

Steffen Ahlers<sup>1</sup> (ahlers@geo.tu-darmstadt.de), Luisa Röckel<sup>2</sup>, Andreas Henk<sup>1</sup>, Karsten Reiter<sup>1</sup>, Tobias Hergert<sup>1</sup>, Birgit Müller<sup>2</sup>, Frank Schilling<sup>2</sup>, Oliver Heidbach<sup>3</sup>, Sophia Morawietz<sup>3</sup>, Magdalena Scheck-Wenderoth<sup>3</sup>, Denis Anikiev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> TU Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften

<sup>2</sup> KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften

<sup>3</sup> Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

## Das Projekt SpannEnD

SpannEnD steht als Akronym für “**S**pannungsmodell **E**ndlagerung **D**eutschland”. Das Projekt ist eine Kooperation der TU Darmstadt, des KITs und des GFZs gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und betreut vom Projektträger Karlsruhe. Ziel des SpannEnD Projekts ist die kontinuierliche Vorhersage des 3-D Spannungstensors von Deutschland mit Hilfe eines geomechanischen Modells, da das tektonische Spannungsfeld ein entscheidender Parameter für die Auswahl eines zukünftigen Endlagerstandortes ist. Die Standortindikatoren der NAGRA werden beispielsweise zu etwa 40% von diesem beeinflusst (NAGRA, 2008). Das SpannEnD-Modell ist Standort und Wirtsgesteins unabhängig und umfasst neben den Grundgebirgseinheiten auch die Einheiten der sedimentären Bedeckung.

