

3D-Strukturmodelle geothermisch nutzbarer Horizonte im Bereich Nordwestdeutschlands

Evelyn Suchi

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)

Keywords: 3D-Strukturmodelle, 3D-Temperaturmodell, GOCAD, Geothermisches Informationssystem (GeotIS), Norddeutsches Becken, Niedersächsisches Becken, Münsterländer Kreidebecken

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurden große Fortschritte in der digitalen 3D-Modellierung geologischer Strukturen erzielt. Gegenüber einfachen Karten, die nur die Verbreitung und Tiefenlage einzelner Horizonte darstellen, können mit ihrer Hilfe die verschiedenen Strukturmerkmale sowie das Volumen stratigraphischer Einheiten abgebildet werden.

Die bisherigen im Geothermischen Informationssystem (GeotIS/ www.geotis.de) verfügbaren 3D-Modelle geothermisch nutzbarer Horizonte in Niedersachsen werden durch diese Arbeit, die innerhalb des Verbundprojekts „Charakterisierung geothermischer Ressourcen unter Berücksichtigung von Grenz- und Trennflächen (GeoFaces)“ durchgeführt wird, erweitert und vervollständigt. Als günstig angesehene Bereiche für eine geothermische Nutzung sind die Sandsteine des Dogger, Wealden und Valangin im Niedersächsischen Becken, die Unterkreidesandsteine nördlich des Niedersächsischen Beckens im Bereich der Emsmündung und der Lineamente Leer-Bremen und Uelzen sowie der Cenoman-Turon-Aquifer im Münsterländer Kreidebecken. Die in diesen Gebieten mittels GOCAD erstellten 3D-Strukturmodelle sollen im Anschluss in einfachen Arbeitsschritten in Volumenmodelle konvertiert, mit dem 3D-Temperaturmodell des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik (LIAG) verschnitten und in den Datenbestand von GeotIS eingefügt werden.

1. Einleitung

3D-Strukturmodelle sind heute die Grundlage für hydrologische und geothermische Modelle. Gerade in Norddeutschland finden sich viele Formationen, die bei niedrigen bis mittleren Temperaturen ökonomisch sinnvoll zur Wärmegewinnung nutzbar sind, wie z. B. der Bentheimer Sandstein im Emsland oder die Kalkstein-Sandstein-Lagen des Cenoman bis Turon im Münsterländer Kreidebecken. Ab einer Temperatur von 40 °C kann Erdwärme auch ohne den Einsatz von Wärmepumpen vielfältig genutzt werden. Für eine Reihe von Formationen fehlen allerdings bislang detaillierte 3D-Modelle ihres strukturellen Aufbaus.

Die bisherigen Modelle basieren zudem im Wesentlichen auf Basis- und Topflächen von Formationen bzw. stratigraphischen Einheiten. Der Grund hierfür ist, dass ältere Software zur Erstellung von 3D-Modellen weitergehende Information über Grenzflächen nicht verarbeiten konnte. Dies hat sich inzwischen geändert. Mit neueren Versionen der Software GOCAD/SKUA können nicht nur stratigraphische Profile erfasst werden, es ist auch möglich, Diskordanzen und andere Strukturelemente entsprechend ihrer Bedeutung zu integrieren, um so stratigraphisch konsistente 3D-Modelle zu erzeugen.

Die aktuell in GeotIS verfügbaren 3D-Modelle geothermisch nutzbarer Horizonte in Niedersachsen werden innerhalb dieses Projekts erweitert und vervollständigt (Abb. 1). Vor allem im Niedersächsischen Becken zeigen Sandsteine des Wealden und des Valangin sowohl von der Porosität als auch von der Permeabilität günstige Eigenschaften für eine geothermische Nutzung

(KUDER et al. 2014). Nördlich des Niedersächsischen Beckens sind mächtige Unterkreidesandsteine im Bereich der Emsmündung, im Bereich der Lineamente Leer-Bremen und Uelzen durch Bohrungen belegt (KNOPF 2011). Auch die Sandsteine des Dogger weisen vor allem innerhalb des Niedersächsischen Beckens lokal Reservoirqualität auf (FRISCH & KOCKEL 2004, KNOPF 2011) und könnten geothermisch genutzt werden. Das Münsterländer Kreidebecken ist ebenfalls noch nicht in GeotIS erfasst, obwohl es nennenswertes geothermisches Potential besitzt. Der Zielhorizont ist hier der Cenoman-Turon-Aquifer (Oberkreide), bei dem es sich um einen geklüfteten Kalkstein mit Sandsteineinschaltungen handelt.



Abb. 1: Die über Internet aufrufbare Oberfläche von GeotIS; grün hinterlegte Flächen zeigen die Gebiete, in denen bereits 3D-Modelle zur Verfügung stehen; die rote Markierung zeigt den Bereich an, in dem sich die neuen Modelle befinden.

