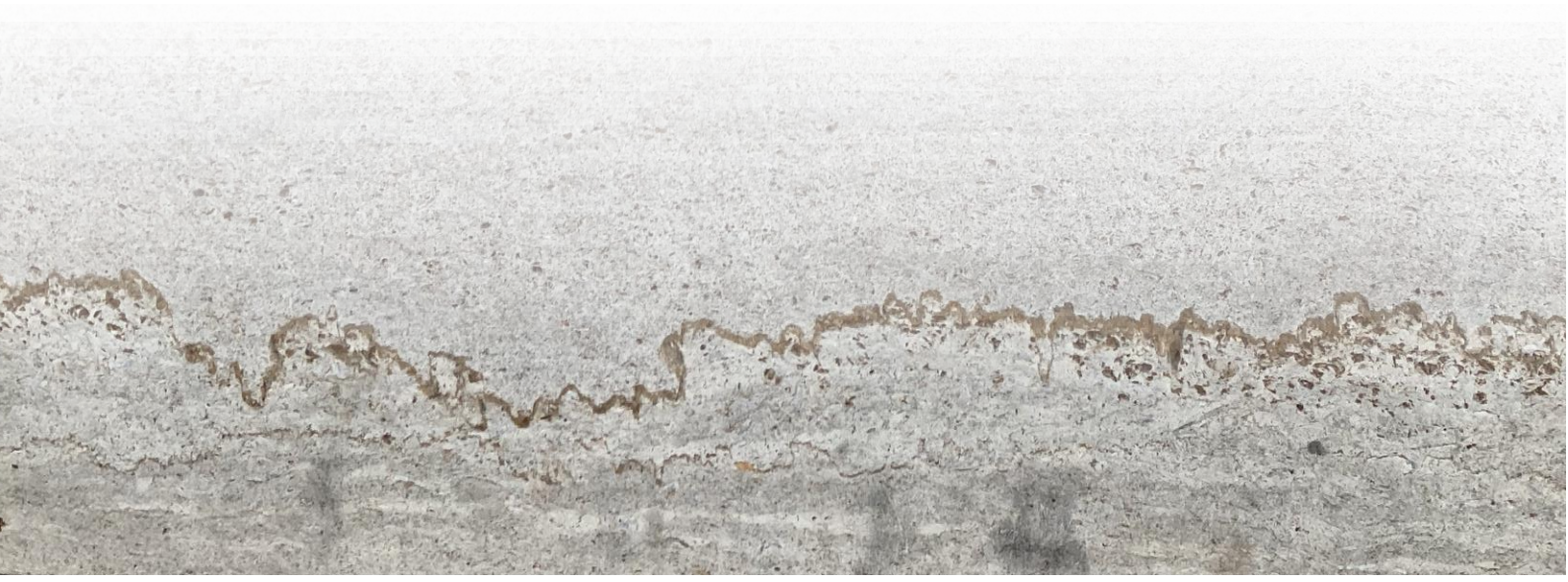




**Geowissenschaftliche Beratung zur
Atomaren Endlager-Suche im Gebiet des
Landkreises Diepholz
Screening der Teilgebiete (BGE) nach geologischer
Eignung für ein Endlager**

Dr. Alexandra Koppelberg & Dr. Bernd Klug

19.02.2022



Auftraggeber:

Landkreis Diepholz
Niedersachsenstraße 2
49356 Diepholz

Auftragnehmer:

Terra Geoservice GmbH
Rudi-Stephan-Allee 1
67549 Worms

Telefon: +49 6241 / 2113888

Email: info@terra-geoservice.com

Internet: www.terra-geoservice.com

Copyright

The concepts and information contained in this document are the property of Terra Geoservice GmbH. Use or copy of this document in whole or in parts without the written permission of Terra Geoservice GmbH constitutes an infringement of copyright.

