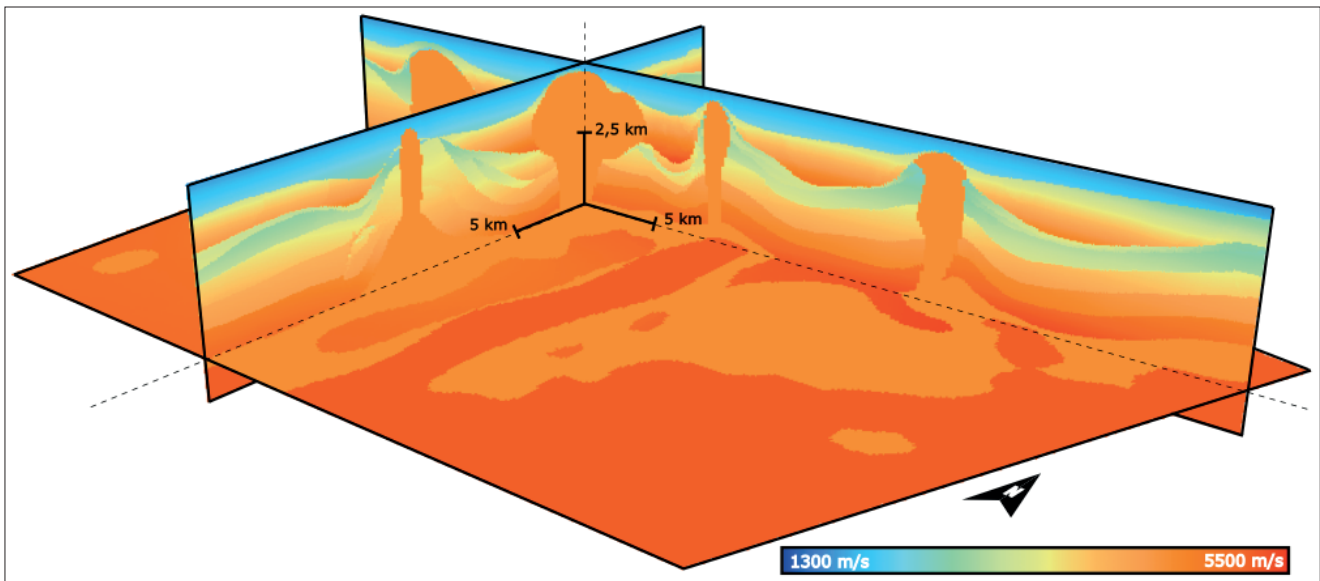


# GeoBerichte 56

LANDESAMT FÜR  
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



TUNB Velo 2.0 –  
Endbericht für das Teilprojekt  
Niedersachsen und Bremen



Niedersachsen





## GeoBerichte 56

Landesamt für  
Bergbau, Energie und Geologie

## TUNB Velo 2.0 – Endbericht für das Teilprojekt Niedersachsen und Bremen

CLAUDIA SCHIMSCHAL, SABINE SATTLER &  
JENNIFER ZIESCH

Hannover 2026

## Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2  
30655 Hannover  
Tel. (0511) 643-0

Download unter [www.lbeg.niedersachsen.de](http://www.lbeg.niedersachsen.de)

1. Auflage

Projektleitung: Dr. Jennifer Ziesch (10/2021–08/2022 und 05/2023–12/2025)  
Dr. Robert Schöner (08/2022–05/2023)

Projekt- Dr. Matthias Körbe (01/2022–04/2023)  
bearbeitung: Dr. Claudia Schimschal (10/2023–12/2025)

Projektlaufzeit  
Niedersachsen: 10/2021–12/2025

Berichtsdatum: 16.12.2025

Version: 12.03.2026

Redaktion: Ricarda Nettelmann  
Mail: [bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de](mailto:bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de)

Titelbild: Intervallgeschwindigkeiten der Kachel Celle (Grafik: Falko Malis).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober\_56\_2026

|         |           |           |         |        |      |               |
|---------|-----------|-----------|---------|--------|------|---------------|
| GeoBer. | <b>56</b> | S. 3 – 69 | 59 Abb. | 6 Tab. | Anh. | Hannover 2026 |
|---------|-----------|-----------|---------|--------|------|---------------|

## TUNB Velo 2.0 – Endbericht für das Teilprojekt Niedersachsen und Bremen

CLAUDIA SCHIMSCHAL, SABINE SATTLER & JENNIFER ZIESCH

### Kurzfassung

Im Rahmen des Verbundvorhabens TUNB Velo 2.0 wurde am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ein 3D-Geschwindigkeitsmodell des Norddeutschen Beckens für Niedersachsen und Bremen entwickelt. Das Projekt erfolgte in Zusammenarbeit mit den staatlichen geologischen Diensten von Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Mit den resultierenden Geschwindigkeitsmodellen wird das Norddeutsche Becken nahezu vollständig abgedeckt.

Am LBEG wurden regionale Intervallgeschwindigkeiten von der Basis Zechstein bis zur Geländeoberkante modelliert. In das Modell flossen 14 lithostratigraphische Horizonte sowie Salzstrukturen und Störungen ein, die überwiegend aus dem TUNB3D-Modell, ergänzend aus dem GTA3D-Modell und aus dem Paläogeographischen Atlas der Unterkreide stammen. Die Modellierung erfolgte in Aspen SKUA® V14.5, wobei aus einem Strukturmodell ein Volumenmodell erzeugt und mit seismischen Geschwindigkeiten parametrisiert wurde. Der regionale Geschwindigkeitsansatz basiert auf bestehenden Kartenwerken; die Intervallgeschwindigkeiten wurden mithilfe der v0-k-Methode abgeleitet. Große Teile Niedersachsens sind abgedeckt, während für Südniedersachsen und den Raum Osnabrück aufgrund unzureichender Datengrundlagen kein Modell erstellt werden konnte.

Da die beteiligten geologischen Dienste auf unterschiedlichen Datengrundlagen arbeiteten, wurden zur Harmonisierung der Intervallgeschwindigkeiten an den Ländergrenzen verschiedene neu entwickelte Methoden eingesetzt. Das großräumige Modell ersetzt keine lokalen Geschwindigkeitsstudien, stellt jedoch eine wichtige Grundlage für seismologische Analysen, Laufzeitberechnungen von Erdbebenwellen sowie für die Zeit-Tiefen-Umwandlung seismischer Daten dar. Eine Weiterentwicklung ist durch die Integration neuer Messungen und lokaler Studien vorgesehen. Das TUNB Velo 2.0-Modell ist unter <https://3d.lbeg.de/> veröffentlicht; weiterführende Geschwindigkeitsdaten sind auf Anfrage verfügbar.

## Inhalt

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>1. Allgemeines</b> .....  | <b>7</b>  |
| 1.1. Zielsetzung .....   | 7         |
| <b>2. Datengrundlage</b> .....   | <b>7</b>  |
| 2.1. Koordinatenreferenzsystem .....   | 7         |
| 2.2. Projektgebietsgrenze .....  | 7         |
| 2.3. Kachelung .....   | 7         |
| 2.4. Pilotregion .....   | 9         |
| 2.5. Digitales Geländemodell .....   | 10        |
| 2.6. Horizonte .....   | 10        |
| 2.7. Salzstrukturen .....  | 11        |
| 2.8. Störungen.....  | 11        |
| 2.9. Geschwindigkeitsdaten: Regionale Geschwindigkeitsmodelle .....                                  | 12        |
| 2.10. Geschwindigkeitsdaten: Seismik .....   | 16        |
| 2.11. Seismik.....   | 21        |
| <b>3. Datenaufbereitung</b> .....  | <b>22</b> |
| 3.1. Integration des Wealdens .....  | 22        |
| 3.2. Aufbereiten der $V_{NN100}$ -Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991).....                   | 25        |
| <b>4. Modellierprozesse: Erstellen eines Volumenmodells</b> .....                                    | <b>30</b> |
| 4.1. Erzeugen eines Volumenmodells .....   | 30        |
| 4.2. Verwenden eines Startprojekts .....   | 30        |
| 4.3. Erzeugen eines Volumenmodells über ein Voxet.....   | 30        |
| 4.4. Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow (SnS-Workflow) ..... | 31        |
| 4.4.1. Stratigraphische Säule.....   | 31        |
| 4.4.2. Umgang mit Salzstrukturen im SnS-Workflow .....   | 32        |
| 4.4.3. Definition des Volume of Interest .....   | 33        |
| 4.4.4. Erstellen von Störungsfeatures.....   | 33        |
| 4.4.5. Erstellen des Fault Network .....   | 33        |
| 4.4.6. Erstellen von Fault Blocks.....   | 33        |
| 4.4.7. Horizontmodellierung im Schritt Modeling Horizons .....                                       | 33        |
| 4.4.8. Erstellen des Geologic Grid .....   | 34        |
| <b>5. Modellierprozesse: Parametrisierung mit seismischen Geschwindigkeiten</b> .....                | <b>34</b> |
| 5.1. Zuweisen der Geschwindigkeiten im Voxet .....   | 34        |
| 5.2. Parametrisierung mittels Reservoir Properties (RP)-Workflow.....                                | 35        |
| 5.2.1. Geschwindigkeiten aus der Seismik .....   | 35        |
| 5.2.2. Erzeugen eines Geschwindigkeitsmodells nach dem $v_0$ -k-Ansatz .....                         | 36        |
| 5.3. Parametrisierung mittels Apply Script on Object .....   | 36        |
| 5.4. Übertragen der Geschwindigkeiten auf ein Voxet .....  | 36        |
| 5.4.1. Einfügen der Salzkörper als Regions im Voxet .....  | 37        |
| 5.4.2. Qualitätskontrolle .....  | 37        |
| 5.4.3. Umwandeln der Intervallgeschwindigkeiten in Durchschnittsgeschwindigkeiten .....              | 37        |
| <b>6. Grenzharmonisierung</b> .....  | <b>38</b> |
| 6.1. Grenze Niedersachsen – Schleswig-Holstein.....  | 38        |
| 6.2. Grenze Niedersachsen – Mecklenburg-Vorpommern .....   | 39        |
| 6.3. Grenze Niedersachsen – Brandenburg .....  | 41        |
| 6.4. Grenze Niedersachsen – Sachsen-Anhalt.....  | 43        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>7.</b>  | <b>Ergebnisse und Auswertung .....</b>  | <b>44</b> |
| 7.1.       | Workflow zum Erstellen des Volumenmodells und der Parametrisierung<br>mit seismischen Geschwindigkeiten ..... | 44        |
| 7.2.       | Wahl der modellierten Geschwindigkeiten .....   | 46        |
| 7.2.1.     | Geschwindigkeiten aus der Seismik .....   | 46        |
| 7.2.2.     | Das Geschwindigkeitsmodell nach JARITZ et al. (1991).....   | 48        |
| 7.3.       | Das TUNB Velo 2.0- Geschwindigkeitsmodell für Niedersachsen und Bremen.....                                   | 50        |
| 7.4.       | Umwandlung von Seismik von der Zeit- in die Tiefendomäne.....   | 53        |
| 7.5.       | Ungenauigkeiten .....   | 58        |
| <b>8.</b>  | <b>Ausblick .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>9.</b>  | <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>60</b> |
| <b>10.</b> | <b>Literatur.....</b>   | <b>60</b> |
| <b>11.</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>62</b> |
| 11.1.      | Datengrundlage.....   | 62        |
| 11.1.1.    | Salzstrukturen .....  | 62        |
| 11.2.      | Integration des Wealdens .....  | 66        |
| 11.3.      | Modellierungsschritte in Aspen SKUA® V14.5 .....  | 67        |
| 11.3.1.    | Modellierung des Wealdens.....  | 67        |
| 11.3.2.    | Aufbereiten der $V_{NN100}$ -Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991).....                                 | 67        |
| 11.3.3.    | Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow .....                              | 68        |

## Vorwort

Die nachhaltige und sichere Nutzung des geologischen Untergrundes ist eine zentrale Voraussetzung für eine zukunftsorientierte Energie-, Rohstoff- und Raumplanung. Moderne dreidimensionale Untergrundmodelle bilden hierfür eine unverzichtbare, wissensbasierte Grundlage. Sie ermöglichen es, komplexe geologische Strukturen realitätsnah abzubilden und belastbare Entscheidungen zu treffen – etwa zur tiefen Geothermie, zur Nutzung von Untergrundspeichern für Wasserstoff oder Erdgas sowie für raumplanerische Fragestellungen.

Vor diesem Hintergrund kommt dem Projekt TUNB Velo 2.0 eine besondere Bedeutung zu. Es leistet einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Zeit-Tiefen-Umwandlung seismischer Daten und erhöht damit die Planungssicherheit bei strukturgeologischen Interpretationen. In der Seismik bezeichnet der Zeitbereich die Darstellung des Untergrundes anhand der Laufzeiten seismischer Signale, bevor diese mithilfe von Geschwindigkeitsmodellen in Tiefen umgerechnet werden. Dies ist von hoher Relevanz, da am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie rund 75 Prozent der 3D- und etwa 83 Prozent der 2D-seismischen Daten ausschließlich im Zeitbereich vorliegen.

Mit dem im Rahmen von TUNB Velo 2.0 entwickelten Modell liegt erstmals ein konsistentes, regional harmonisiertes und flächendeckendes 3D-Geschwindigkeitsmodell für Niedersachsen und Bremen vor, eingebettet in den geologischen Kontext des Norddeutschen Beckens. Es stellt damit eine belastbare Grundlage im Übersichtsmaßstab dar – insbesondere für die Zeit-Tiefen-Umwandlung seismischer Daten sowie für seismologische Analysen, etwa zur präziseren Lokalisierung von Erschütterungen und Erdbeben.

Das Modell dient als regionaler Referenz- und Bezugsrahmen und ergänzt lokale Detailuntersuchungen, ersetzt diese jedoch nicht. Auf seiner Basis können künftig die im regionalen und lokalen Maßstab erforderlichen Anpassungen an komplexe strukturelle Verhältnisse, beispielsweise im Bereich von Salzstrukturen sowie an Bohrdaten gezielt vorgenommen werden.

Besonders hervorzuheben ist die erfolgreiche länderübergreifende Zusammenarbeit zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den staatlichen geologischen Diensten Norddeutschlands. Das Projekt zeigt beispielhaft, wie effiziente föderale Kooperation gelingen kann – auch und gerade im Umgang mit heterogenen und teilweise ausschließlich zeitbasierten Datenbeständen. Diese Herausforderungen haben zugleich wichtige Impulse für methodische Weiterentwicklungen und eine stärkere Standardisierung in der Untergrundmodellierung gegeben.

Die digitale Bereitstellung der Ergebnisse über das 3D-Portal NIBIS3D des LBEG unterstreicht den Anspruch an Transparenz, Serviceorientierung und eine moderne, leistungsfähige Dateninfrastruktur. Der Zugang zu qualitätsgesicherten geowissenschaftlichen Informationen wird damit für Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft nachhaltig verbessert.

Mein ausdrücklicher Dank gilt allen an dieser Publikation beteiligten Fachbehörden, Projektpartnerinnen und -partnern sowie den Mitarbeitenden der beteiligten Häuser. Die engagierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit dieses Teams bildete die Grundlage für den Erfolg von TUNB Velo 2.0.

Zugleich ist dieses Geschwindigkeitsmodell kein Endpunkt, sondern ein wichtiger Meilenstein für die künftige Weiterentwicklung. Mit neuen seismischen Daten, zusätzlichen Bohrinformationen und weiterentwickelten Methoden wird das 3D-Modell künftig kontinuierlich fortgeschrieben und verbessert. Damit bleibt es ein tragfähiges Fundament für eine verantwortungsvolle und zukunftsfähige Nutzung des geologischen Untergrundes in Niedersachsen und Bremen.

Ich wünsche Ihnen eine informative und anregende Lektüre.

Carsten Mühlenmeier

Präsident LBEG

# 1. Allgemeines

Im Rahmen des Projekts Tieferer Untergrund Norddeutsches Becken (TUNB, OBST & VON GOERNE 2025) wurde zwischen 2014 und 2022 ein umfassendes 3D-Strukturmodell für das Norddeutsche Becken erstellt. Im nachfolgenden TUNB Velo 2.0-Projekt wurde das Strukturmodell in ein Volumenmodell umgewandelt und mit seismischen Geschwindigkeiten parametrisiert. Das TUNB Velo 2.0-Projekt hatte in Niedersachsen ursprünglich eine Laufzeit vom 01.10.2021 bis zum 30.09.2025, die Anfang 2025 bis zum 31.12.2025 verlängert wurde. Das Projekt basiert auf der Verwaltungsvereinbarung vom 27.07.2021 zwischen der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), und dem Bundesland Niedersachsen, vertreten durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG).

## 1.1. Zielsetzung

Das Projekt ist in vier Phasen untergliedert. In der ersten Phase 1.1 (6 Monate) lag der Fokus auf der Datensichtung und Datenbeschaffung, um eine Pilotregion zu identifizieren. Zudem sollten in dieser Phase Konzepte für ein einheitliches Vorgehen trotz heterogener Datenbestände der Projektpartner entwickelt werden, um eine Harmonisierung der Geschwindigkeitsmodelle zu erreichen.

In der anschließenden Phase 1.2 (12 Monate) war das Ziel, ein Geschwindigkeitsmodell für die Pilotregion zu erstellen. Dabei wurden mögliche Workflows getestet, und eine Best Practice Methode sollte gefunden werden. Die entwickelten Methoden inklusive Genauigkeitsbetrachtungen wurden dokumentiert.

In Phase 2 (20 Monate) war das Ziel, Geschwindigkeitsmodelle für die Teilregionen innerhalb der durch das TUNB3D-Modell abgedeckten Fläche Niedersachsens und Bremens zu erstellen. Hierbei war eine möglichst flächendeckende Abdeckung anzustreben.

In Phase 3 (6 Monate) sollte die grenzübergreifende Harmonisierung abgeschlossen werden.

Die letzte Phase 4 (4 Monate) diente dem Erstellen des Abschlussberichts.

# 2. Datengrundlage

## 2.1. Koordinatenreferenzsystem

Im Projekt wird für Niedersachsen als Koordinatenreferenzsystem das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS89) in Verbindung mit dem UTM-Koordinatensystem (UTM32 Nord) und Zonenkennziffer 32 verwendet (EPSG:4647 - ETRS89 / UTM zone 32N (zE-N)).

## 2.2. Projektgebietsgrenze

Als Grenze des Projektgebietes zu anderen Bundesländern wurden die Landesgrenzen aus dem Datensatz Verwaltungsgebiete 1 : 250.000 (VG250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) verwendet (Stand: 31.12.2013). Dies entspricht der beim TUNB-Projekt verwendeten Grenze.

## 2.3. Kachelung

Das zugrundeliegende TUNB3D-Modell für Niedersachsen und Bremen wurde in 20 separaten Kacheln modelliert (SATTLER et al. 2022). Diese Einteilung wird auch für die Modellierung innerhalb des TUNB Velo 2.0-Projekts verwendet. Tabelle 1 liefert eine Übersicht der Kachelnamen und zugehörigen Kürzel, und Abbildung 1 zeigt die Lage der Kacheln und Kachelgrenzen. Die Kachel Hameln ist grau dargestellt, da diese nicht im Rahmen des TUNB Velo 2.0-Projekts modelliert wurde (siehe Kapitel 2.9 „Geschwindigkeitsdaten: Regionale Geschwindigkeitsmodelle“).

Tab. 1: Verwendete Kürzel und dazugehörige Kachelnamen (SATTLER et al. 2022).

| Kachelkürzel | Kachelname   | Kachelkürzel | Kachelname       |
|--------------|--------------|--------------|------------------|
| AUR          | Aurich       | NOH          | Nordhorn         |
| BHV          | Bremerhaven  | NOR          | Norden           |
| BRS          | Braunschweig | OLD          | Oldenburg        |
| CEL          | Celle        | OSN          | Osnabrücker Land |
| DAN          | Dannenberg   | SOL          | Soltau           |
| EMS          | Emsland      | UEL          | Uelzen           |
| HAM          | Hameln       | VEC          | Vechta           |
| HAN          | Hannover     | VER          | Verden           |
| HBR          | Bremen       | WHV          | Wilhelmshaven    |
| HIL          | Hildesheim   | WIN          | Winsen (Luhe)    |

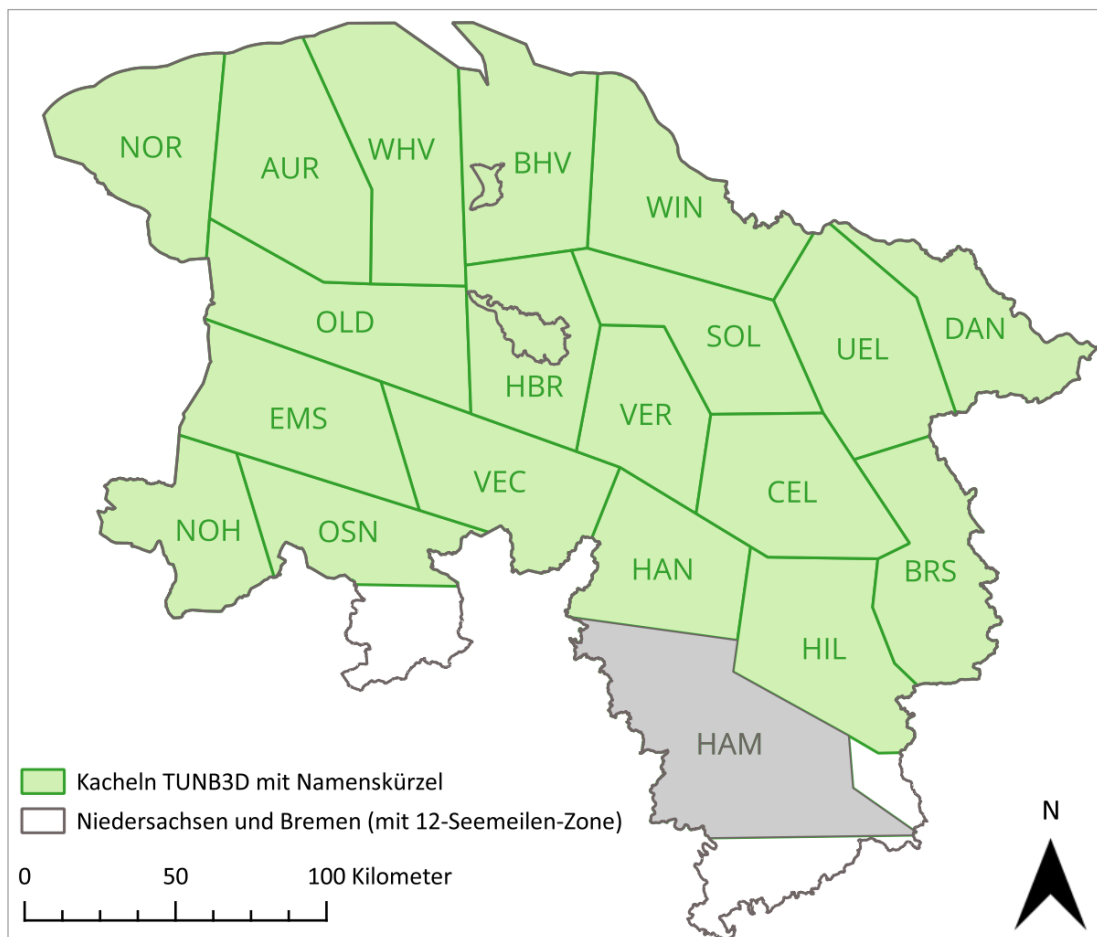


Abb. 1: Beim TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete Kacheln aus dem TUNB-Projekt (SATTLER et al. 2022). (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

## 2.4. Pilotregion

Zum Testen des Workflows und der Methoden zur Erstellung eines mit seismischen Geschwindigkeiten parametrisierten Volumenmodells wurde eine Pilotregion festgelegt. Getestet wurde dabei der Workflow zur Erstellung des Volumenmodells, die Methodik der Parametrisierung, die Wahl der seismischen Geschwindigkeiten und Möglichkeiten der Harmonisierung der Geschwindigkeiten entlang der Grenzen. Die Pilotregion umfasst ein Gebiet mit Landesflächen aller beteiligten staatlichen geologischen Dienste und damit auch gemeinsame Grenzen mit den benachbarten Projektpartnern. Die Geologie der Region weist die für Norddeutschland typische Salztektonik auf, und alle Bundesländer haben ähnliche strukturelle Bedingungen. Die verfügbaren Geschwindigkeitsinformationen sind ebenfalls hinsichtlich

ihrer Quelle für alle Bundesländer ähnlich und umfassen Checkshot-Messungen in Bohrungen, vereinzelte Sonic-Log-Messungen aus Bohrungen, seismische Processing-Geschwindigkeiten sowie bereits bestehende regionale Geschwindigkeitsmodelle. Im Vergleich zur Pilotregion aus dem TUNB-Projekt (Abb. 2: blaue Linie) wurde die Pilotregion im Süden um ca. 30 km an der Grenze zu Sachsen-Anhalt nach Westen erweitert (Abb. 2: rote Linie), um weitere Bohrungen mit Geschwindigkeitsinformationen einzubeziehen sowie den Salzstock Wustrow abzudecken. Für dessen Gebiet liegen 2D-Tiefenmigrations-Ergebnisse vor. Die Pilotregion entspricht für den niedersächsischen Teil weitestgehend der TUNB-Kachel Dannenberg. Diese reicht im Süden noch maximal 12 km weiter nach Westen.

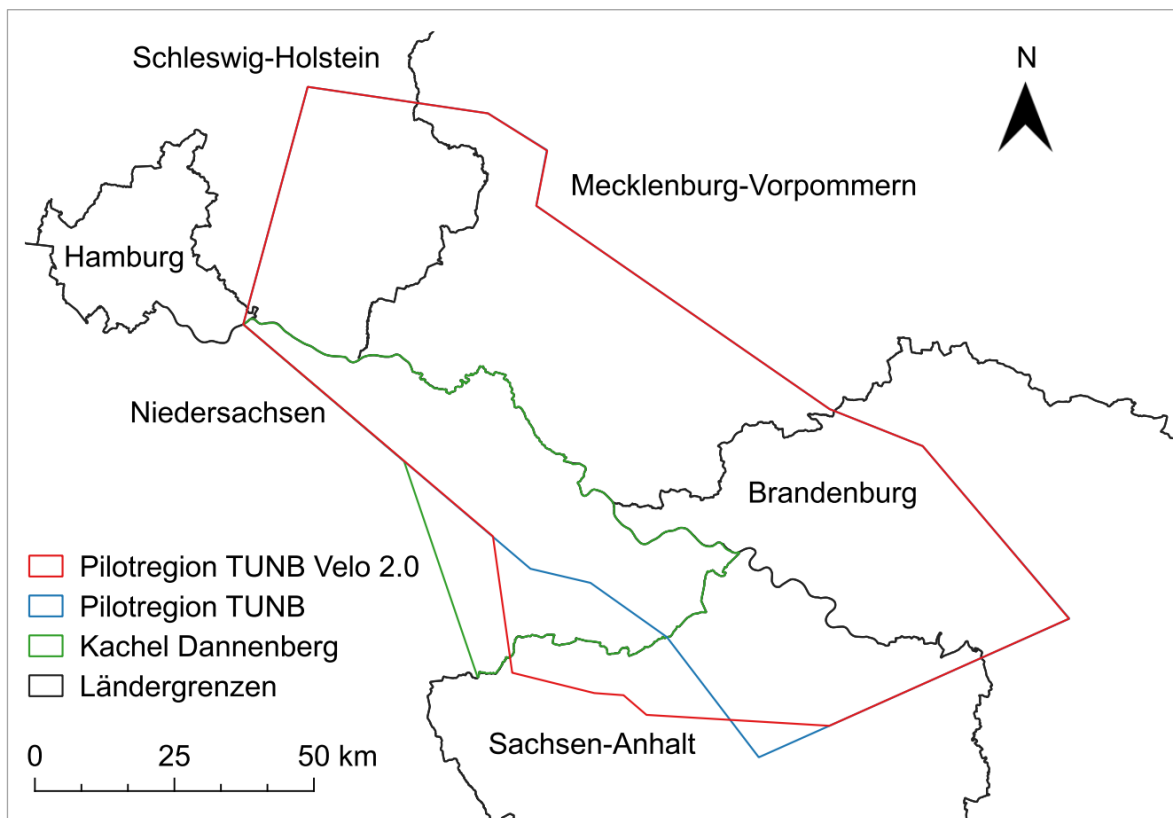


Abb. 2: Ländergrenzen mit der Pilotregion beim TUNB-Projekt (blau) und beim TUNB Velo 2.0-Projekt (rot). Außerdem ist die Grenze der Kachel Dannenberg eingezeichnet (grün). (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

## 2.5. Digitales Geländemodell

Als obere Schichtgrenze wird für das Modell das digitale Geländemodell (DGM) verwendet. Es wurde im Projekt „GTA3D – Der Geotektonische Atlas als 3D-Modell“ (2012) erstellt und hat ein regelmäßiges Raster von 250 m (BOMBIEN et al. 2012).

## 2.6. Horizonte

Als Grundlage für die Modellierung der Geschwindigkeiten wurden die Horizonte, Salzstrukturen und Störungen aus dem TUNB3D-Modell (SATTLER et al. 2022) verwendet.

Als zusätzliche Schicht wird das Wealden eingefügt, da dieser in der verwendeten regionalen Geschwindigkeitsanalyse (Kapitel 2.9 „Geschwindigkeitsdaten: Regionale Geschwindigkeitsmodelle“) separat betrachtet wurde. Die Modellierung des Wealdens basierte auf den

TK200-Kartenblättern der Mächtigkeitskarte des Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967). Zudem wurden geologische Schnitte hinzugezogen, die im Rahmen des Geotektonischen Atlas (GTA)-Projektes (KOCKEL 1998) auf Basis von Seismik-Daten erstellt wurden und in den Berichten zu den einzelnen TK100-Kacheln veröffentlicht sind (BALDSCHUHN et al. 1996, 2001). Somit untergliedert sich im TUNB Velo 2.0-Projekt die Schicht Oberjura und Wealden (jo-Wd) aus dem TUNB3D-Modell in den Malm und das darüber liegenden Wealden.

Tabelle 2 liefert eine Zusammenfassung der verwendeten Horizonte mit ihrem stratigraphischen Alter, den vorherrschenden Gesteinsarten, der zugehörigen Bezeichnung und den verwendeten Abkürzungen. Die beiden im Vergleich zum TUNB-Projekt veränderten Schichten sind hervorgehoben.

Tab. 2: Im TUNB Velo 2.0-Projekt modellierte geologische Horizonte.

| Abk. TUNB Velo 2.0 | Bezeichnung LBEG            | Stratigraphisches Alter*  | Gesteinsart**   | Abk. TUNB | Bezeichnung TUNB-Projekt |
|--------------------|-----------------------------|---|---|-----------|--------------------------|
| dgm                | Digitales Geländemodell     |   |   | GOK       | Erdoberfläche            |
| tolm-tolo          | Rupel bis Oberoligozän      | Mittelloligozän und Oberoligozän: Basis Mitteloligozän (Rupel) (NP23) bis jüngstes Oberoligozän (Neochatt) (NP25) | Ton, Sand   | tolR      | Basis Rupelium           |
| tpao-teou          | Oberpaläozän bis Untereozän | Oberpaleozän und Untereozän: Basis Oberpaleozän (Landen) (NP8) bis zum jüngsten Untereozän (Untereozän 4) (NP13)  | Ton, Sand, Braunkohle                                     | t         | Basis Tertiär            |
| kro                | Oberkreide                  | Oberkreide: Basis der tiefsten Oberkreide (Cenoman) bis zum höchsten Dan  | Kalkstein, Mergelstein, örtlich Eisenerz                  | kro       | Basis Oberkreide         |
| kru                | Marine Unterkreide          | Unterkreide: Basis der tiefsten marinen Unterkreide (Valangin) bis zur höchsten Unterkreide (Oberalb)             | Tonstein, Mergelstein, örtlich Sandstein                  | kru-marin | Basis marine Unterkreide |
| <b>Wd</b>          | <b>Wealden</b>              | <b>Basis des tiefsten Wealdens bis zum höchsten Wealden/Berrias (Bückeberg-Formation)</b>                         | Sandstein   | <b>jo</b> |                          |
| <b>jo</b>          | <b>Oberjura</b>             | <b>Malm: Basis des tiefsten Oberjuras (Oxford)</b>  | Gips-/Anhydritstein, Kalkstein, Mergelstein               | <b>jo</b> | <b>Basis Malm</b>        |
| jutco-jmclo        | Dogger                      | Dogger: Basis hoher Lias (Obertoarcium) bis zum obersten Dogger (Callovium)                                       | dunkelgrauer Tonstein, selten Sandstein, örtlich Eisenerz | jm        | Basis Dogger             |
| juhe-jutcu         | Lias                        | Lias: Basis tiefster Lias (Hettangium) bis zum Oberen Lias (Untertoarcium, Posidonien-Schiefer)                   | dunkelgrauer Tonstein, selten Sandstein, örtlich Eisenerz | ju        | Basis Lias               |

Tab. 2: Im TUNB Velo 2.0-Projekt modellierte geologische Horizonte (Fortsetzung).

| Abk. TUNB Velo 2.0 | Bezeichnung LBEG             | Stratigraphisches Alter*  | Gesteinsart**   | Abk. TUNB     | Bezeichnung TUNB-Projekt      |
|--------------------|------------------------------|---|---|---------------|-------------------------------|
| ko                 | Oberer Keuper                | Rhät (Oberer Keuper): Basis Rhät  | Sandstein, Tonstein, Mergelstein, Gips-/Anhydritstein               | ko            | Basis Rhät                    |
| ku-km              | Unterer bis Mittlerer Keuper | Keuper: Basis tiefster Keuper (Lettenkeuper) bis zum Oberen Keuper  | Sandstein, Tonstein, Mergelstein, Gips-/Anhydritstein               | ku            | Basis Unterer Keuper          |
| so-m               | Röt und Muschelkalk          | Röt und Muschelkalk: Basis Oberer Buntsandstein (Rötsalinar) bis zum Oberen Muschelkalk (Ceratitenschichten)            | Kalkstein, Mergelstein, Gips-/Anhydritstein, Tonstein               | so            | Basis Oberer Buntsandstein    |
| sm                 | Mittlerer Buntsandstein      | Mittlerer Buntsandstein: Basis Mittlerer Buntsandstein bis zum höchsten Mittleren Buntsandstein                         | roter Sandstein, Tonstein   | sm            | Basis Mittlerer Buntsandstein |
| su                 | Unterer Buntsandstein        | Unterer Buntsandstein: Basis tiefster Unterer Buntsandstein (Calvörde-Folge)  | roter Sandstein, Tonstein, örtlich Kalkstein                        | su            | Basis Unterer Buntsandstein   |
| z                  | Zechstein                    | Zechstein: Basis tiefster Zechstein (Kupferschiefer der Werra-Folge) (T1) bis zum höchsten Zechstein (Mölln-Folge) (z7) | Steinsalz, z. T. Kalisalz, Gips-/Anhydritstein, Kalkstein, Tonstein | z             | Basis Zechstein               |
|                    |                              |   |   | Top-Base-ment | Top Prä-Zechstein             |

\* nach SATTLER et al. (2022); \*\* nach HEUNISCH et al. (2017).