2. Methodik

Das Norddeutsche Becken gehört zum Mitteleuropäischen Beckensystem, welches sich seit dem Perm bis zum Ende der Kreide sukzessiv vertiefte. In diesem Zeitabschnitt entstanden die Sedimente, die als Zielhorizont für die geothermische Energienutzung zu erfassen waren. Berücksichtigt wurden verschiedene Kriterien, die für eine hydrothermale Nutzung geothermischer Reservoirs von Bedeutung sind. Hierzu zählen vor allem eine Mindestmächtigkeit permeabler Schichten von 20 m (ROCKEL & SCHNEIDER 1992; ROCKEL et al. 1997), eine regionale Verbreitung sowie eine Tiefenlage, die eine Formationstemperatur von mindestens 40 °C erwarten

lässt. Ziel der Strukturmodellierung ist die räumliche Darstellung geologischer Körper bzw. Sedimentformationen, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit einen oder mehrere Grundwasserleiter erwarten lassen. Erst wenn Basis- und Topflächen vorhanden sind, können Formationen als geologische Körper betrachtet werden. Dabei stellt die Höhendifferenz zwischen diesen beiden Flächen die stratigrafische Mächtigkeit dar. Diese darf nicht mit der kumulierten Mächtigkeit der Grundwasserleiter verwechselt werden, da die kumulierte Mächtigkeit nur die durchlässigen Sandsteine berücksichtigt.

Die 3D-Modelle wurden mit der Software GOCAD von Paradigm erstellt. In der Regel handelt es sich dabei um triangulierte Basis- und Topflächen, die auf der Grundlage von geologischen Strukturkarten und weiterer Daten, wie z. B. Bohrungen, modelliert wurden.

In der aktuellen Arbeit wurden jeweils Top- und Basisflächen des Dogger (Niedersächsisches Becken), des Wealden (Niedersächsisches Becken), des Valangin (Niedersächsisches Becken), der Unterkreide (Berrias bis Alb) nördlich des Niedersächsischen Beckens und der Oberkreide (Cenoman bis Turon) im Münsterländer Kreidebecken berücksichtigt.

Bezüglich der Geometrie der Störungsflächen wurden mangels genauerer Informationen sämtliche Störungen vertikal für alle jeweiligen Top- und Basisflächen modelliert. Lediglich für die Topfläche des Gebiets des Münsterländer Kreidebeckens standen gar keine Informationen über die Störungsverläufe zur Verfügung.

Nach der Erzeugung der jeweiligen Flächen auf Basis der Isobathen in den jeweils ermittelten Verbreitungsgebieten erfolgte noch eine kleinräumige Anpassung der modellierten Flächen an alle für die jeweilige Stratigrafie zur Verfügung stehenden Bohrprofile (Abb. 2). Es wurden auch die Abstände zu den jeweils darüber liegenden Flächen berücksichtigt und Flächendurchdringungen gegebenenfalls korrigiert.

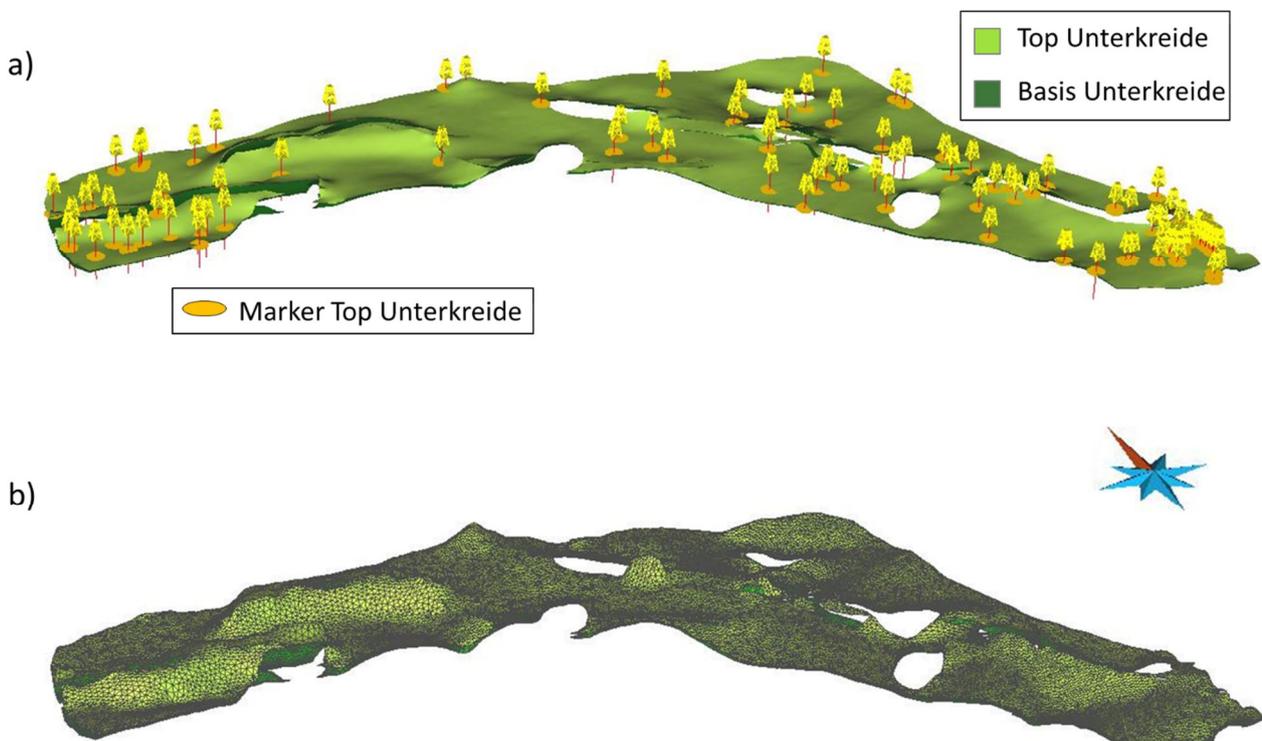


Abb. 2: a) Top und Basis des 3D-Modells des Uelzen Lineaments (Ausschnitt) mit Lage der Bohrungen und der Horizontmarker. b) Gleiches Modell mit eingblendeter Vermaschung (2-fach überhöht).