Limitation

This report has been prepared on behalf of and for the exclusive use of Terra Geoservice GmbH's client and is subject to and issued in connection with the provisions of the agreement between Terra Geoservice GmbH and its client. Terra Geoservice GmbH accepts no liability or responsibility whatsoever for or in respect of any use of or reliance upon this report by any third party.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	5
2	Vorgehensweise und Datengrundlage	6
3	Resultate.....	8
3.1	Anwendung der Ausschlusskriterien (AK)	8
3.1.1	Ausschlussgebiete <i>aktive Störungszonen</i>	8
3.1.2	Ausschlussgebiete <i>Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit</i> ..	11
3.1.3	Induzierte Seismizität – Ausschlussgebiete <i>Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit / seismische Aktivität ?</i>	12
3.2	Relevanz ausgewiesener Teilgebiete im Landkreis Diepholz (und angrenzend an den Landkreis Diepholz)	16
3.2.1	Methodik BGE.....	16
3.2.2	Teilgebiete und geologische Randbedingungen	17
3.2.3	Lias – Tonstein, Unterer Jura / 006_00TG_188.....	20
3.2.4	Dogger – Tonstein, Mittlerer Jura / 005_00TG_055	22
3.2.5	Malm – Salz (stratiform), Oberer Jura / 077_00TG_192.....	23
3.2.6	Untere Kreide – Tonstein / 007_00TG_202	25
3.2.7	Paläogen – Tonstein, Tertiär / 004_00TG_053.....	27
3.2.8	Grenznahe Teilgebiete außerhalb des Landkreises Diepholz - Salzstöcke.....	29
4	Zusammenfassung.....	35
5	Referenzen	37

Anhänge (Karten, Din A3)

- 1: Induzierte Erdbeben und Erdgasfelder - Modellkarte
- 2: Übersicht über die ausgewiesenen Teilgebiete
- 3: Teilgebiet Lias Tonstein und Erdölfelder
- 4: Teilgebiet Dogger Tonstein und Erdölfelder
- 5: Teilgebiet Malm stratiformes Steinsalz
- 6: Teilgebiet Untere Kreide Tonstein
- 7: Teilgebiet Tertiär, Paläogen Tonstein

1 Einleitung und Zielstellung

Ziel dieser Studie ist es, einen Überblick zur Relevanz der durch die BGE ausgewiesenen Wirtsgesteine (Teilgebiete) für den Landkreis Diepholz zu erstellen. Mögliche Perspektiven auf Erweiterung der Ausschlussgebiete sollen dazu geprüft und dokumentiert werden. Die Betrachtung sollte, soweit sinnvoll und möglich, grenznahe Teilgebiete der benachbarten Landkreise mit einschließen.

Am Ende steht eine Abschätzung des Risikos, inwieweit die BGE den Landkreis Diepholz im laufenden Schritt 2 / Phase 1 des Verfahrens als mögliche Standort-Region für das bundesweite atomare Endlager auswählen könnte. Dabei wird neben den regionalgeologischen Rahmenbedingungen und der örtlichen Datenlage auch der Einfluss der Öl- und Gasförderung, insbesondere der durch Erdgasförderung induzierten Seismizität, diskutiert.

Die Studie soll der Kreisverwaltung eine belastbare Grundlage für ihre Positionierung und Handlungsoptionen im Rahmen der laufenden Beteiligungsverfahren, sowie für die interne und öffentliche Kommunikation liefern.

Ein Kurzbericht für die Kreisverwaltung wurde hiermit erstellt. Eine ausführliche Zusammenfassung dessen wird im Rahmen einer Tischvorlage, sowie einer Abschlusspräsentation bereitgestellt, die durch Dr. Bernd Klug im Rahmen des Kreis-Ausschusses Kreisentwicklung, Umwelt und Bauen am 22. März 2022 vorgestellt wird.

Obertage-Verhältnisse, wie Bebauung, Flächennutzung und -pläne, Nutzung des flachen Untergrundes (Grundwasser, etc.), sind nicht Bestandteil dieser Studie. Diese finden keine erstrangige Berücksichtigung bei den aktuellen Bewertungsschritten der BGE, die auf die bestmögliche geologische Eignung eines Endlager-Standortes abzielen.