## 2.7. Salzstrukturen

Beim Erstellen der Volumenmodelle wurden die im TUNB-Projekt modellierten Salzstrukturen verwendet. Zusätzlich wurden nicht im TUNB-Projekt verwendete Salzstrukturen, die im GTA3D (BOMBIEN et al. 2012) vorhanden sind, ebenfalls berücksichtigt. Dies betraf die Kacheln Braunschweig (Salzstrukturen: Calberlah, Ehmén, Nettgau, Örrél, Schneflingen-Ehra, Vorhop, Wesendorf, Weyhausen) und Celle (Salzstrukturen: Böstlingen-Sülze-Weesen-Lutterloh, Wathlingen, Wienhausen). In den Gebieten der Kacheln Braunschweig und Hannover existieren bekannte Salzstrukturen, die weder im TUNB-Projekt noch im GTA3D-Projekt modelliert wurden. Aufgrund der fehlenden Strukturinformation konnten diese auch nicht im TUNB Velo 2.0-Projekt berücksichtigt werden. Eine Übersicht über die vorhandenen und modellierten Salzstrukturen sowie deren Quelle kann Tabelle 6 im Anhang entnommen werden.

## 2.8. Störungen

Im Rahmen des TUNB Velo 2.0-Projekts wurden die im TUNB-Projekt modellierten Störungen ebenfalls verwendet. Aus modellertechnischen Gründen wurden die Störungen, die nur einen senkrechten Versatz in der Basis Zechstein darstellen, weggelassen. Die Basis Zechstein stellt die untere Begrenzung des Modells dar. Die Geschwindigkeitsverteilung des Modells wird daher kaum durch diese Störungen beeinflusst. Tabelle 3 liefert eine Übersicht über die Modellbestandteile der einzelnen Kacheln.

Tab. 3: Übersicht der Modellbestandteile der einzelnen Kacheln.

| Kachel        | Horizonte TUNB | Horizonte TUNB Velo 2.0 | Störungen TUNB | Störungen TUNB Velo 2.0 | Salzstrukturen TUNB | Salzstrukturen TUNB Velo 2.0 |
|---------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|
| AUR           | 14             | 15                      | 58             | 58                      | 15                  | 15                           |
| BHV           | 14             | 14                      | 27             | 27                      | 8                   | 8                            |
| BRS           | 14             | 15                      | 125            | 122                     | 0                   | 8                            |
| CEL           | 14             | 15                      | 131            | 126                     | 5                   | 8                            |
| DAN           | 14             | 15                      | 55             | 55                      | 11                  | 11                           |
| EMS           | 14             | 15                      | 124            | 122                     | 11                  | 11                           |
| HAN           | 14             | 15                      | 75             | 75                      | 0                   | 0                            |
| HBR           | 14             | 15                      | 87             | 86                      | 10                  | 10                           |
| HIL           | 14             | 15                      | 76             | 76                      | 8                   | 8                            |
| NOH           | 14             | 15                      | 114            | 114                     | 0                   | 0                            |
| NOR           | 12             | 12                      | 71             | 70                      | 8                   | 8                            |
| OLD           | 14             | 15                      | 86             | 86                      | 7                   | 7                            |
| OSN           | 14             | 15                      | 86             | 85                      | 0                   | 0                            |
| SOL           | 14             | 14                      | 54             | 54                      | 10                  | 10                           |
| UEL           | 14             | 15                      | 61             | 61                      | 11                  | 11                           |
| VEC           | 14             | 15                      | 141            | 141                     | 1                   | 1                            |
| VER           | 14             | 15                      | 79             | 58                      | 8                   | 8                            |
| WHV           | 14             | 15                      | 24             | 24                      | 8                   | 8                            |
| WIN           | 14             | 14                      | 36             | 36                      | 9                   | 9                            |
| <b>Gesamt</b> | <b>14</b>      | <b>15</b>               | <b>1594</b>    | <b>1476</b>             | <b>130</b>          | <b>141</b>                   |

### 2.9. Geschwindigkeitsdaten: Regionale Geschwindigkeitsmodelle

Für die westdeutschen Bundesländer (Niedersachsen und Schleswig-Holstein) erstellten JARITZ et al. (1991) im Rahmen des Projekts GTA ein regionales Geschwindigkeitsmodell für das Nordwestdeutsche Becken. Es basiert auf der Auswertung von etwa 1000 Geophonversenkmessungen (GVM) aus Tiefbohrungen, Vertical-Seismic-Profiling (VSP)-Messungen von etwa 300 Bohrungen sowie Betrachtungen zur regionalen Geologie, wie beispielsweise der lokalen Absenkungshistorie der geologischen Schichten. Das Geschwindigkeitsmodell basiert

auf dem „v0-k-Ansatz“. Dabei werden die Intervallgeschwindigkeiten in den einzelnen Schichten aus einer theoretischen Oberflächengeschwindigkeit ( $v_0$ , im Folgenden wie bei JARITZ et al. (1991) als  $V_{NN}$  bezeichnet) und einem schichtabhängigen Gradienten  $k$  berechnet. JARITZ et al. (1991) stellten die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten  $V_{NN}$  in Karten für 10 Sedimentschichten von Tertiär bis Unterer Buntsandstein dar. In der Publikation von JARITZ et al. (1991) sind dies Übersichtskarten der theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten  $V_{NN}$  für ganz Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die publizierte Karte für die Oberkreide.

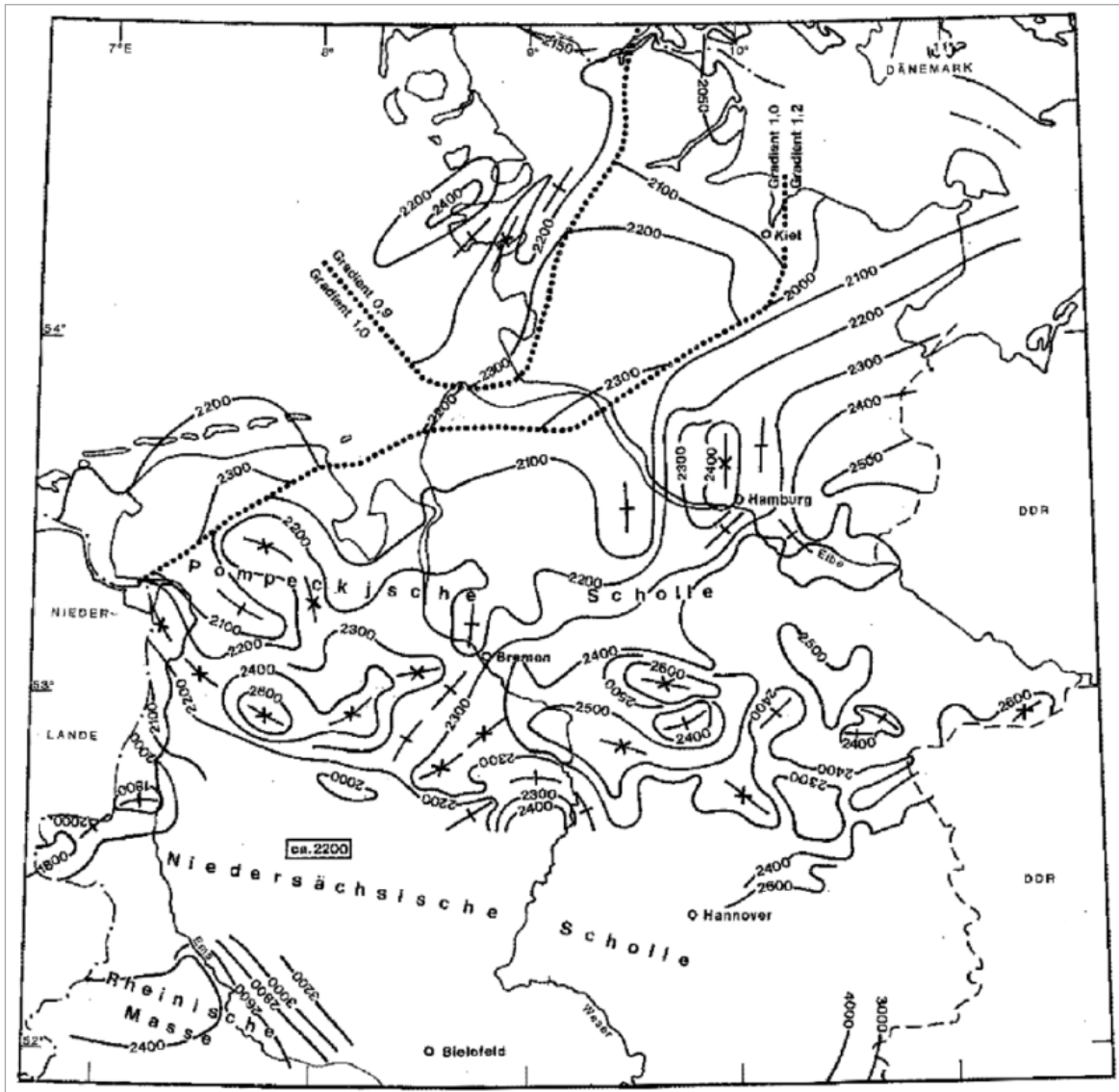


Abb. 3: Von JARITZ et al. (1991) publizierte Karte der Oberflächengeschwindigkeit  $V_{NN}$  für die Oberkreide.

Zusätzlich existieren auch die TK100-Arbeitskarten der Arbeitsgruppe von JARITZ et al. (1991). Für Niedersachsen sind die vorhandenen Arbeitskarten in Abbildung 4 dargestellt. Die Kartenblätter C3106 Lathen und C3110 Papenburg, die im Bereich der TUNB-Kacheln Emsland und Oldenburg liegen, sind für alle Schichten verloren gegangen. Hier wurden die Werte anhand der Karten aus der Publikation (JARITZ et al. 1991) interpoliert.

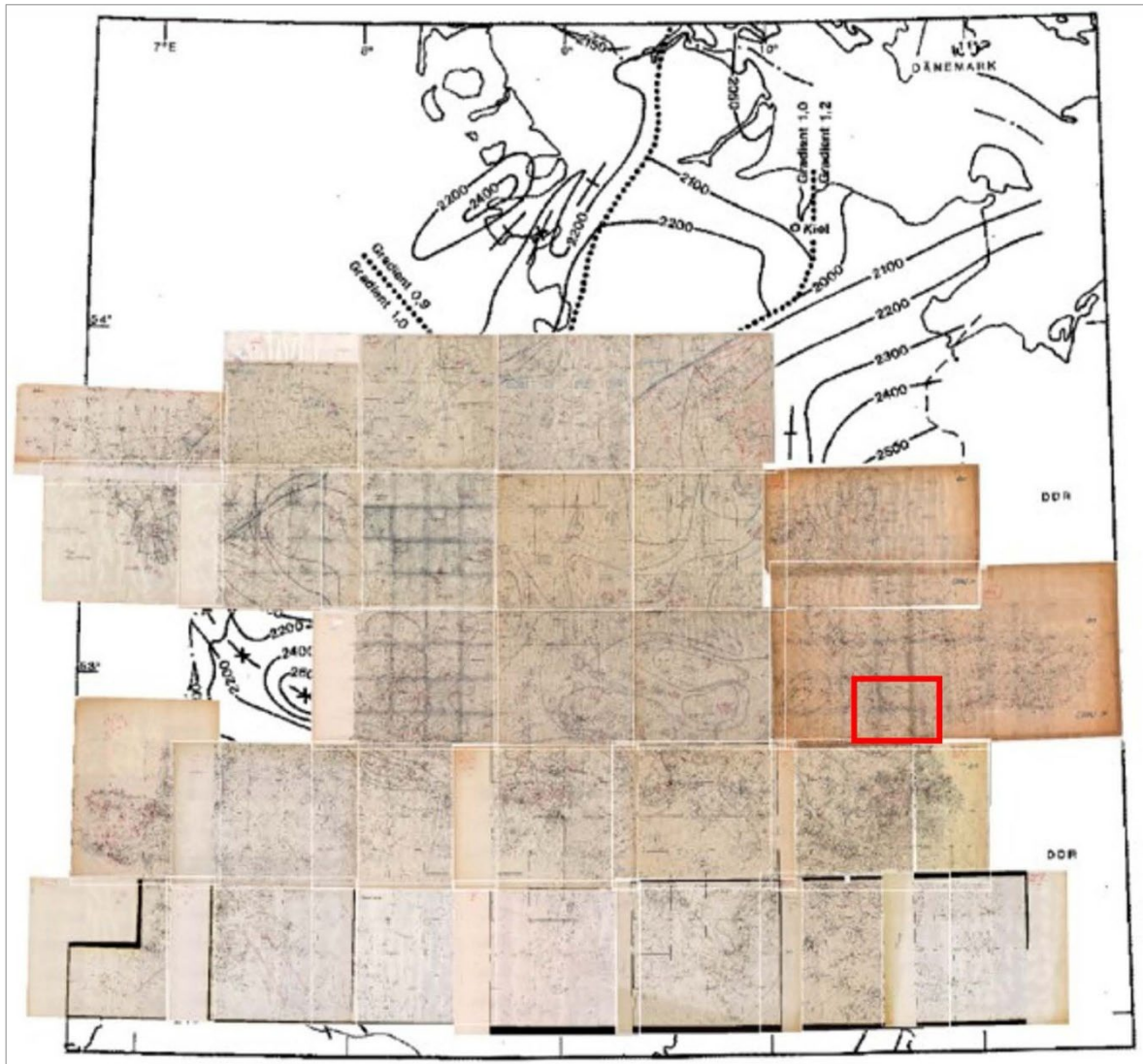


Abb. 4: Vorhandene TK100-Arbeitskarten der Oberflächengeschwindigkeiten für Niedersachsen, beispielhaft für die Oberkreide.

Abbildung 5 zeigt den in Abbildung 4 rot markierten Bereich aus der Kachel Uelzen für die Oberkreide vergrößert. Hier ist der Umriss des Salzstocks Niendorf-II-Bodenteich schwarz dargestellt. Die Bohr-Lokationen, für die den Autoren Geschwindigkeitsinformationen für die Oberkreide zur Verfügung standen, sind als rote

Punkte markiert. Daneben ist die für diese Bohrung berechnete theoretische Oberflächengeschwindigkeit rot notiert. Daraus haben die Autoren Isolinien gleicher  $V_{NN}$ -Werte abgeleitet und mit Bleistift in die Karte eingezeichnet. Für die Geschwindigkeitsmodellierung wurden diese Arbeitskarten digitalisiert und verwendet.

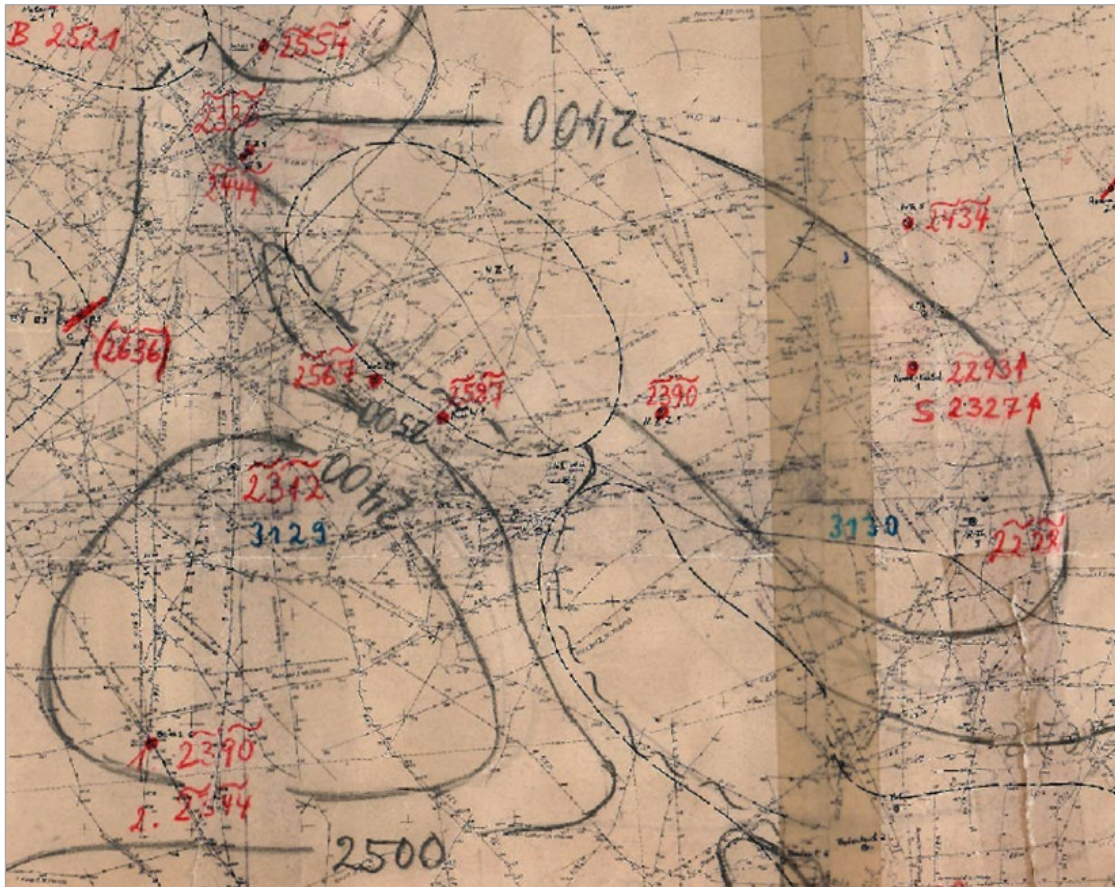


Abb. 5: Ausschnitt aus der Arbeitskarte von JARITZ et al. (1991) im Gebiet der Kachel Uelzen für die Oberkreide.

Zu jeder dieser Schichten bestimmten JARITZ et al. (1991) einen Gradienten  $k$ . Tabelle 4 liefert einen Überblick über die im TUNB3D-Modell erstellten Horizonte, die Schichteinteilung von JARITZ et al. (1991) und den zugehörigen Gradienten.

Tab. 4: Im TUNB3D-Modell modellierte Horizonte, Horizonte mit Geschwindigkeitsinformationen nach JARITZ et al. (1991) und zugehöriger Gradient.

| TUNB3D-Modell                | Modell nach JARITZ et al.           | Gradient |
|------------------------------|-------------------------------------|----------|
| Rupel bis Oberoligozän       | Tertiär und Quartär                 | 0,7      |
| Oberpaläozän bis Untereozän  |                                     |          |
| Oberkreide                   | Oberkreide                          | 1,2–0,9  |
| Marine Unterkreide           | Unterkreide                         | 0,8      |
| Oberjura und Wealden         | Wealden                             | 0,7      |
|                              | Malm                                | 0,2      |
| Dogger                       | Dogger                              | 0,5      |
| Lias                         | Lias                                | 0,5      |
| Oberer Keuper                | Keuper                              | 0,5      |
| Unterer bis mittlerer Keuper |                                     |          |
| Röt und Muschelkalk          | Röt und Muschelkalk                 | 0,3      |
| Mittlerer Buntsandstein      | Unterer und Mittlerer Buntsandstein | 0,45     |
| Unterer Buntsandstein        |                                     |          |
| Zechstein                    | Zechstein                           |          |

Die Intervallgeschwindigkeiten  $V_{int}$  können in der Tiefe  $z$  für die jeweilige Schicht mittels der Formel  $V_{int} = V_{NN} + (k * z)$  bestimmt werden. Die Geschwindigkeiten des Zechsteins hängen nicht wesentlich von der Tiefe ab, da Salz unter zunehmendem Druck nicht stärker kompaktiert wird. Hier wurde eine konstante Geschwindigkeit von 4500 m/s angenommen. Die von JARITZ et al. (1991) erstellten Karten der Oberflächen-geschwindigkeit decken das Norddeutsche Becken für Niedersachsen und Schleswig-Holstein ab, reichen jedoch nicht weit genug nach Süden, um die Kachel Hameln damit zu modellieren.

## 2.10. Geschwindigkeitsdaten: Seismik

In der Pilotregion existieren ca. 125 seismische Profile mit Geschwindigkeitsinformationen (Abb. 6). Die Stapelgeschwindigkeiten wurden aus den seismischen Plots gewonnen, indem die Diagramme digitalisiert und die darin enthaltenen Geschwindigkeitstabellen per Texterkennung erfasst wurden.

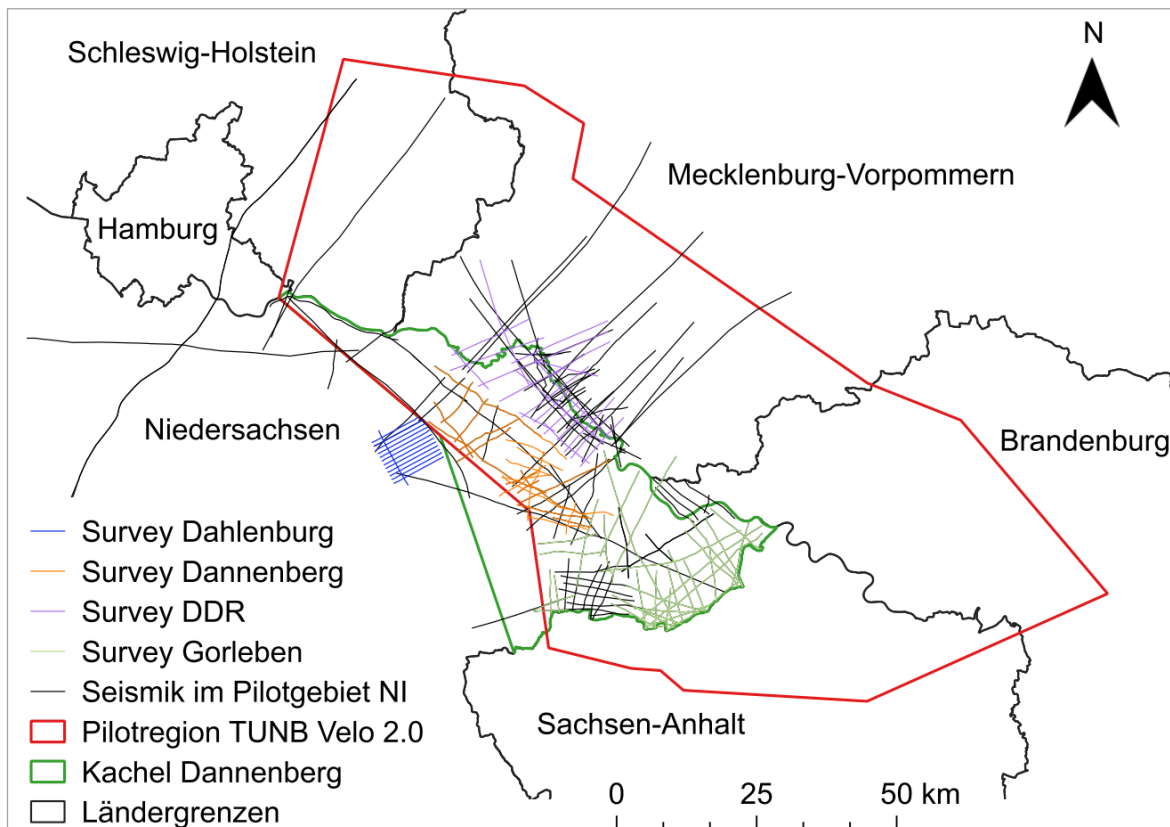


Abb. 6: Für den niedersächsischen Teil der Pilotregion verfügbare seismische Linien mit Geschwindigkeitsinformationen. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

Bei der Berechnung der Intervallgeschwindigkeiten aus Seismikdaten sind insbesondere vier große Surveys eingegangen, deren Lage in Abbildung 6 farblich gekennzeichnet sind. Der Survey Gorleben im Bereich des gleichnamigen Salzstocks besteht aus 36 Profilen aus den Jahren 1982 bis 1991 sowie weiteren 14 aus dem Jahr 1995. Der Dannenberg-Survey wurde von 1978 bis 1987 aufgenommen. Im Grenzgebiet zu Mecklenburg-Vorpommern liegen 16 seismische Profile, die aus den Jahren 1972 und 1973 stammen und als DDR-Survey bezeichnet werden. Westlich an die Pilotregion grenzt zudem

der 2.5D-Survey Dahlenburg, der im Jahr 2001 akquiriert wurde. Er umfasst 13 Profile, die – mit Ausnahme eines Profils – parallel zueinander verlaufen, sodass insgesamt eine reguläre Aufnahmeconfiguration entsteht, die mit der Geometrie eines 3D-Surveys vergleichbar ist. Für diese vier Surveys wurden aus den digitalisierten Stapelgeschwindigkeiten Intervall- und Durchschnittsgeschwindigkeiten berechnet (Abb. 7 bis Abb. 10).

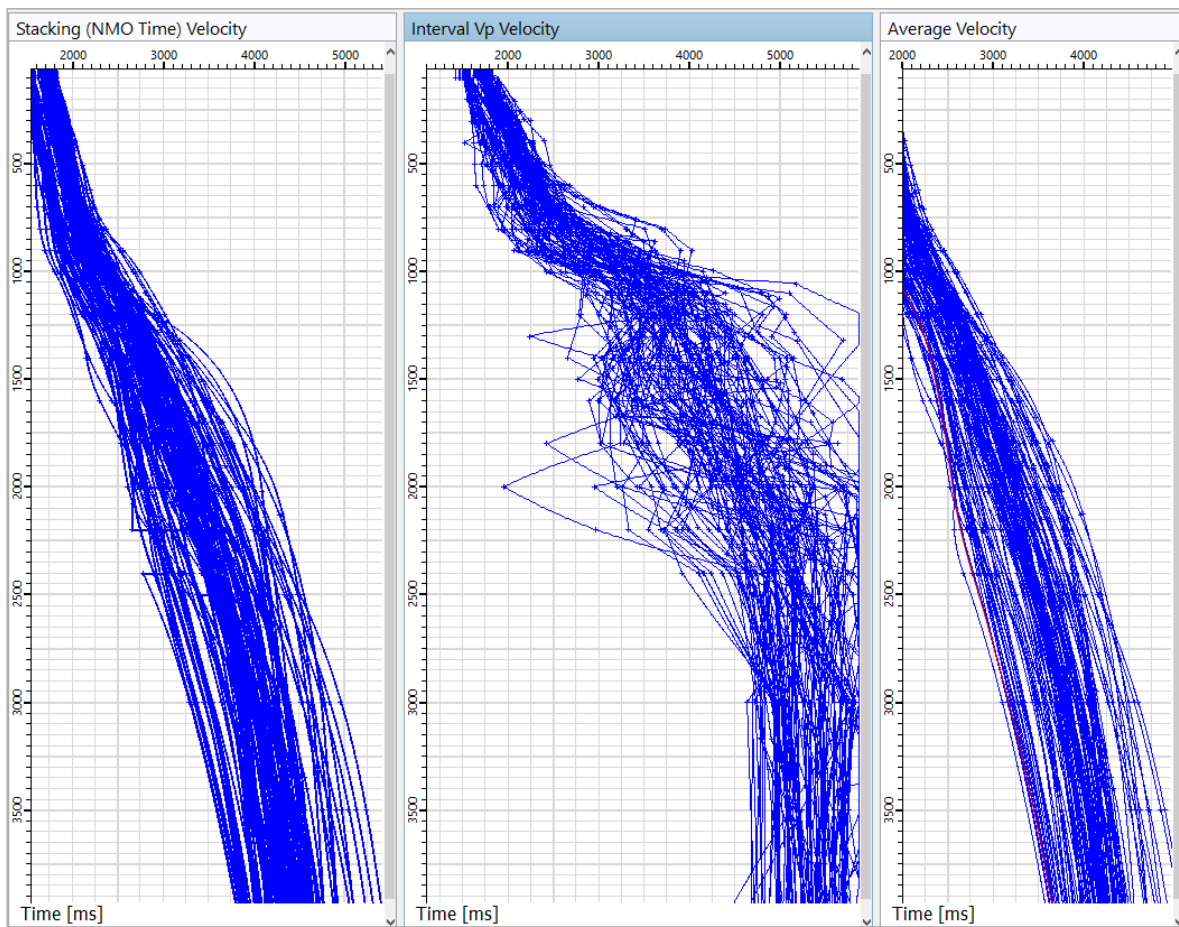


Abb. 7: Survey Dannenberg mit Stapelgeschwindigkeiten (links), errechneten Intervallgeschwindigkeiten (Mitte) und errechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts; Aspen EPOS® V14.2).

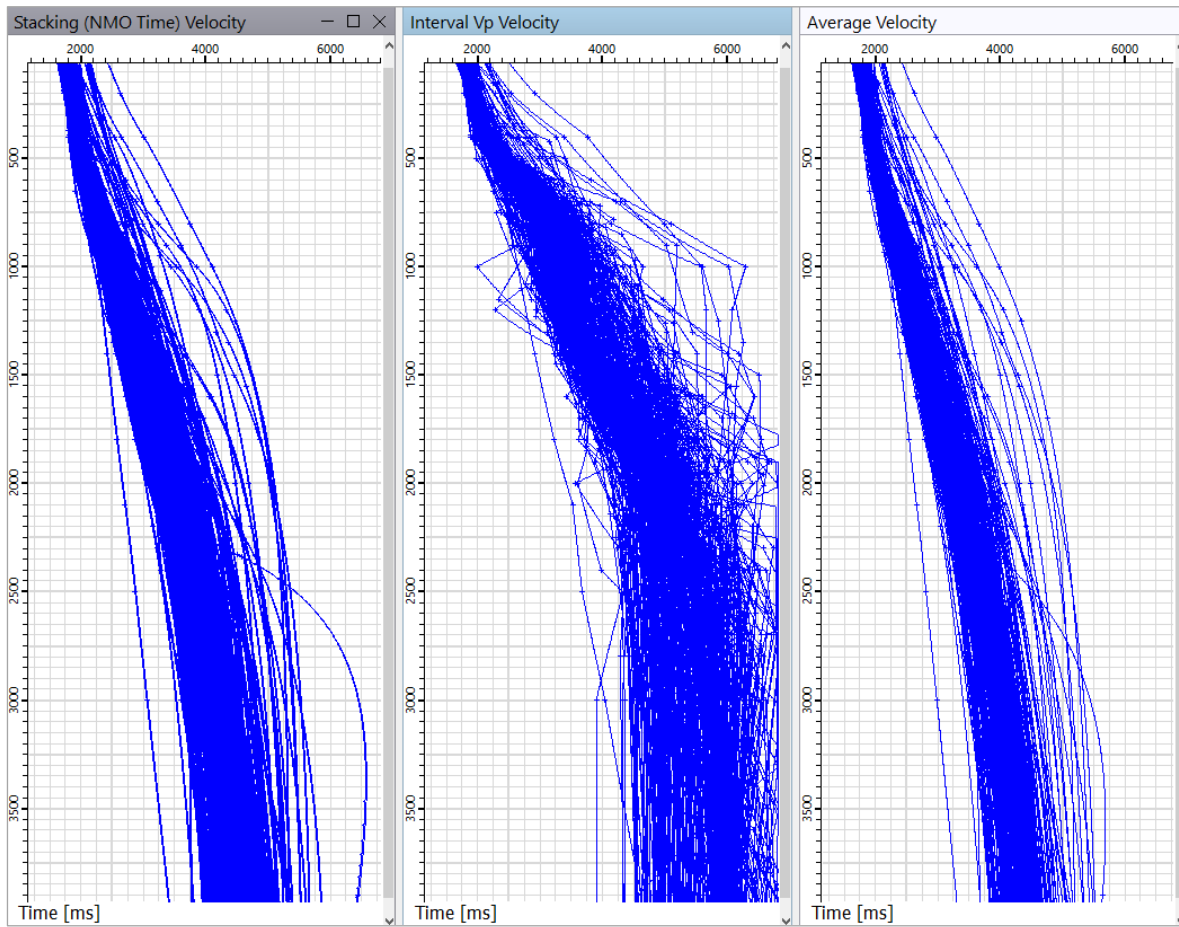


Abb. 8: Survey Gortleben mit Stapelgeschwindigkeiten (links), errechneten Intervallgeschwindigkeiten (Mitte) und errechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts; Aspen EPOS® V14.2).