3. Ergebnis

Die bisherigen in GeotIS verfügbaren 3D-Modelle geothermisch nutzbarer Horizonte in Niedersachsen werden durch diese Arbeit, die innerhalb des Verbundprojekts „Charakterisierung geothermischer Ressourcen unter Berücksichtigung von Grenz- und Trennflächen (GeoFaces)“ durchgeführt wird, erweitert und ergänzt. Durch die Erweiterung der in GeotIS bereits vorhandenen 3D-Modellgebiete konnte eine höhere Abdeckung gerade im Bereich des westlichen Niedersachsens und des nördlichen Nordrhein-Westfalens erreicht werden. Die in diesen Gebieten mittels GOCAD erstellten 3D-Strukturmodelle sollen nachfolgend in einfachen Arbeitsschritten in Volumenmodelle konvertiert, mit dem 3D-Temperaturmodell des LIAG verschnitten und in den Datenbestand von GeotIS eingefügt werden (Abb. 3).

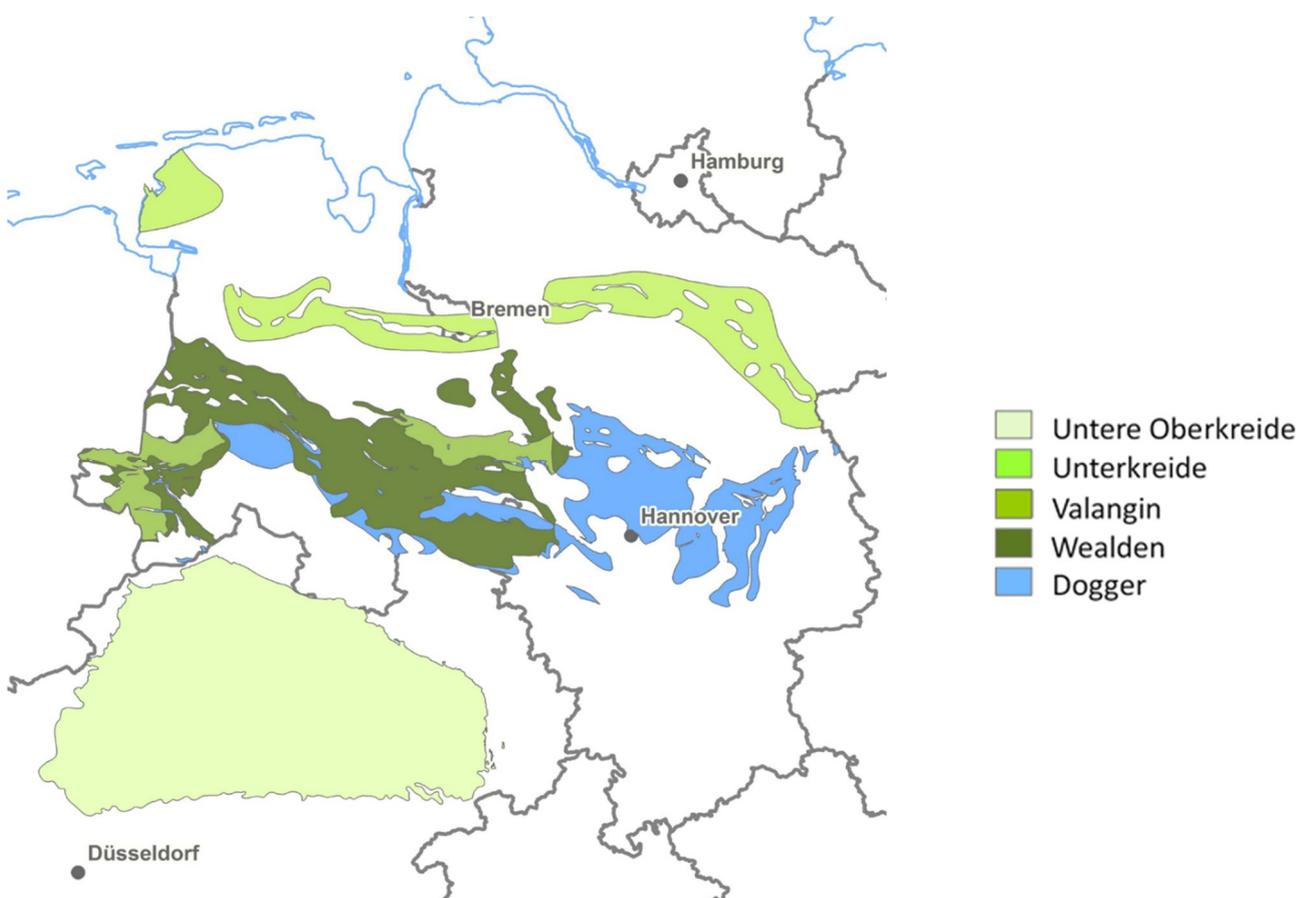


Abb. 3: Lage der neu erstellten 3D-Modelle innerhalb des Norddeutschen Beckens und des Münsterländer Kreidebeckens.