2 Vorgehensweise und Datengrundlage

Sämtliche Dokumente und aktuelle Präsentationen auf der Webseite der BGE wurden gesichtet, im Hinblick auf wesentliche Kapitel mit Projektbezug gefiltert und durchgearbeitet. Zusätzlich wurden Informationen aus geologischen Fach-Publikationen zu den Wirtsgesteinen seitens der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), bestimmte Vorgaben, bzw. Auftragsarbeiten zur BGE-Bewertung, sowie Schriftwechsel zwischen BGR, BGE und LBEG zur Anwendung der Ausschlusskriterien (AK), Mindestanforderungen (MA) und Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (GeoWK) ausgewertet.

Im nächsten Schritt wurden die geowissenschaftlichen Aussagen und Interpretationen aus dem Zwischenbericht für den Landkreis Diepholz und angrenzende Gebiete bezüglich Anwendung der AK, MA und GeoWK ausgewertet und punktuell mit den Aussagen in den untersetzenden Unterlagen verglichen. Ziel war es dabei, Qualität und Umfang der geologischen Betrachtungen zu verstehen, da für die BGE sämtliche historische Studien und Daten Dritter zur Geologie der Wirtsgesteine ohne Einschränkung prinzipiell zugänglich sind.

Begleitend wurde ein QGIS Projekt erstellt, in dem die Teilgebiets-Polygone, inklusive georeferenzierter ergänzender Karten (aus dem Bericht ‚Ergänzende Kartendarstellungen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG im Rahmen von § 13 StandAG‘) auf der Basiskarte des LK (OpenStreetMap) abgebildet und dort mit industriellen Daten (Bohrungen, Seismik), die über den Web Map Service (WMS) des LBEG bezogen wurden, verschnitten. Desweiteren wurden Erdbebendaten aus dem Webserver der BGR geladen und exemplarische Karten von Gebäudeschäden aus Berichten der BGR georeferenziert und dargestellt. Auf diese Weise konnten die Datengrundlagen und Ergebnisse des Zwischenberichts lokations- und dimensionsgetreu überprüft werden.

Zur Überprüfung der geologischen Aussagen der BGE auf Plausibilität, sowie zur unabhängigen Einschätzung der Eignungskriterien (Screening) dienen die Blätter Diepholz (Baldschuhn und Best, 1998), Bremen (Jürgens, 1984), Oldenburg (Frisch, 1982) und Niendorf des Geotektonischen Atlas Norddeutschland 1:100.000 (GTA100) mit ihren hochauflösenden Strukturkarten und umfangreichen geologischen Interpretationen, die über das LBEG und die BGR angefordert und auch zeitnah digital geliefert wurden. Für das Blatt Niendorf konnten nur Karten und kein begleitender Bericht digital zur Verfügung gestellt werden, dennoch waren umfangreiche Informationen zur Bewertung vorhanden. Unterstützend wurde der GTA 3D genutzt, der über die Seiten der BGE und BGR mittels 3D Viewer zugänglich ist. Der GTA stützt sich auf weitgehend industrielle Daten, berücksichtigt 2D-Seismik, aber keine 3D-Seismik. Hochauflösende 2D-Seismik und zusätzliche moderne 3D-Seismik ist im Landkreis Diepholz aufgrund der intensiven Kohlenwasserstoff-Exploration und -Produktion fast flächendeckend vorhanden. Sie muss für etwaige kommende Arbeitsschritte durch die BGE zwingend einbezogen werden (Abb.1).

Im letzten Schritt wurden die Kriterien-Einstufungen der BGE für die Mindestanforderungen und die geowissenschaftliche Abwägung für die Teilgebiete als Gesamtes den lokalen geologischen Verhältnissen im Kreisgebiet gegenübergestellt und übersichtsmäßig bewertet. Abschließend erfolgte

eine subjektive Einschätzung, in welche Richtung sich zukünftige sicherheitsgerichtete Bewertungen des Landkreises Diepholz durch die BGE entwickeln könnten.