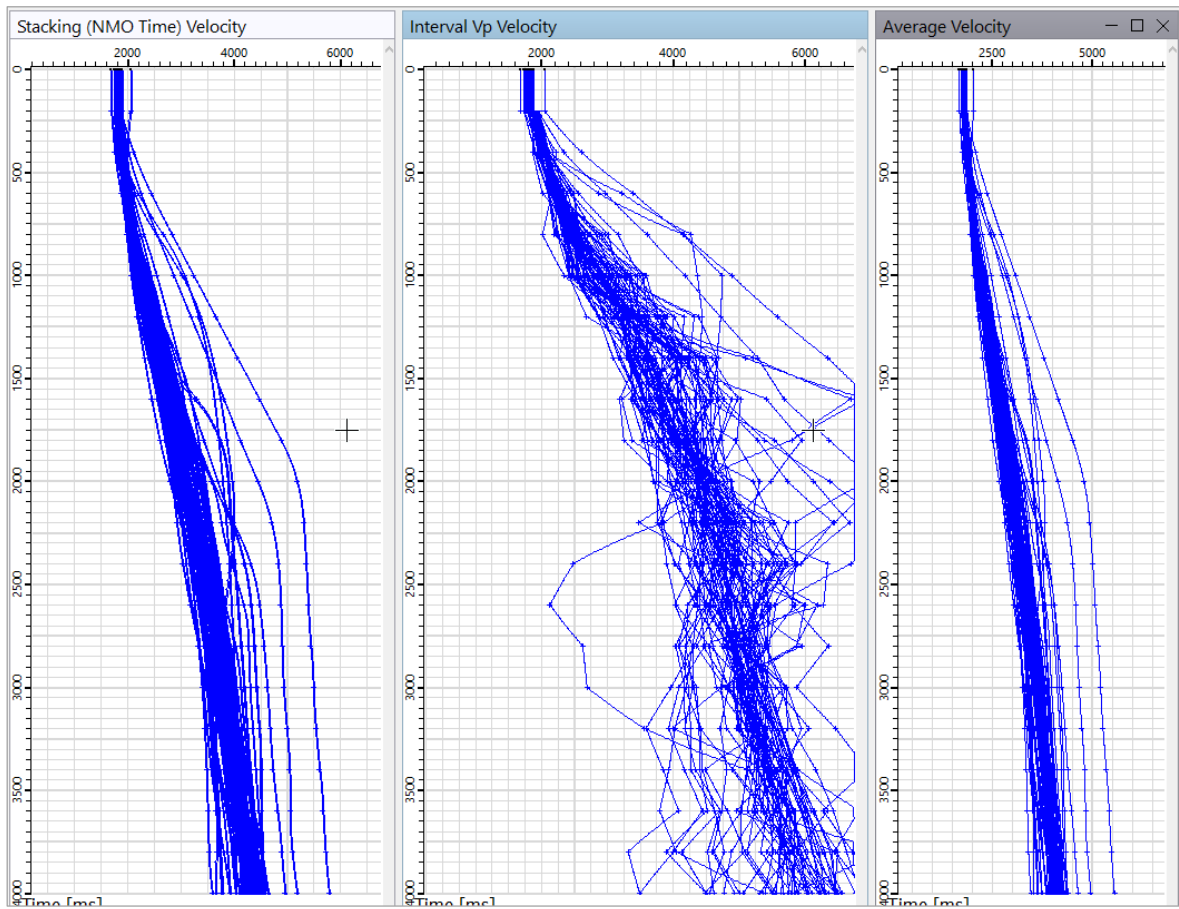


Abb. 9: DDR-Profile mit Stapelgeschwindigkeiten (links), errechneten Intervallgeschwindigkeiten (Mitte) und errechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts; Aspen EPOS® V14.2).

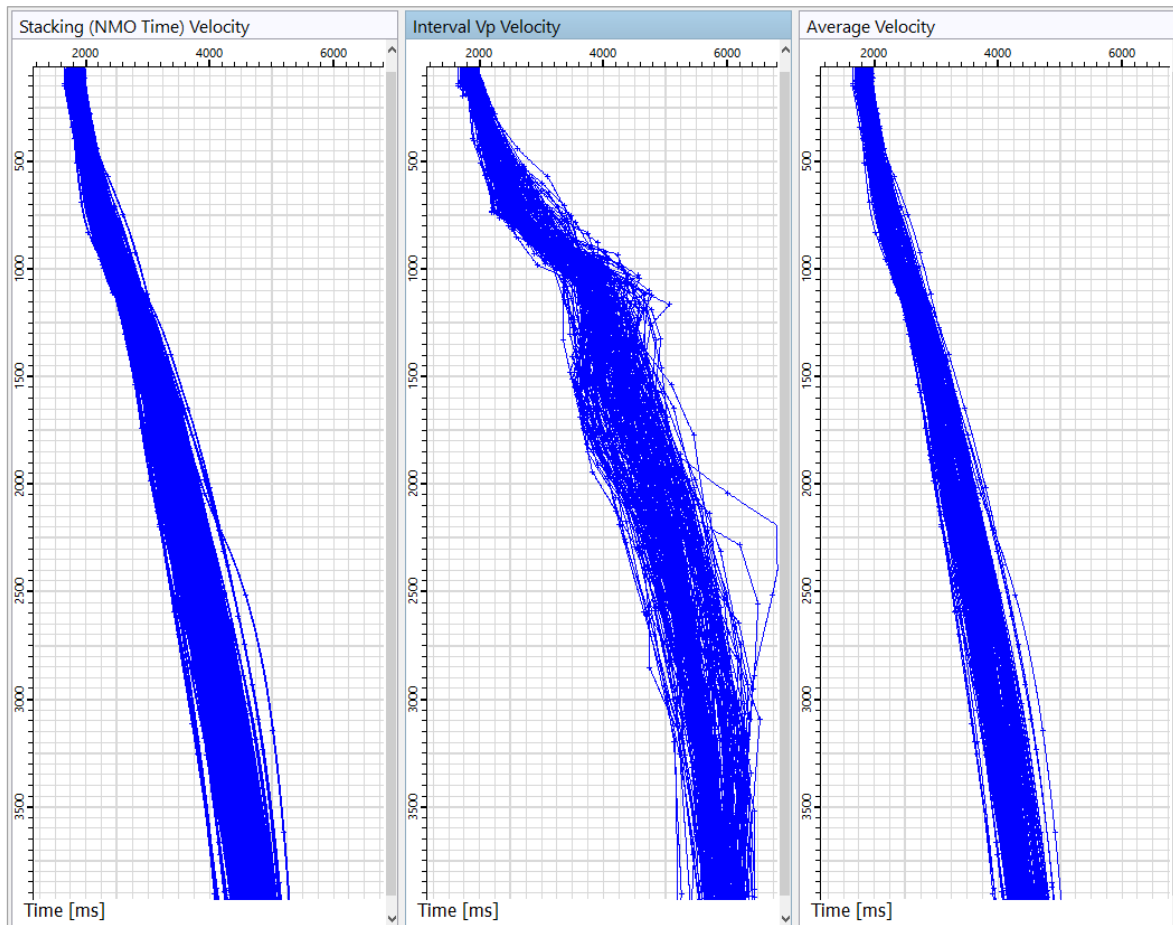


Abb. 10: 2.5D-Survey Dahlenburg mit Stapelgeschwindigkeiten (links), errechneten Intervallgeschwindigkeiten (Mitte) und errechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten (rechts; Aspen EPOS® V14.2).

Bei den dargestellten Intervallgeschwindigkeiten ist für alle Surveys die breite Streuung zu erkennen. Dies ist nicht geologisch zu erklären, sondern kann mit Ungenauigkeiten beim Picken der Stapelgeschwindigkeiten in der Seismik oder mit Fehlern in den Tabellen der Stapelgeschwindigkeiten erklärt werden.

## 2.11. Seismik

Zur Qualitätskontrolle des Geschwindigkeitsmodells wurden 3D-Seismikdaten verwendet. Für die Kachel Soltau wurden dafür die Surveys Soltau\_2012 und Soehlingen\_2016 verwendet. Beide Datensätze wurden von CGG prozessiert. Für die Kachel Vechta gibt es den Survey Scholen\_Ridderade\_2015, welcher von WesternGeco reprozessierte Daten sind. Alle verwendeten Surveys liegen sowohl zeit- als auch tiefenmigriert vor. Zudem existieren Geschwindigkeitsinformationen.

### 3. Datenaufbereitung

Die Modellierungen wurden in Aspen SKUA® V14.5 durchgeführt. Um die in der Software verwendeten Befehle besser nachvollziehen zu können, sind diese nicht übersetzt worden, sondern die englischen Begriffe sind kursiv geschrieben.

#### 3.1. Integration des Wealdens

Die Mächtigkeit des Wealdens, die in den TK200-Kartenblättern des Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) dargestellt ist (Abb. 11), wurde mit ArcGIS digitalisiert.

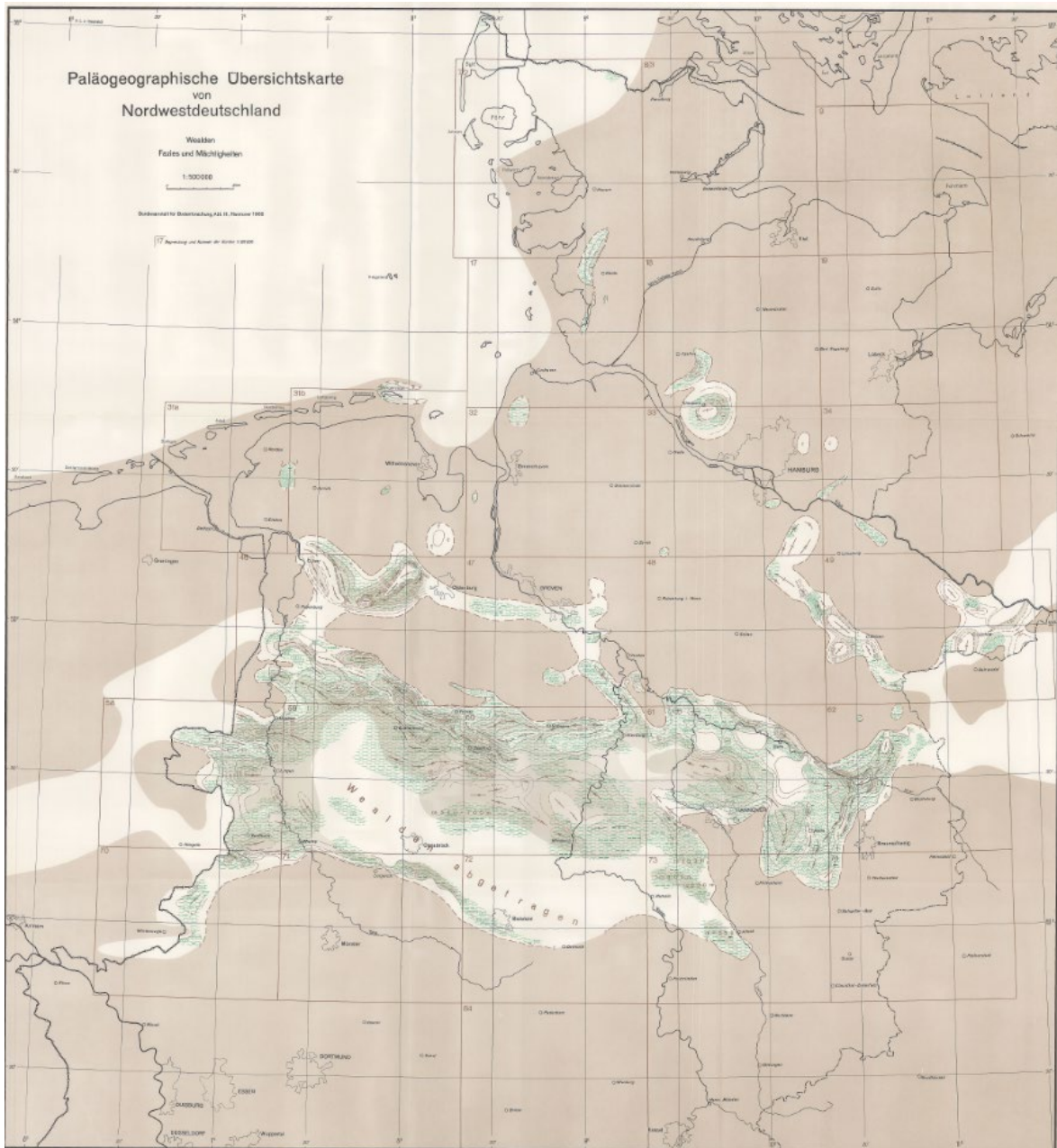


Abb. 11: Mächtigkeitskarte des Wealdens aus dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967).

Die daraus resultierenden Shapefiles der Isolinien der Mächtigkeiten und der Ausdehnung des Wealdens wurden in die Software Aspen SKUA® V14.5 importiert. Zur Modellierung wurden hier zunächst die Mächtigkeiten auf einer *Surface* mittels des *Application Wizard* interpoliert. Hierbei wurde aufgrund der Zellgröße des finalen Voxets eine Mindestmächtigkeit von 25 m festgelegt. Dadurch wurde verhindert, dass Randbereiche 0 m mächtig sind. Durch den Abstand zwischen Basis Malm und Basis Unterkreide kann die finale Mächtigkeit jedoch unter 25 m liegen. Um ausgehend von der Mächtigkeit einen Basis-Horizont des Wealdens in das Modell einfügen zu können, wurde die Topfläche der TUNB-Schicht Oberes Jura (Malm und Wealden) benötigt. Im Anhang ist die Erstellung einer Topfläche in Aspen SKUA®

V14.5 und die danach folgenden Arbeitsschritte detailliert beschrieben. Ausgehend von der Malm-Topfläche wurde die Mächtigkeit des Wealdens abgezogen und anschließend kontrolliert, ob die so entstandene Schicht oberhalb der Malm-Basisfläche liegt. Außerdem wurde die Basisfläche Wealden auf die Bereiche geschnitten, für die das Wealden laut dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) verbreitet ist. An den Rändern der Fläche und im Bereich der Salzstrukturen kam es zu Randeffekten, durch die die Fläche stark nach unten bzw. bei Salzstrukturen nach oben gebogen wurde und hier teilweise andere Schichten schnitt. Diese Randeffekte wurden entfernt. Abbildung 12 zeigt die Wealden-Basisfläche vor und nach diesem Bearbeitungsschritt.

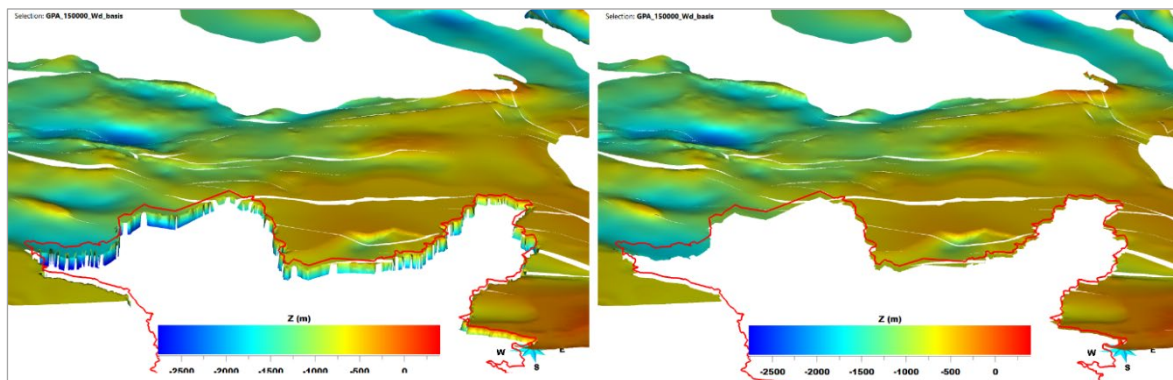


Abb. 12: Wealden vor (links) und nach (rechts) der Bearbeitung fehlerhafter Tiefenwerte entlang der niedersächsischen Grenze (Aspen SKUA® V14.5).

Im Bereich der Kachel Bremen ist im Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) zwar eine Verbreitung des Wealdens dargestellt (Abb. 13), es sind jedoch keine Mächtigkeitswerte eingezeichnet.

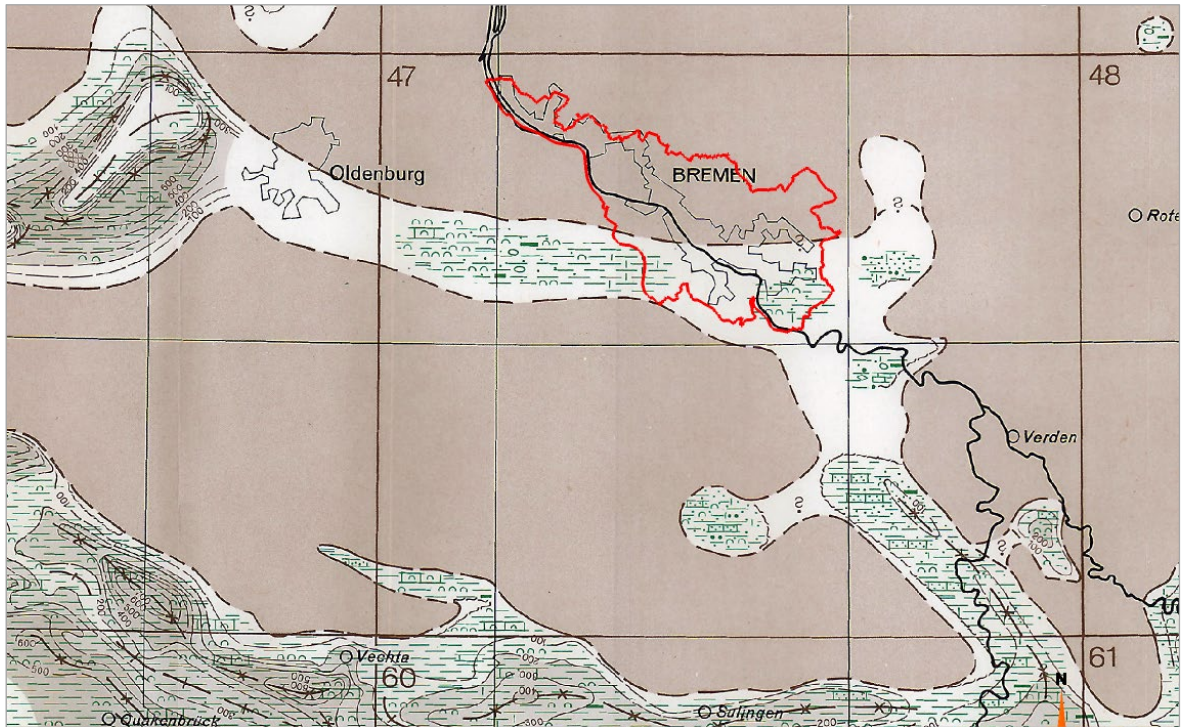


Abb. 13: Verbreitung des Wealdens im Bereich Bremen (Paläogeographischer Atlas, SCHOTT et al. (1967); Aspen SKUA® V14.5).

In den Schnitten des Geotektonischen Atlas (GTA) durch den Salzstock Arsten-Osterholz (Abb. 14) ist zu erkennen, dass das Wealden Mächtigkeiten von etwa 200 m nur im Bereich der Salzstrukturflanken erreicht und ansonsten nur geringmächtig bis gar nicht abgelagert ist.

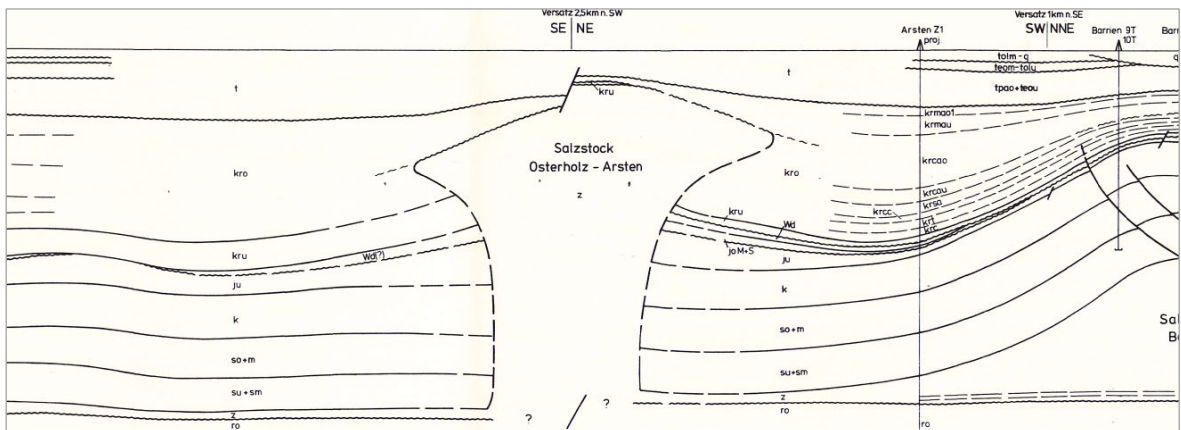


Abb. 14: Verbreitung des Wealdens im Bereich des Salzstocks Arsten-Osterholz (BALDSCHUHN et al. 1996).

Aufgrund der Unsicherheit der Verbreitung und Mächtigkeit des Wealdens in dieser Region und der finalen Modellauflösung von 250 x 25 m wurde entschieden, das Wealden für den Bereich um Bremen, für den keine Mächtigkeiten in der Karte des Paläogeographischen

Atlas eingezeichnet waren, nicht zu modellieren. Abbildung 15 zeigt die Tiefenwerte und Verbreitung der final modellierten Basisfläche Wealden mit der TK500-Karte aus dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) im Hintergrund.

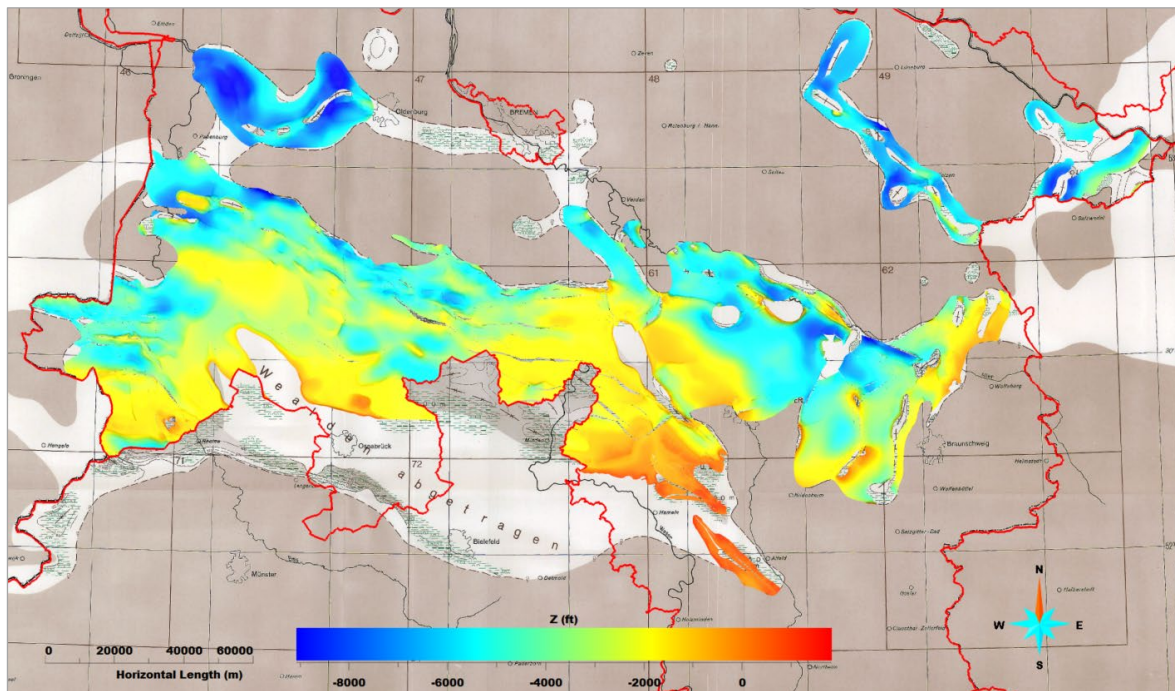


Abb. 15: Tiefenwerte und Verbreitung der modellierten Basisfläche Wealden mit der TK500-Karte aus dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) im Hintergrund. Die Karte ist im Anhang vergrößert dargestellt (Aspen SKUA® V14.5).

### 3.2. Aufbereiten der $V_{NN100}$ -Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991)

In ArcGIS wurden die Isolinien und eingezeichneten Geschwindigkeitswerte aus den TK100-Arbeitskarten von JARITZ et al. (1991) digitalisiert und anschließend in Aspen SKUA® V14.5 zusammen mit den Arbeitskarten importiert (Abb. 16). Eine detailliertere Beschreibung der in Aspen SKUA® V14.5 genutzten Befehle befindet sich im Anhang. Um ausgehend von den Isolinien flächendeckende  $V_{NN}$ -Werte interpolieren zu können, wurden die Stützstellen der Isolinien auf einen regulären Abstand von etwa 200 m gesetzt.

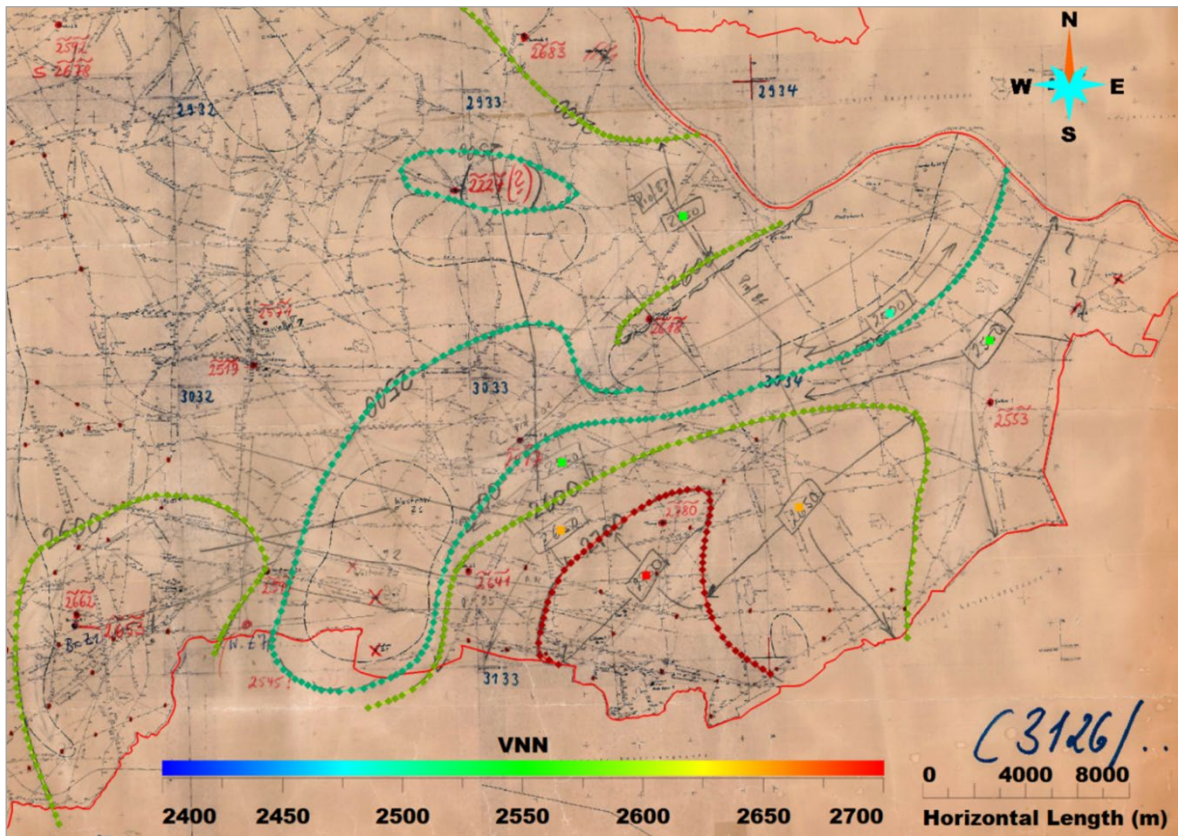


Abb. 16: Arbeitskarte von JARITZ et al. (1991) für die Oberkreide im Bereich Dannenberg mit den digitalisierten Isolinien und Punktwerten (Aspen SKUA® V14.5).

Neben den digitalisierten Isolinien sind in den Arbeitskarten auch einzelne  $V_{NN}$ -Werte eingezeichnet. Um beide auf einer Fläche zu interpolieren, mussten diese als *PointsSet* zusammengefasst werden. Im *Application Wizard* konnte mit diesem dann die Interpolation durchgeführt werden. Dabei wurden so viele Iterationen angewendet, bis keine Änderungen bei den Werten mehr erkennbar waren. Anschließend wurden die interpolierten  $V_{NN}$ -Karten mit den Arbeitskarten von JARITZ et al. (1991) verglichen.

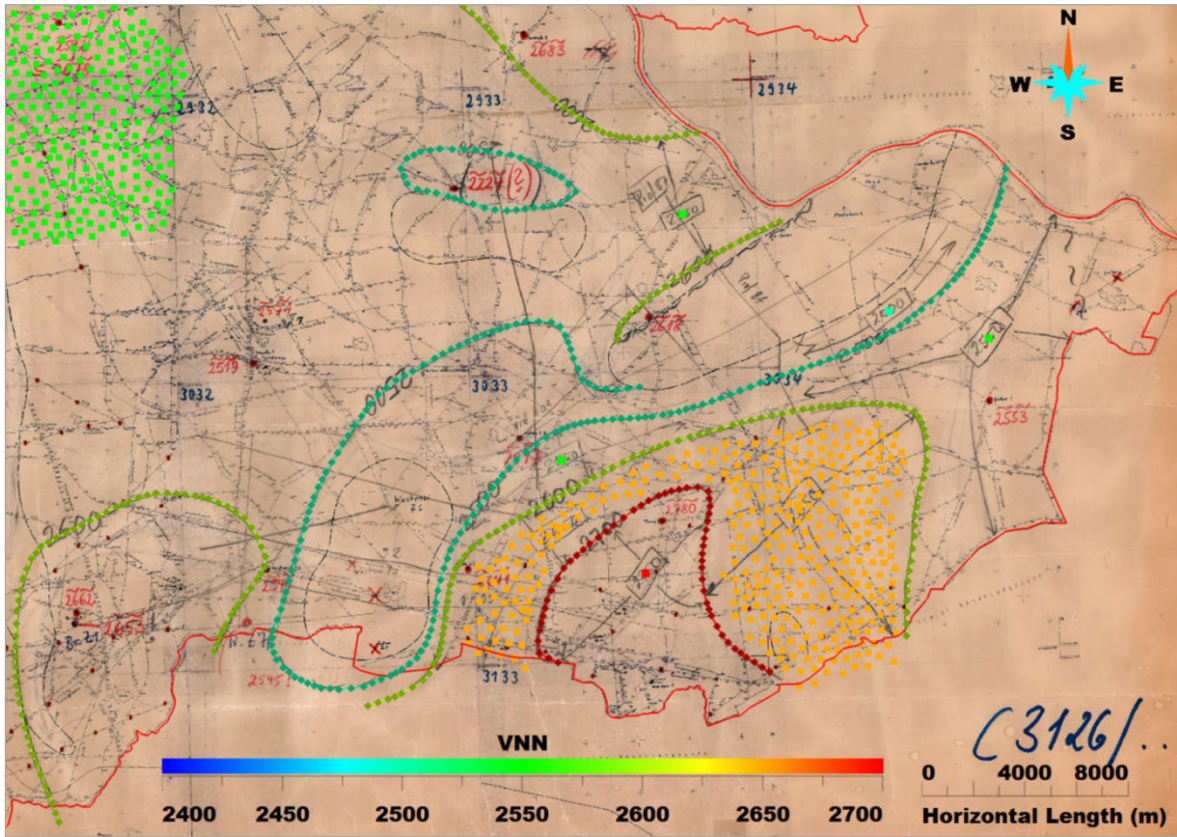


Abb. 17: Arbeitskarte von JARITZ et al. (1991) für die Oberkreide im Bereich Dannenberg mit den digitalisierten Isolinien und Punktwerten und zusätzlich konstant gesetzten Regionen (Aspen SKUA® V14.5).

In den Arbeitskarten hatten JARITZ et al. (1991) über Pfeile größeren Regionen konstante  $V_{NN}$ -Werte zugewiesen. Um diese korrekt zu interpolieren, wurden zusätzlich *Regions* mit konstanten  $V_{NN}$ -Werten gepickt. Die Bereiche mit  $V_{NN}$ -Werten wurden als *PointsSet* exportiert und dann als zusätzliche *Constraints* bei der Interpolation genutzt. Abbildung 17 zeigt neben den digitalisierten Isolinien auch die Bereiche, für die konstante  $V_{NN}$ -Werte gepickt wurden. Weitere Iterationen der Interpolation wurden über *Surface* -> *Interpolation* -> *Interpolate Property* durchgeführt. Für die Oberkreide sind die interpolierten Isolinien und die verwendeten *Constraints* in Abbildung 18 dargestellt.