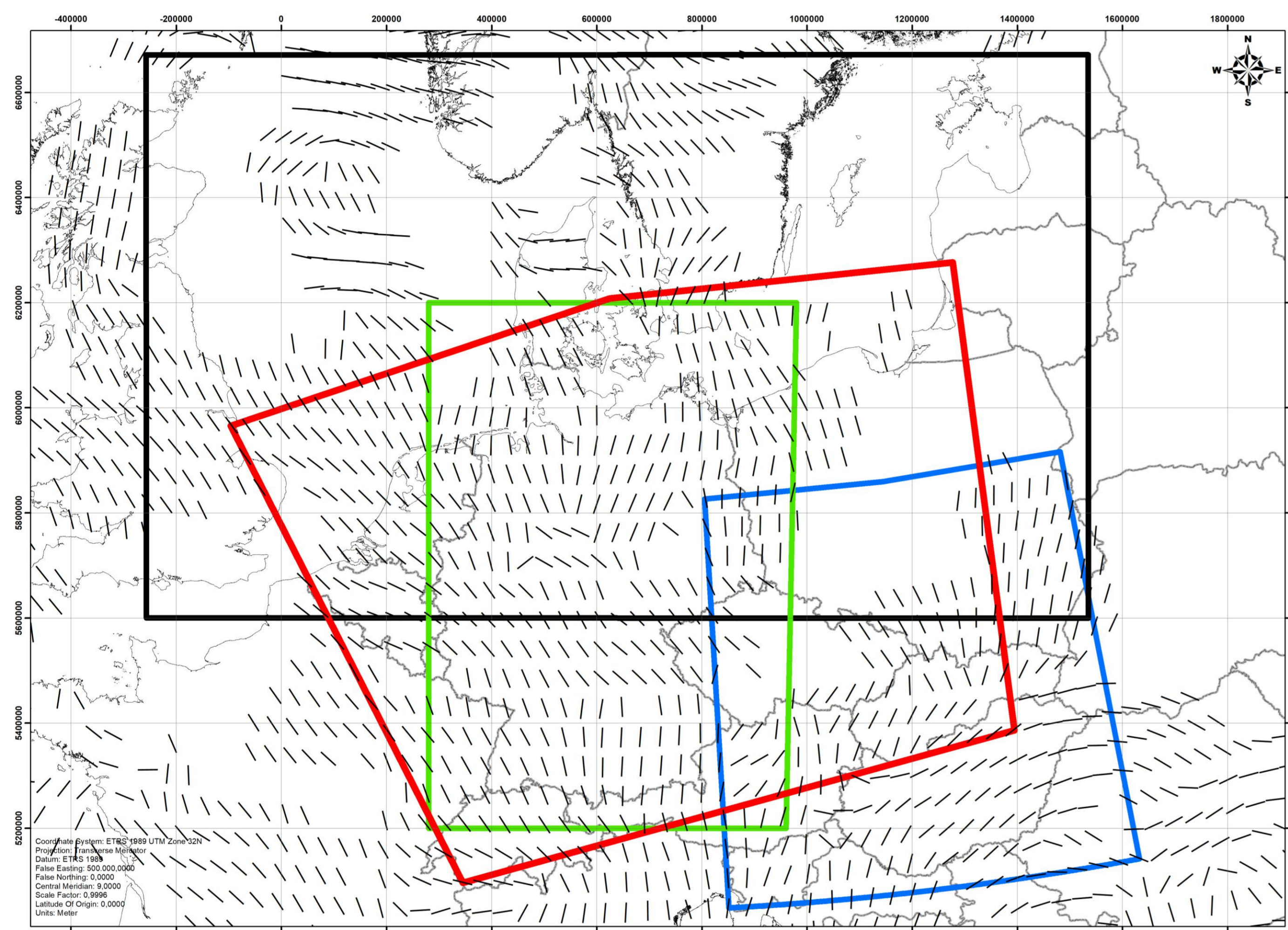


Abbildung 1: Gemittelte Orientierungen der größten horizontalen Hauptspannungen ( $S_{Hmax}$ ) aus der World Stress Map (WSM) (Heidbach, 2016) mit den Umrissen des SpannEnD-Modells und den zur Erstellung verwendeten Modellen. Umrisse: Rot = SpannEnD; Schwarz = Zentraleuropäisches Beckensystem (Maystrenko & Scheck-Wenderoth, 2013); Blau = Zentraleuropa (Tasarova et al., 2016); Grün = 3D Deutschland (Anikiev et al., 2019).

Das Modellgebiet wurde so gewählt, dass die Grenzen parallel oder senkrecht zu den Orientierungen der größten horizontalen Hauptspannungen ( $S_{Hmax}$ ) liegen und unter der Berücksichtigung großer tektonischer Strukturen. Für die Erstellung des Modells wurden hauptsächlich drei bereits existierende, großräumige Modelle verwendet. Dazu zählen: Das 3D Deutschland Modell (Grüner Umriss) von Anikiev et al. (2019), das Modell des Zentraleuropäischen Beckensystems (Schwarzer Umriss) von Maystrenko & Scheck-Wenderoth (2013) und das Modell Zentraleuropas (Blauer Umriss) von Tasarova et al. (2016). (Abbildung 1) Verbleibende Lücken wurden mit kleinräumigen Modellen und geophysikalischen Daten geschlossen. Die größte Herausforderung bei der Erstellung des SpannEnD-Modells ist das Fehlen von Störungen und die zum Teil unterschiedliche Definition der Schichtgrenzen. Für die Auswahl wichtiger Störungen wurden Daten erfasst, die als Grundlage für eine spätere Implementierung dienen sollen (Abbildung 2).