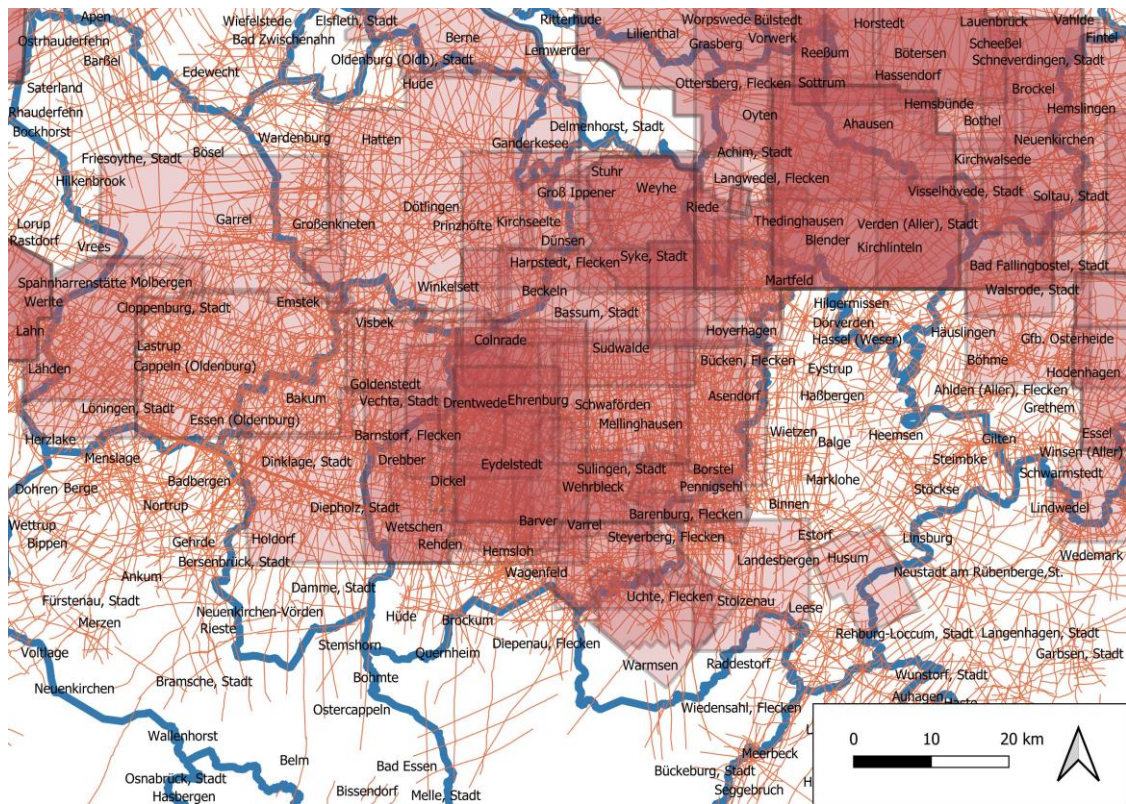


Abb. 1: Überdeckung des LK DH und dessen Umgebung mit 2D- (Linien) und 3D-Seismik (Polygone).

3 Resultate

3.1 Anwendung der Ausschlusskriterien (AK)

Von den sieben im StandAG genannten und für Deutschland relevanten Ausschlusskriterien wurden für den LK DH die beiden Kriterien (1) *Aktive Störungszonen*, und (2) *Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen* ausgewiesen (Abb.2).