3.1 Sandsteine des Dogger (Aalen bis Callov)

Die Auswahl und Abgrenzung des Gebietes mit Sandsteinen des Dogger (Aalen bis Callov) im Niedersächsisches Becken erfolgte nach MÜLLER & REINHOLD (2011) und Knopf (2011) wobei eine Speichergesteinsmächtigkeit von > 10 m und eine Tiefenlage am Top der Einheit > 800 m als Kriterien angelegt wurden. Die Modellierung erfolgte nach Kartenwerken des Geotektonischen Atlases (BALDSCHUHN et al. 2001) bzw. des Southern Permian Basin Atlases (DOORNENBAL & STEVENSON 2010). Für die Anpassung der modellierten Fläche standen für die Top-Fläche Callov 1252 Bohrungen und für die Basis-Fläche Aalen 417 Bohrungen zur Verfügung. Die Modellierung der Störungsverläufe auf den jeweiligen Flächen erfolgte nach DOORNENBAL & STEVENSON (2010) (Abb. 4).

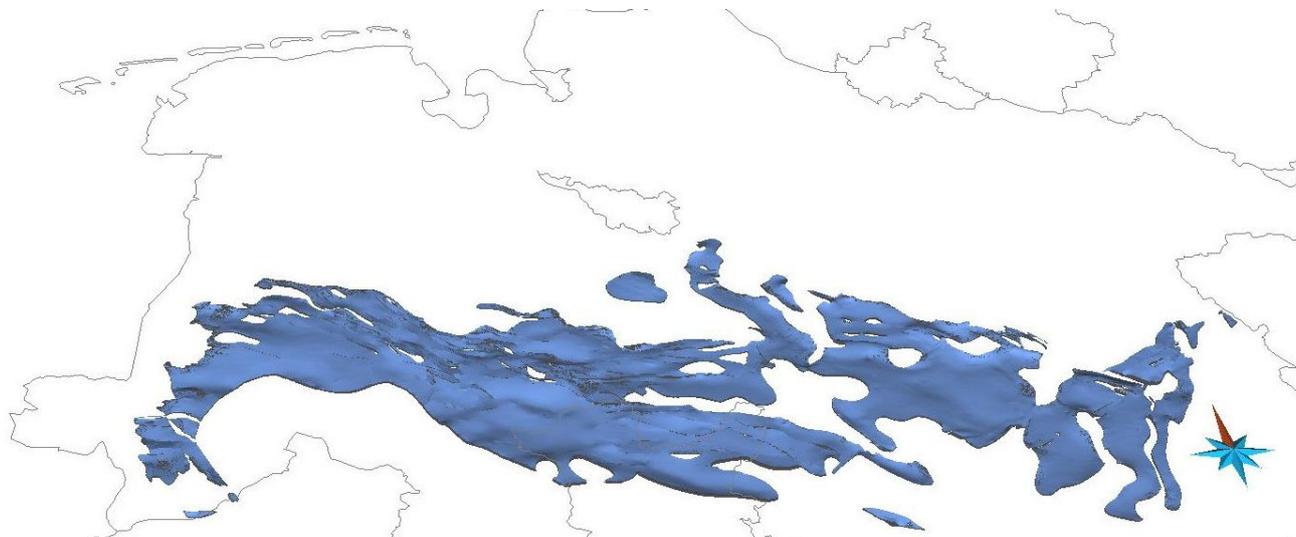


Abb. 4: Geothermisch relevante Gebiete innerhalb des Niedersächsischen Beckens (Dogger – Aalen bis Callov).

Im Mittleren Jura werden die z. T. mächtigen Tonsteinfolgen viel häufiger als im Unteren Jura von Sandsteinfolgen unterbrochen (HOTH et al. 2007). Wichtige Sandsteinhorizonte sind Dogger Beta-Sandsteine aus dem Aalen, die im Nordosten des Arbeitsgebietes nachgewiesen sind. Diese Sandsteine sind aus dem Osten geschüttet worden. Laut ZIEGLER (1990) sind in dem Zeitabschnitt danach vom Bajoc bis Bathon vor allem deltaische und küstennahe bzw. flachmarine Klastika sowie weiterhin flachmarine Tonsteine abgelagert worden. Aus dem Bajoc ist der Garantianen-Sandstein von Bedeutung, der in zentralen Gebieten Niedersachsens verbreitet ist und aus einem Deltafächer aus dem Norden geschüttet wurde (BOIGK 1981). Ebenso aus dem Norden geschüttet wurden Sandsteine aus dem Bathon, die unter der Bezeichnung Cornbrash-Fazies zusammengefasst werden (FRISCH & KOCKEL 2004). Sie sind im (Süd)Osten und Westen des Niedersächsischen Beckens weit verbreitet. Im Westen sind Sandsteine dieser Fazies aus dem Unteren Bathon in den Schichtenverzeichnissen auch unter der Bezeichnung Württemberg-Sandsteine aufgeführt (KNOPF 2011).

3.2 Ablagerungen der Unterkreide (Wealden)

Die Auswahl und Abgrenzung des Gebietes mit Ablagerungen der Unterkreide (Wealden) im Westteil des Niedersächsischen Beckens erfolgte nach KUDER et al. (2014). Für die Modellierung wurden die Bereiche gewählt, die sich innerhalb des Niedersächsischen Beckens befinden und an den bereits im vorherigen Projekt fertiggestellten Teil dieser Einheit im Ostteil des Beckens anschließen. Die Modellierung erfolgte nach Kartenwerken des Geotektonischen Atlases (BALDSCHUHN et al. 2001) bzw. des Southern Permian Basin Atlases (DOORNENBAL & STEVENSON 2010). Für die Anpassung der modellierten Fläche standen für die Top-Fläche Wealden 1676 Bohrungen und für die Basis-Fläche Wealden 1254 Bohrungen zur Verfügung. Die Modellierung der Störungsverläufe auf den jeweiligen Flächen erfolgte nach DOORNENBAL & STEVENSON (2010) (Abb. 5).



