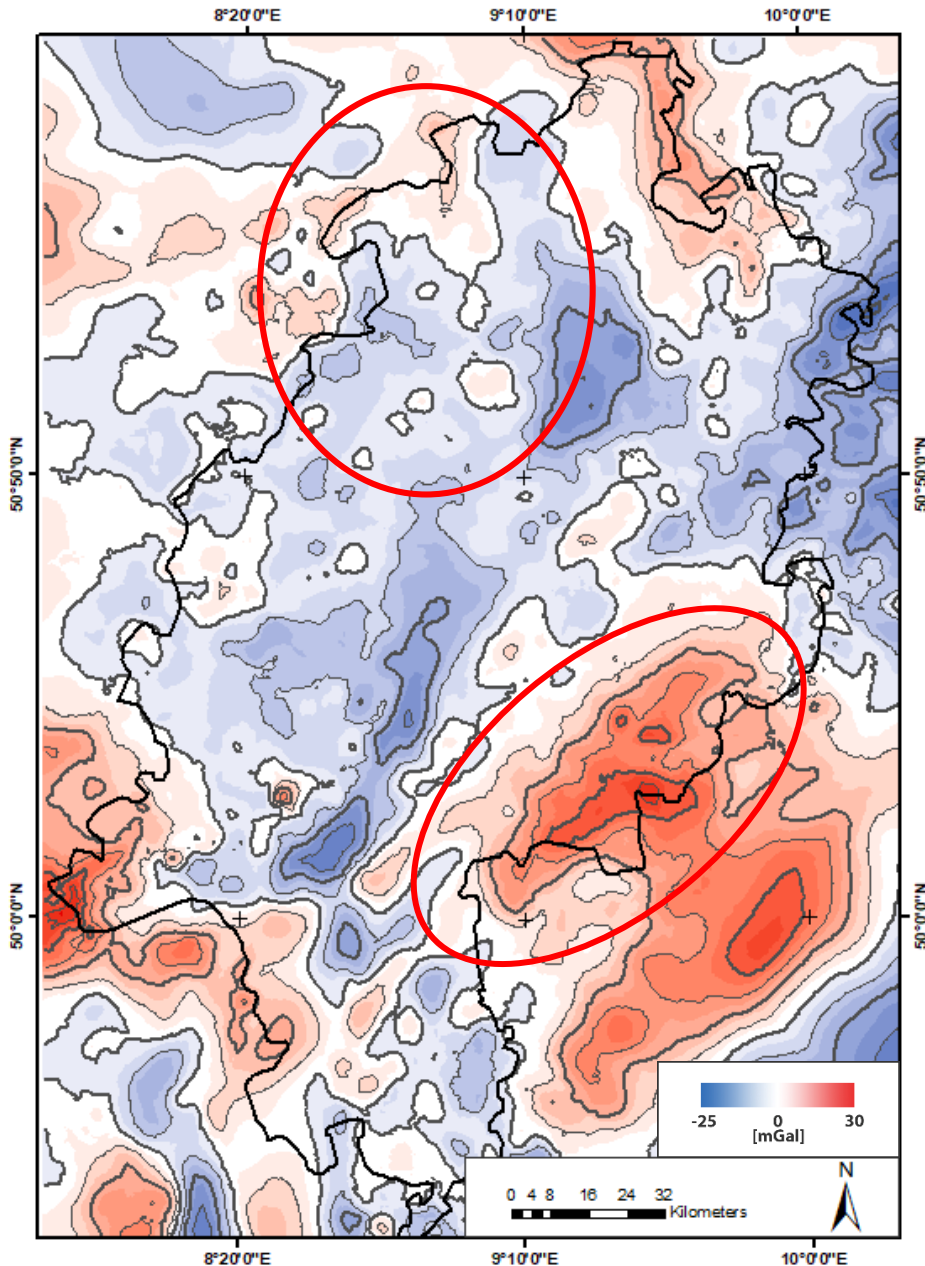
Ergebnisse

Metapelite

Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge

Ergebnisse Grauwacken