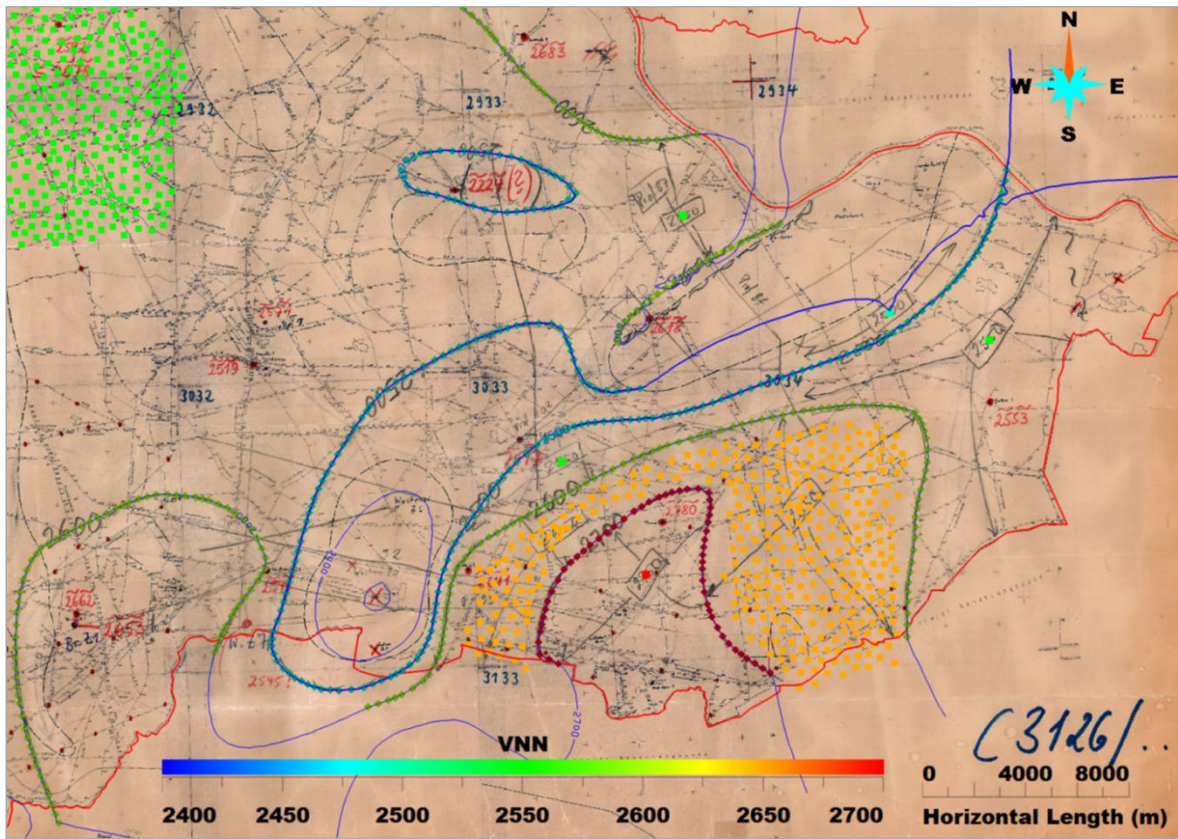


Abb. 18: Arbeitskarte von JARITZ et al. (1991) für die Oberkreide im Bereich Dannenberg mit den digitalisierten Isolinien und Punktwerten. Außerdem sind konstant gesetzte Regionen sowie die interpolierten Isolinien (blau) eingezeichnet (Aspen SKUA® V14.5).

Bei den Arbeitskarten von JARITZ et al. (1991) fehlten die TK100-Kartenblätter C3106 Lathen und C3110 Papenburg, die im Bereich der TUNB-Kacheln Emsland und Oldenburg liegen. In der Lücke wurden die V<sub>NN</sub>-Werte aus den Übersichtskarten der Publikation interpoliert. Abbildung 19 zeigt den Bereich der Kartenlücke und die dort verwendete Karte aus der Publikation sowie die digitalisierten Isolinien beispielhaft für die Oberkreide.

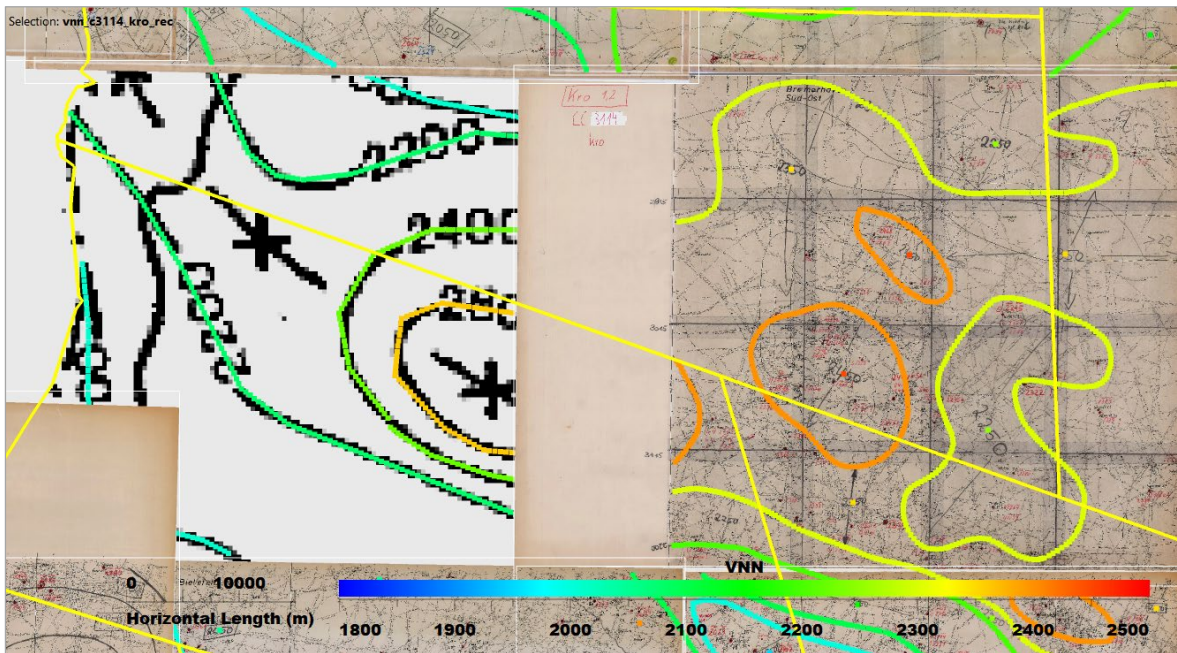


Abb. 19: Arbeitskarten und publizierte Karte von JARITZ et al. (1991) für die Oberkreide mit den digitalisierten Isolinien aus der Publikation und den Arbeitskarten. Die TUNB-Kacheln sind gelb dargestellt (Aspen SKUA® V14.5).

In Abbildung 20 sind zusätzlich in Blau die interpolierten Isolinien eingezeichnet.

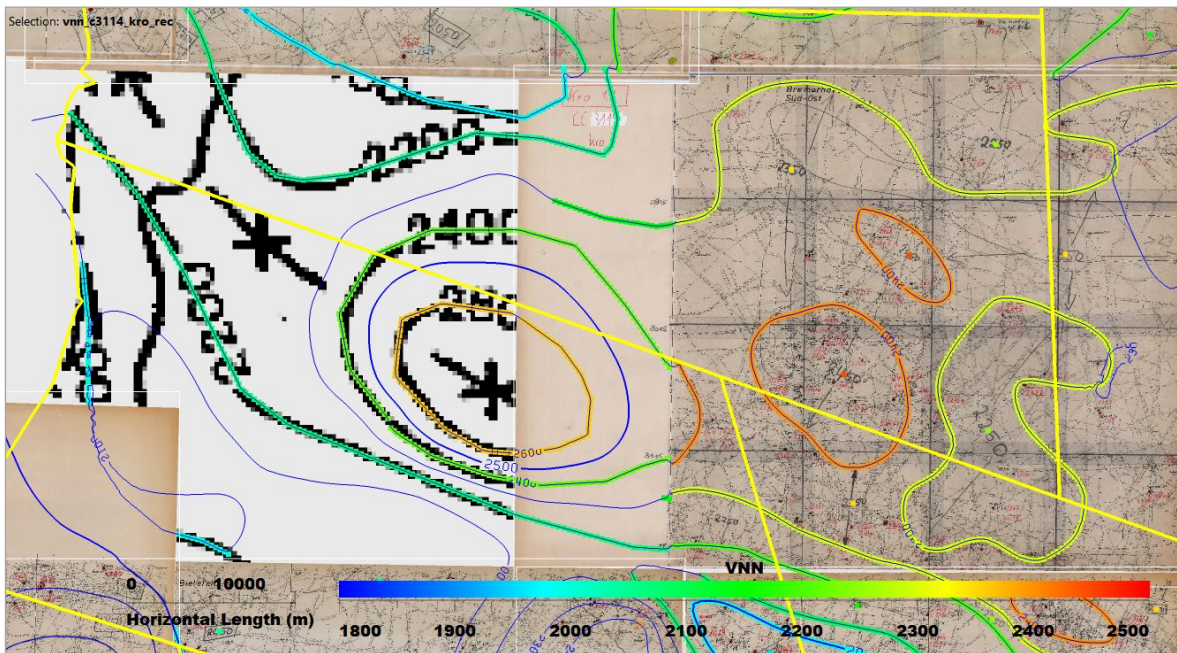


Abb. 20: Arbeitskarten und publizierte Karte von JARITZ et al. (1991) für die Oberkreide mit den digitalisierten Isolinien sowie den interpolierten Isolinien. Die TUNB-Kacheln sind gelb dargestellt (Aspen SKUA® V14.5).

## 4. Modellierprozesse: Erstellen eines Volumenmodells

### 4.1. Erzeugen eines Volumenmodells

Zur Erstellung eines Geschwindigkeitsmodells musste das im Rahmen des vorangegangenen TUNB-Projekts erstellte Strukturmodell in ein Volumenmodell umgewandelt werden. Die Modellierung erfolgte mit der Software Aspen SKUA® V14.5. Diese ermöglicht die Erstellung eines parametrisierbaren Volumenmodells mit unterschiedlichen Ansätzen, von denen zwei während des TUNB Velo 2.0-Projekts getestet wurden. Im Kapitel 4.3 „Erzeugen eines Volumenmodells über ein Voxet“ ist das Vorgehen dokumentiert, bei dem zunächst ein Voxet erstellt wird, indem die geologischen Schichten als *Regions* gespeichert werden. Im Kapitel 4.4 „Erzeugen eines Volumenmodells über den *Structure and Stratigraphy-Workflow* (SnS-Workflow)“ wird die Erstellung eines Volumenmodells über den SnS-Workflow beschrieben.

### 4.2. Verwenden eines Startprojekts

Unabhängig davon, ob das Volumenmodell über ein Voxet oder über den SnS-Workflow erzeugt wurde, kam für alle Kacheln ein gemeinsames Startprojekt zum Einsatz – analog zum Vorgehen im TUNB-Projekt (SATTLER et al. 2022). Aspen SKUA® V14.5 erstellt einen projekteigenen räumlichen Übersetzungsvektor, um die vielstellige Koordinaten der räumlichen Objekte im Modell aus Kapazitätsgründen als Datentyp *Float* zu speichern. Der räumliche Übersetzungsvektor wird von Aspen SKUA® V14.5 in Bezug auf das erste ins Projekt geladene Objekt erzeugt. Unterschiede im Übersetzungsvektor führen dazu, dass Objekte, die in

separat erstellten Projekten erzeugt wurden, an der gemeinsamen Grenze nicht genau aneinandersperren. Daher wurde das Startprojekt aus dem TUNB-Projekt (SATTLER et al. 2022) verwendet und um die für alle Kacheln benötigten Objekte erweitert.

### 4.3. Erzeugen eines Volumenmodells über ein Voxet

Zunächst wurde ein Voxet mit einer lateralen Auflösung von 200 m und einer vertikalen Auflösung von 20 m erzeugt. Dadurch konnten geologische Strukturen noch hinreichend genau abgebildet werden, ohne dass dabei die erforderliche Speichergröße zu groß wurde. Die horizontale Größe des Voxets wurde dabei an die Ausdehnung der Kachel angepasst, so dass das Voxet jeweils die komplette Kachel abdeckt. Um den Speicherplatzbedarf zu minimieren, wurden die Voxets so gedreht, dass sie zu der räumlichen Orientierung der Kacheln passen (*Voxet -> New -> Digitize in 3D View -> Rotated Rectangle*). Die Oberkante des Voxets wurde so gewählt, dass sie über dem DGM liegt, welches den oberen Abschluss des Modells darstellt. Die Unterkante liegt tiefer als die Basis Zechstein. Im Voxet wurden die geologischen Schichten als *Regions* gespeichert, wofür die Topflächen der Schichten benötigt wurden. Dafür wurde eine Kopie der jeweiligen Basis-schicht mittels *Apply Script On Object* über die Geländeoberkante geschoben und anschließend über den Befehl *Remove Crossovers -> Push down* iterativ von oben nach unten geschoben. Anschließend konnten die *Regions* über *Region -> Initialize from Geologic Feature* initiiert werden. Abbildung 21 zeigt das Voxet mit den geologischen Schichten als *Regions* im Gebiet der gemeinsamen Pilotregion mit den benachbarten Projektpartnern.

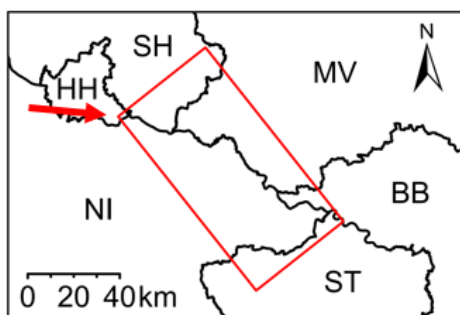
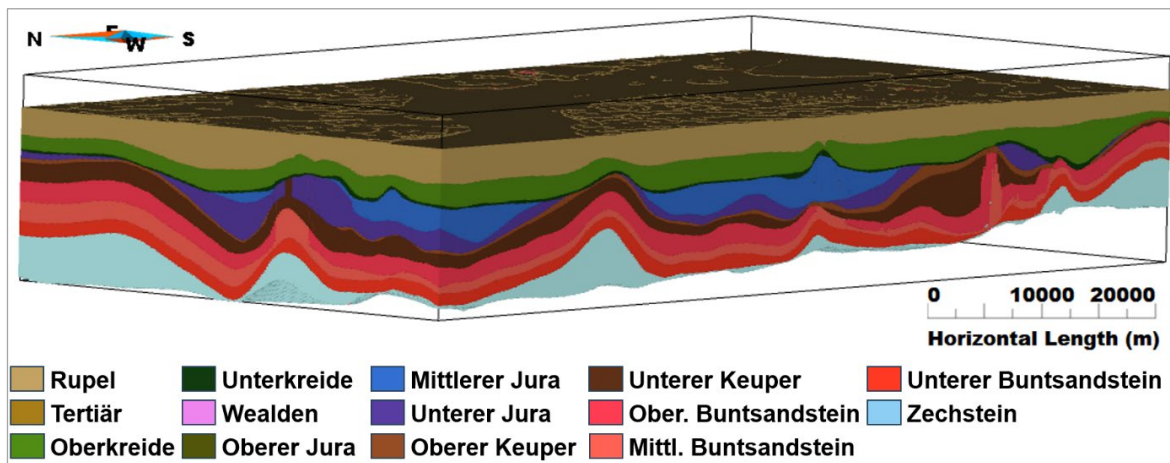


Abb. 21: Oben: Voxet mit den geologischen Schichten als *Regions*. Dreifach überhöhte Darstellung (Aspen SKUA® V14.5). Links: Dazugehörige Lageskizze. Der Pfeil zeigt die Blickrichtung.  
 (Datenquelle Ländergrenzen:  
 © GeoBasis-DE/LGLN 2024;  
 © GeoBasis-DE/LVermGeo SH;  
 © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

#### 4.4. Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow (SnS-Workflow)

Eine andere Möglichkeit zur Berechnung eines Volumens in Aspen SKUA® V14.5 ist die Anwendung des SnS-Workflows. Hierbei erzeugt der Workflow aus den Horizonten, den Salzkörpern und den Störungen ein Volumenmodell. Der Workflow basiert auf einer definierten Abfolge von Modellerschritten, die im Folgenden vorgestellt werden.

#### 4.4.1. Stratigraphische Säule

Für die Anwendung des SnS-Workflows wird die stratigraphische Säule (*Stratigraphic Column*) benötigt, die dem Workflow den stratigraphischen Kontext vorgibt. In Abbildung 22 ist die für die Modellierung verwendete Stratigraphie dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die modellierten Horizonte Basishorizonte sind und dies in der stratigraphischen Säule auch so angegeben werden muss. Zusätzlich zu der im TUNB-Projekt verwendeten stratigraphischen Säule wurde das Wealden mit eingefügt.

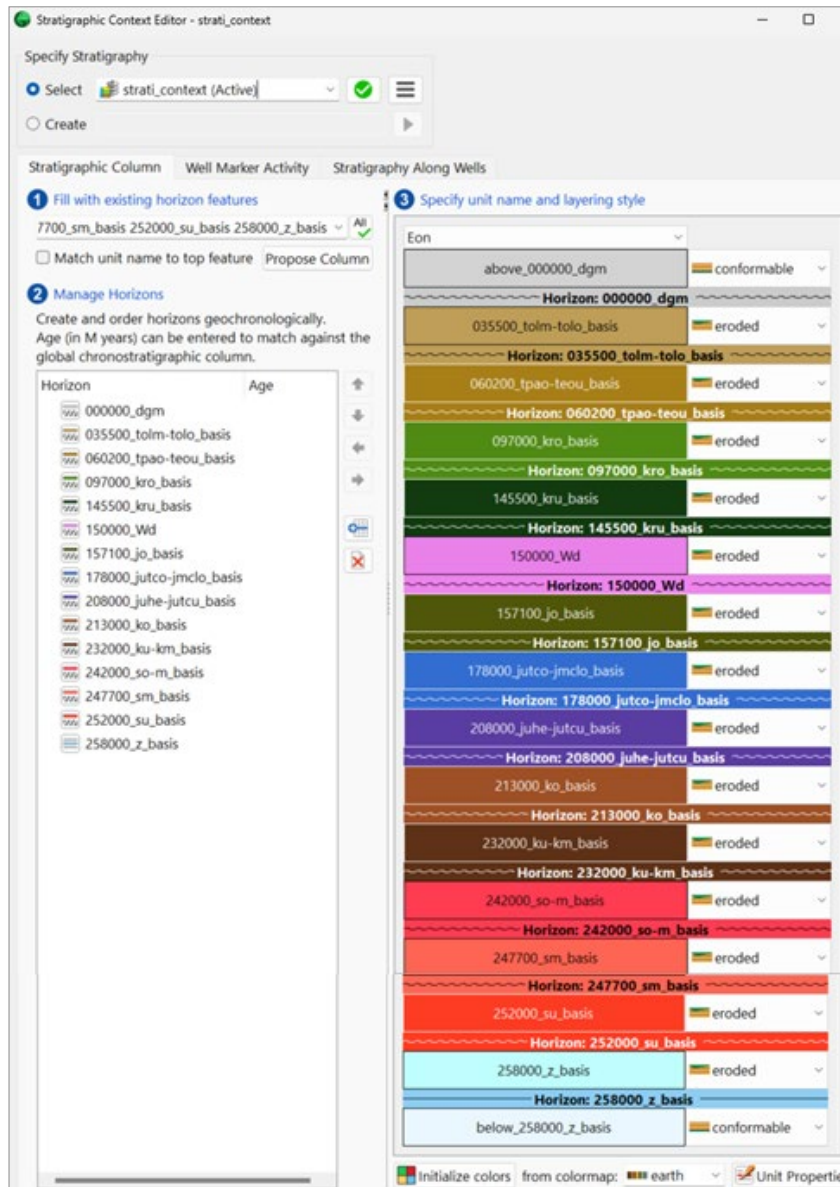


Abb. 22: Beim TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete stratigraphische Säule in Aspen SKUA® V14.5.

#### 4.4.2. Umgang mit Salzstrukturen im SnS-Workflow

Salzkörper müssen im SnS-Workflow als geschlossene Körper (*Surfaces*) vorliegen. Dies kann über zwei Varianten gelöst werden. Einerseits konnte dies erreicht werden, indem der Horizont Top Zechstein mit den Umhüllenden der Salzstrukturen als eine geschlossene Fläche verbunden wurde, die über die Modellgrenzen hinausragt. Dieses Vorgehen wurde bei

der Kachel Dannenberg getestet, bei den danach modellierten Kacheln jedoch nicht, da es sich als sehr zeitaufwendig und fehleranfällig im SnS-Workflow herausstellte. Eine alternative Vorgehensweise besteht darin, die Salzstrukturen jeweils als geschlossene Flächenkörper zu modellieren. Im Folgenden wird der methodische Ablauf grundlegend beschrieben; die in Aspen SKUA® V14.5 verwendeten Befehle sind im Anhang aufgeführt. Ausgangspunkt waren *PointsSets*, die aus den ursprünglichen Salz-

strukturflächen der TUNB3D- bzw. GTA3D-Modelle abgeleitet wurden. Auf Basis dieser Punktmengen wurden ellipsenförmige Volumenkörper generiert. Anschließend wurden die originalen Salzstrukturen als *Constraints* gesetzt und die neuen Flächen an diese interpoliert. Auch diese Bearbeitungen waren sehr zeitaufwendig und führten beim Ausführen des SnS-Workflows häufig zu Fehlern. Diese umfassten zum einen die Salzkörper selber, wie beispielsweise zu spitze Dreiecke oder sich schneidende Flächen der triangulierten Salzstruktur-Umhüllenden. Zum anderen traten aber auch Fehler im räumlichen Bezug der Salzkörper zu anderen Objekten auf, wie beispielsweise fehlerhafte Schnittflächen mit den Störungsflächen. Daher war es effizienter, die Salzkörper beim SnS-Workflow nicht zu berücksichtigen und diese dann über *Regions* im finalen Voxet einzufügen. Der Nachteil ist, dass diese dann nicht im *Geologic Grid* und *SKUA Model* enthalten sind. Für das finale Geschwindigkeits-Voxet entstehen dadurch jedoch keine Unterschiede.

#### 4.4.3. Definition des *Volume of Interest*

Im Schritt *Volume of Interest* wurde das Modelliergebiet für die jeweilige Kachel festgelegt. Dieses wird größer als die eigentliche Kachelgrenze gewählt, um an den Kachelgrenzen die finalen Geschwindigkeiten benachbarter Voxets vergleichen zu können. Zudem wurden Kachelgrenzen mit kompliziertem Grenzverlauf, in der Regel Kacheln entlang der niedersächsischen Grenze, vereinfacht, so dass das Landesgebiet vollständig innerhalb des Modelliergebiets liegt und möglichst gerade Außengrenzen hat. Daher decken die resultierenden Geschwindigkeitsmodelle jedoch auch geringfügig Gebiete ab, die nicht in Niedersachsen und Bremen liegen. Für die durchgeführte Grenzharmonisierung (Kapitel 6 „Grenzharmonisierung“) muss das modellierte Gebiet mindestens zwei Kilometer in die am TUNB Velo 2.0-Projekt beteiligten Bundesländer hineinreichen.

#### 4.4.4. Erstellen von Störungsfeatures

Der SnS-Workflow erstellt ein Störungsnetzwerk (*Fault Network*), wozu die im TUNB-Projekt erstellten Störungsfeatures verwendet wurden. Vereinzelt mussten Störungsflächen, wel-

che Fehler bei der Ausführung des SnS-Workflows erzeugten, weggelassen werden. Dies betraf in der Regel sich kreuzende Störungsflächen. Daher wurde die kleinere Störungsfläche bzw. die mit dem geringeren vertikalen Versatz der Horizonte entfernt. Tabelle 3 liefert eine Übersicht über die Anzahl an nicht modellierten Störungsflächen. Hierbei bildet die Kachel Verden eine Ausnahme. Während bei allen anderen Kacheln maximal fünf Störungsflächen (weniger als 4 %) nicht berücksichtigt werden konnten, lag diese Zahl bei 21 von 79 Störungsflächen (~27 %) für die Kachel Verden. Die Modellierung dieser Kachel erwies sich im SnS-Workflow aufgrund der hohen strukturellen Komplexität als besonders anspruchsvoll. Daher wurde als pragmatischer Kompromiss auf die Berücksichtigung von Störungsflächen verzichtet, um überhaupt ein belastbares Modellierungsergebnis zu erhalten.

#### 4.4.5. Erstellen des *Fault Network*

Aus den Störungsfeatures wird im nächsten Schritt des SnS-Workflows ein räumliches Störungsnetzwerk erstellt. Dafür wird eine Auflösung von 800 m horizontal und 400 m vertikal verwendet, was der im TUNB-Projekt verwendeten Auflösung entspricht.

#### 4.4.6. Erstellen von *Fault Blocks*

Der Schritt *Build Fault Blocks* dient dazu, die im *Fault Network* räumlich definierten Störungen in das *Volume of Interest* einzufügen. Dies geschah mit einer Auflösung von 500 m horizontal und 200 m vertikal, was ebenfalls der Auflösung des TUNB-Projekts entsprach.

#### 4.4.7. Horizontmodellierung im Schritt *Modeling Horizons*

Im Schritt *Build All Horizons* werden die Horizonte für das *Geologic Grid* erstellt. Dabei kann stufenweise ausgewählt werden, ob das globale Modell eher glatt (*Global smooth*) oder genau an den Eingangsdaten (*Fit data*) sein soll. Generell wurde bei allen Schichten zunächst die mittlere Stufe zwischen den beiden Extremen gewählt. Wenn Fehlermeldungen des SnS-Workflows auftraten oder sich Unstimmigkeiten bei der Qualitätskontrolle zeigten, wurde der

Parameter für einzelne Schichten verändert. Der Parameter *Auto-ignore data around faults* wurde auf 200 m gesetzt.

Problematisch für die Durchführung dieses Modellerschrittes sind Horizonte, bei denen Ablagerungen auf den Salzstrukturen liegen, die nicht mit den tieferliegenden Schichten gleichen lithostratigraphischen Alters verbunden sind. Dies betraf hauptsächlich Ablagerungen der Oberkreide für einzelne Salzstrukturen. Diese Bereiche wurden nicht im Workflow berücksichtigt und sind somit nicht im Geschwindigkeitsmodell entsprechend der ursprünglichen stratigraphischen Zuordnung parametrisiert. Der sich daraus ergebende Fehler ist vernachlässigbar, da die Mächtigkeiten der nicht berücksichtigten Horizonte auf den Salzstrukturen gering sind (meist im Bereich von unter 100 m). Zudem wurden solche Ablagerungen im abschließend verwendeten Geschwindigkeitsmodell von JARITZ et al. (1991) nicht betrachtet.

Nachdem die Modellhorizonte generiert wurden, erfolgte eine umfangreiche Qualitätskontrolle. Hierbei ist vor allem der Vergleich der neu berechneten Horizonte mit den Eingangsdaten (*Surfaces* der Horizonte aus dem TUNB3D-Modell) wichtig. Häufige Fehler betrafen Horizonte, die nicht auf der gesamten Fläche der Kachel vorhanden sind. Hier vergrößerte der Workflow die Horizonte oft in Gebiete, in denen diese gar nicht vorkommen. Dies konnte korrigiert werden, indem die Verbreitung des Horizontes im SnS-Workflow explizit berücksichtigt wurde. Dazu wurde die *Outline* des Horizontes als geschlossene *Curve* erzeugt und dem jeweiligen *Horizon Feature* zugewiesen. Anschließend wurde im Schritt *Selecting Data: Horizons* die *Outline* ausgewählt und deren *Role* auf *Non-erosion Outline* gesetzt (detaillierte Beschreibung aller Schritte im Anhang).

#### 4.4.8. Erstellen des *Geologic Grid*

Im letzten Schritt des SnS-Workflows wurde das *Geologic Grid* erstellt. Hier wurde aufgrund der Auflösung, die auch bereits für das *Voxel* verwendet wurde, eine laterale Zellgröße (*Cell size* im Schritt *Compute Unit Areal Extension*) von

200 m gewählt. Für die vertikale Zellgröße der Zelle (*Set Cell Thickness* im Schritt *Compute Unit Thickness*) wurde aus demselben Grund 20 m verwendet.

Das Ergebnis des SnS-Workflows ist ein *Geologic Grid*, welches bereits ein parametrisierbares Volumenmodell darstellt.

## 5. Modellierprozesse: Parametrisierung mit seismischen Geschwindigkeiten

### 5.1. Zuweisen der Geschwindigkeiten im *Voxel*

Nachdem das *Voxel* mit den *Regions* erstellt wurde (Kapitel 4.3 „Erzeugen eines Volumenmodells über ein *Voxel*“), konnte die von JARITZ et al. (1991) bestimmte Oberflächengeschwindigkeit  $V_{NN}$  einer Schicht in die Zellen der jeweiligen *Region* übertragen werden (*Voxel* -> *Property* -> *Transfer Property by Vertical Projection*). Mittels *Apply Script on Object* kann über die Formel  $V_{int} = V_{NN} + (k * fabs(Z))$  für die jeweilige *Region* die Intervallgeschwindigkeit  $V_{int}$  für jede Zelle berechnet werden. Dabei ist  $Z$  die Tiefe und  $k$  der Gradient der jeweiligen Schicht (Tab. 4). Für den Zechstein sowie die Salzstrukturen wurde  $V_{int}$  konstant auf 4500 m/s gesetzt (siehe Kapitel 2.9 „Geschwindigkeitsdaten: Regionale Geschwindigkeitsmodelle“). Einzelne Zellen waren keiner *Region* zugeordnet und bekamen daher auch keine Geschwindigkeitswerte. Diese wurden nachträglich gesetzt, indem zunächst die Zellen ohne Geschwindigkeiten als *Region* definiert wurden. Aus den Zellen mit Geschwindigkeitsinformation wird ebenfalls eine *Region* erzeugt und daraus ein *PointsSet* erstellt. Mittels *Voxel* -> *Property* -> *Paint on Region* -> *With PointsSet* wurden die Geschwindigkeiten in die *No-Data Region* geschrieben. Abbildung 23 zeigt das *Voxel* mit den Intervallgeschwindigkeiten für die Kachel Dannenberg.

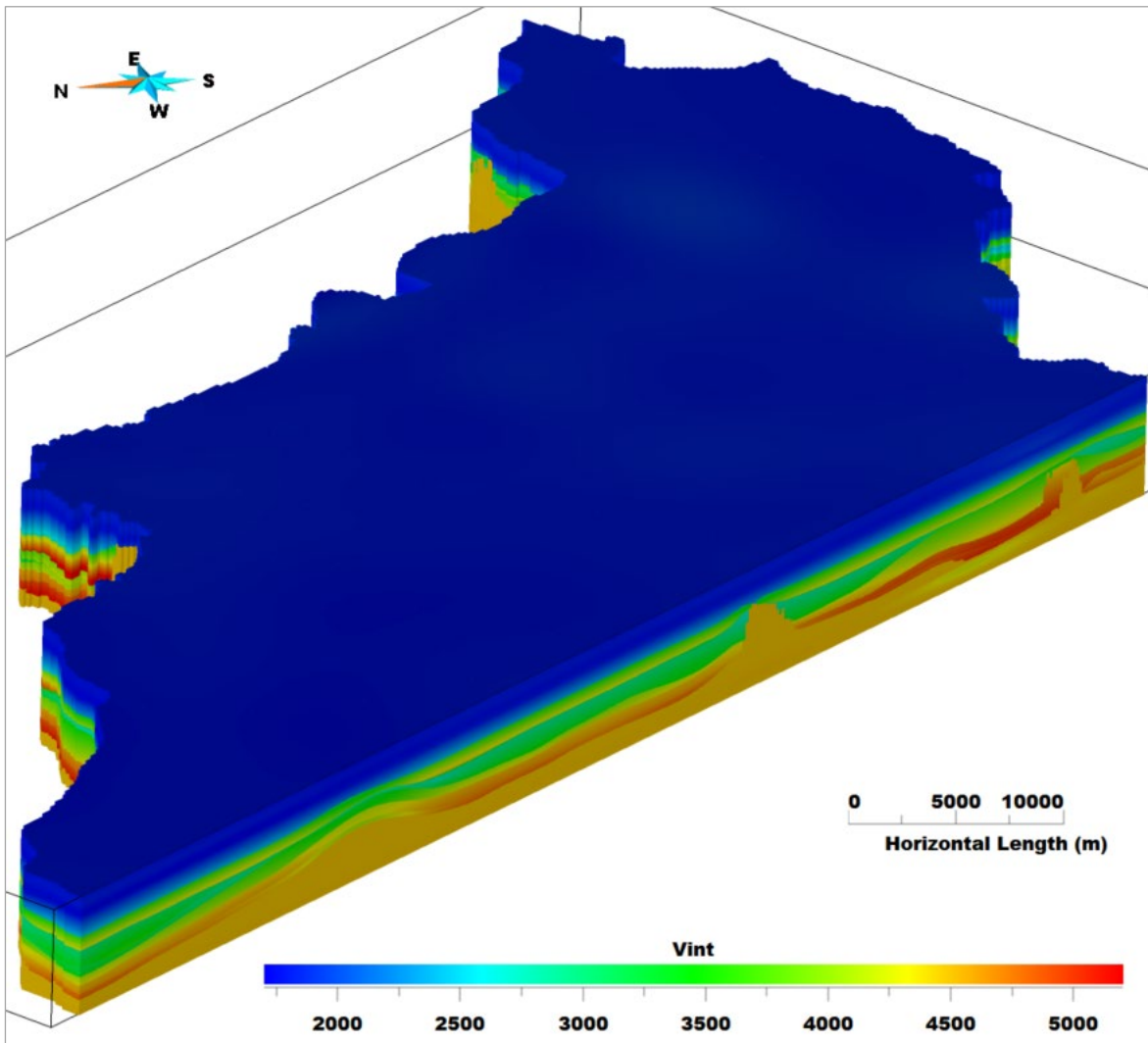


Abb. 23: Intervallgeschwindigkeiten für die Kachel Dannenberg (Aspen SKUA® V14.5). Die Intervallgeschwindigkeiten wurden im Voxet zugewiesen.

## 5.2. Parametrisierung mittels Reservoir Properties (RP)-Workflow

Das Ergebnis des SnS-Workflows (Kapitel 4.4 „Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow (SnS-Workflow“) ist ein *Geologic Grid*. Es gibt zwei unterschiedliche Möglichkeiten, diesem Volumenmodell Intervallgeschwindigkeiten zuzuweisen. Eine davon ist der RP-Workflow von Aspen SKUA® V14.5. Dieser setzt voraus, dass die Geschwindigkeiten als Geschwindigkeitsfunktionen (Velocity Function) vorliegen.