Abb. 5: Geothermisch relevante Gebiete innerhalb des westlichen Teils des Niedersächsischen Beckens (Wealden).

Stratigraphisch muss der „deutsche Wealden“ vom Wealden an seiner Typuslokalität in England unterschieden werden, daher ist die traditionsbedingt mit „Wealden“ bezeichnete Einheit dem stratigraphischen Begriff „Bückeberg-Formation“ zuzuordnen. Bei den Sandsteinen handelt es sich nach SCHULZ & RÖHLING (2000) um fluviatile Ablagerungen eines verflochtenen Fluss-Systems mit einem sehr heterogenen Faziesgefüge. Sie bestehen vorwiegend aus einem Wechsel von Feinsanden und Schluffen mit tonigen Lagen. Partienweise können sie konglomeratisch ausgebildet sein. Es dominieren bei den Sandsteinen die fein- bis mittelkörnigen Varietäten mit typischer Flaserschichtung. Die Tonsteine des Wealden sind überwiegend mittel- bis dunkelgrau. Nach Westen stellen sich häufiger grünlichgraue Tonsteine und einzelne Karbonathorizonte ein. Die Korngröße innerhalb der einzelnen Sequenzen nimmt vom Liegenden zu Hangenden ab (BEUTLER et al. 1994).

3.3 Ablagerungen der Unterkreide (Valangin)

Die Auswahl und Abgrenzung des Gebietes mit Ablagerungen der Unterkreide (Valangin mit Valendis Sandstein und Bentheimer Sandstein) innerhalb des Niedersächsischen Beckens erfolgte nach KUDER et al. (2014) und HAENEL & STAROSTE (1988). Die Modellierung wurde anhand von Kartenwerken des Geotektonischen Atlases (BALDSCHUHN et al. 2001) bzw. des Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland (HAENEL & STAROSTE 1988) durchgeführt. Für die Anpassung der modellierten Fläche standen für die Top-Fläche Bentheimer Sandstein 1493 Bohrungen und für die Basis-Fläche Bentheimer Sandstein 521 Bohrungen zur Verfügung. Für den Valendis Sandstein waren es 536 Bohrungen für die Top-Fläche und 318 Bohrungen für die Basis-Fläche. Die Modellierung der Störungsverläufe auf den jeweiligen Flächen erfolgte für die Störungen des Top Valangin nach HAENEL & STAROSTE (1988) und für die Basis des Valangin nach DOORNENBAL & STEVENSON (2010) (Abb. 6).