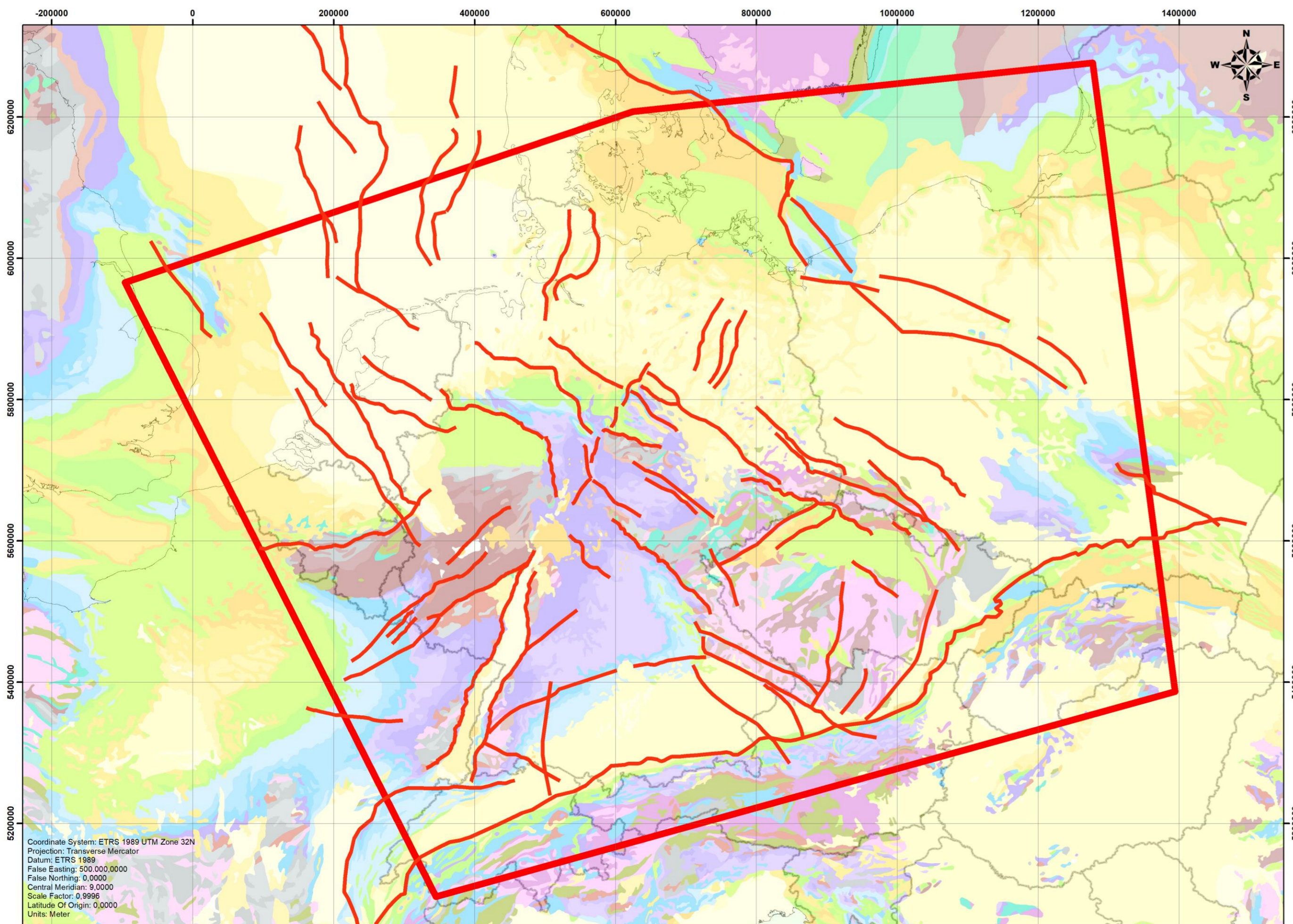


Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte (Asch, 2005) mit Umriss des SpannEnD-Modells und ausgewählten Störungen.

Anikiev, D.; Leichel, A.; Dacal, M. L. G.; Bott, J.; Cacace, M.; Scheck-Wenderoth, M. (2019). A three-dimensional lithospheric-scale thermal model of Germany. *Advanced in Geosciences* (submitted).

Asch, K. (2005). IGME 5000: 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas. BGR (Hannover).

Heidbach, O.; Rajabi, M.; Reiter, K.; Ziegler, M.; WSM Team (2016). World Stress Map Database Release 2016. V. 1.1. GFZ Data Services. DOI: <http://doi.org/10.5880/WSM.2016.001>

Maystrenko, Y.P.; Scheck-Wenderoth, M. (2013). 3D Lithosphere-scale density model of the Central European Basin System and adjacent areas. *Tectonophysics* 601, 53–77. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.04.023>

NAGRA. (2008). Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HMA-Lager. Begründung der Aufzuteilung der Barriersysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. NTB 08-05, ISSN 1015-2636. NAGRA, Wettingen, Schweiz.