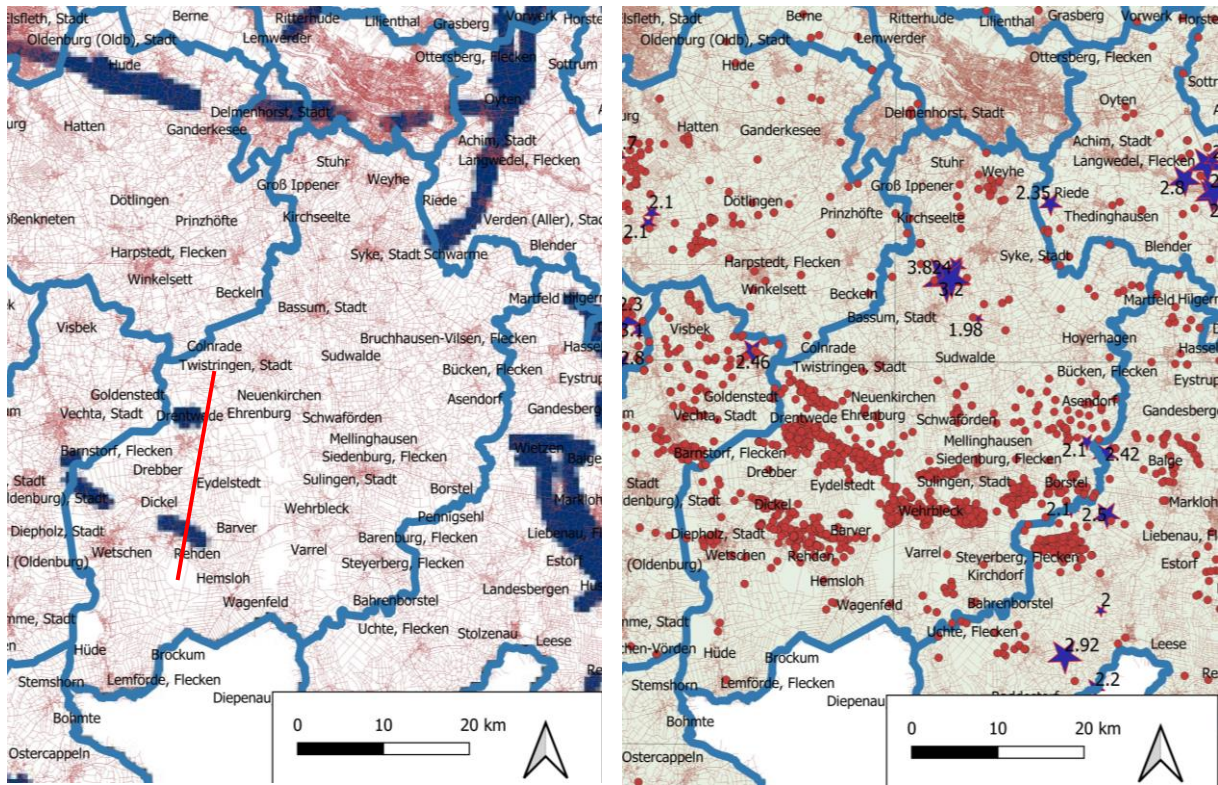


Abb. 2: Darstellung der Ausschlussgebiete. Links: AK *aktive Störungszonen* (blau), georeferenzierte Störungszonen aus dem Bericht der BGE. Lage des Profilschnittes aus Abb.3 in rot. Rechts: AK *Einflüsse aus früherer und gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit*, kleine rote Punkte: Bohrungen, die tiefer als 275m sind. Blaue Sterne: Erdbeben mit danebenstehender Magnitude (nicht als Ausschlusskriterium berücksichtigt, Größe variiert mit Magnitude). Die Blattsschnitte des GTA100 sind als grüne Polygone dargestellt.

3.1.1 Ausschlussgebiete *aktive Störungszonen*

Die BGE nutzte zur Störungsausweisung die digitale Version des Geotektonischen Atlas von Norddeutschland (GTA 3D, Müller et al. 2016), der sich auf Karten des ursprünglichen GTA stützt, der Tiefbohrungen (inkl. Bohrlochgeophysik) sowie 2D-Seismik, allerdings keine 3D-Seismik (s. Kockel 1998, S.16) berücksichtigt.