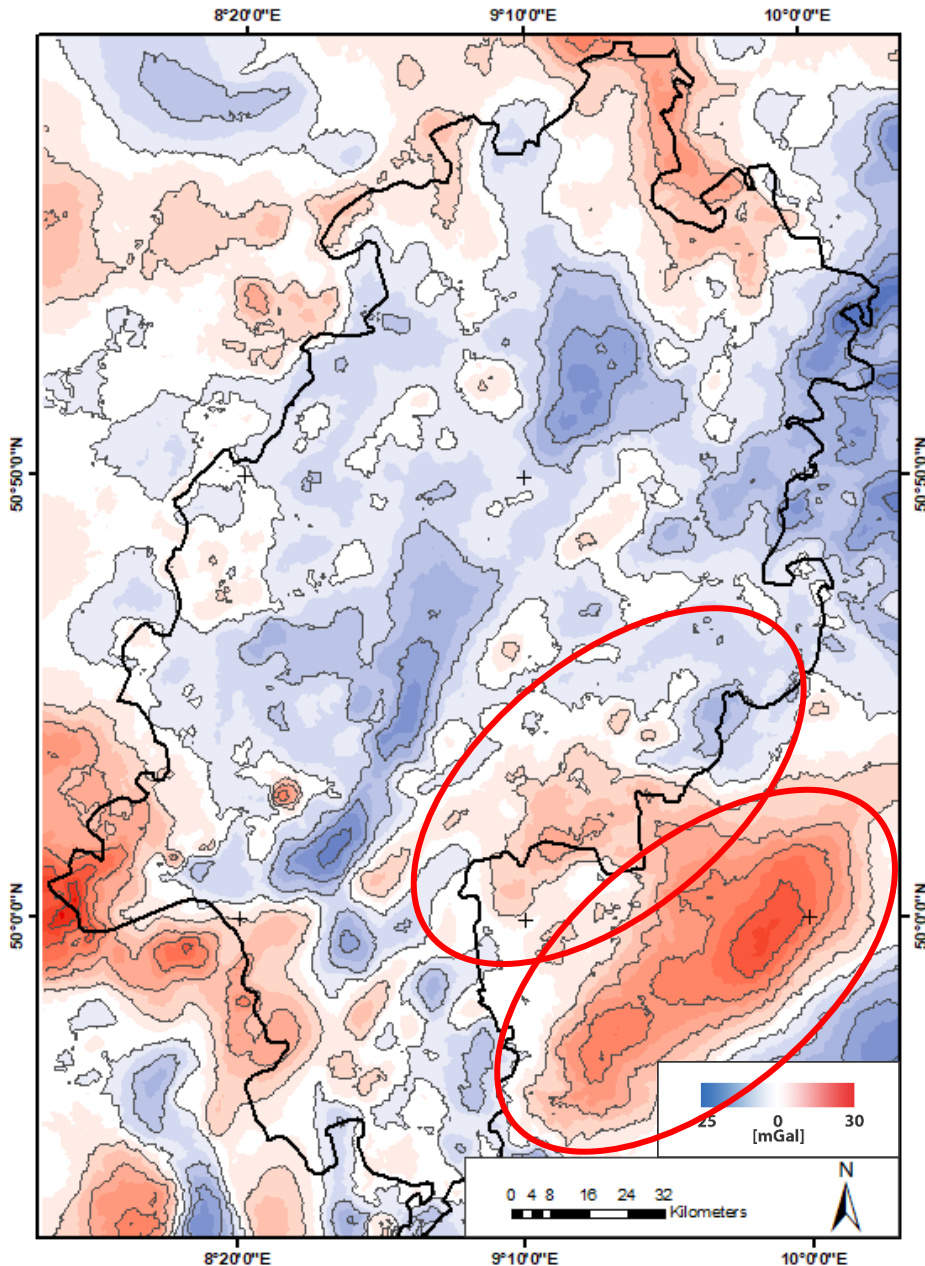


Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
- Grauwacken des nordöstlichen Schiefergebirges