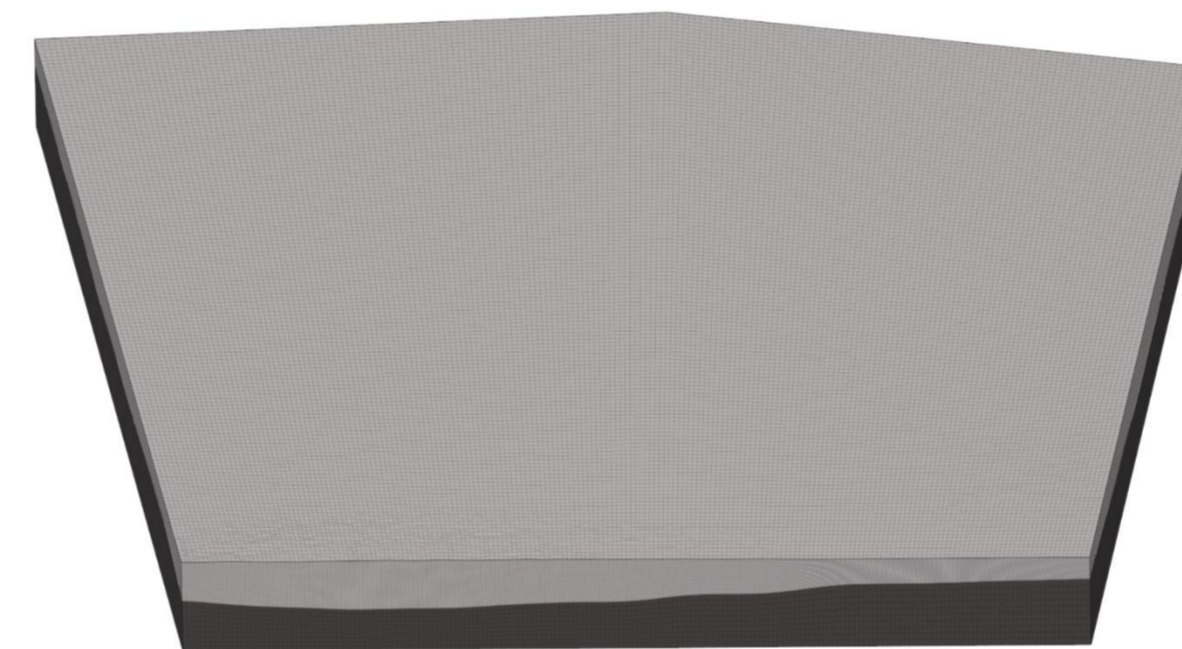
Tasarova, Z.A.; Fullea, J.; Bielek, M.; Sroda, P.; Alasonati Tasarova, Z.; Sroda, P. (2016). Lithospheric structure of Central Europe: Puzzle pieces from Pannonian Basin to Trans-European Suture Zone resolved by geophysical-petrological modeling. *Tectonics*, 35, 722–753. DOI: <http://doi.org/10.1002/2015TC003935>

Ziegler, M. O.; Ziebarth, M.; Reiter, K. (2019). Python Script Apple PY v1.0. GFZ Data Services. DOI: <http://doi.org/10.5880/wsm.2019.001>