Da Störungszonen in ihrer Ausbildung hochvariabel und in ihrer seitlichen Ausdehnung nicht exakt festlegbar sind, wird in der Anwendung des Kriteriums eine Pufferzone von 1km beidseitig der Störungslinie auf der Kartenbasis angesetzt. Das führt zu schlauchförmigen Ausschlusszonen, die im Kartenbild des LK DH im Bereich des südwestlichen Landkreises (Bereich Dickel, Drebber und Bereich

Bockstedt, Drentwede), ausgewiesen sind (Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG). Zudem existieren ausgewiesene Störungszonen nördlich und nordöstlich des Landkreises Diepholz im Bereich der als Teilgebiete ausgewiesenen Salzstöcke.

Als *aktive Störungszonen* gelten Störungssysteme, deren Aktivitätszeitraum nachweislich oder sehr wahrscheinlich jünger als 34 Mio. Jahre, d.h. Unter-Oligozän (Tertiär), ist. Dazu gab es eine breite fachliche Diskussion (2021-02-02 Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Niedersachsen; fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD) zu den Ausschlusskriterien des Standortauswahlgesetzes (StandAG), Okt 2020)), wobei die folgende Aussage von besonderer Bedeutung ist, da sie die Bewertung des Störungs-Aktivitätszeitraumes und damit die Ausschlusskriterien unmittelbar betrifft:

Von der Ausbildung der Störung(-szone) (unabhängig vom Alter) hängt auch davon ab, wie gut eine Störungsaktivität nachzuweisen ist. Störungen können mehrfach reaktiviert werden, weswegen im § 22 StandAG für die „Aktivität“ der relativ lange erdgeschichtliche Zeitraum von 34 Ma definiert wurde (neotektonischer Zeitraum). Diese Festlegung bedingt, dass nicht nur messbar aktive Störungszonen nachzuweisen sind. Eine große Wahrscheinlichkeit einer Aktivität innerhalb der letzten 34 Ma kann vermutet werden, wenn...:

- *die Störung in streichender Verlängerung eines als aktiv datierten Störungssegments liegt*
- *die Störungsorientierung sie als Teil eines struktureologisch plausiblen Deformationsmusters mit den Spannungsfeldern der vergangenen 34 Ma in Beziehung setzt (z. B. alpidische Deformation im Alpenvorland und Neotektonik, Haupteinengungsrichtungen überwiegend 120°–145° NW–SE)*

Die Ausführungen der SDG sind struktureologisch plausibel. Die Tatsache, dass viele Störungen im tieferen (mesozoischen) Stockwerk das stratigraphische Niveau ‚Rupel‘ nicht durchschlagen, ist kein Argument gegen ihren Ausschluss, denn diese Störungen können mit geringen Versatzbeträgen oder lateral („strike-slip“) reaktiviert worden sein. Ebenso gibt es in Norddeutschland mehrere geomechanisch entkoppelnde Schichten (detachment level; hauptsächlich Salinare, seltener Tonsteine), die oberhalb und unterhalb unterschiedliche Störungsmuster aufweisen. Im Falle einer Reaktivierung würde sich die Störung nicht oberhalb der entkoppelnden Schicht fortsetzen. Damit öffnet sich ein größeres Fenster, um Störungen aufgrund tektonischer Kriterien als Ausschluss-Kandidaten zu definieren.

Die Störungszonen im Bereich des LK DH sind detailliert kartierbar, da der Großteil des LK durch 3D-Seismik abgebildet ist. Im Zuge einer etwaigen zukünftigen Betrachtung des LK durch die BGE müssen die Ausschlussgebiete für aktive Störungszonen deutlich erweitert werden. Folgende Punkte sollten dabei beachtet werden:

- Die derzeitigen Ausschlusszonen spiegeln das 2D Abbild der Störungen auf den Karten der Basis Tertiär wider. Da es sich aber teilweise um flache Störungen handelt, die asymptotisch in die tieferliegenden Schichten des Rötosalinars und des Zechsteinsalinars als Gleithorizonte laufen (Abb.3), muss die Bestimmung der Lage im Raum für jedes potenzielles Wirtsgestein

individuell erfolgen und der Ausschlusskorridor muss entsprechend versetzt und / oder erweitert werden.