### 5.2.1. Geschwindigkeiten aus der Seismik

Die eingescannten Stapelgeschwindigkeiten (Kapitel 2.10 „Geschwindigkeitsdaten: Seismik“) lagen im PRN- bzw. ProMAX-Format als eine Datei pro Linie vor. Beide Formate bestehen aus formatiertem Text mit Leerzeichen und enthalten die CMP-Nummer der Geschwindigkeitsfunktion, die Zweiweglaufzeit und die Stapelgeschwindigkeit. Im ProMAX-Format gibt es zusätzlich vier Headerzeilen. Nachdem die Koordinaten der CMP-Lokationen in Aspen EPOS® V14.2 geladen wurden, konnten diese

Dateien in Aspen EPOS® V14.2 über *ASCII-Import* als *Vertical Function* (*Type: Velocity; Sub-type: Stacking (NMO) Time*) eingelesen werden. Die Stapelgeschwindigkeiten lagen im Zeit-Bereich vor und wurden in Aspen EPOS® V14.2 zunächst in Intervallgeschwindigkeiten im Zeitbereich und dann in die Tiefen-Domäne gewandelt. Für die Konvertierung wurden bestimmte Zeit- bzw. Tiefenintervalle herangezogen. Diese orientierten sich an den Zeiten, für die Stapelgeschwindigkeiten vorlagen, und nicht an geologischen Horizonten. Die errechneten Intervallgeschwindigkeiten wurden als ASCII-Datei im TDQ-Format exportiert, die anschließend über *File -> Import -> Velocity Data -> TDQ* in Aspen SKUA® V14.5 importiert wurde.

Die Eingangsdaten für den RP-Workflow waren das *Geologic Grid* aus dem SnS-Workflow sowie die importierten Geschwindigkeitsfunktionen. Die Intervallgeschwindigkeiten wurden dann im Workflow mittels Kriging auf das *Geologic Grid* interpoliert.

### 5.2.2. Erzeugen eines Geschwindigkeitsmodells nach dem v0-k-Ansatz

Mit dem Modul Aspen SeisEarth® V14.2 lässt sich ein Geschwindigkeitsmodell erstellen, das durch theoretische Oberflächengeschwindigkeiten, einen schichtspezifischen Gradienten sowie die jeweilige Tiefe definiert ist (v0-k-Ansatz). Dafür mussten für jede Schicht zwei *Grids* aus Aspen SKUA® V14.5 in Aspen SeisEarth® V14.2 importiert werden, eines mit den Geometrie-Informationen des Horizontes und ein weiteres mit den theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991). Diese Informationen wurden über *File -> Save Interpretation -> Save 2D Grid Property* (*Property: Velocity, Intervall Vp*) aus Aspen SKUA® V14.5 an Aspen EPOS® V14.2 übertragen. Im *Interpretation Data Manager* wurde kontrolliert, dass die eingeladenen *Grids* mit Geometrie-Informationen als *Data Type „Depth“* und die mit Geschwindigkeitsinformationen als *Data Type „Velocity“* geladen wurden. Geschwindigkeitsmodelle können in Aspen EPOS® V14.2 im Modul *Global Velocity Model* erstellt werden. Dabei wurde *Model Type: Horizon Based, Domain: Depth* und *Velocity Type: Interval Vp (v0-k)* verwendet. Über *Add Horizon(s)* wurden zunächst die Hori-

zonte in Tiefe eingeladen und dann unter *Velocity Source -> Velocity Map* die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991). Für die Berechnung des Geschwindigkeitsmodells wurde ein Gradient benötigt, der wie die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten JARITZ et al. (1991) entnommen ist. Mit dem Befehl *Create Velocity Volume* wurden die Intervallgeschwindigkeiten in Tiefe innerhalb eines vorher definierten Volumens berechnet. Die Intervallgeschwindigkeiten konnten im Modul *Paradigm Session Manager -> Vertical Functions* extrahiert werden. An Pseudo-CMP-Lokationen wurden mit einem lateralen Abstand von 25 m und einem Tiefen-Sampling von 10 m Geschwindigkeitsfunktionen erstellt. Diese wurden analog zu den Daten aus der Seismik im TDQ-Format exportiert und anschließend über *File -> Import -> Velocity Data -> TDQ* in Aspen SKUA® V14.5 importiert.

Sie dienten neben dem *Geologic Grid* aus dem SnS-Workflow als Eingangsdaten für den RP-Workflow. Wie bei denen aus der Seismik wurden die Intervallgeschwindigkeiten im Workflow mittels Kriging auf das *Geologic Grid* interpoliert.

### 5.3. Parametrisierung mittels *Apply Script on Object*

Wenn ein Geschwindigkeitsmodell nach dem v0-k-Ansatz über die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten  $V_{NN}$ , einen Gradienten  $k$  pro Schicht und die Tiefe  $Z$  definiert ist, so können die Intervallgeschwindigkeiten auch direkt in Aspen SKUA® V14.5 berechnet werden. Dazu wurden zunächst die Oberflächengeschwindigkeiten  $V_{NN}$  in die Zellen des *Geologic Grid* geschrieben (*Voxel -> Property -> Transfer Property by Vertical Projection*). Anschließend konnten die Intervallgeschwindigkeiten  $V_{int}$ , analog zur Vorgehensweise beim *Voxel* in Kapitel 5.1 „Zuweisen der Geschwindigkeiten im *Voxel*“, mittels *Apply Script on Object* über die Formel  $V_{int} = V_{NN} + (k * \text{fabs}(Z))$  für die jeweilige Region im *Geologic Grid* berechnet werden.

### 5.4. Übertragen der Geschwindigkeiten auf ein *Voxel*

Sowohl beim RP-Workflow als auch bei der Parametrisierung mittels *Apply Script on Object* wurden die Intervallgeschwindigkeiten auf das

*Geologic Grid* geschrieben. Da das angestrebte Ergebnis jedoch ein Voxet mit Geschwindigkeitsinformationen sein sollte, mussten die Intervallgeschwindigkeiten noch übertragen werden. In Aspen SKUA® V14.5 müssen dazu die Geschwindigkeiten zunächst im *SKUA Model* gespeichert werden, und von dort können sie in die Zellen des Voxets geschrieben werden. Dazu wird der *Property Model Editor* des *SKUA Models* (*SKUA Model* -> *Property* -> *Grid-Less Property Editor*) genutzt. Hier wurde über *Add Property* die Intervallgeschwindigkeit hinzugefügt. Anschließend wurde bei jeder Schicht die Intervallgeschwindigkeit auf die des *Geologic Grids* gesetzt (*Variable Type* auf *From Grid Property* -> *Geologic\_Model* auswählen -> *Update Variable Definition*). Für den Zechstein wurde die Intervallgeschwindigkeit konstant auf 4500 m/s gesetzt (*Variable Type* auf *Constant*). Für die darunter liegenden Schichten (vorwiegend Rotliegendes, teilweise auch Ablagerungen aus dem Oberkarbon) existieren keine Literaturwerte. Hier wurde eine konstante Geschwindigkeit von 5200 m/s für die niedersächsischen Modellkacheln angenommen.

Analog zu dem in Kapitel 4.3 „Erzeugen eines Volumenmodells über ein Voxet“ beschriebenen Vorgehen wurde ein Voxet erstellt und die Geschwindigkeiten mittels *SKUA Model* -> *Property* -> *Paint Voxet* auf dieses übertragen. Außerdem wurden die geologischen Schichten als *Regions* auf das Voxet übertragen: *SKUA Model* -> *Property* -> *Transfer Stratigraphy and Geologic Time to Voxet*.

#### 5.4.1. Einfügen der Salzkörper als *Regions* im Voxet

Die gleichzeitige Integration von Störungen und Salzkörpern im SnS-Workflow führte zu zahlreichen Fehlermeldungen, da der Kontakt von Störungen und Salzkörpern im Workflow nicht definiert werden kann. Daher war es effizienter, die Salzkörper erst im Voxet als *Regions* einzufügen und für diese *Regions* dann die Intervallgeschwindigkeiten zu setzen. Um die *Region* der Salzstrukturen korrekt initialisieren zu können, mussten diese als geschlossene Flächen vorliegen. Die *Region* konnte dann über *Voxet* -> *Region* -> *Initialize from Geologic Feature* gesetzt werden. Dazu durfte das jeweilige Salzfeature ausschließlich die geschlossene Salzfläche ent-

halten. Anschließend wurde die Intervallgeschwindigkeit im Salzkörper auf 4500 m/s mittels *Voxet* -> *Property* -> *Set Constant* und der entsprechenden *Region* gesetzt.

#### 5.4.2. Qualitätskontrolle

Nachdem das Voxet mit den Intervallgeschwindigkeiten für die jeweilige Kachel erstellt war, wurde es auf Plausibilität geprüft. Dabei zeigte sich, dass es vereinzelte Zellen ohne Geschwindigkeitsinformationen gab, obwohl diese innerhalb des Modelliergebiets lagen. Um diese noch zu setzen, wurden zunächst die Zellen ohne Geschwindigkeiten als *Region* definiert (*Voxet* -> *Region* -> *Initialize from Property No-Data Value*). Die daraus entstandene *Region* musste noch bearbeitet werden, um nur Zellen zu berücksichtigen, die unterhalb des DGM und innerhalb des Modelliergebiets liegen. Aus den Zellen mit Intervallgeschwindigkeits-Werten wurde ebenfalls eine *Region* erzeugt und daraus ein *PointsSet* erstellt. Mittels *Voxet* -> *Property* -> *Paint on Region* -> *With PointsSet* wurden die Intervallgeschwindigkeiten der benachbarten Zelle in die *No-Data Region* geschrieben.

#### 5.4.3. Umwandeln der Intervallgeschwindigkeiten in Durchschnittsgeschwindigkeiten

Für die Veröffentlichung der Daten wurden aus den Intervallgeschwindigkeiten im Tiefenbereich auch die Durchschnittsgeschwindigkeiten im Zeitbereich erstellt. Dazu mussten zunächst die Intervallgeschwindigkeiten extrapoliert werden, so dass keine nicht definierten Werte mehr im Modell vorhanden waren. Anschließend wurden die Durchschnittsgeschwindigkeiten in Aspen SKUA® V14.5 mit dem Befehl *Velocity* -> *Velocity Conversion* -> *Voxet and Seismic Lines: in Different Domains* von Intervallgeschwindigkeiten in Tiefe (*depth interval*) in Durchschnittsgeschwindigkeiten in Zeit (*time average*) umgewandelt. Im Voxet wurden diese dann auf den Bereich geschnitten, in dem vor der Interpolation Intervallgeschwindigkeiten vorlagen.

## 6. Grenzharmonisierung

In der Pilotregion wurden die Geschwindigkeitsmodelle der beteiligten staatlichen geologischen Dienste harmonisiert und in ein gemeinsames Voxet übertragen. Dieses hat eine Auflösung von 250 m in horizontaler Richtung und 25 m in vertikaler Richtung. Im finalen Voxet wurden die Intervallgeschwindigkeiten unterhalb der Basis Zechstein auf nicht definiert (NDV) gesetzt. Damit unterscheidet sich das Voxet für die Kachel Dannenberg hinsichtlich Auflösung und Intervallgeschwindigkeiten unter der Basis Zechstein von den anderen Kacheln für Niedersachsen und Bremen.

### 6.1. Grenze Niedersachsen – Schleswig-Holstein

Die Geschwindigkeitsmodelle von Niedersachsen und Schleswig-Holstein passten im Grenzbereich bereits vor der Grenzharmonisierung größtenteils zusammen, da sie beide auf JARITZ

et al. (1991) beruhen. Im Verlauf des gegenseitigen Abstimmungsprozesses wurden geringfügige Differenzen bezüglich der Tiefenlage der Horizonte bereinigt und die Horizontgeometrien seitens Schleswig-Holsteins entsprechend angepasst. Für den mittleren Jura (jm) sind die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten in den Arbeitskarten von JARITZ et al. (1991) nicht eindeutig. An den Isolinien stehen jeweils zwei Geschwindigkeitswerte, die sich um bis zu 300 m/s unterscheiden. Hier bestimmten die Projektmitarbeitenden in Schleswig-Holstein die optimalen Werte, indem sie die Horizonte mit den beiden unterschiedlichen Geschwindigkeitsmodellen in den Zeitbereich konvertierten und mit Seismik im Zeitbereich verglichen. Es zeigte sich, dass die niedrigeren Geschwindigkeitswerte zu besseren Ergebnissen führten, daher wurden diese für die Modellierung verwendet. Abbildung 24 zeigt eine Übersichtskarte zu den in Abbildung 25 dargestellten Schnitten durch die Geschwindigkeitsmodelle Niedersachsens und Schleswig-Holsteins an der gemeinsamen Grenze. Darin ist zu erkennen, dass beide Geschwindigkeitsmodelle an der Grenze identisch sind.

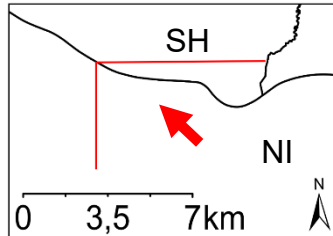


Abb. 24: Übersichtskarte zu den in Abbildung 25 dargestellten Sektionen (hier in Rot). Der Pfeil zeigt die Blickrichtung.  
(Datenquelle Ländergrenzen:  
© GeoBasis-DE/LGLN 2024;  
© GeoBasis-DE/LVermGeo SH;  
© GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

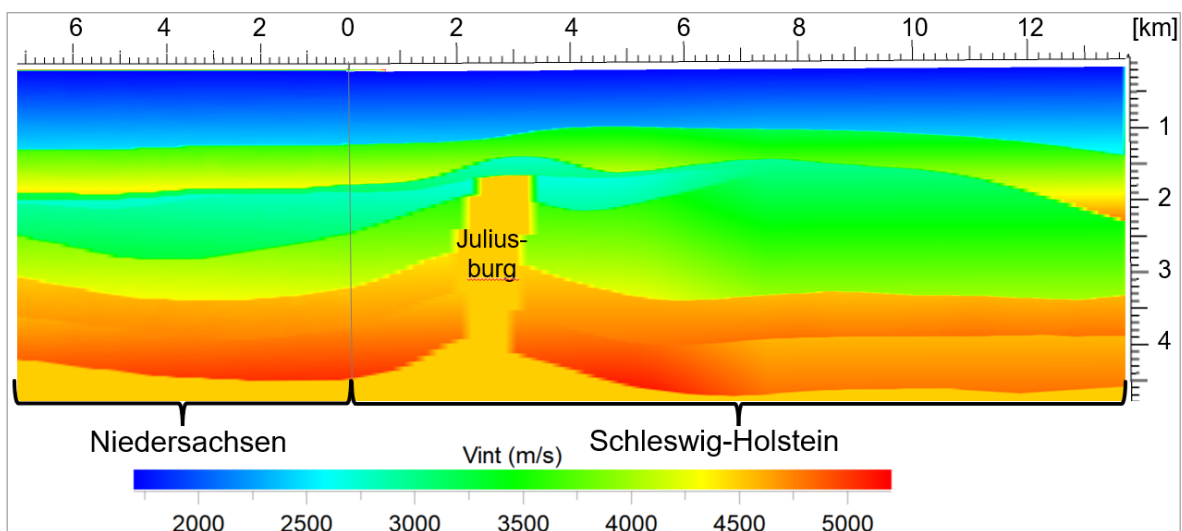


Abb. 25: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Schleswig-Holstein zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze (Aspen SKUA® V14.5).

## 6.2. Grenze Niedersachsen – Mecklenburg-Vorpommern

Das Geschwindigkeitsmodell für Mecklenburg-Vorpommern basiert auf dem regionalen Geschwindigkeitsmodell von REINHARDT (1977, 1988) und weiteren regionalen Modellen, die zwischen 1980 und 1990 erstellt wurden. Daher

wiesen die Geschwindigkeitsmodelle von Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern vor der Grenzharmonisierung deutlich größere Unterschiede auf als die zwischen Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Abbildung 26 zeigt die Übersichtskarte für die in Abbildung 27 dargestellte Intervallgeschwindigkeit vor der Grenzharmonisierung.

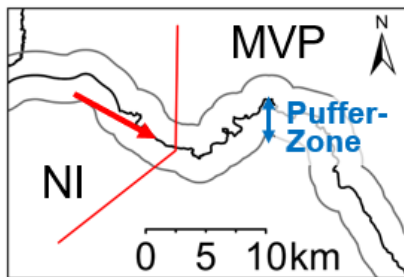


Abb. 26: Übersichtskarte zu der in Abbildung 27 und Abbildung 29 dargestellten Sektion (hier in Rot). Der Pfeil zeigt die Blickrichtung.  
(Datenquelle Ländergrenzen:  
© GeoBasis-DE/LGLN 2024;  
© GeoBasis-DE/LVermGeo SH;  
© GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

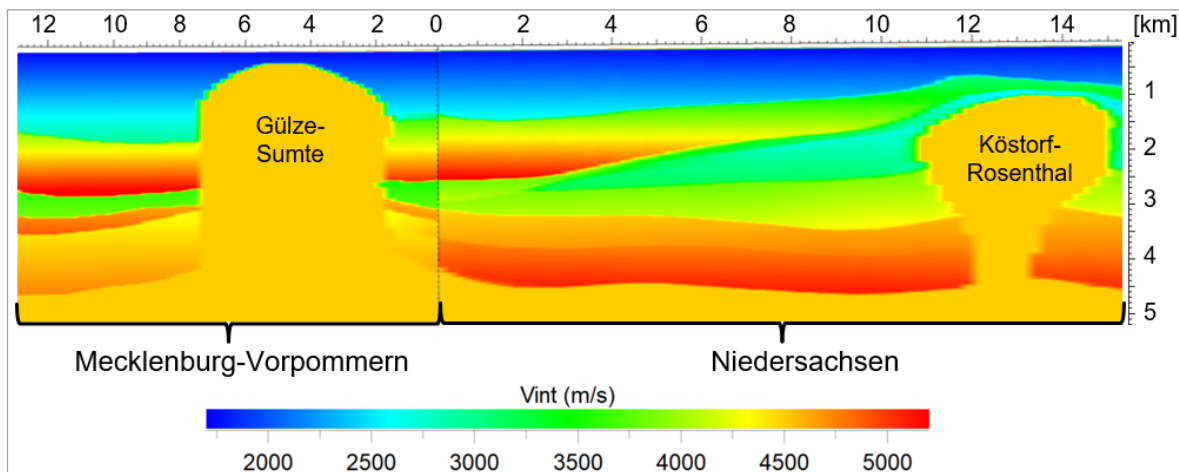


Abb. 27: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze (Aspen SKUA® V14.5).

Aufgrund der Differenzen in den Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze musste ein anderer Ansatz für die Harmonisierung gewählt werden. Um die Geometrie der Horizonte und damit einhergehenden Änderungen der Intervallgeschwindigkeiten zu erhalten, wurden die den Geschwindigkeitsmodellen zugrunde liegenden theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten und Gradienten interpoliert. Dafür wurden von Mecklenburg-Vorpommern die theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten für die in Niedersachsen und Schleswig-Holstein verwendeten Schichten bestimmt. In der

Pilotregion auf dem Gebiet Mecklenburg-Vorpommerns ist das Geschwindigkeitsfeld durch mehrere Bohrungen belegt. Deshalb wurde deren Geschwindigkeitsmodell nach Niedersachsen hinein interpoliert. Dazu wurde die Oberflächengeschwindigkeit aus Mecklenburg-Vorpommern in die verwendeten Karten der Oberflächengeschwindigkeit für Niedersachsen integriert und in einem ca. 2 km breiten Bereich interpoliert (Abb. 28).

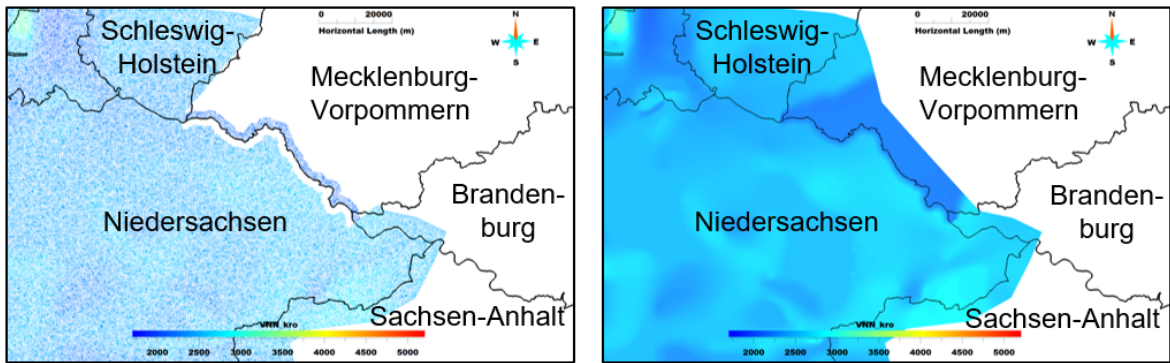


Abb. 28: Extrahieren (links) und Interpolieren (rechts) der Oberflächengeschwindigkeiten, beispielhaft für die Oberkreide (Aspen SKUA® V14.5). (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

Das Vorgehen bei den Gradienten war identisch. Die Intervallgeschwindigkeiten wurden anschließend mit den aktualisierten Daten berechnet. In Abbildung 29 sind Sektionen nach

der Grenzharmonisierung aus Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen dargestellt, die sich an der Grenze schneiden.

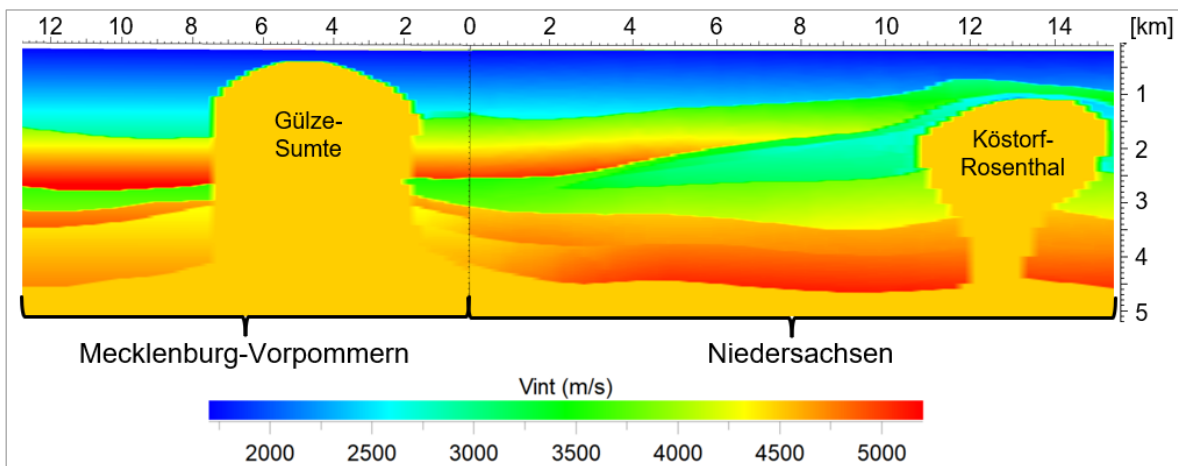


Abb. 29: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze nach der Grenzharmonisierung (Aspen SKUA® V14.5). Die Lage ist identisch mit der in Abbildung 26 dargestellten Karte.

Für den Bereich des Buntsandsteins unterscheiden sich die Intervallgeschwindigkeiten nach der Harmonisierung. Hier wurden die Intervallgeschwindigkeiten verschiedenen Tiefenintervallen zugeordnet. Bei der in Niedersachsen genutzten Schichteinteilung von JARITZ et al. (1991) wurden Röt und Muschelkalk (som) zusammengefasst. In der Schichteinteilung nach REINHARDT (1977), die in Mecklenburg-Vorpommern verwendet wurde, sind Röt und

Muschelkalk separat betrachtet, mit vergleichsweise hohen Intervallgeschwindigkeiten für den Muschelkalk. Die unterschiedliche Einteilung der Intervalle ist auch in Abbildung 29 zu erkennen und verursacht einen abrupten Übergang der Intervallgeschwindigkeiten an der Grenze für diese Tiefe. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten in diesen Schichten sind jedoch harmonisiert. Für eine Umwandlung von seismischen

oder interpretierten Daten vom Zeit- in den Tiefenbereich und umgekehrt werden Durchschnittsgeschwindigkeiten verwendet. Daher führt die Diskrepanz bei den Intervallgeschwindigkeiten zu keinem Fehler, sollte das Geschwindigkeitsmodell für diesen Zweck verwendet werden.

### 6.3. Grenze Niedersachsen – Brandenburg

Das Geschwindigkeitsmodell Brandenburgs basiert auf REINHARDT (1988) und unterscheidet sich hinsichtlich Geometrie und Intervallgeschwindigkeiten deutlich von dem niedersächsischen Geschwindigkeitsmodell. Abbildung 30 zeigt die Übersichtskarte zu den in Abbildung 31 und Abbildung 33 dargestellten Sektionen.

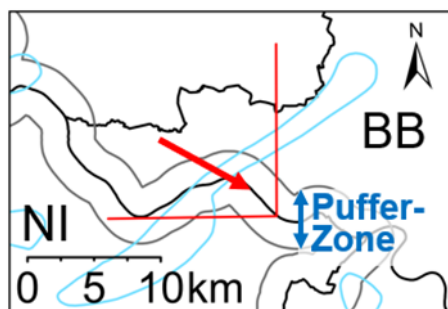


Abb. 30: Übersichtskarte zu den in Abbildung 31 und Abbildung 33 dargestellten Sektionen. Zudem ist der Umriss des Salzstocks Gorleben-Rambow in Hellblau dargestellt (Datenquelle Salzstockkarte: © BGR, Hannover, 2025). Der Pfeil zeigt die Blickrichtung. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

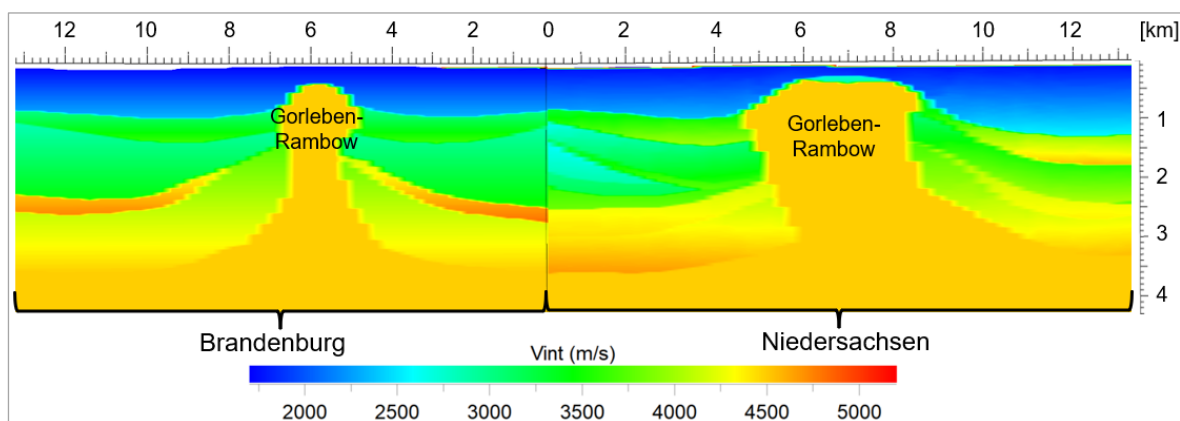


Abb. 31: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Brandenburg zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze vor der Grenzharmoisierung (Aspen SKUA® V14.5). Der Salzstock Gorleben-Rambow wird von beiden Sektionen geschnitten (siehe Übersichtskarte Abb. 30).

Hier wurde die Harmonisierung durch eine gewichtete Interpolation der Intervallgeschwindigkeiten erreicht. Das Verfahren wurde am Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt entwickelt. Dafür wurde zunächst ein Gewichtungsfaktor für Niedersachsen und einer für Brandenburg für eine insgesamt 4 km breite Pufferzone entlang der Grenze bestimmt. Die

Gewichtungsfaktoren sind 2 km innerhalb des jeweiligen Bundeslandes (also auf dem Rand der Pufferzone) auf eins und 2 km außerhalb auf null gesetzt. Dazwischen werden sie so interpoliert, dass jeder Gewichtungsfaktor an der Grenze 0,5 beträgt (Abb. 32). Der Grenzverlauf und damit auch der Verlauf der Pufferzone sind dabei etwas vereinfacht.

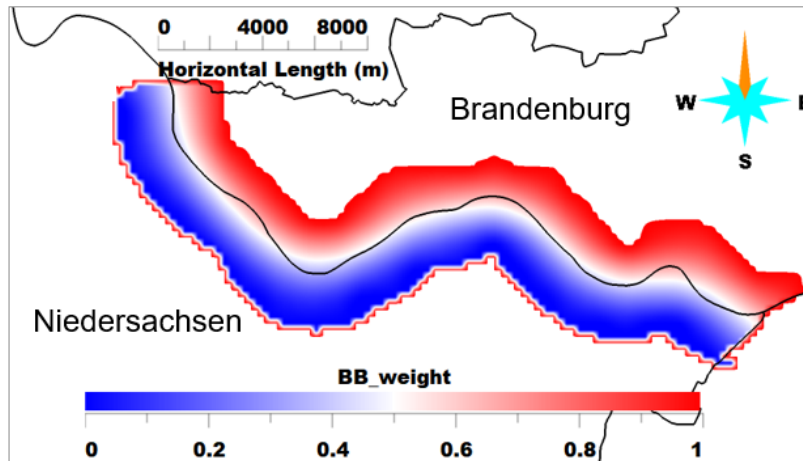


Abb. 32: Wichtungsfaktoren für Brandenburg entlang der Grenze zwischen Niedersachsen und Brandenburg (Aspen SKUA® V14.5). Der Grenzverlauf wurde für die Interpolation vereinfacht. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

Entlang eines zu jeder Seite der Grenze 2 km breiten Streifens berechnen sich die gewichteten Intervallgeschwindigkeiten ( $V_{int_{weighted}}$ ) nach

$$V_{int_{weighted}} = \text{Gewichtungsfaktor}_{NI} * V_{int_{NI}} + \text{Gewichtungsfaktor}_{BB} * V_{int_{BB}}$$

Das bedeutet, dass sich die gewichteten Intervallgeschwindigkeiten an der Grenze zu 50 % aus den niedersächsischen und zu 50 % aus den brandenburgischen Geschwindigkeiten zusammensetzen. Abbildung 33 zeigt die Schnitt-

punkte zwischen Niedersachsen und Brandenburg nach der Harmonisierung. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sie auch dann angewendet werden kann, wenn die Geometrie der Schichten unterschiedlich ist, während vorhandene Informationen über Intervallgeschwindigkeiten entlang der Grenze beibehalten und genutzt werden. Nach der Grenzharmonisierung gehen die Intervallgeschwindigkeiten der beiden Modelle in einem 4 km breiten Streifen ineinander über, sodass sie an der Grenze identisch sind.

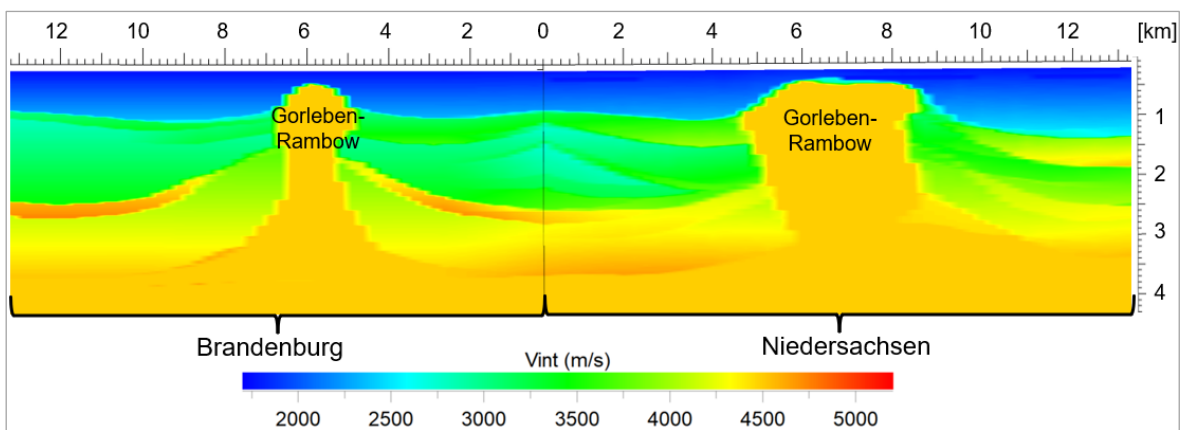


Abb. 33: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Brandenburg zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze nach der Grenzharmonisierung (Aspen SKUA® V14.5). Der Salzstock Gorleben-Rambow wird von beiden Sektionen geschnitten (siehe Übersichtskarte Abb. 30).

## 6.4. Grenze Niedersachsen – Sachsen-Anhalt

Für die Grenze zwischen Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wurde identisch vorgegangen wie an der Grenze zwischen Niedersachsen und Brandenburg und eine gewichtete Interpolation der Intervallgeschwindigkeiten angewendet. Abbildung 34 zeigt eine Übersichtskarte zu den Schnittstellen aus Abbildung 35 und Abbildung 36.