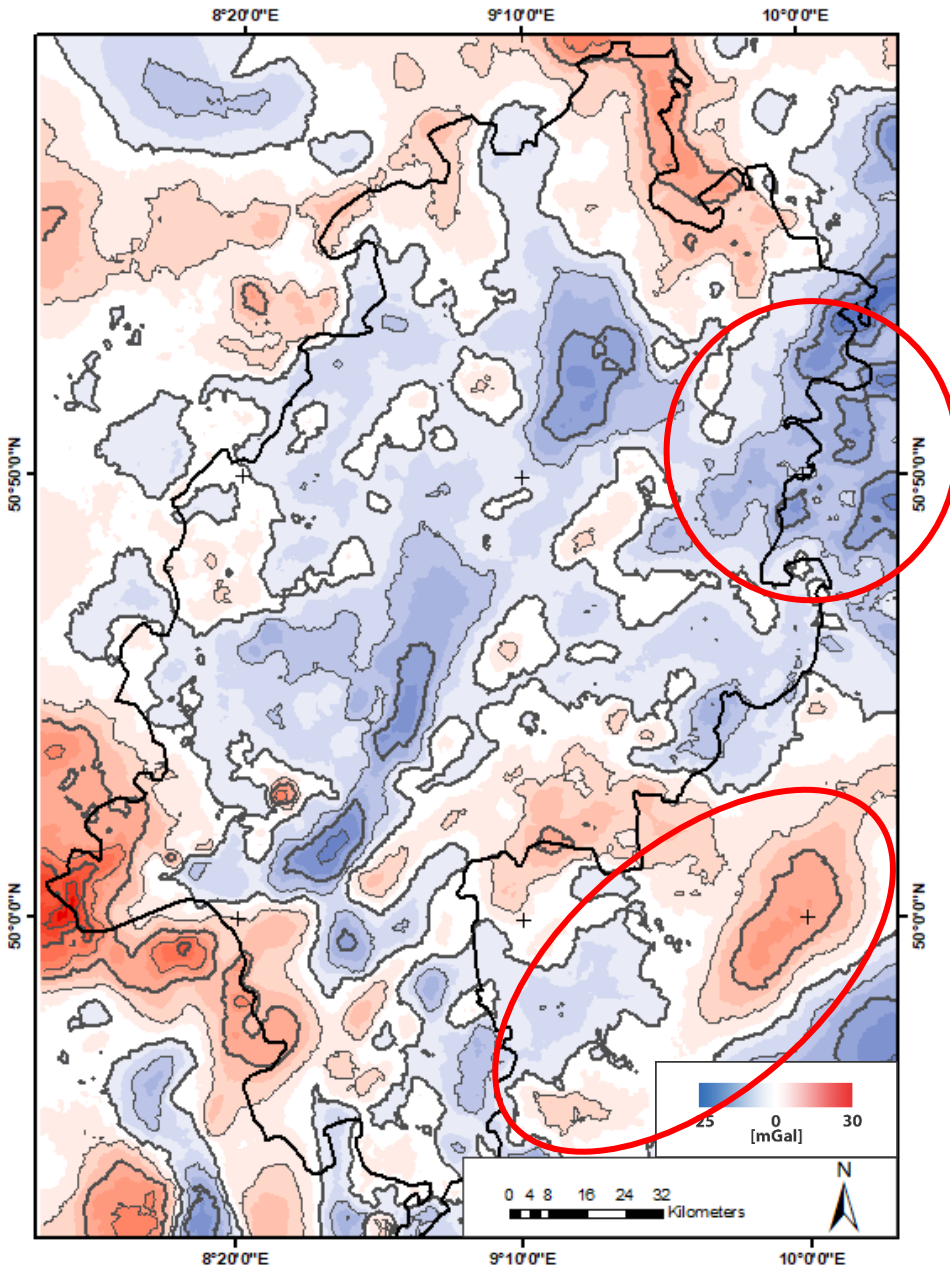
Ergebnisse

Spessart



Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
- Grauwacken des nordöstlichen Schiefergebirges
- Gneis im nördlichen und nordöstlichen Spessart