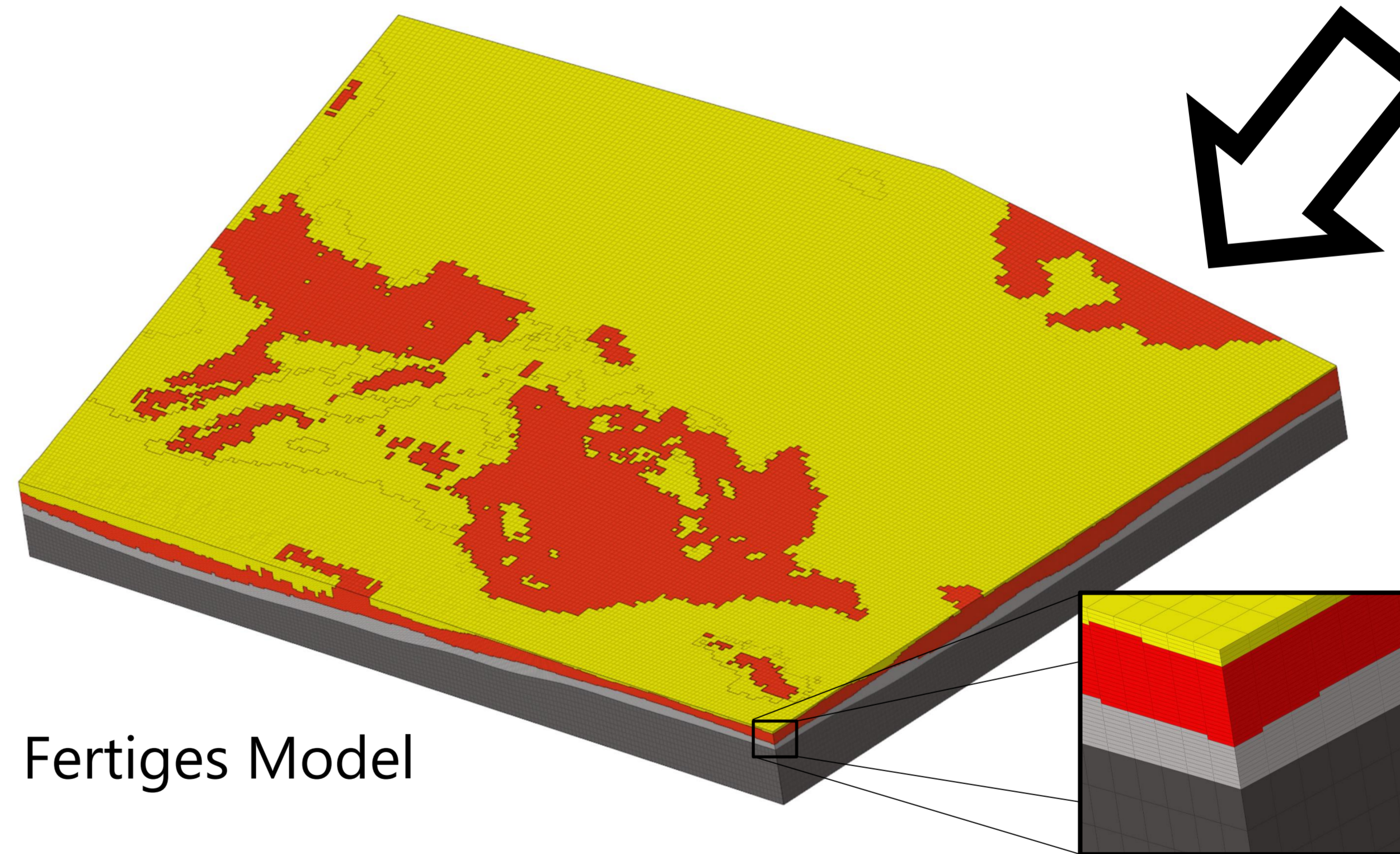
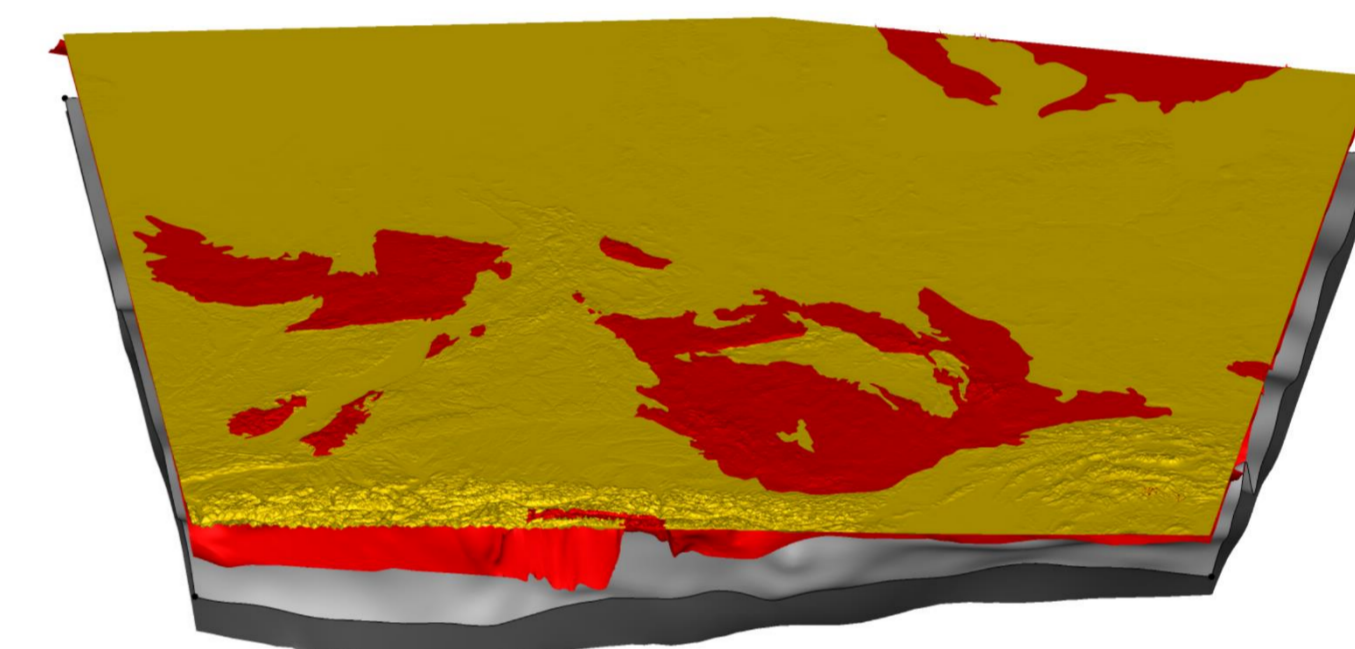
## Das Modell