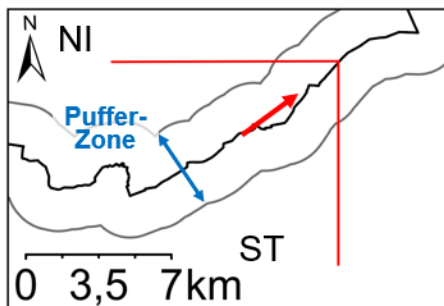


Abb. 34: Übersichtskarte zu den in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellten Sektionen. Der Pfeil zeigt die Blickrichtung. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

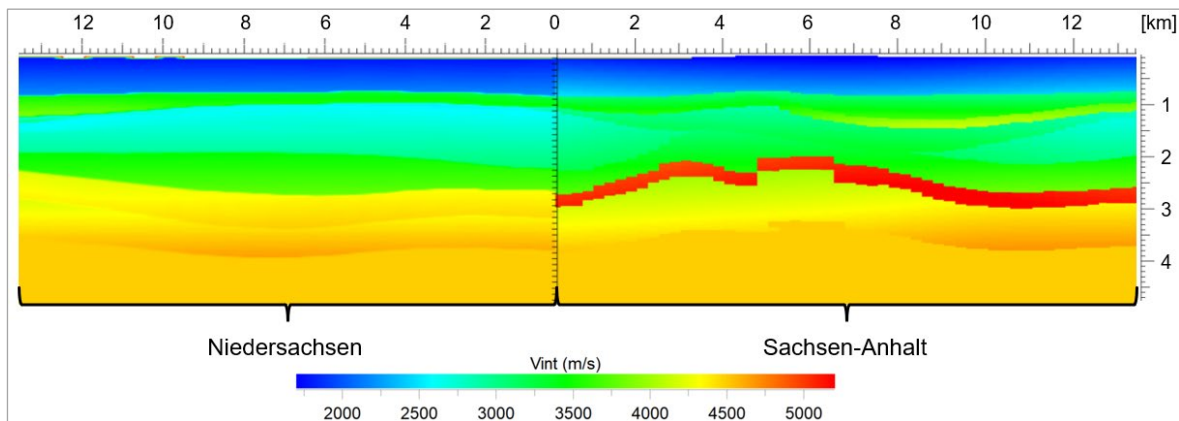


Abb. 35: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Sachsen-Anhalt zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze vor der Grenzharmonisierung (Aspen SKUA® V14.5). Die zugehörige Übersichtskarte ist in Abbildung 34 dargestellt.

In Abbildung 35 sind Schnitte an der Grenze zwischen Niedersachsen und Sachsen-Anhalt dargestellt. Während die Intervallgeschwindigkeiten sich vor der Grenzharmonisierung noch deutlich unterscheiden, sind diese an der Grenze nach der Harmonisierung identisch

(Abb. 36). Dennoch ist zu erkennen, dass außerhalb des Interpolationsgebiets (4 km breiter Streifen entlang der Grenze) die Modelle auf unterschiedlichen Geschwindigkeitsmodellen beruhen und die Geschwindigkeitsintervalle anderen Schichtpaketen zugeordnet wurden.

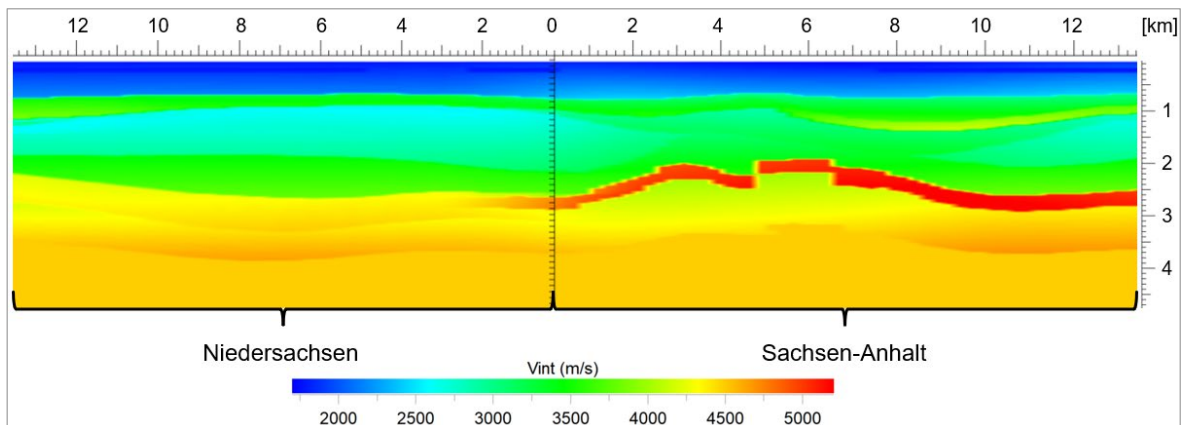


Abb. 36: Beispielhafter Schnitt durch die Voxets von Niedersachsen und Sachsen-Anhalt zum Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten an der gemeinsamen Grenze nach der Grenzharmonisierung (Aspen SKUA® V14.5). Die zugehörige Übersichtskarte ist in Abbildung 34 dargestellt.

## 7. Ergebnisse und Auswertung

### 7.1. Workflow zum Erstellen des Volumenmodells und der Parametrisierung mit seismischen Geschwindigkeiten

Für die Kachel Dannenberg, die für Niedersachsen weitestgehend der Pilotregion entspricht, wurde ein Volumenmodell sowohl direkt über ein Voxet (Kapitel 4.3 „Erzeugen eines Volumenmodells über ein Voxet“) als auch über den SnS-Workflow (Kapitel 4.4 „Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow (SnS-Workflow)“) erzeugt. Abbildung 37 zeigt eine Übersichtskarte mit der Intervallgeschwindigkeit im niedersächsischen Teil der Pilotregion in einer Tiefe von 1550 m. Im Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell (Lokation des Schnitts rot markiert in Abb. 37) zeigte sich, dass die *Regions* im Bereich der Salzstrukturen fehlerhaft berechnet wurden (Abb. 38 und Abb. 39, markiert mit ① und ②). Insbesondere Überhang von Salzstrukturen wurden nicht der korrekten *Region* zugewiesen. Im Gegensatz dazu erstellt der SnS-Workflow auch bei komplexer Geologie korrekte *Regions* im Bereich der Salzkörper. Dies ist auch der Fall, wenn mit dem SnS-Workflow zunächst nur die Modellierung ohne Salzkörper erfolgte (die

anderen Schichten gehen dann durch die Salzkörper hindurch) und die Salzstrukturen anschließend als geschlossene Ellipsoide eingefügt wurden. Ein weiterer Vorteil des SnS-Workflows ist, dass die Zellen entlang der Schichtgrenzen verlaufen und nicht wie bei der Voxet-Lösung starren Würfeln entsprechen. Daher ist die Auflösung des Modells aus dem SnS-Workflow höher als beim direkten Zuweisen von *Regions* im Voxet. Die Volumenmodelle der Kacheln außerhalb der Pilotregion wurden nach Auswertung der dort durchgeführten Tests mithilfe des SnS-Workflows erzeugt.

Beim Vergleich des Geschwindigkeitsmodells, bei dem die Geschwindigkeiten über den RP-Workflow zugewiesen wurden (Abbildung 39), mit dem Modell, bei dem die Geschwindigkeiten über die Formel in *Apply Script im Geologic Grid* bestimmt wurden (Abb. 40), zeigten sich nur geringe Unterschiede. Differenzen sind beispielsweise an den Flanken des südwestlichen Salzstocks und der Basis Unterer Bundsandstein zu Zechstein zu erkennen (siehe Pfeile in Abb. 39 und Abb. 40). Da der Aufwand, die Intervallgeschwindigkeiten mit Aspen SeisEarth® zu erzeugen, deutlich größer ist als über die Formel im *Geologic Grid* und die Unterschiede im Ergebnis vernachlässigbar sind, wurden für die weiteren Kacheln die Intervallgeschwindigkeiten nur über diese Methode erzeugt.

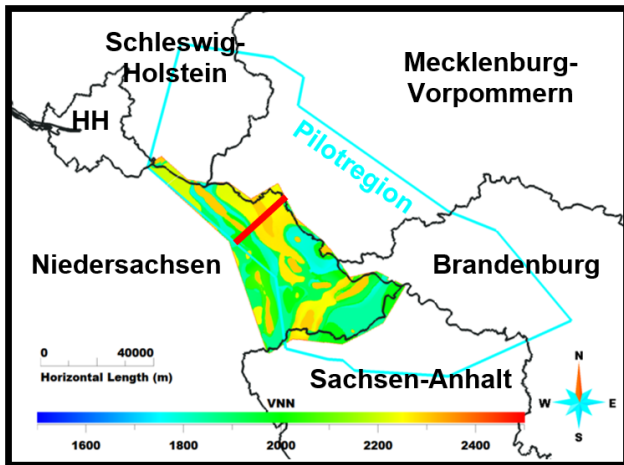


Abb. 37: Karte der Pilotregion mit den Intervallgeschwindigkeiten in Niedersachsen in einer Tiefe von 1550 m (Aspen SKUA® V14.5). Der in Abbildung 38 bis Abbildung 41 gezeigte Schnitt ist rot eingezeichnet. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

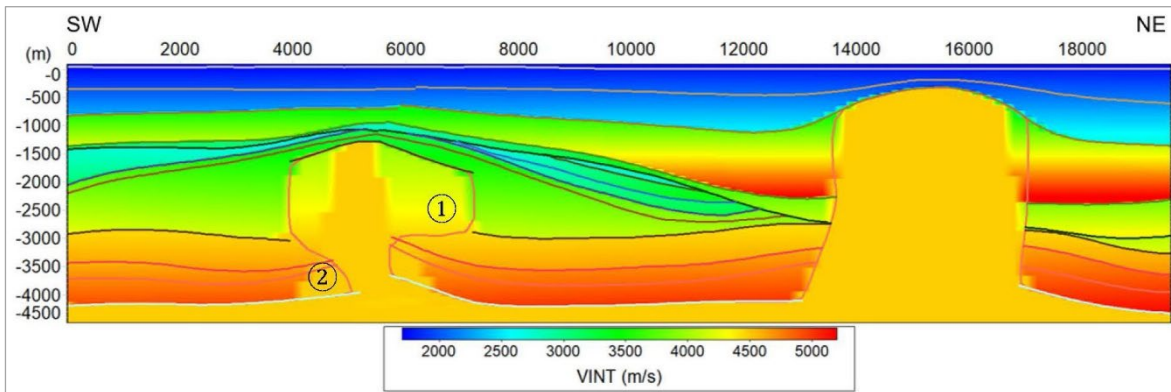


Abb. 38: Kachel Dannenberg: Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell mit den Salzstrukturen Köstorf-Rosenthal im Südwesten und Gülze-Sumte im Nordosten (Aspen SKUA® V14.5). Die geologischen Einheiten wurden als Regions im Voxet bestimmt.

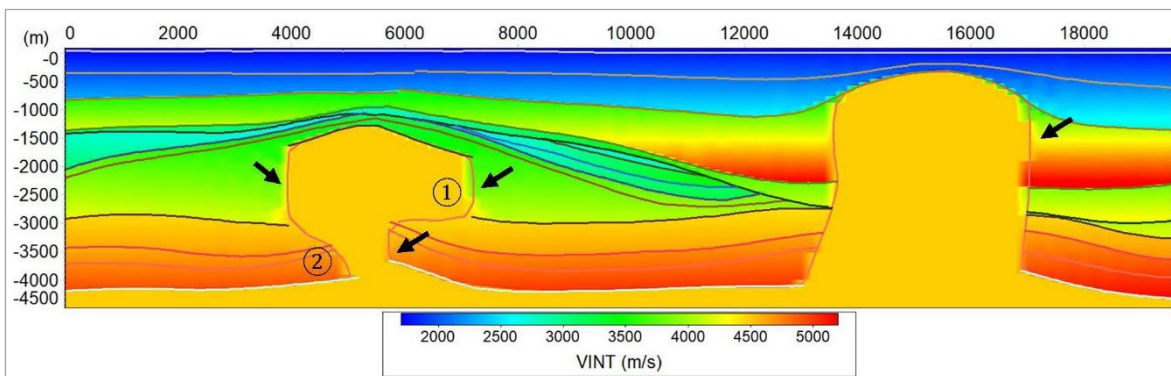


Abb. 39: Kachel Dannenberg: Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell mit den Salzstrukturen Köstorf-Rosenthal im Südwesten und Gülze-Sumte im Nordosten (Aspen SKUA® V14.5). Das Volumenmodell wurde über den SnS-Workflow erstellt. Die Zuweisung der Intervallgeschwindigkeiten erfolgte über den RP-Workflow.

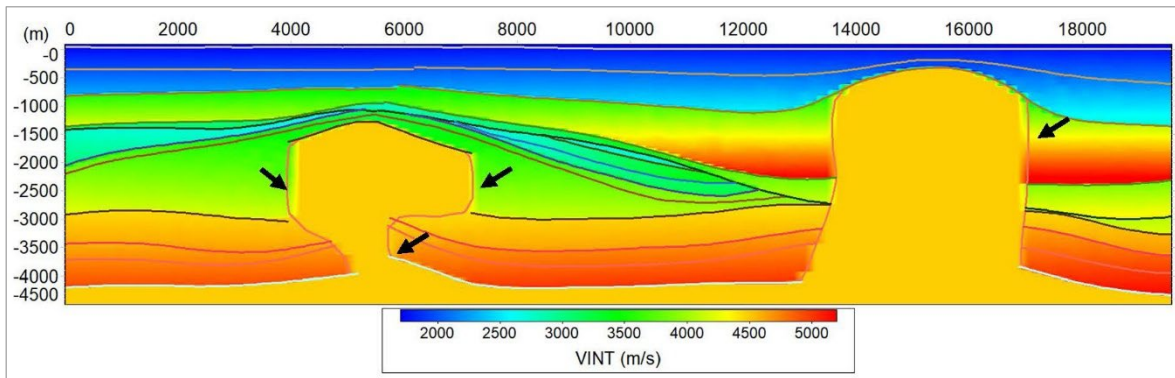


Abb. 40: Kachel Dannenberg: Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell mit den Salzstrukturen Köstorf-Rosenthal im Südwesten und Gülze-Sumte im Nordosten (Aspen SKUA® V14.5). Das Volumenmodell wurde über den SnS-Workflow erstellt. Die Zuweisung der Intervallgeschwindigkeiten erfolgte über *Apply Script on Object* für die *Regions* des *Geologic Grids*.

## 7.2. Wahl der modellierten Geschwindigkeiten

### 7.2.1. Geschwindigkeiten aus der Seismik

Für die Pilotregion wurden aus den für diese Region verfügbaren seismischen Profilen die Stapelgeschwindigkeiten extrahiert und in Intervallgeschwindigkeiten umgerechnet. Stapelgeschwindigkeiten sind ein Processingparameter, der so gewählt wird, dass die Reflektoren in der Seismik bestmöglich abgebildet werden. Die Stapelgeschwindigkeiten werden auch durch die Neigung des Reflektors beeinflusst, was durch eine Dip-Moveout-Korrektur behoben werden kann. Diese wurde allerdings erst ab den 1980er Jahren angewendet. Es ist nicht mehr nachzuvollziehen, ob bei allen untersuchten Surveys eine Dip-Moveout-Korrektur bei der Erstellung der Stapelgeschwindigkeiten berücksichtigt wurde. Die Umwandlung der Stapelgeschwindigkeiten in Intervallgeschwindigkeiten

erfolgte zudem nicht an geologischen Horizonten, sondern für die Zeiten, für die ein jeweiliger Geschwindigkeitswert angegeben war. In den Abbildungen 7, 8, 9 und 10 in Kapitel 2.10 „Geschwindigkeitsdaten: Seismik“ ist die breite Streuung der errechneten Intervallgeschwindigkeiten aus den Stapelgeschwindigkeiten zu erkennen. Das aus den Stapelgeschwindigkeiten erzeugte Intervallgeschwindigkeitsmodell in der Tiefendomäne zeigte für die Sedimentschichten unterhalb der Basis Lias unrealistisch hohe Geschwindigkeiten von über 7000 m/s. In Abbildung 41 sind die Intervallgeschwindigkeiten, die aus den Stapelgeschwindigkeiten berechnet wurden, mit derselben Farbskala, wie sie für Abbildung 38 bis Abbildung 40 verwendet wurde, dargestellt. Hier ist außerdem zu erkennen, dass die Intervallgeschwindigkeiten für alle Schichten ab der Unterkreide und tiefer deutlich höher sind als im Modell nach JARITZ et al. (1991).

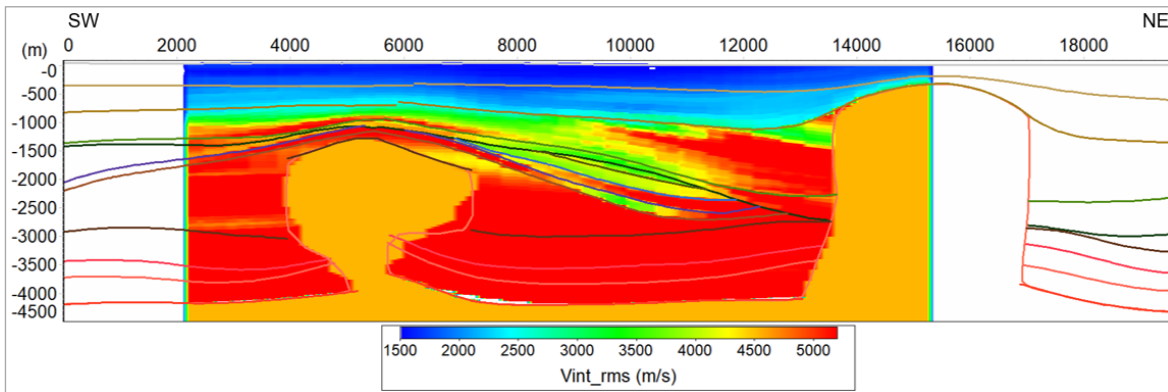


Abb. 41: Kachel Dannenberg: Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell mit den aus den seismischen Stapelgeschwindigkeiten abgeleiteten Intervallgeschwindigkeiten (Aspen SKUA® V14.5). Diese wurden nur für einen Teilbereich der Pilotregion berechnet und liegen daher nicht über den gesamten Schnitt hinweg vor.

In Abbildung 42 ist die Verteilung der Intervallgeschwindigkeiten dargestellt, die aus den Stapelgeschwindigkeiten errechnet wurden. Auffällig ist, dass viele Werte über 5000 m/s liegen. Das Picken seismischer Geschwindigkeiten erfolgt in nach Offset sortierten *Common-Midpoint-Gather*, wobei die Laufzeitkurve eines Reflexionspunktes im Untergrund eine Hyperbel beschreibt. Bei Verwendung einer optimalen Stapelgeschwindigkeit lassen sich diese Hyperbeln zu Geraden korrigieren. Damit jedoch überhaupt verlässliche Stapelgeschwindigkei-

ten bestimmt werden können, muss der Empfängerabstand groß genug sein, sodass die Reflexionen als Hyperbeln erkennbar sind. Mit zunehmender Laufzeit – und damit zunehmender Tiefe – flachen die Hyperbeln ab und nähern sich unabhängig von der Geschwindigkeit Geraden an. Dies führt zu wachsenden Unsicherheiten bei der Bestimmung der Stapelgeschwindigkeiten und erklärt die auffällig hohen, geologisch nicht realistischen Werte. Aus diesem Grund wurden die seismischen Geschwindigkeiten nicht für das finale Modell herangezogen.

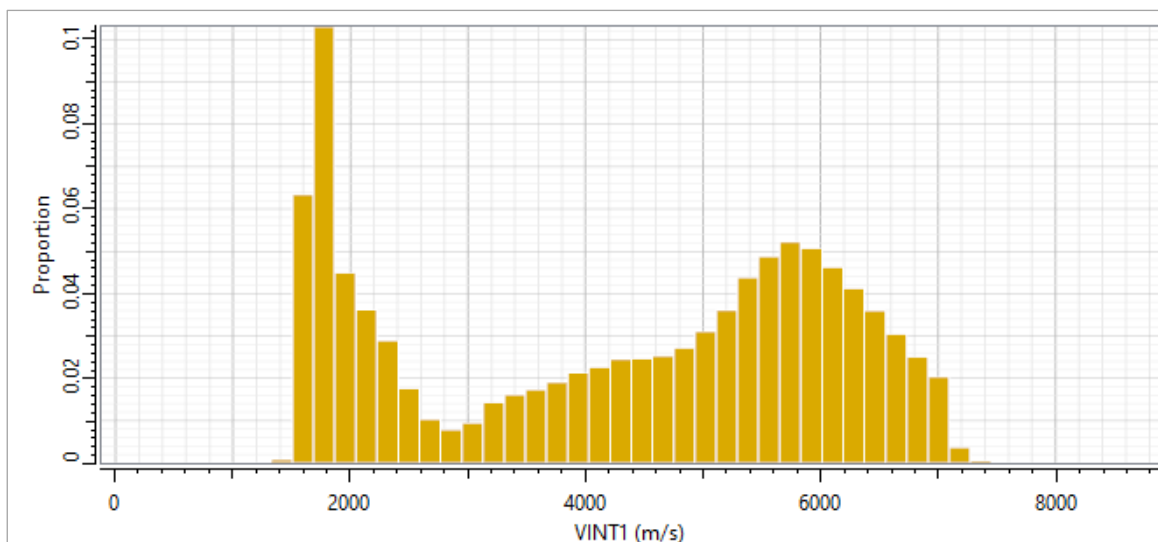


Abb. 42: Verteilung der Intervallgeschwindigkeiten, die aus den Stapelgeschwindigkeiten berechnet wurden (Aspen SKUA® V14.5).

### 7.2.2. Das Geschwindigkeitsmodell nach JARITZ et al. (1991)

Das regionale Geschwindigkeitsmodell von JARITZ et al. (1991) wurde im Rahmen des TUNB Velo 2.0-Projekts mit Bohrungen außerhalb des Pilotgebiets (Emtinghausen-West Z1, Neubruchhausen Z1, Westerstede Z1, Ganderkesee Z1 und Z2 (4.), Reinsehlen Z1, Alvern Z1, Hohne Z1 (2.), Oberg Z1), die nach 1991 abgeteuft wurden, verglichen (siehe Abb. 43).

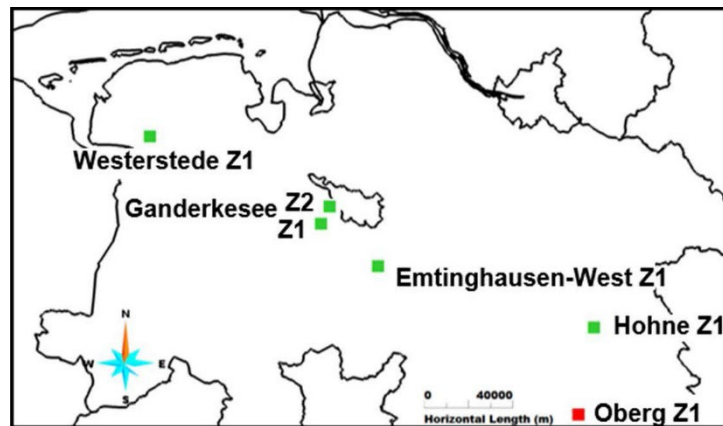


Abb. 43: Lokationen der Bohrungen, die in Niedersachsen für die Qualitätskontrolle des Geschwindigkeitsmodells nach JARITZ et al. (1991) genutzt wurden (Aspen SKUA® V14.5). (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

Die im Zeitbereich vorliegenden Horizonte des GTA3D wurden mit den Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991) in Teufe gewandelt. Ein Vergleich dieser Teufenwerte mit den dokumentierten Schichtmarkern der Bohrungen ergab größtenteils gute Übereinstimmungen unter 5 % (Tab. 5). Auffällig ist, dass für die südliche Bohrung Oberg Z1 die Abweichungen sehr groß sind. Dies resultiert aus der generell niedrigeren Datenüberdeckung im Süden Niedersachsens. Hier muss davon ausgegangen werden, dass die Genauigkeit des erstellten Geschwindigkeitsmodells geringer ist. Im Süden

Niedersachsens gibt es keine 3D-Seismikdaten, so dass eine Überprüfung des Geschwindigkeitsmodells nicht mittels seismischer Processing-Geschwindigkeiten erfolgte. Außerdem ist zu erkennen, dass für das Quartär die Abweichungen größer sind als für die anderen Schichten. Im Geschwindigkeitsmodell nach JARITZ et al. (1991) sind Quartär und Tertiär als eine Schicht zusammengefasst. Außerdem gibt es im Quartär größere lokale Geschwindigkeitsunterschiede durch die geringere Kompaktion, die nicht mit einem regionalen Geschwindigkeitsmodell aufgelöst werden können.

Tab. 5: Dokumentierte Schichtmarker und mit JARITZ et al. (1991) umgerechnete Schichtteufen. Die Farben zeigen die Abweichung in Prozent (grün: <5 %, gelb: 5–10 %, rot: >10 %).

|                             | Hohne Z1 |              | Oberg Z1 |                 | Westerstede Z1 |              |
|-----------------------------|----------|--------------|----------|-----------------|----------------|--------------|
|                             | Marker   | Teufenfehler | Marker   | Teufenfehler    | Marker         | Teufenfehler |
| Basis Quartär               | 101 m    | -23 m        | 90 m     | nicht im Modell | 153 m          | -93 m        |
| Basis Untermiozän           | n. a.    |              | n. a.    |                 | 319 m          | 22 m         |
| Basis Mitteleozän           | n. a.    |              | n. a.    |                 | 548 m          | 1 m          |
| Basis Untereozän            | 448 m    | -33 m        | n. a.    |                 | 818 m          | -16 m        |
| Basis Oberkreide            | 1284 m   | -76 m        | n. a.    |                 | 1410 m         | 30 m         |
| Basis Unterkreide           | 1387 m   | -50 m        | 350 m    | -64 m           | 1549 m         | -69 m        |
| Basis Dogger                | 1406 m   | -12 m        | 1235 m   | -235 m          | n. a.          |              |
| Basis Lias                  | 1944 m   | -87 m        | 1655 m   | -260 m          | 2358 m         | 39 m         |
| Basis Keuper                | 2943 m   | -13 m        | 2059 m   | -301 m          | 3178 m         | -46 m        |
| Basis Röt                   | 3709 m   | -232 m       | 2738 m   | -370 m          | 3817 m         | -8 m         |
| Basis Unterer Buntsandstein | 4392 m   | 12 m         | 3315 m   | -172 m          | 4773 m         | 10 m         |

|                             | Ganderkese Z1 |              | Ganderkese Z2 |              | Emtinghausen-West Z1 |                 |
|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|-----------------|
|                             | Marker        | Teufenfehler | Marker        | Teufenfehler | Marker               | Teufenfehler    |
| Basis Quartär               | 85 m          | -35 m        | 68 m          | 17 m         | 60 m                 | 23 m            |
| Basis Untermiozän           | 180 m         | 4 m          | 177 m         | 13 m         | 84 m                 | nicht im Modell |
| Basis Mitteleozän           | 417 m         | -13 m        | 444 m         | 53 m         | 200 m                | 25 m            |
| Basis Untereozän            | 806 m         | 26 m         | 951 m         | 37 m         | 491 m                | 74 m            |
| Basis Oberkreide            | 2027 m        | -48 m        | 2234 m        | -111 m       | 1954 m               | -76 m           |
| Basis Unterkreide           | 2083 m        | -26 m        | 2395 m        | -96 m        | 2032 m               | 7 m             |
| Basis Dogger                | n. a.         |              | n. a.         |              | 2112 m               | 44 m            |
| Basis Lias                  | 2593 m        | -43 m        | 2882 m        | -49 m        | 2646 m               | 16 m            |
| Basis Keuper                | 3049 m        | -51 m        | 3436 m        | 115 m        | 3294 m               | 2 m             |
| Basis Röt                   | 3609 m        | -15 m        | 4042 m        | 133 m        | 3895 m               | 0 m             |
| Basis Unterer Buntsandstein | 4339 m        | -33 m        | 4806 m        | 191 m        | 4492 m               | 40 m            |

In Abbildung 44 ist die Verteilung der Intervallgeschwindigkeiten für die Kachel Dannenberg nach dem Modell von JARITZ et al. (1991) dargestellt. Auch hier ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeitsverteilung zu den für die betrachteten Schichten zu erwartenden Geschwindigkeiten passt.

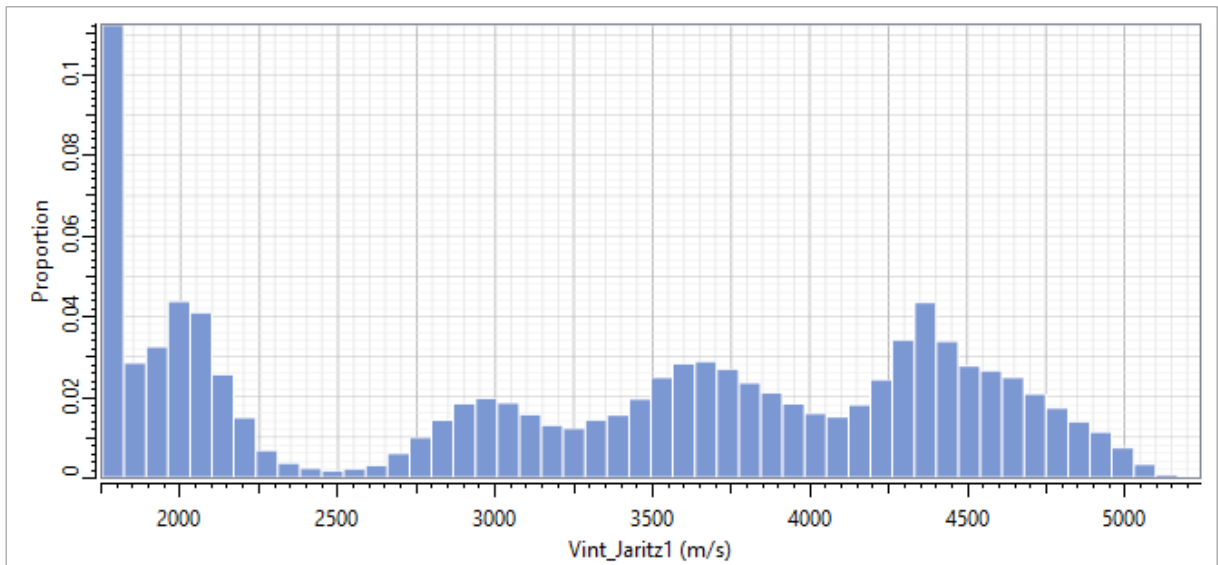


Abb. 44: Verteilung der Intervallgeschwindigkeiten im Geschwindigkeitsmodell nach JARITZ et al. (1991) (Aspen SKUA® V14.5).

Auch in Schleswig-Holstein wurden Tests zum Geschwindigkeitsmodell nach JARITZ et al. (1991) durchgeführt, unter anderem mit den Geschwindigkeiten der Bohrungen Juliusburg\_2 und Nusse\_T1 sowie Seismik aus dem Zeitbereich in der Pilotregion (BENSE et al. 2022). Auch hier ergaben die Tests Abweichungen von unter 5 %. Aufgrund der guten Testergebnisse in Niedersachsen und Schleswig-Holstein wurden für die Modellierung des Gesamtgebiets die TK100-Arbeitskarten von JARITZ et al. (1991) verwendet.

### 7.3. Das TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell für Niedersachsen und Bremen

Für Niedersachsen wurde von den 20 im TUNB-Projekt modellierten Kacheln für 19 ein Geschwindigkeitsmodell erstellt. Die Kachel Hameln liegt größtenteils südlicher als das von JARITZ et al. (1991) untersuchte Gebiet. Aus demselben Grund wurde der südlichste Bereich der Kachel Hildesheim nicht modelliert.

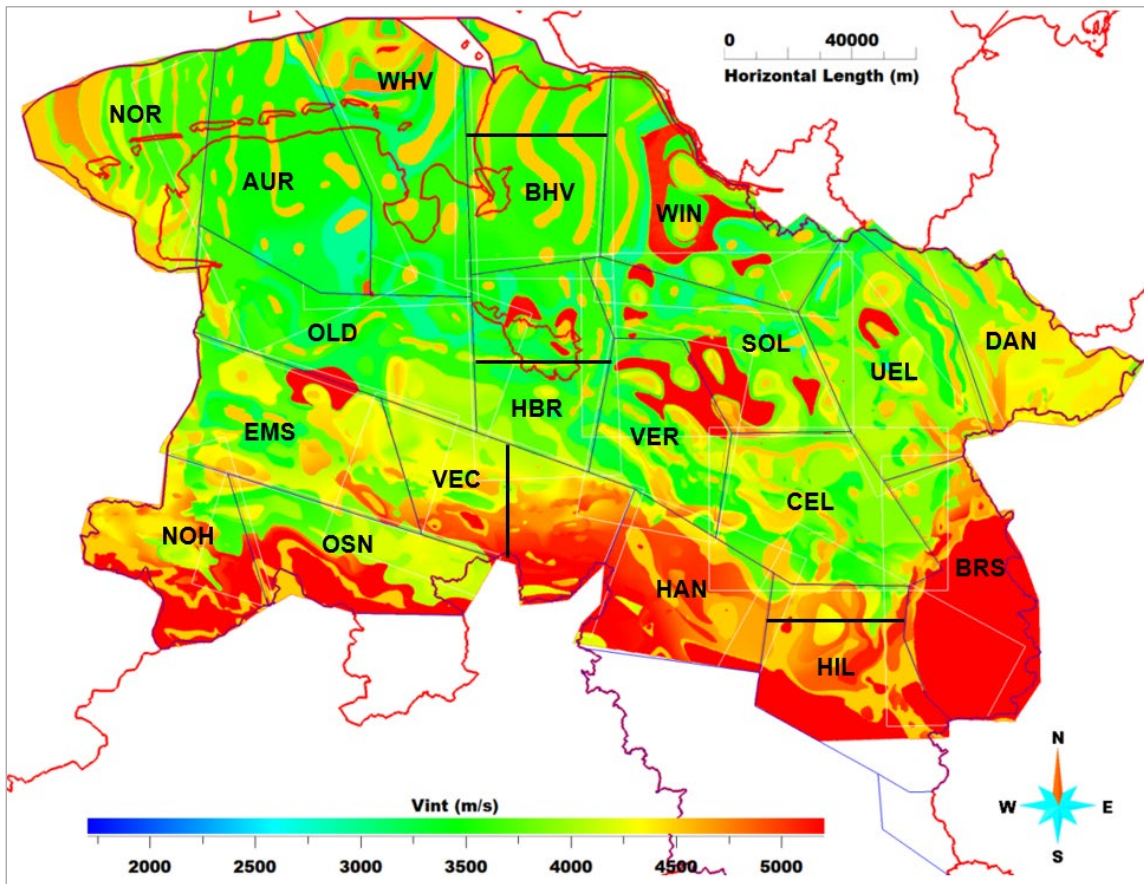


Abb. 45: Schnitt durch alle Geschwindigkeitsmodelle bei 2500 m Tiefe unter NN. Die Kachelgrenzen des TUNB-Projekts sind blau dargestellt (Aspen SKUA® V14.5). (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE/LVermGeo SH; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0)

In Abbildung 45 ist ein Schnitt durch alle Geschwindigkeitsmodelle der einzelnen Kacheln bei 2500 m unter NN dargestellt. Hier sind bereits die Salzstrukturen mit ihrer spezifischen Intervallgeschwindigkeit von 4500 m/s zu erkennen. Zudem zeigt sich, dass die Intervallgeschwindigkeiten in der dargestellten Tiefe nach

Süden hin zunehmen. Abbildung 46 bis Abbildung 49 zeigen Schnitte durch die Geschwindigkeitsmodelle ausgewählter Kacheln. Die Lage der Schnitte ist in Abbildung 45 durch schwarze Linien eingezeichnet.