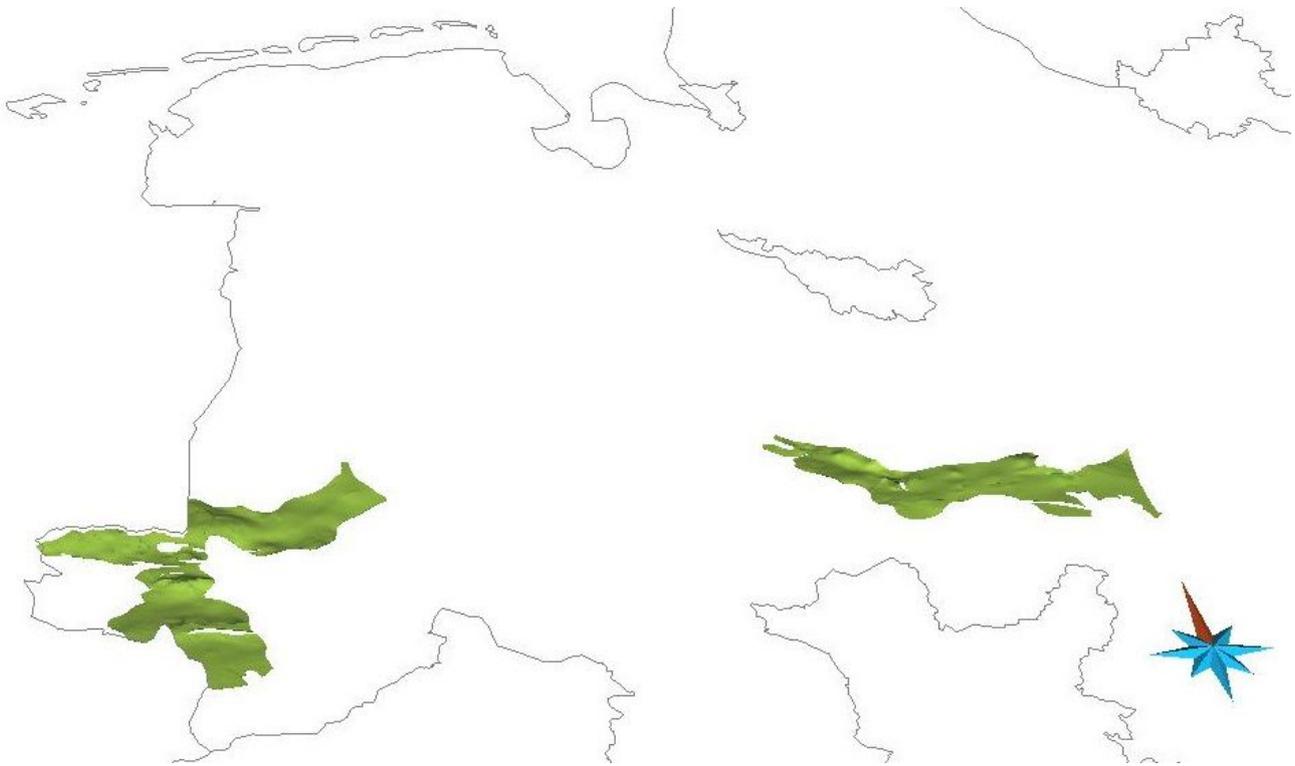


Abb. 6: Geothermisch relevante Gebiete innerhalb des Niedersächsischen Beckens (Valangin). Links: Bentheimer Sandstein. Rechts: Valendis Sandstein.

Die Ausbildung der Wealden- und Valangin-Sandsteine im zentralen Niedersachsen ist in den meisten Fällen identisch. Der Bentheimer Sandstein ist ein brauner bis roter fein- bis mittelkörniger Quarzsandstein, dessen Kornbindung weitgehend durch Kornverwachsung bewirkt wird. Gelegentlich tritt auch überwiegend dolomitierter Kalk als Bindemittel auf (KEMPER 1976). Bei diesen Einheiten ist die Mächtigkeit als Nettomächtigkeit zu verstehen, die 70 bis 100 % der Gesamtmächtigkeit ausmacht (HAENEL & STAROSTE 1988).

3.4 Ablagerungen der Unterkreide (Berrias bis Alb)

Die Auswahl und Abgrenzung des Gebietes mit Ablagerungen der Unterkreide (Berrias bis Alb) nördlich des Niedersächsischen Beckens erfolgte nach MÜLLER & REINHOLD (2011) und KNOPF (2011) wobei eine Speichergesteinsmächtigkeit von > 10 m und eine Tiefenlage am Top der Einheit > 800 m als Kriterien angelegt wurden. Die Modellierung erfolgte nach Kartenwerken des Geotektonischen Atlases (BALDSCHUHN et al. 2001) bzw. des Southern Permian Basin Atlases (DOORNENBAL & STEVENSON 2010). Es handelt sich um Gebiete im Bereich der Emsmündung, des Leer-Bremen Lineaments und des Uelzen Lineaments. Für die Anpassung der modellierten Fläche standen für die Top-Fläche Alb 165 Bohrungen und für die Basis-Fläche Berrias 163 Bohrungen zur Verfügung. Die Modellierung der Störungsverläufe auf den jeweiligen Flächen wurde anhand der Daten von DOORNENBAL & STEVENSON (2010) durchgeführt (Abb. 7).

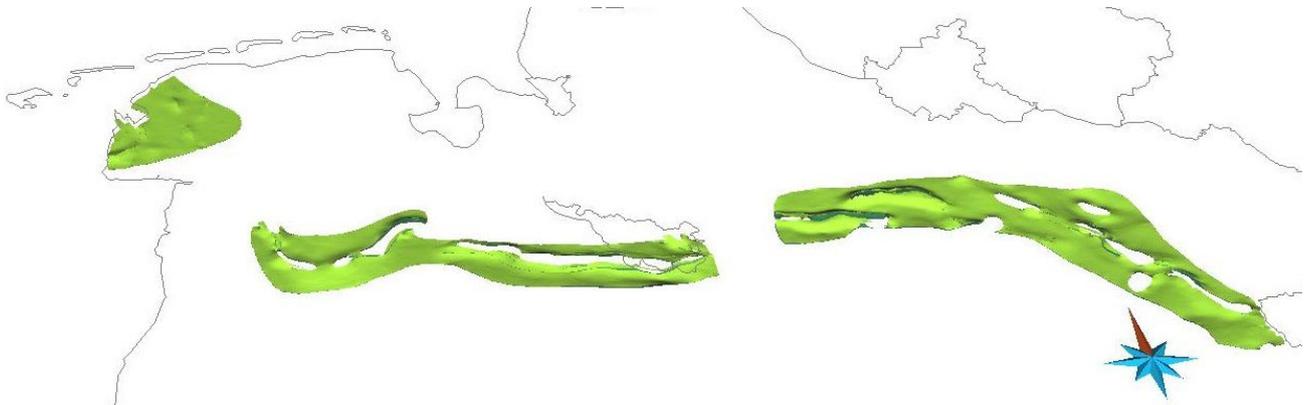


Abb. 7: Geothermisch relevante Gebiete nördlich des Niedersächsischen Beckens (Unterkreide – Berrias bis Alb). Links: Emsmündung. Mitte: Leer-Bremen Lineament. Rechts: Uelzen Lineament.

Die wichtigen Sandsteinhorizonte im Bereich der Unterkreide nördlich des Niedersächsischen Beckens sind den Stufen Berrias (Obernkirchen-Sandstein), Valangin (Bentheim-Sandstein, Dichotomiten-Sandstein) und Hauterive (Gildehaus-Sandstein) zuzuordnen. Aus dem höheren Teil der Unterkreide ist nur der Hils-Sandstein aus dem Alb im äußersten Südosten des Verbreitungsgebietes durch Bohrungen belegt. Die aus der Bohrungsdatenbank abgeleiteten Sandsteinmächtigkeiten weisen Werte von einigen Zehnermetern auf; dabei sind mit Ausnahme der Emsmündung auch Werte von mehr als 50 m Mächtigkeit nachgewiesen (KNOPF 2011).