Zurzeit besteht das Modell aus vier Schichten: Der sedimentären Bedeckung, dem kristallinen Grundgebirge, der unteren Kruste und dem lithosphärischen Mantel. Die Gesamtgröße des Modells beträgt 1000 km x 1400 km x 100 km. Bei einer lateralen Auflösung von 6 km x 6 km umfasst es zurzeit 1.500.000 Hexaeder. Die vertikale Auflösung variiert und verringert sich mit der Tiefe von 600 m an der Oberfläche auf 7.500 m an der Basis des Modells. Aufgrund der komplexen Geometrie, einzelner Schichten, wurde für die Diskretisierung das Skript ApplePy von Ziegler et al. (2019) verwendet. Im Gegensatz zu dem herkömmlichen Ansatz, jede Schicht einzeln zu vernetzen, wird das Modell als Ganzes vernetzt, wodurch ein regelmäßiges Gitternetz entsteht. ApplePy weist anschließend jedes einzelne Element seiner entsprechenden Schicht zu. Das Prinzip von ApplePy ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Kräftegleichgewicht zwischen Volumen- und Oberflächenkräften wird in einem inhomogenen Medium gelöst. Wichtige Eingangsgrößen sind Dichte und elastische Materialeigenschaften (E-Modul und Poissonzahl), die sich für jede Schicht unterscheiden, und Verschiebungsrandbedingungen über die der Eintrag von tektonischen Spannungen erfolgt.