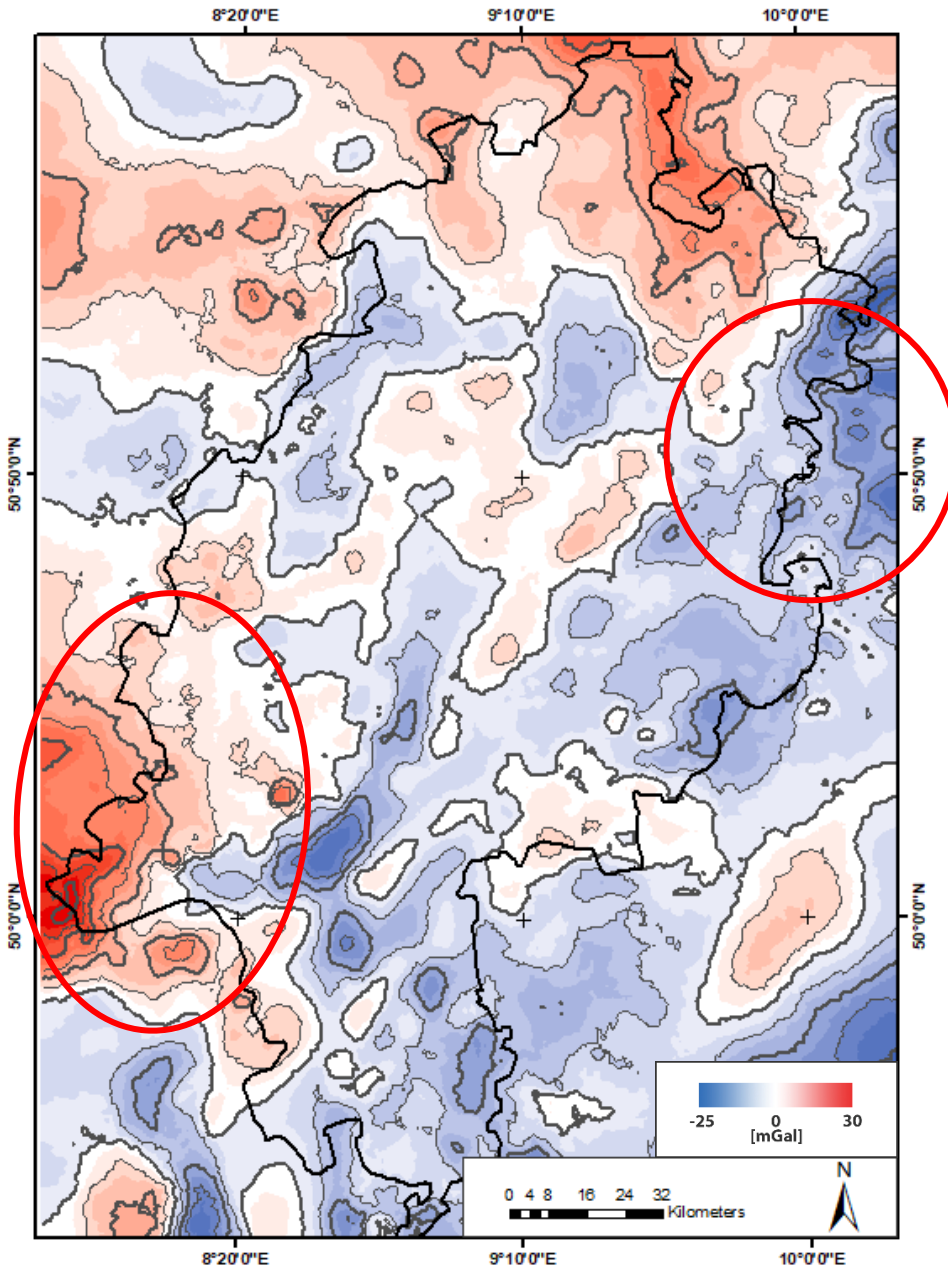
Ergebnisse

Spessart

Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

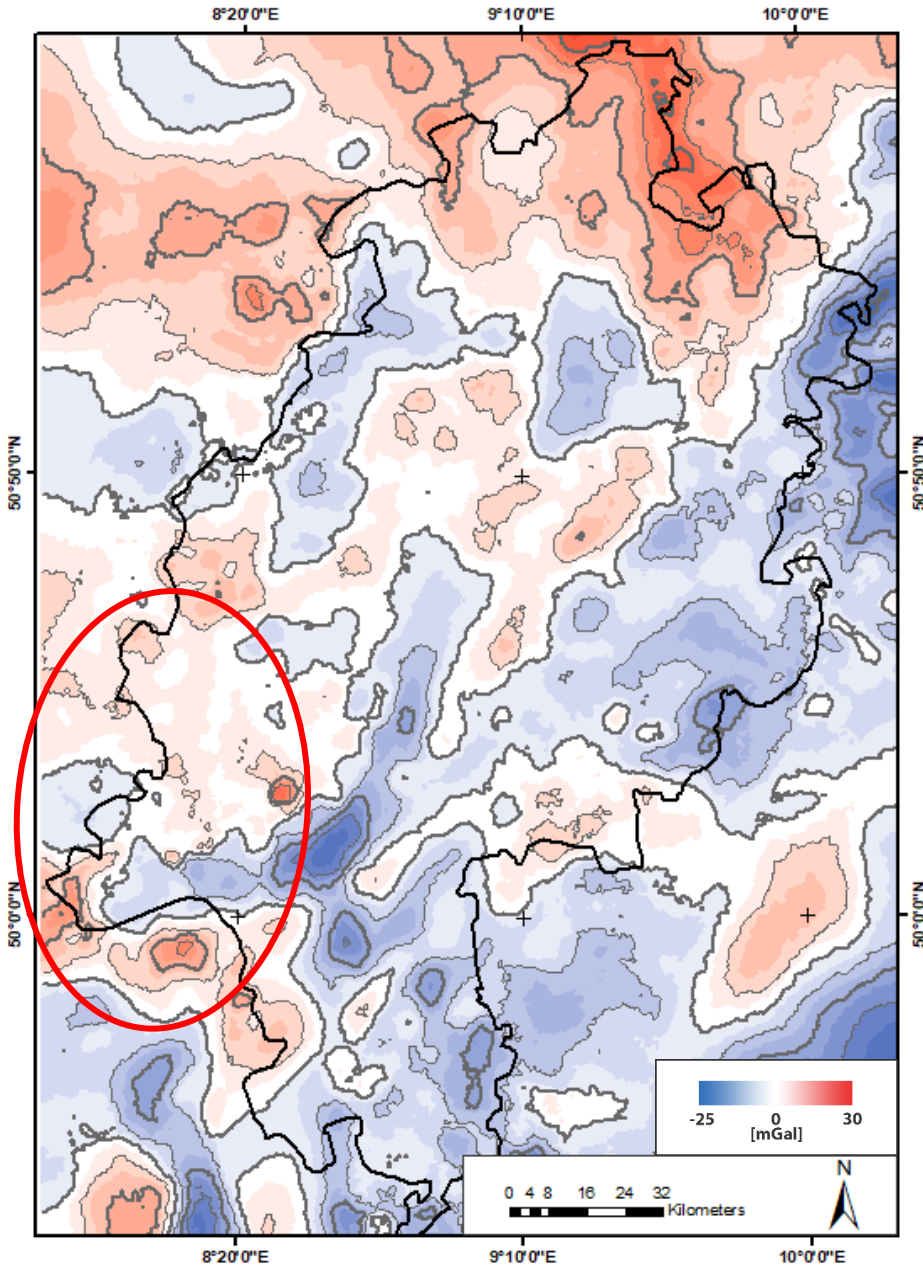
- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
- Grauwacken des nordöstlichen Schiefergebirges
- Gneis im nördlichen und nordöstlichen Spessart
- Dioritzug im südlichen und südöstlichen Spessart