3.5 Ablagerungen der Unteren Oberkreide (Cenoman bis Turon)

Die Auswahl des Gebietes mit Ablagerungen der Unteren Oberkreide (Cenoman bis Turon) innerhalb des Münsterländer Kreidebeckens erfolgte nach und BALDSCHUHN et al. (2001) sowie nach DÖLLING & JUCH (2009). Die Modellierung der Basis Cenoman wurde nach Kartenwerken des Geotektonischen Atlases (BALDSCHUHN et al. 2001) durchgeführt. Der Top Turon wurde anhand von Bohrungen und verschiedenen Profilschnitten modelliert. Für die Anpassung der modellierten Fläche standen für die Top-Fläche Turon 19 Bohrungen und für die Basis-Fläche Cenoman 22 Bohrungen zur Verfügung. Die Modellierung der Störungsverläufe erfolgte für die Störungen an der Basis Cenoman nach DOORNENBAL & STEVENSON (2010) sowie mit Hilfe des WMS des Geologischen Dienstes NRW (Abb. 8, 9).

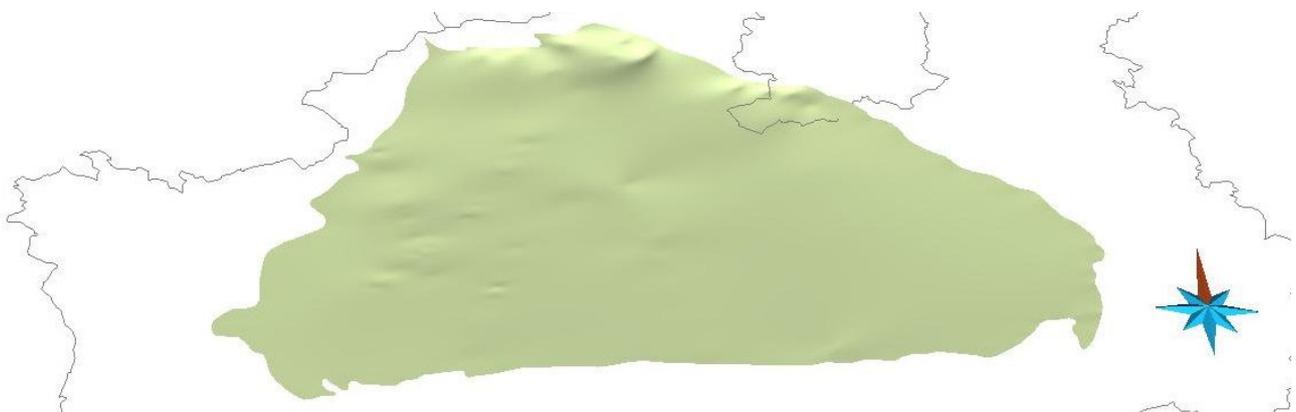


Abb. 8: Geothermisch relevante Gebiete innerhalb des Münsterländer Kreidebeckens (Top Turon).

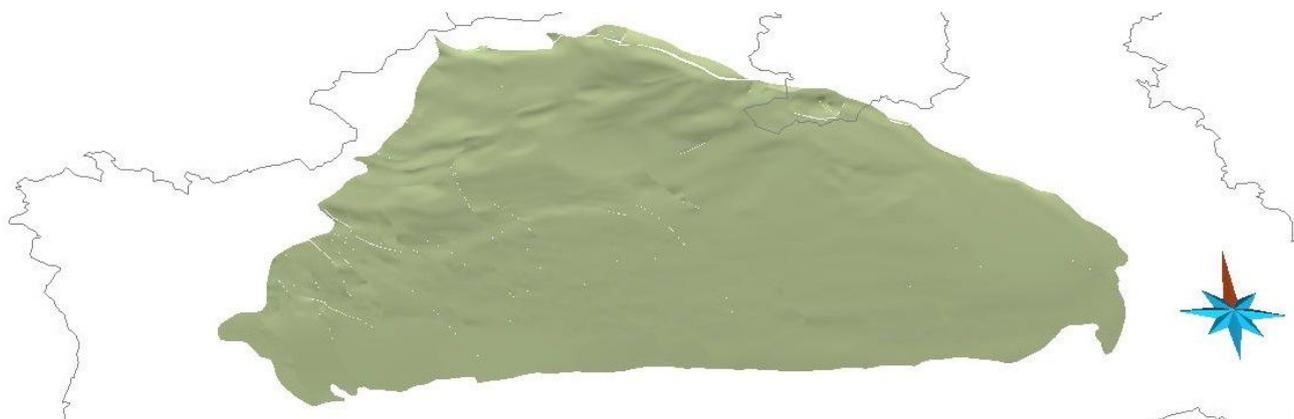


Abb. 9: Geothermisch relevante Gebiete innerhalb des Münsterländer Kreidebeckens (Basis Cenoman).