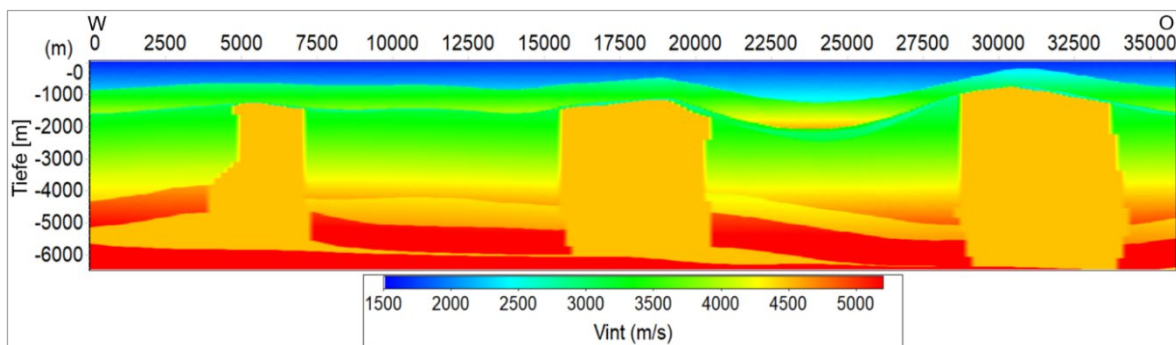


Abb. 46: Schnitt in West-Ost-Richtung durch das Geschwindigkeitsmodell der Kachel Bremerhaven (Aspen SKUA® V14.5).

Beim Schnitt durch das Geschwindigkeitsmodell der Kachel Bremerhaven (Abb. 46) sind die drei Salzstrukturen Cuxhaven-Spieka, Altenbruch-Baverstedt und Osterbruch-Basdahl (von West nach Ost) deutlich an ihrer konstanten Geschwindigkeit von 4500 m/s zu erkennen. Zudem ist die generelle Geschwindigkeitszunahme mit der Tiefe zu beobachten. Zwischen Profilmeter 22500 und 25000 sieht man in 1000

bis 2000 m Tiefe die Geschwindigkeitszunahme in der Unterkreide, die den größten Gradienten aller Schichten hat. Auffällig sind auch die deutlich höheren Intervallgeschwindigkeiten im Unteren und Mittleren Buntsandstein von 5000 m/s (Tiefe 4000–5600 m), der auf dem Zechstein (konstante Geschwindigkeit von 4500 m/s) abgelagert ist.

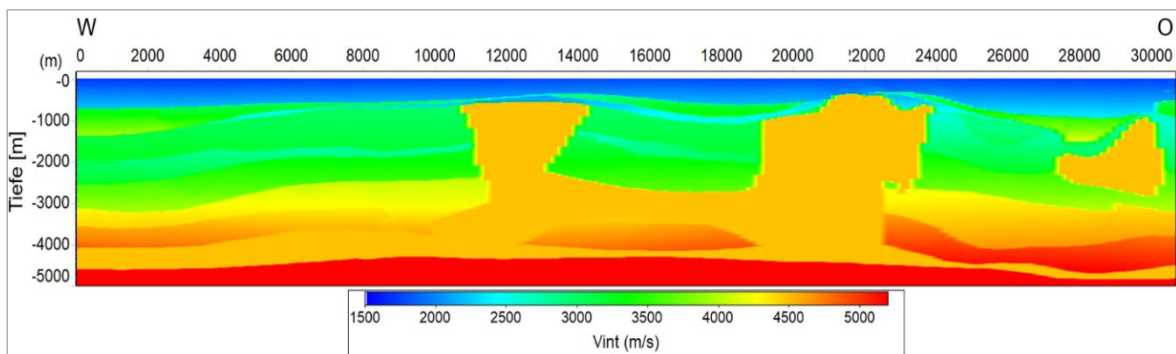


Abb. 47: Schnitt in West-Ost-Richtung durch das Geschwindigkeitsmodell der Kachel Bremen mit den Salzstrukturen Arsten-Osterholz (westlich) und Quelhorn-Schaphusen (östlich) (Aspen SKUA® V14.5).

Abbildung 47 zeigt einen West-Ost-Schnitt durch die Kachel Bremen. Der mittigere Salzstock Arsten-Osterholz hat eine Überhangstruktur im zentralen Bereich, so dass darunter Buntsandstein liegt. An diesem Salzstock erkennt man zudem stufig aussehende Flanken, was durch die Auflösung des Voxets von 200 x 200 m entsteht. Die Salzstruktur im Osten des Profils ist Quelhorn-Schaphusen. Das Profil schneidet diese an deren südlichem Ende, wodurch im Profil nur die Überhangstruktur sichtbar ist. Auffällig ist außerdem in etwa

800 m Tiefe der hohe Kontrast der Geschwindigkeiten beim Übergang vom Tertiär (an der Basis liegen die Intervallgeschwindigkeiten bei 2000–2200 m/s) zur Oberkreide (unter deren Top liegen die Geschwindigkeiten bei über 3000 m/s). Dies kann durch eine höhere Kompaktion der tiefer liegenden Oberkreide und einen Wechsel der Lithologie (Tab. 2) erklärt werden. Auf dem Salzstock Arsten-Osterholz liegen vorwiegend tertiäre und quartäre Ablagerungen und nur sehr geringmächtig Ablagerungen aus der Kreide.

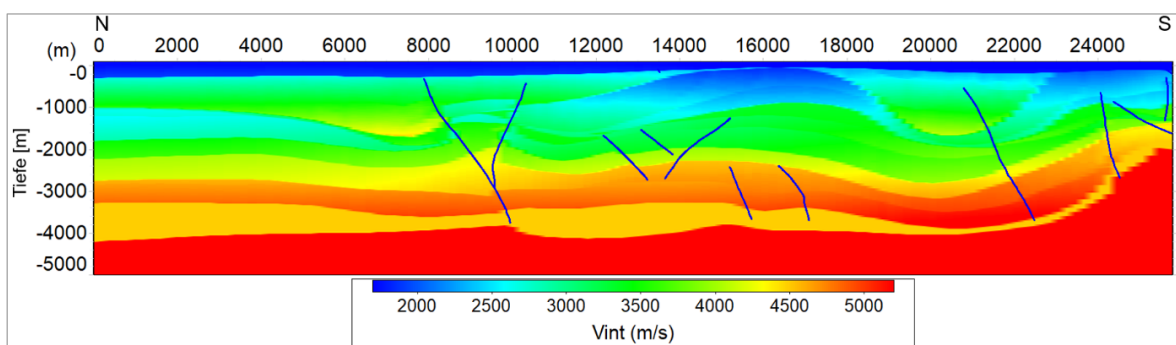


Abb. 48: Schnitt in Nord-Süd-Richtung durch das Geschwindigkeitsmodell der Kachel Vechta (Aspen SKUA® V14.5). Störungen sind als blaue Linien eingezeichnet.

Im Nord-Süd-Schnitt durch die Kachel Vechta in Abbildung 48 sind zusätzlich die Störungen aus dem TUNB-Modell (SATTLER et al. 2022) dargestellt. Insbesondere bei den Störungen zwischen Profilmeter 8000 und 10000 sind die Störungsversätze der Schichten auch in den Intervallgeschwindigkeiten erkennbar. Zwischen Profilmeter 14000 und 18000 und südlich von Profilmeter 23000 sind die Intervallgeschwindigkeiten mit Werten um 2200 m/s in Tiefen bis 1000 m deutlich langsamer als im restlichen

Schnitt in selbiger Tiefe (um 3400 m/s). Die langsameren Geschwindigkeiten entstehen durch die geringere Tiefe der Unterkreide, die niedrigere Geschwindigkeiten aufweist als die Oberkreide, welche hier erodiert ist. Wie in dem Schnitt in 2500 m Tiefe in Abbildung 45 ist auch hier der Anstieg der Geschwindigkeiten in dieser Tiefe nach Süden hin erkennbar, was aus einer geringeren Tiefe der Buntsandsteinschichten mit höheren Intervallgeschwindigkeiten resultiert.

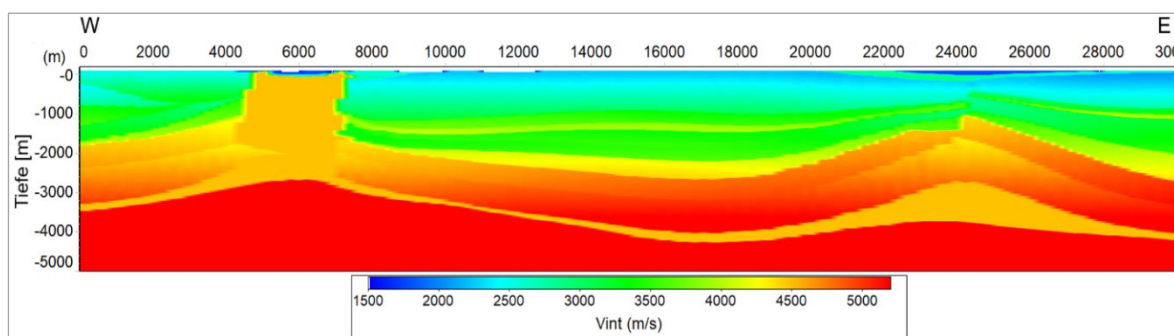


Abb. 49: Schnitt in West-Ost-Richtung durch das Geschwindigkeitsmodell der Kachel Hildesheim (Aspen SKUA® V14.5).

Im Schnitt durch die Kachel Hildesheim (Abb. 49) sind der Salzstock Lehrte-Sarstedt und die Versätze an der Störung bei Profilmeter 24000 deutlich zu erkennen. Auch bei diesem Schnitt ist erkennbar, dass die Schichten mit höherer Intervallgeschwindigkeit im Süden Niedersachsens in geringerer Tiefe liegen als im Norden.

#### 7.4. Umwandlung von Seismik von der Zeit- in die Tiefendomäne

In Abbildung 50 ist eine Übersichtskarte von Niedersachsen dargestellt, die die beim LBEG verfügbaren 2D- und 3D-Seismikdaten zeigt (Stand 2022). Von diesen liegen 75 % der 3D-Daten und 83 % der 2D-Daten ausschließlich im Zeitbereich vor. Für eine Nutzung in der Tiefenmodellierung ist jedoch eine Umwandlung in den Tiefenbereich erforderlich. Daher wurde untersucht, inwiefern sich das TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell für diese Konvertierung eignet.

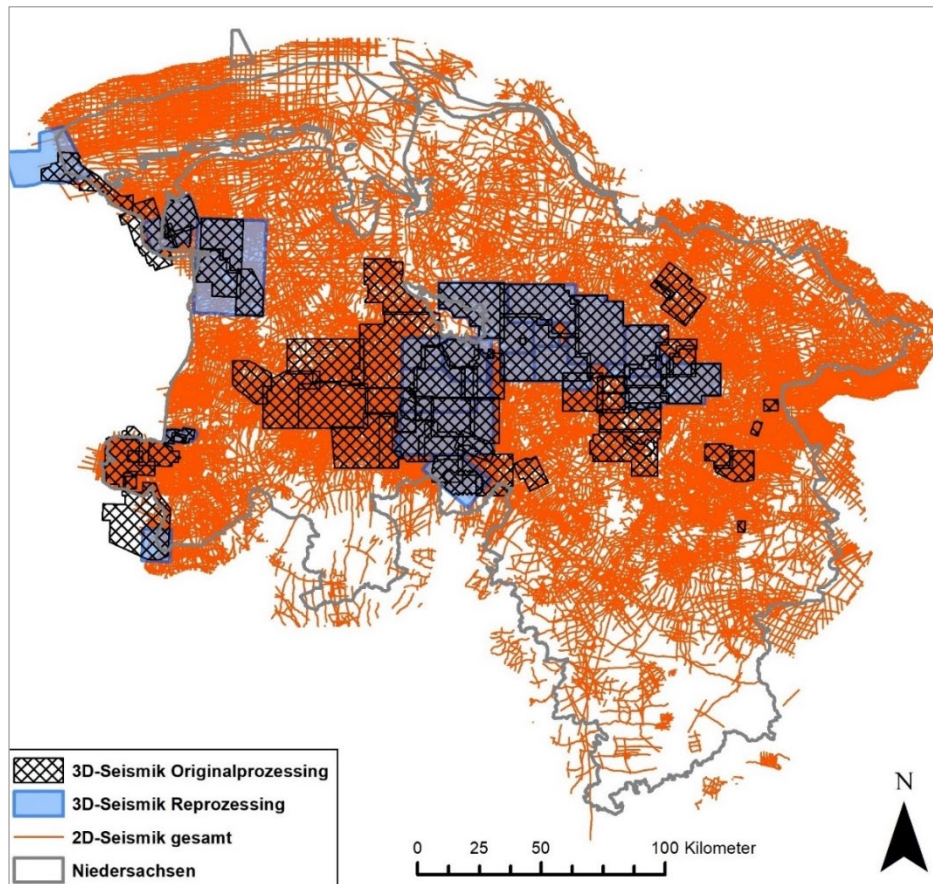


Abb. 50: Am LBEG vorhandene Seismik für Niedersachsen (Quelle: SATTLER et al. 2022).

Für die Tests wurde der 3D-Survey Soltau 2013 verwendet. Für diesen Survey liegen Ergebnisse der Zeit- und Tiefenmigration sowie ein von der Processing-Firma geliefertes Geschwindigkeitsmodell im Tiefenbereich vor. Dadurch war ein Vergleich des gelieferten Geschwindigkeitsmodells mit dem TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell möglich. Zudem konnte die gelieferte Seismik aus dem Zeitbereich mit den TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeiten in die Tiefe konvertiert werden, um sie mit dem gelieferten Ergebnis der Tiefenmigration zu vergleichen.

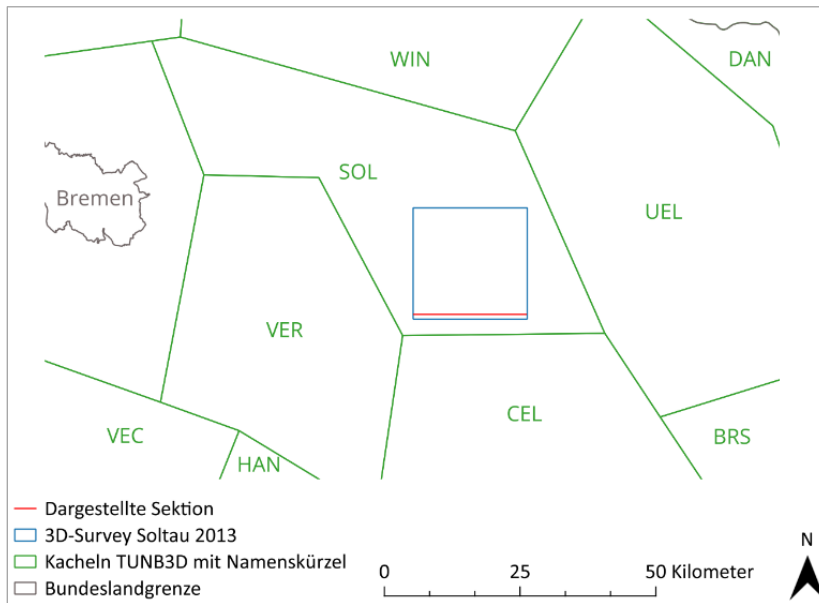


Abb. 51: Lage des 3D-Surveys Soltau 2013. Die in Abbildung 52 bis Abbildung 58 gezeigte Sektion ist rot markiert. (Datenquelle Ländergrenzen: © GeoBasis-DE/LGLN 2024; © GeoBasis-DE / BKG 2024 / dl-de/by-2-0.)

Für die Tests wird eine Sektion aus dem südlichen Teil des Surveys gezeigt (Lage in Abb. 51). Diese ist in Abbildung 52 im Zeitbereich dargestellt und in Abbildung 53 nach der Tiefenmigration. In Abbildung 54 sind zusätzlich die im TUNB-Projekt modellierten Horizonte eingezeichnet.

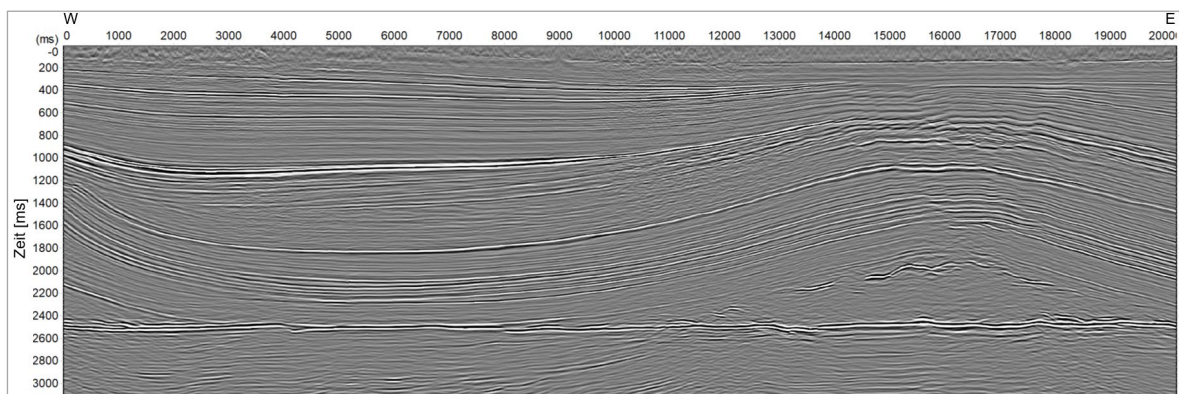


Abb. 52: Sektion aus der 3D-Seismik im Zeitbereich (Aspen SKUA® V14.5).

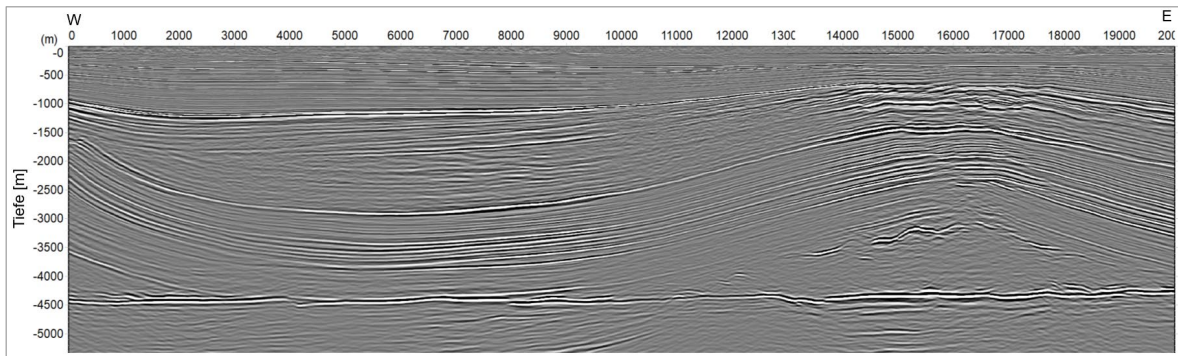


Abb. 53: Sektion aus der 3D-Seismik im Tiefenbereich (Aspen SKUA® V14.5).

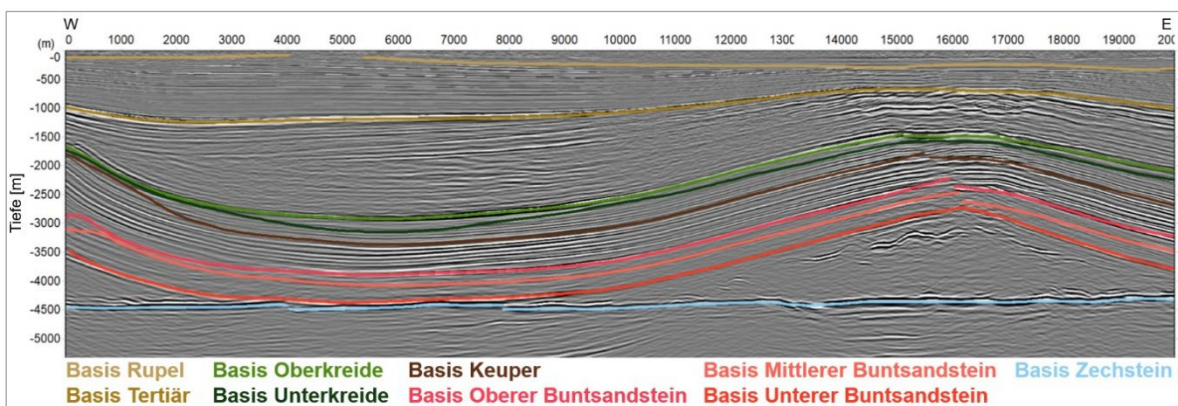


Abb. 54: Sektion aus der 3D-Seismik im Tiefenbereich mit den Horizonten aus dem TUNB-Modell (SATTLEER et al. (2022); Aspen SKUA® V14.5).

Ein Vergleich des gelieferten Geschwindigkeitsmodells in Abbildung 55 mit dem TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell für dieselbe Sektion (Abb. 56) ergibt, dass die Geschwindigkeiten für bestimmte Horizonte sehr gut übereinstimmen. Dies zeigt sich beispielsweise in der Oberkreide, für die beide Geschwindigkeitsmodelle eine deutliche Geschwindigkeitszunahme mit der Tiefe aufweisen. Auch in der darunter liegenden Unterkreide sowie im Keuper sind die Intervallgeschwindigkeiten sehr ähnlich. Unterschiede treten hingegen in den quartären und tertiären Ablagerungen im westlichen Teil der

Sektion auf, wo die Geschwindigkeiten im TUNB Velo 2.0-Modell um etwa 150 m/s höher liegen (ungefähr 1800 m/s in den seismischen Geschwindigkeiten im Vergleich zu 1950 m/s beim TUNB Velo 2.0-Modell). Gleiches gilt für den Oberen Buntsandstein, der ebenfalls im TUNB Velo 2.0-Modell durch bis zu 550 m/s höhere Werte charakterisiert ist. Die absoluten Geschwindigkeitswerte für den Oberen Buntsandstein liegen im TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell bei etwa 5000 m/s und in den Geschwindigkeiten aus der Seismik bei etwa 4500 m/s.

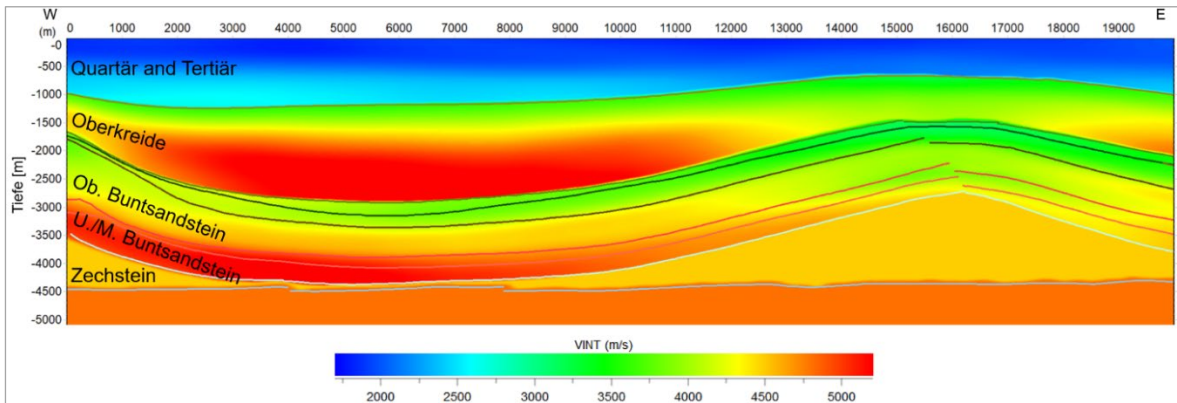


Abb. 55: Geliefertes Geschwindigkeitsmodell im Tiefenbereich (Aspen SKUA® V14.5).

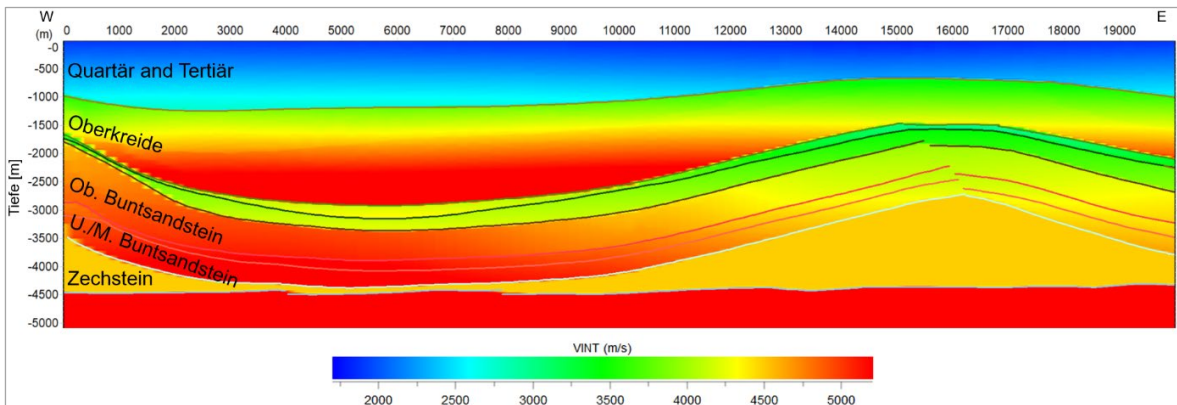


Abb. 56: TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell für dieselbe Sektion wie in Abbildung 55 (Aspen SKUA® V14.5).

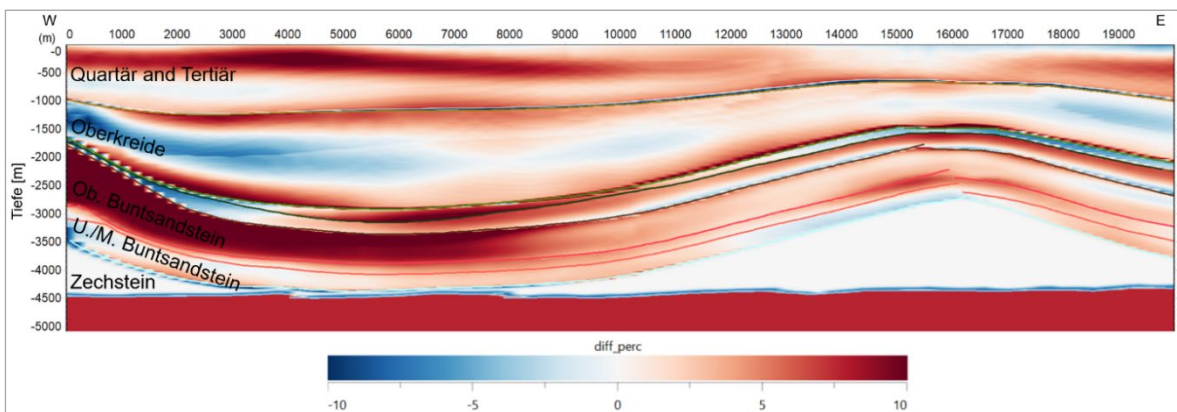


Abb. 57: Prozentuale Abweichung der beiden Geschwindigkeitsmodelle. Positive Werte bedeuten höhere Intervallgeschwindigkeiten im TUNB Velo 2.0-Modell (Aspen SKUA® V14.5).

In Abbildung 57 sind die prozentualen Abweichungen der Geschwindigkeitsmodelle dargestellt. Auch hier sind die Abweichungen im Oberen Buntsandstein sowie Teilen des Quartärs und des Tertiärs sichtbar.

Die Sektion in Abbildung 58 wurde mit dem TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsfeld aus dem Zeitbereich (Abb. 52) in den Tiefenbereich konvertiert. Zur Orientierung sind erneut die TUNB-Horizonte eingezeichnet. An diesen sind die Unterschiede zur tiefenmigrierten Seismik

(Abb. 54) erkennbar. Im östlichen Teil liegen die Horizonte auch in der konvertierten Sektion auf den Reflektoren. Im westlichen Bereich des Profils sind Differenzen in der Tiefenlage der Reflektoren im Vergleich zu den Horizonten erkennbar, die aus den unterschiedlichen Intervallgeschwindigkeiten im Quartär/Tertiär und im Oberen Buntsandstein resultieren. Die maximale Differenz für die Basis Zechstein liegt bei etwa 150 m (ca. 3 %).

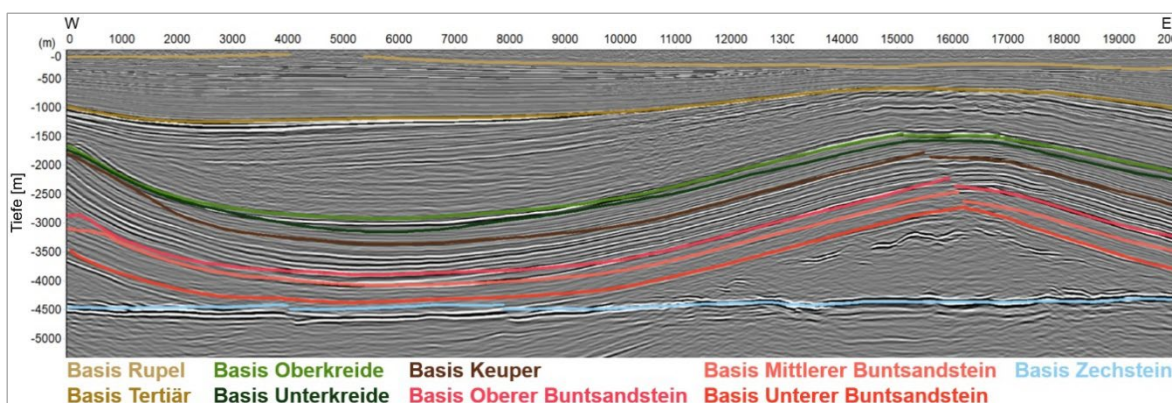


Abb. 58: Sektion durch die 3D-Seismik aus dem Zeitbereich, die mit den Geschwindigkeiten aus dem TUNB Velo 2.0-Projekt in den Tiefenbereich konvertiert wurde (Aspen SKUA® V14.5).

Für die Surveys Soehlingen\_2016 (ebenfalls Kachel Soltau) und Scholen\_Ridderade\_2015 (Kachel Vechta) wurden identische Tests durchgeführt. Auch hier ergaben sich maximale Abweichungen von ca. 150 m für die Basis Zechstein (ca. 3 %).

## 7.5. Ungenauigkeiten

Das TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell ist ein flächendeckendes, regionales Geschwindigkeitsmodell und kann keine lokale Geschwindigkeitsanalyse ersetzen. Ungenauigkeiten entstehen durch die Auflösung des bei der Volumenmodellierung verwendeten Strukturmodells aus dem TUNB-Projekt, Vereinfachungen bei der Anwendung des Workflows zur Volumenmodellierung und Parametrisierung sowie durch Ungenauigkeiten der verwendeten Geschwindigkeiten von JARITZ et al. (1991).

Im vorangegangenen TUNB-Projekt ergaben sich Probleme durch die heterogene Verteilung der Belegdaten beim Aufbau des Strukturmodells, etwa hinsichtlich der Verfügbarkeit von Bohrungen und 3D-seismischen Tiefenmigrationsergebnissen. Zudem waren die verwendeten Eingangsdaten teilweise widersprüchlich, beispielsweise durch sich überlagernde Horizonte, was von den jeweiligen Bearbeiterinnen und Bearbeitern nur begrenzt korrigiert werden konnte. Aufgrund der im TUNB-Projekt verfügbaren Ressourcen war es außerdem nicht möglich, sämtliche Salzstrukturen zu modellieren (Anhang, Tab. 6). Eine detaillierte Beschreibung der Ungenauigkeiten im vorangegangenen TUNB-Projekt ist im Kapitel 4.3 „Probleme und Diskrepanzen“ in SATTLER et al. (2022) beschrieben.

Beim Einsatz des SnS-Workflows entstehen ebenfalls Ungenauigkeiten, da dessen Anwendung immer einen Kompromiss zwischen einer möglichst genauen Anpassung der Daten und einem möglichst glatten Modell darstellt.