Ergebnisse Zechstein



Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

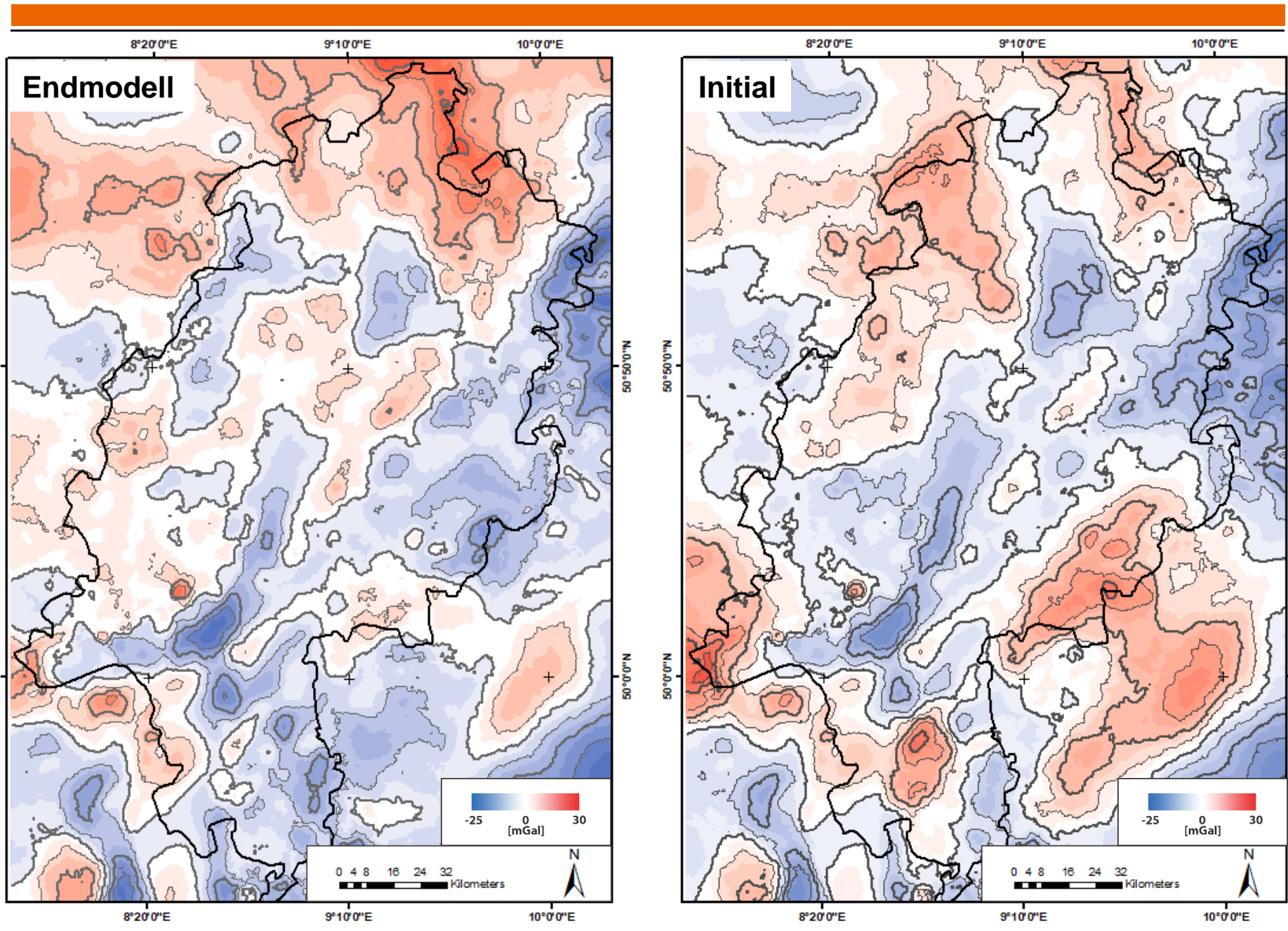
- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
- Grauwacken des nordöstlichen Schiefergebirges
- Gneis im nördlichen und nordöstlichen Spessart
- Dioritzug im südlichen und südöstlichen Spessart
- Zechsteinsalz im Werragebiet