Die Lagerungsverhältnisse im Kreide-Deckgebirge des zentralen Münsterlandes gelten als relativ ungestört (DÖLLING & JUCH 2009). Nach MICHEL & STRUCKMEIER (1985) handelt es sich bei dem kretazischen Aquifer um einen rissigen, geklüfteten Kalkstein mit Sandsteineinschaltungen, wobei sich der Randbereich und das Zentrum im Salzgehalt des Formationswassers unterscheiden; zum Beckeninneren und mit zunehmender Tiefe steigt dieser an.

4. Schlussbetrachtung

Zur Erweiterung der bisher im Geothermischen Informationssystem implementierten 3D-Modelle wurden im Bereich des Norddeutschen Beckens und im Münsterländer Kreidebecken fünf neue Modelle erstellt. Diese geothermisch nutzbaren Horizonte weisen niedrigen bis mittlere Temperaturen ab 40 °C auf und stehen damit potenziell für eine Wärmeengewinnung zur Verfügung. Es handelt sich um Sandsteine des Dogger, Wealden und Valangin im Niedersächsischen Becken, um Unterkreidesandsteine nördlich des Niedersächsischen Beckens im Bereich der Emsmündung und der Lineamente Leer-Bremen und Uelzen sowie um den Cenoman-Turon-Aquifer im Münsterländer Kreidebecken. Nach Verschnitt mit dem 3D-Temperaturmodell des LIAG werden die Modelle in den Datenbestand von GeotIS eingefügt und stehen einer weitergehenden Nutzung zur Verfügung.

Quellenangaben

BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. – *Geologisches Jahrbuch*, A 153: 95 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

BEUTLER, G., RÖHLING, H.-G., SCHULZ, R. & WERNER, K.-H. (1994): Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland. – Bericht, NLFb-Archiv 111 758; 161 S., 37 Abb., 13 Tab., 33 Anl.; Hannover.

BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland. Erdölprovinzen, Felder, Förderung, Vorräte, Lagerstättentechnik. – 330 S.; Stuttgart (Enke).

BOMBIEN, H., HOFFERS, B., BREUCKMANN, S., HELMS, M., LADEMANN, K., LANGE, M., OELRICH, A., REIMANN, R., RIENÄCKER, J., SCHMIDT, C., SLABY, M.-F., ZIESCH, J. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordsee-Sektor als geologisches 3D-Modell. – *Geowissenschaftliche Mitteilungen*, 48 (06/2012): 6-13.

DÖLLING, M. & JUCH, D. (2009): Strukturgeologische Modellvorstellungen zum Kreide-Deckgebirge im zentralen Münsterland. – In: GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.): Zwei Beiträge

zur Geologie des zentralen und des südlichen Münsterlandes: 5-27; Krefeld (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen).

DOORNENBAL, J.C. & STEVENSON, A.G. (Eds.) (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. – 342 S.; Houten (EAGE).

FRISCH, U. & KOCKEL, F. (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands. – Bericht, Uni Bremen, FB Geowissenschaften Nr. 223: 379 S.; Bremen.

HAENEL, R. & STAROSTE, E. (Eds.) (1988): Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland. – Publ. No. EUR 17811 of the European Commission, Office of Official Publications of the European Communities, 74 pp.; Hannover.

HOTH, P., WIRTH, H., REINHOLD, K., BRÄUNER, V., KRULL, P. & FELDRAPPE, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. – 118 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin.

KEMPER, E. (1976): Geologischer Führer durch die Grafschaft Bentheim und die angrenzenden Gebiete. – Das Bentheimer Land Nr. 64: 206 S.; Nordhorn-Bentheim (Heimatverein der Grafschaft Bentheim e.V.).

KNOPF, S. (2011): Speicher-Kataster Deutschland: Endbericht für Niedersachsen und Bremen –104 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin.

KUDER, J., BINOT, F., HÜBNER, W., ORILSKI, J., WONIK, T. & SCHULZ, R. (2014): Für die Geothermie wichtige hydraulische Parameter von Gesteinen des Valangin und der Bückeberg-Formation (Wealden) in Nordwestdeutschland. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 165(3): 455–467.

MICHEL, G. & STRUCKMEIER, W. (1985): The Cretaceous Basin of Muenster – A General System in Response to Multiple Impacts (Water Supply, Spas, Deep mining). – In: Hydrology in the Service of Man, Memoires of the 18th Congress of the IAH: 150-159; Cambridge.

MÜLLER, C. & REINHOLD, K. (Hrsg.) (2011a): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, Heft 74; Hannover.

ROCKEL, W. & SCHNEIDER, H. (1992): Die Möglichkeiten der Nutzung geothermischer Energie in Nordostdeutschland und der Bearbeitungsstand geplanter Vorhaben. – In: Schulz, R., Werner, R., Ruhland, J. & Bußmann, W. (Hrsg.): Geothermische Energie – Forschung und Anwendung in Deutschland: 87-98; Karlsruhe (C.F. Müller).

ROCKEL, W., HOTH, P. & SEIBT, P. (1997): Charakteristik und Aufschluss hydrogeothermaler Speicher. – *Geowissenschaften*, 15 (8): 244-252.

SCHULZ, R. & RÖHLING, H.-G. (2000): Geothermische Ressourcen in Nordwestdeutschland. – *Z. Angew. Geol.*, 46 (3): 122-129; Hannover.

WMS Geologischer Dienst NRW (Februar 2017).

ZIEGLER, P. A. (1990): Geological atlas of Western and Central Europe. – 239 S.; Den Haag (Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V.).

Stilleweg 2, 30655 Hannover
EvelynChristine.Suchi@leibniz-liag.de