Die regionale Verteilung von Bohrungen mit Geschwindigkeitsinformationen war für die Genauigkeit der Eingangsdaten von JARITZ et al. (1991) und somit für die Unsicherheiten des Modells entscheidend. Diese Verteilung kann jedoch als schlecht betrachtet werden, da sie Gebiete mit mehr als 10 Geophonversenkmessungen pro Blatt der TK25 und solche mit weniger als einer auf 10 Blätter der TK25 umfasste. Daher versuchten die Autoren, Kenntnisse der regionalen Geologie, wie beispielsweise die maximal erreichte Versenkungstiefe, in die Karten der theoretischen Oberflächengeschwindigkeiten einzubeziehen.

Bei den Tests, bei denen die Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991) mit den Markern aus Bohrungen (Kapitel 7.2 „Wahl der modellierten Geschwindigkeiten“) verglichen wurden, war der prozentuale Teufenfehler bei der südlichen Bohrung Oberg Z1 größer als bei den anderen untersuchten Bohrungen. Es muss davon ausgegangen werden, dass im Süden Niedersachsens der Fehler des Geschwindigkeitsmodells größer ist als weiter im Norden. Diese Ungenauigkeiten konnten jedoch nicht innerhalb der Projektlaufzeit quantifiziert werden.

Sowohl in den Tests aus Kapitel 7.2 „Wahl der modellierten Geschwindigkeiten“ als auch im Vergleich zum Geschwindigkeitsmodell aus der Seismik (Kapitel 7.4 „Umwandlung von Seismik von der Zeit- in die Tiefendomäne“) zeigten sich größere Unsicherheiten bei den Geschwindigkeiten im Quartär. Für ein regionales Geschwindigkeitsmodell im Übersichtsmaßstab erscheint die Zusammenfassung von Tertiär und Quartär, wie bei JARITZ et al. (1991), sinnvoll. Aufgrund der komplexen Geologie der quartären Ablagerungen, insbesondere der teils über 400 m tief eingeschnittenen elsterzeitlichen Rinnen, ist für detailliertere Untersuchungen jedoch eine differenziertere Erfassung der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten innerhalb des Quartärs erforderlich.

## 8. Ausblick

Das aktuelle TUNB Velo 2.0-Modell bildet die zentrale Grundlage, um das bestehende Geschwindigkeitsmodell künftig – auch im regionalen Maßstab – weiter zu verbessern. Besonders durch die Integration neuerer VSP-Messungen

sind gezielte Optimierungen möglich. Darüber hinaus sollten lokale 3D-Geschwindigkeitsmodelle aus seismischen Untersuchungen berücksichtigt und gegebenenfalls in das Modell übernommen werden. Ein systematischer Abgleich der seismisch abgeleiteten Geschwindigkeiten mit den in vorhandenen Bohrungen ermittelten Werten ist dabei essenziell, um potenzielle Differenzen zu identifizieren.

Neuere lokale Geschwindigkeitsanalysen, wie jene für die Salzstruktur Gorleben (BRÜCKNER-RÖHLING et al. 2002) oder das Gebiet um die Asse (SCHOLZE & BUXBAUM-CONRADI 2023), sollten ebenfalls mit dem TUNB Velo 2.0-Modell verglichen und bei Bedarf integriert werden.

Zukünftig ist außerdem zu prüfen, welche methodische Vorgehensweise sich am besten für ein Update des TUNB Velo 2.0-Modells eignet. Möglich ist sowohl eine direkte Anpassung der Intervallgeschwindigkeiten im Volumenmodell als auch eine Modifikation der Gradienten und der theoretischen Oberflächengeschwindigkeit, auf deren Basis anschließend die Intervallgeschwindigkeiten neu berechnet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Intervallgeschwindigkeiten wäre, weitere Horizonte in das Modell einzufügen, um die Unterteilung der Tiefenabschnitte zur Berechnung der Intervallgeschwindigkeiten zu verfeinern. Insbesondere sind hierbei das Quartär, dessen Basis aktuell am LBEG neu modelliert wird (MEINSEN et al. 2025), sowie der Muschelkalk zu nennen. Letzterer ist in den Modellen von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt ebenfalls vorhanden und weist dort relativ hohe Intervallgeschwindigkeiten um 5100 m/s auf.

Während der Projektlaufzeit wurden die Grenzen zu Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt harmonisiert. Für die Nordsee wurde im Rahmen von TUNB Velo 2.0 systematisch das Potenzial zur Weiterentwicklung des erarbeiteten Geschwindigkeitsmodells aus TUNB Phase 2 getestet. Zudem existiert für die Niederlande ein seismisches Geschwindigkeitsmodell bis einschließlich des Oberen Rotliegenden (VAN DALFSEN et al. 2006). Auch hier wäre ein Vergleich der Intervallgeschwindigkeiten und eine Grenzharmonisierung erstrebenswert.

## 9. Zusammenfassung

Das TUNB Velo 2.0-Modell ist das erste regionale 3D-Geschwindigkeitsmodell für das Norddeutsche Becken. Für Niedersachsen und Bremen deckt es flächenhaft nahezu das gesamte im vorangegangenen TUNB-Projekt modellierte Gebiet ab und basiert auf dem regionalen Geschwindigkeitsmodell von JARITZ et al. (1991).

Die Geschwindigkeitsmodelle der beteiligten staatlichen geologischen Dienste basieren auf unterschiedlichen Datengrundlagen. Neben verschiedenen bestehenden regionalen Modellen wurden auch neu entwickelte Konzepte verwendet. Die Intervallgeschwindigkeiten an den Ländergrenzen wurden harmonisiert.

Aufgrund seines großräumigen Maßstabs kann das Modell lokale Geschwindigkeitsstudien nicht ersetzen, jedoch als Ausgangsmodell für solche Untersuchungen dienen – auch im Rahmen der Analyse seismischer Geschwindigkeiten. Darüber hinaus findet das TUNB Velo 2.0-Geschwindigkeitsmodell auch in der Seismologie Anwendung. Es liefert ein deutlich realistischeres Abbild der oberen Erdkruste als die üblicherweise angenommene Geschwindigkeitszunahme entlang eines einheitlichen Gradienten. Da Erdbebenwellen je nach Ausbreitungsweg vergleichsweise lange durch die obere Erdkruste laufen, hat eine höhere Genauigkeit des Geschwindigkeitsmodells in diesem Bereich einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der seismologischen Ergebnisse.

Das TUNB Velo 2.0 Geschwindigkeitsmodell für Niedersachsen und Bremen ist in GST auf <https://3d.lbeg.de/> veröffentlicht. Auf Anfrage sind die Intervallgeschwindigkeiten im Tiefenbereich sowie die Durchschnittsgeschwindigkeiten im Zeitbereich jeweils im Aspen SKUA® Voxet-Format (.vo) und als Textfiles (.txt) verfügbar.

## 10. Literatur

- BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (Hrsg.) (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. – unter Mitarbeit von R. BALDSCHUHN, G. BEST, F. BINOT, S. BRÜCKNER-RÖHLING, E. DENEKE, U. FRISCH, N. HOFFMANN, U. JÜRGENS, F. KOCKEL, P. KRULL, H.-G. RÖHLING, J. SCHMITZ, S. SATTLER-KOSINOWSKI, G. STANCU-KRISTOFF & M. ZIRNGAST, Geol. Jb. **A 153**: 1–88; Stuttgart (Schweizerbart).
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (Hrsg.) (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland 1 : 300.000, Teile 1–17. – unter Mitarbeit von G. BEST, E. DENEKE, U. JÜRGENS, S. SATTLER-KOSINOWSKI, J. SCHMITZ, G. STANCU-KRISTOFF & M. ZIRNGAST, 17 Kt.; Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).
- BENSE, F., DEUTSCHMANN, A., DZIERAN, L., HESE, F., HÖDING, T., JAHNKE, C., LADEMANN, K., LIEBSCH-DÖRSCHNER, T., MÜLLER, C. O., OBST, K., OFFERMANN, P., SCHILLING, M. & WÄCHTER, J. (2022): Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Norddeutschen Becken (TUNB) – Phase 2: Parametrisierung. – Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): 193 S.; Hannover.
- BOMBIEN, H., HOFFERS, B., BREUCKMANN, S., HELMS, M., LADEMANN, M., LANGE, M., OELRICH, A., REIMANN, R., RIENÄCKER, J., SCHMIDT, C., SLABY, M. & ZIESCH, J. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell. – Geowiss. Mitt. **48**: 6–13.
- BRÜCKNER-RÖHLING, S., ESPIG, M., FISCHER, M., FLEIG, S., FORSBACH, H., KOCKEL, F., KRULL, P., STIEWE, H. & WIRTH, H. (2002): Projekt Gorleben, Standsicherheitsnachweise Nachbetriebsphase: Seismische Gefährdung. – Teil 1: Strukturgeologie: Ergebnisbericht. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Archiv-Nr. **128111**, 183 S.; Hannover (BGR).

- HEUNISCH, C., CASPERS, G., ELBRACHT, J., LANGER, A., RÖHLING, H.-G., SCHWARZ, C. & STREIF, H. (2017): Erdgeschichte von Niedersachsen - Geologie und Landschaftsgeschichte. – *GeoBerichte* **6**: 8. Aufl., 84 S., 57 Abb., 18 Tab.; Hannover (LBEG); DOI 10.48476/geober\_6\_2017.
- JARITZ, W., JÜRGENS, U., HILDEBRAND, G. & BEST, G. (1991): Regionale Analyse der seismischen Geschwindigkeiten in Nordwestdeutschland. – *Geol. Jb.* **E 45**: 23–57.
- KOCKEL, F. (1998): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1 : 300.000. – Die paläogeographische und strukturelle Entwicklung Nordwestdeutschlands, Teil 18. – unveröffentlichter Bericht; Hannover (BGR).
- MEINSEN, J., HELMS, M., SATTLER, S. & WANGENHEIM, C. (2025): Regional Geology – the wider Göttingen area, Germany and beyond: A new 3D model of the base Quaternary for northwestern Lower Saxony (Germany). – Tagungsbeitrag Geo4Göttingen.
- OBST, K. & VON GOERNE, G. (Hrsg.) (2025): Der Untergrund Norddeutschlands in Farbe und 3D – Ziele, Herausforderungen und Ergebnisse des TUNB-Projektes. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften **100**: 159 S., 105 Abb., 10 Tab.; Schweizerbart [ISBN 978-3-510-49297-8].
- REINHARDT, H. G. (1977): Regionale Geschwindigkeitsansätze im Nordteil der DDR. – Ergebnisbericht, Stand September 1977, VEB Geophysik Leipzig; Leipzig.
- REINHARDT, H. G. (1988): Überarbeitung Regionale Laufzeitkurven Präzechstein. – Stand September 8/88, VEB Geophysik Leipzig; Leipzig.
- SCHOLZE, M. & BUXBAUM-CONRADI, C. (2023): Betrifft Asse: Ergebnisse 3D-Seismik. – Bundesgesellschaft für Endlagerung; [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Asse/Vortraege/2023/20230523\\_Betrifft\\_Asse\\_Ergebnisse\\_3D-Seismik\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Asse/Vortraege/2023/20230523_Betrifft_Asse_Ergebnisse_3D-Seismik_barrierefrei.pdf) (abgerufen am 15.09.2025).
- SATTLER, S., HELMS, M. & WANGENHEIM, C. (2022): Geologisches 3D-Modell Tieferer Untergrund Norddeutsches Becken (TUNB). Abschlussbericht zum Teilprojekt 2 Niedersachsen und Bremen. – mit Beiträgen von RIENÄCKER-BURSCHIL, J., STEHLE, M., WOLF, M., BOMBIEN, H. & ZIESCH, J., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 86 S.; Hannover (LBEG).
- SCHOTT, W. (Hrsg.) (1967): Paläogeographischer Atlas der Unterkreide von Nordwestdeutschland. Mit einer Übersichtsdarstellung des nördlichen Mitteleuropa. – unter Mitarbeit von W. JARITZ, K. E. KOCH, F. KOCKEL, A. SCHREIBER, V. VON STACKELBERG, J. STETS, D. STOPPEL, GENIESER, K. HINZ, R. K. MÜHLFELD, R. BALDSCHUHN & K.-D. KRAMPE, 289 S. (überwiegend Karten); Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe).
- VAN DALFSEN, W., DOORNENBAL, J. C., DORTLAND, S. & GUNNINK, J. L. (2006): A comprehensive seismic velocity model for the Netherlands based on lithostratigraphic layers. *Netherlands Journal of Geosciences*. – *Geologie en Mijnbouw* **85** (4): 277–292; DOI:10.1017/S0016774600023076.

# 11. Anhang

## 11.1. Datengrundlage

### 11.1.1. Salzstrukturen

Tab. 6: Im TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete Salzstrukturen und deren Quelle.

| Kachel              | Salzstruktur          | Quelle           |
|---------------------|-----------------------|------------------|
| AUR                 | Barkholt              | TUNB3D           |
|                     | Bedekaspel            | TUNB3D           |
|                     | Berdum-Jever          | TUNB3D           |
|                     | Etzel                 | TUNB3D           |
|                     | Marga                 | TUNB3D           |
|                     | Meta                  | TUNB3D           |
|                     | Mira                  | TUNB3D           |
|                     | Monika                | TUNB3D           |
|                     | Spiekeroog            | TUNB3D           |
|                     | Strackholt            | TUNB3D           |
|                     | Suederneuland         | TUNB3D           |
|                     | Timmel                | TUNB3D           |
|                     | Westdorf              | TUNB3D           |
|                     | Wichter-Ee            | TUNB3D           |
| Wittmund            | TUNB3D                |                  |
| BHV                 | Altenbruch-Beverstedt | TUNB3D           |
|                     | Bramel                | TUNB3D           |
|                     | Cuxhaven-Spieka       | TUNB3D           |
|                     | Dedesdorf             | TUNB3D           |
|                     | Neufelder-Sand        | TUNB3D           |
|                     | Oldendorf-II          | TUNB3D           |
|                     | Oldenswort-Sued       | TUNB3D           |
| Osterbruch-Basdahl  | TUNB3D                |                  |
| BRS                 | Allertal              | Nicht modelliert |
|                     | Asse                  | Nicht modelliert |
|                     | Bechtsbüttel          | Nicht modelliert |
|                     | Beienrode             | Nicht modelliert |
|                     | Calberlah             | GTA3D            |
|                     | Ehmen                 | GTA3D            |
|                     | Lehre                 | Nicht modelliert |
|                     | Neindorf              | Nicht modelliert |
|                     | Nettgau               | GTA3D            |
|                     | Offleben              | Nicht modelliert |
|                     | Örrel                 | GTA3D            |
|                     | Salzdahlum            | Nicht modelliert |
| Schneflingen – Ehra | GTA3D                 |                  |

Tab. 6: Im TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete Salzstrukturen und deren Quelle (Fortsetzung).

| Kachel | Salzstruktur                      | Quelle           |
|--------|-----------------------------------|------------------|
| BRS    | Vorhop                            | GTA3D            |
|        | Wesendorf                         | GTA3D            |
|        | Weyhausen                         | GTA3D            |
|        | Wittingen                         | Nicht modelliert |
| CEL    | Böstlingen-Sülze-Weesen-Lutterloh | GTA3D            |
|        | Gifhorn                           | TUNB3D           |
|        | Hoefler                           | TUNB3D           |
|        | Hope                              | TUNB3D           |
|        | Wathlingen                        | GTA3D            |
|        | Wienhausen                        | GTA3D            |
|        | Wietze-Hambueren                  | TUNB3D           |
|        | Wolthausen                        | TUNB3D           |
| DAN    | Bockleben                         | TUNB3D           |
|        | Dannenberg                        | TUNB3D           |
|        | Doemitz                           | TUNB3D           |
|        | Geesthacht                        | TUNB3D           |
|        | Gorleben                          | TUNB3D           |
|        | Gr-Heide-Siemen                   | TUNB3D           |
|        | Guelden-Braudel                   | TUNB3D           |
|        | Guelze-Sumte                      | TUNB3D           |
|        | Kaarssen                          | TUNB3D           |
|        | Koestorf-Rosenthal                | TUNB3D           |
|        | Wustrow                           | TUNB3D           |
| EMS    | Boerger                           | TUNB3D           |
|        | Boertange                         | TUNB3D           |
|        | Gehlenberg                        | TUNB3D           |
|        | Lathen                            | TUNB3D           |
|        | Liener-Garen                      | TUNB3D           |
|        | Molbergen                         | TUNB3D           |
|        | Molbergen-West                    | TUNB3D           |
|        | Neusustrum                        | TUNB3D           |
|        | Oberlanger-Tenge                  | TUNB3D           |
|        | Vrees                             | TUNB3D           |
|        | Wahn                              | TUNB3D           |
| HAN    | Schessinghausen                   | Nicht modelliert |
|        | Husum                             | Nicht modelliert |
|        | Bokeloh                           | Nicht modelliert |
|        | Benthe                            | Nicht modelliert |
| HBR    | Adolphsdorf                       | TUNB3D           |
|        | Arsten-Osterholz                  | TUNB3D           |
|        | Aschwarden                        | TUNB3D           |
|        | Breddorf*                         | TUNB3D           |

\* Die Salzstruktur Breddorf liegt zu großen Teilen auf der Kachel SOL und ragt nur ca. 300 m lateral in die Kachel HBR.

Tab. 6: Im TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete Salzstrukturen und deren Quelle (Fortsetzung).

| Kachel         | Salzstruktur                | Quelle |
|----------------|-----------------------------|--------|
| HBR            | Grueppenbuehren             | TUNB3D |
|                | Lesum                       | TUNB3D |
|                | Lilienthal                  | TUNB3D |
|                | Quelkhorn-Schaphusen        | TUNB3D |
|                | Teufelsmoor                 | TUNB3D |
|                | Thedinghausen-Erminghausen  | TUNB3D |
|                | Wachendorf                  | TUNB3D |
| HIL            | Berkhoepen                  | TUNB3D |
|                | Flachstoeckheim             | TUNB3D |
|                | Groß-Ilse-Moelme            | TUNB3D |
|                | Lehrte-Sarstedt             | TUNB3D |
|                | Rolfsbuettel-Broistedt      | TUNB3D |
|                | Salzgitter                  | TUNB3D |
|                | Thiede                      | TUNB3D |
| Werla-Burgdorf | TUNB3D                      |        |
| NOR            | Juist-Nord-Emshoern         | TUNB3D |
|                | Lisa-Moevensteert           | TUNB3D |
|                | Manuela-Norderney           | TUNB3D |
|                | Maria-Groothusen            | TUNB3D |
|                | Lia                         | TUNB3D |
|                | Paapsand                    | TUNB3D |
|                | Uttum                       | TUNB3D |
|                | Wybelsum                    | TUNB3D |
| OLD            | Emden                       | TUNB3D |
|                | Emden-Sued-Rhaude           | TUNB3D |
|                | Hasbruch                    | TUNB3D |
|                | Neuenhuntorf                | TUNB3D |
|                | Oldenburg-Sued              | TUNB3D |
|                | Sagermeer                   | TUNB3D |
|                | Scharrel-Oldenburg-Nordwest | TUNB3D |
| SOL            | Bommelsen                   | TUNB3D |
|                | Breddorf*                   | TUNB3D |
|                | Bruemmerhof                 | TUNB3D |
|                | Dethlingen                  | TUNB3D |
|                | Soehlingen                  | TUNB3D |
|                | Soltau                      | TUNB3D |
|                | Stemmen-Otter-Todtshorn     | TUNB3D |
|                | Taaken-Ostervesede          | TUNB3D |
|                | Volkensen                   | TUNB3D |
|                | Volkwardingen               | TUNB3D |
| UEL            | Bahlburg                    | TUNB3D |
|                | Bahnsen                     | TUNB3D |

\* Die Salzstruktur Breddorf liegt zu großen Teilen auf der Kachel SOL und ragt nur ca. 300 m lateral in die Kachel HBR.

Tab. 6: Im TUNB Velo 2.0-Projekt verwendete Salzstrukturen und deren Quelle (Fortsetzung).

| <b>Kachel</b> | <b>Salzstruktur</b>     | <b>Quelle</b> |
|---------------|-------------------------|---------------|
| UEL           | Niendorf-II-Bodenteich  | TUNB3D        |
|               | Bokel                   | TUNB3D        |
|               | Ebstorf-Wettenbostel    | TUNB3D        |
|               | Egestorf-Soderstorf     | TUNB3D        |
|               | Horndorf                | TUNB3D        |
|               | Kolkhagen               | TUNB3D        |
|               | Lueneburg               | TUNB3D        |
|               | Rosche-Thondorf         | TUNB3D        |
|               | Varbitz                 | TUNB3D        |
| VEC           | Blenhorst               | TUNB3D        |
| VER           | Ahrensheide             | TUNB3D        |
|               | Eilte                   | TUNB3D        |
|               | Eitzendorf-Lichtenhorst | TUNB3D        |
|               | Grethem-Buechten        | TUNB3D        |
|               | Hamwiede                | TUNB3D        |
|               | Rethem                  | TUNB3D        |
|               | Verden                  | TUNB3D        |
|               | Wedehof                 | TUNB3D        |
| WHV           | Arngast                 | TUNB3D        |
|               | Harle-Riff              | TUNB3D        |
|               | Jaderberg               | TUNB3D        |
|               | Roter-Sand              | TUNB3D        |
|               | Ruestringen             | TUNB3D        |
|               | Scharhoern-Mellum       | TUNB3D        |
|               | Seefeld                 | TUNB3D        |
|               | Wangerooge              | TUNB3D        |
| WIN           | Bevern-Oldendorf        | TUNB3D        |
|               | Harsefeld               | TUNB3D        |
|               | Hamelwoerden            | TUNB3D        |
|               | Meckelfeld              | TUNB3D        |
|               | Moisburg                | TUNB3D        |
|               | Sottorf                 | TUNB3D        |
|               | Sproetze                | TUNB3D        |
|               | Stade                   | TUNB3D        |
|               | Toeps                   | TUNB3D        |

## 11.2. Integration des Wealdens

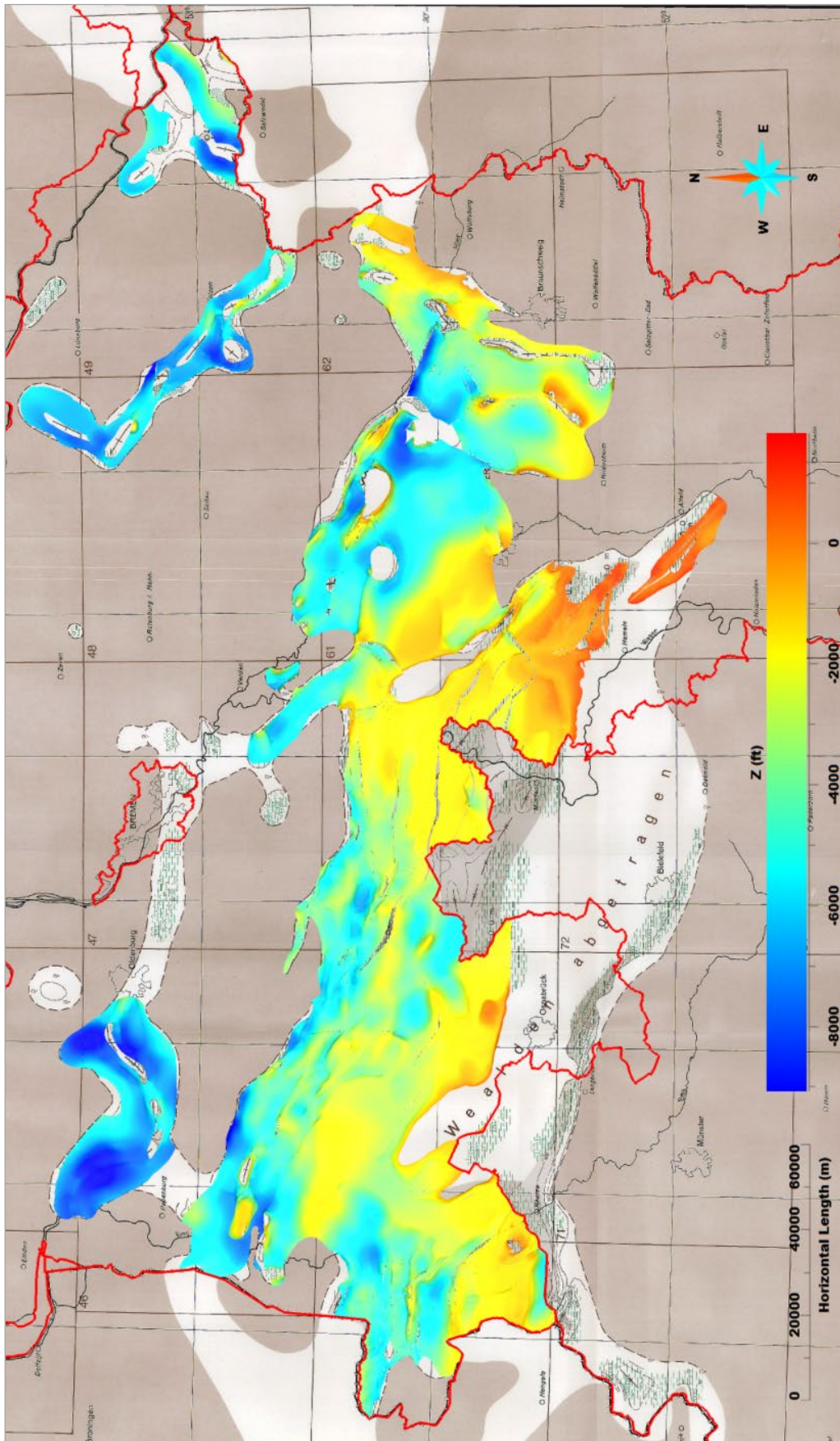


Abb. 59: Tiefenwerte und Verbreitung der modellierten Basisfläche Wealden mit der TK500-Karte aus dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) im Hintergrund (Aspen SKJA® V14.5).

### 11.3. Modellierungsschritte in Aspen SKUA® V14.5

#### 11.3.1. Modellierung des Wealdens

- Interpolation der Mächtigkeiten des Wealdens auf einer *Surface* mittels des *Application Wizards* (Mindestmächtigkeit 25 m).
- Erzeugen der Topfläche der TUNB-Schicht Oberes Jura (Malm und Wealden):
- Erzeugen einer geschlossenen *Surface* und Schieben über die Geländeoberkante mittels *Apply Script On Object*.
- Nach-unten-Verschieben der *Surface* über den Befehl *Remove Crossovers* -> *Push down* iterativ für jeden Horizont von oben bis unter die Basis Unterkreide.
- Projizieren einer *Surface* mit der Ausdehnung des Horizontes Basis Malm aus dem TUNB3D-Modell auf diese *Surface*.
- Übertragen der Wealden-Mächtigkeit auf die Topfläche mittels *Transfer Property By Vertical Projection*.
- Subtrahieren der Wealden-Mächtigkeit vom aktuellen Tiefenwert Z der Topfläche.
- Bereiche, für die keine Mächtigkeitswerte für das Wealden interpoliert wurden, der Malm jedoch verbreitet ist, haben den Z-Wert *No-Data Value* und konnten über *Region* -> *Initialize from Property No-Data Value* und *Region* -> *Delete Triangles* gelöscht werden.
- Über *Remove Crossovers* -> *Push up* mit der Basisfläche Malm als Referenz wurde sichergestellt, dass die Basisfläche Wealden nicht unter der Basisfläche des Malms liegt.
- Die Basisfläche Wealden wurde auf die Bereiche geschnitten, für die das Wealden laut dem Paläogeographischen Atlas (SCHOTT et al. 1967) verbreitet ist. Dazu wurden aus der Wealden-Basisfläche *Parts* erzeugt mit dem Befehl *Surface* -> *Cut* -> *By Curves* (X=0, Y=0, Z=-10000, Haken bei *Two Ways*) und dem Umriss des Wealdens. Die *Parts*, in denen in der Karte keine Verbreitung des Wealdens eingezeichnet ist, wurden über *Surface* -> *Tools* -> *Part* -> *Delete Selection* entfernt.

#### 11.3.2. Aufbereiten der $V_{NN100}$ -Geschwindigkeiten nach JARITZ et al. (1991)

- Um ausgehend von den Isolinien flächendeckende  $V_{NN}$ -Werte interpolieren zu können, müssen die Stützstellen der Isolinien einen regulären Abstand besitzen. Mittels *Tools* -> *Filter* -> *Segment Length* und *Tools* -> *Densify* wurde dieser auf etwa 200 m gesetzt.
- Um die  $V_{NN}$ -Werte interpolieren zu können, wird eine *Surface* benötigt. Dafür wurde ein Polygon um Niedersachsen gepickt (*Curve* -> *New* -> *Digitize in 3D View* -> *Polygon*), bei dem mittels *Tools* -> *Densify* der Abstand der Stützstellen auf 500 m gesetzt wurde. Über *Surface* -> *New* -> *From Closed Curve* wurde aus diesem Polygon die *Surface* erstellt. Diese ist eine triangulierte Fläche, bei der die Größe der Dreiecke zu der Auflösung der digitalisierten Isolinien sinnvoll sein sollte. Über *Tools* -> *Split* wurde die Größe der Dreiecke an die Isolinien angepasst, so dass deren Kantenlänge bei etwa 200 m lag.
- Um die digitalisierten Isolinien und die einzelnen  $V_{NN}$ -Werte auf der Fläche interpolieren zu können, mussten diese als *PointsSet* zusammengefasst werden (*PointsSet* -> *New* -> *From PointsSet, Curve or Surface*, dabei die *Properties* mit auswählen).
- Im *Application Wizard* konnte mit dem *PointsSet* die Interpolation durchgeführt werden (*Application* -> *Wizards* -> *Operations on Object Properties* -> *Paint Surface from Discrete Properties Points by Interpolation*). Dabei wurden so viele Iterationen angewendet, bis keine Änderungen bei den Werten mehr erkennbar waren.
- In den Arbeitskarten hatten JARITZ et al. (1991) über Pfeile größeren Regionen konstante  $V_{NN}$ -Werte zugewiesen. Um diese korrekt zu interpolieren, wurden *Regions* auf einer *Surface* über den *Region Editor* gepickt und anschließend über *Compute on Object* konstante  $V_{NN}$ -Werte zugewiesen. Die Bereiche mit  $V_{NN}$ -Werten wurden als *PointsSet* exportiert und dann als *Con-*

*straints* bei der zu interpolierenden *Surface* gesetzt (*Surface* -> *Constraints* -> *Set Property Control Points*).

- Weitere Iterationen der Interpolation wurden über *Surface* -> *Interpolation* -> *Interpolate Property* durchgeführt.

### 11.3.3. Erzeugen eines Volumenmodells über den Structure and Stratigraphy-Workflow

#### Umgang mit Salzstrukturen im SnS-Workflow

Vorgehen zum Modellieren der Salzstrukturen als geschlossene Körper:

- Erstellen von *PointsSets* aus den originalen Flächen der Salzstrukturen aus dem TUNB3D- bzw. GTA3D-Modell (*PointsSet* -> *New* -> *From Object Region*).
- Erzeugen von ellipsenförmigen Körpern aus den *PointsSets* (*Surface* -> *New* -> *Ellipsoid from PointsSet (Number of split 3, Variance Scale 2)*).
- Setzen der originalen Salzstrukturen als *Constraints* (*Surface* -> *Constraints* -> *Control Points* -> *Set Control Points (Optimized shooting direction)*).
- Interpolation der Flächen an die Salzstrukturen (*Surface* -> *Interpolation* -> *Geometry On Entire Surface*).

#### Horizontmodellierung im Schritt Modeling Horizons

Vorgehen zur Korrektur, wenn der SnS-Workflow einen Horizont in Bereiche modelliert, in denen dieser nicht vorkommt:

- Erzeugen eines *2D-Grids* aus der *Surface* des Horizonts (*2D-Grid* -> *New* -> *From Surface*).
- Schließen kleinerer Lücken, beispielsweise an Störungen, mittels *2D-Grid* -> *Tools* -> *Fill Holes* und *Closing* auswählen.
- Aus dem *2D-Grid* kann eine *Curve* erzeugt werden (*Curve* -> *New* -> *From Surfaces Borders* -> *2D-Grid Border*), die den äußeren Umriss der Schicht (*Outline*) darstellt.
- Die *Curve* besteht in der Regel aus mehreren *Parts*, wenn der Horizont beispielsweise im Bereich von Salzstrukturen Lücken hat. Diese *Parts* müssen gelöscht werden: *Curve* -> *Tools* -> *Part* -> *Delete Selection*.
- Falls es Lücken im Horizont gibt, die nicht gefüllt werden sollen, so muss die *Outline* um diesen Teil erweitert werden: jeweils außen und innen ein Segment löschen (*Curve* -> *Tools* -> *Segment* -> *Delete*) und die offenen Knoten miteinander verbinden (*Curve* -> *Tools* -> *Node* -> *Bridge*). Die *Curve* muss dann noch mittels *Reshape Curve* im schmalen Segment übereinander geschoben werden.
- Die finale *Outline* muss dann dem zugehörigen *Horizon Feature* zugewiesen werden.
- Im SnS-Workflow muss zurück zum Schritt *Selecting Data: Horizons* gegangen werden. Hier wurde die *Outline* ausgewählt und die *Role* auf *Non-erosion Outline* gesetzt.

## Autorenschaft

- Dr. Claudia Schimschal

<https://orcid.org/0000-0002-3156-9393>

tegeo – Tegtmeyer Geophysik GmbH,  
Bruchkampweg 28A,  
29227 Celle.

vormals

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 2.3 Geodatenmanagement, 3D-Infrastruktur,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.

- Sabine Sattler

<https://orcid.org/0009-0006-9407-4941>

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 2.4 Geologische Grundlagen,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.

- Dr. Jennifer Ziesch

<https://orcid.org/0000-0003-0438-5246>

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 2.3 Geodatenmanagement, 3D-Infrastruktur,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529