Ergebnisse Initiales Modell

Innerhalb von Hessen konnte das Modell um 9 Modelleinheiten erweitert werden:

- Odenwald
 - Granit und Granodiorit
 - Diorit und Gabbro
 - Granit mit Amphibolit
- Metapelite im zentralen Rheinischen Schiefergebirge
- Grauwacken des nordöstlichen Schiefergebirges
- Gneis im nördlichen und nordöstlichen Spessart
- Dioritzug im südlichen und südöstlichen Spessart
- Zechsteinsalz im Werragebiet
- Metapelite im südwestlichen Schiefergebirge



Zusammenfassung:

- In „Hessen 3D 2.0“ wird ein geologisches 3D-Strukturmodell des Grundgebirges erstellt.
- Modelleinheiten werden an petrophysikalischen Kennwerten und Vergleichbarkeit der Lithologie definiert
- Durch die Gravimetriemodellierung konnten 8 Großstrukturen im Grundgebirge identifiziert werden

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung:

- In „Hessen 3D 2.0“ wird ein geologisches 3D-Strukturmodell des Grundgebirges erstellt.
- Modelleinheiten werden an petrophysikalischen Kennwerten und Vergleichbarkeit der Lithologie definiert
- Durch die Gravimetriemodellierung konnten 8 Großstrukturen im Grundgebirge identifiziert werden

Ausblick:

- Reprozessierung von DEKORP-Seismiklinien für die Strukturmodellierung des Grundgebirges
- Auswertung der erdmagnetischen Totalfeldanomalie
- Parametrisierung des geologischen 3D-Strukturmodells
- Berechnung des petrothermalen Potenzials

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Sebastian Weinert

weinert@geo.tu-darmstadt.de

Institut für Angewandte
Geowissenschaften
Fachgebiet Angewandte Geothermie

Schnittspahnstrasse 9

D-64287 Darmstadt

06151 16-22299

- Arndt, D., Bär, K., Fritsche, J.-G., Kracht, M., Sass, I., Hoppe, A. (2011): 3D structural model of the Federal State of Hesse (Germany) for geopotential evaluation. *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 162/4, pp. 353-369.
- Arndt, D. (2012): Geologische Strukturmodellierung von Hessen zur Bestimmung von Geopotenzialen. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. 199 S.
- Bär, K. (2012): Untersuchung der tiefengeothermischen Potenziale von Hessen. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. 297 S.
- Freymark, J., Sippel, J., Scheck-Wenderoth, M., Bär, K., Stiller, M., Kracht, M., Fritsche, J.-G. (2015): Heterogeneous crystalline crust controls the shallow thermal field – a case study of Hessen (Germany). *Energy Procedia*, 76, pp.331-340.
- Hirschmann, G. (1995): Mid German Crystalline High - Lithological Characteristics. In: Dallmeyer, R.D., Franke, W. & Weber, K. (eds.) (1995): *Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. – IGCP Project, 233, Tectonic Series*, Berlin (Springer): 155-166.
- Klügel, T. (1997): Geometrie und Kinematik einer variszischen Plattengrenze - Der Südrand des Rhenoherynikums im Taunus. - *Geol. Abh. Hessen*, 101: 215 S. 85 Abb., 8 Tab., 8 Taf., Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S.C., Factor, J. K. (2008): The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *JGeophys Res [Solid Earth]*; 117:B04406.
- Schmidt, S., Plonka, C., Götze, H. J., and Lahmeyer, B. (2011): Hybrid modelling of gravity, gravity gradients and magnetic fields, *Geophys. Prospect.*, 59, 1046–1051.
- Voges, A., Toloczyki, M., Trurnit, P. & Wittekindt, H. (1993): *Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000. - BGR, Hannover.*