### Regelmäßiges Gitternetz



### Geometrie

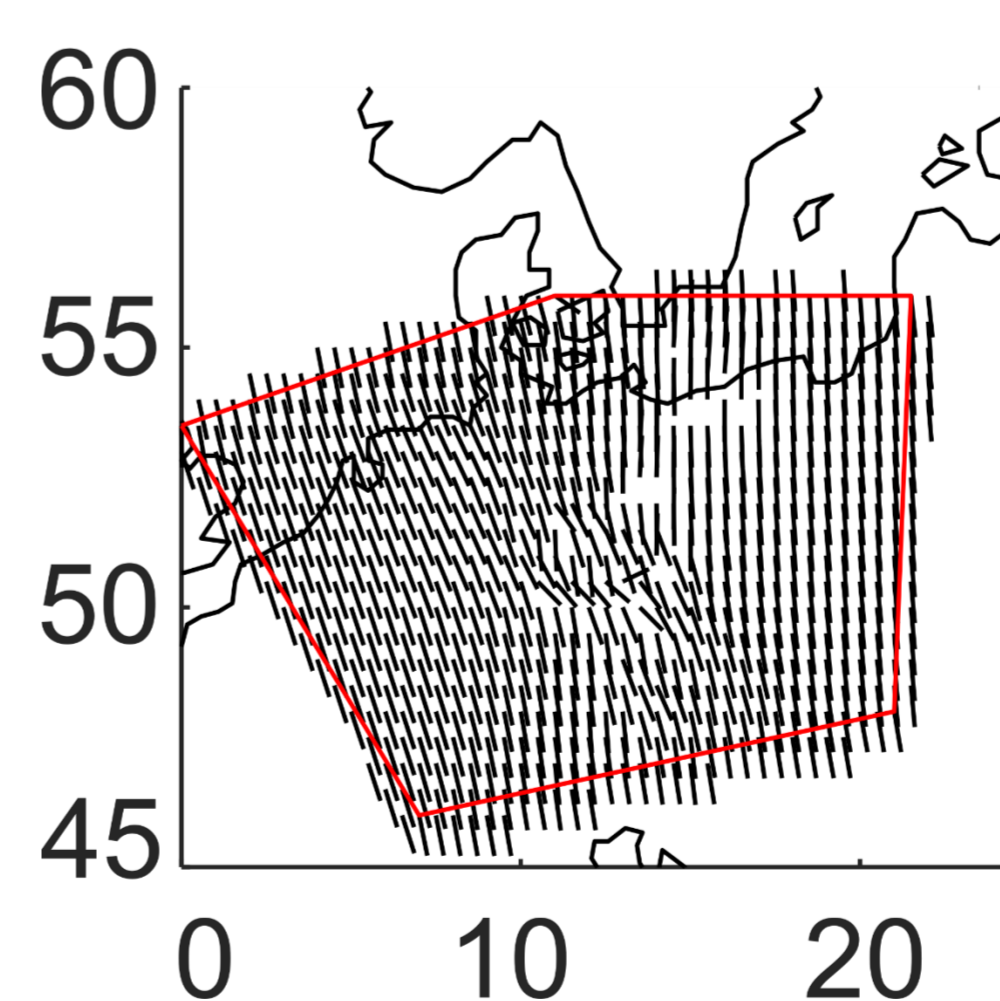


### Fertiges Modell

Abbildung 3: Prinzip der Modelldiskretisierung unter der Verwendung von ApplePy (Ziegler et al., 2019). Zuerst wird für ein stark vereinfachtes Modell, in diesem Fall bestehend aus zwei Schichten (Kruste und Mantel), ein Gitternetz erstellt. Anschließend wird dieses mit der Geometrie in ApplePy kombiniert. Das Ergebnis ist ein Modell mit einem einfachen Gitternetz, aber einer komplexen Geometrie.

## Erste Ergebnisse

### Orientierung von $S_{Hmax}$



### Rotation relativ zur WSM

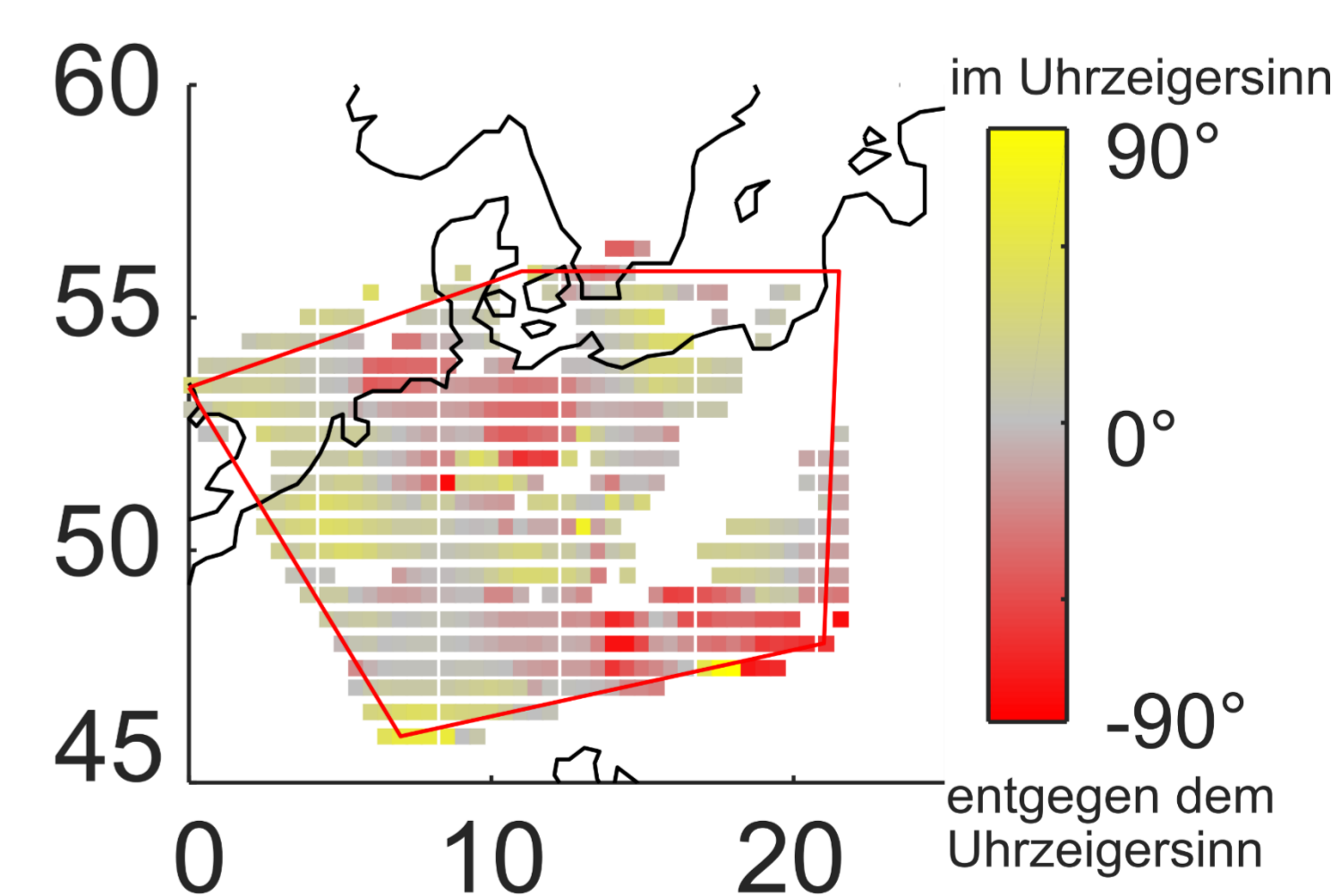


Abbildung 4: Ergebnisse des aktuellen “Best-Fit” Modells. Das Modell wurde am westlichen und östlichen Rand um jeweils 700 m gedehnt. Links sind die Orientierungen von  $S_{Hmax}$  in einer Tiefe von 5.000 m dargestellt, rechts ist die Rotation von  $S_{Hmax}$  relativ zu den Daten aus der WSM (Abbildung 1) abgebildet. Der Mittelwert der Abweichung beträgt 20°, der Median 3°.

## Geplante Arbeiten

- Erhöhung der Modellkomplexität (Unterteilung des Sedimentpakets, höhere Elementauflösung)
- Auswahl und Implementierung von Störungen
- Kalibrierung anhand von Magnitudendaten