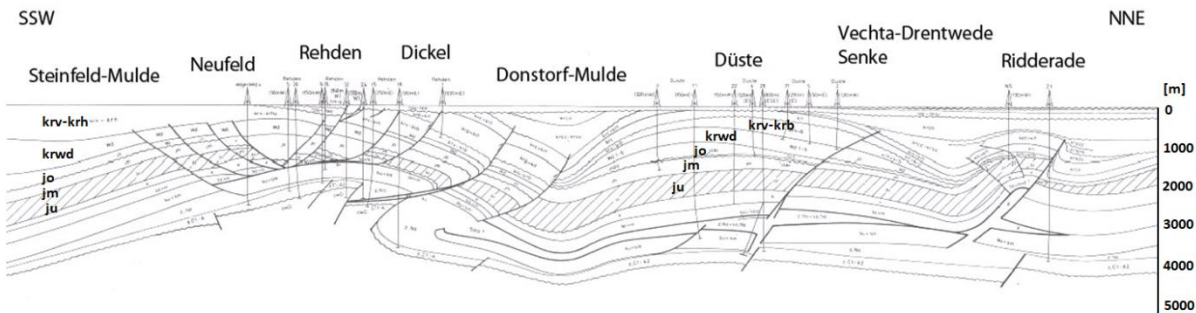


Abb. 3: Beispiel für multiple relativ flach verlaufende Störungen, die in unterschiedlichen Gleithorizonten (= entkoppelnde Schichten) enden an Hand eines Profilschnittes im Bereich Rehden – Twistingen (aus GTA, Baldschuh und Best, 1998). Die potenziellen Wirtsgesteine sind beschriftet: ju= unterer Jura, jm= mittlerer Jura, jo= oberer Jura, krwd= Kreide, Wealden, krh= Kreide, Valangin-Hauterive, krb= Kreide, Berrias, kro= Oberkreide (kein Wirtsgestein).

- Das Störungsmuster im LK DH ist vielschichtig und mehrfach durch Gleithorizonte entkoppelt. Das geologische Stockwerk unterhalb des Zechsteinsalinars spielt in der Betrachtung zunächst eine untergeordnete Rolle, sollte aber in der Zukunft nicht vernachlässigt werden, da die Erdbebenherde der durch Gasförderung induzierten Erdbeben alle im Bereich der Gesteine unterhalb des Zechsteinsalinars anzusiedeln sind. Die induzierte Seismizität und die Reaktivierung dieser NE-SW verlaufenden (variszischen) Störungen werden in diesem Bericht unter 3.1.3 aufgegriffen.
- Als jüngerer effektiver Gleithorizont fungiert zumindest in der südlichen Hälfte des LK Diepholz das Rötalsalinar des Oberen Buntsandsteins. Hier laufen jüngere WNW-ESE-streichende Störungen zusammen, die häufig bereits während jurassischer bis unterkretazischer Extension als Abschiebungen angelegt wurden und während der alpidischen Orogenese als Aufschiebungen reaktiviert wurden. Das erzeugt ein komplexes Störungsmuster, das keineswegs in der derzeitigen Ausweisung der Ausschlusskriterien durch die BGE erfasst wurde.
- Die im Ausschlusskriterium erwähnten Störungen beziehen sich auf die im GTA 3D kartierten Störungen der Basis Tertiär, die im BGE Zwischenbericht sehr wahrscheinlich unterrepräsentiert dargestellt sind. Der GTA100 löst z.B. in den Profilschnitten (Bsp. Abb.3 und Abb.13) deutlich mehr Störungen auf, die das Tertiär durchschlagen, als die Karte AK *aktive Störungszonen* des BGE.
- Erfahrungen aus den für den LK DH vorliegenden Strukturkarten, die sich auf 3D-Seismik stützen, erlauben den eindeutigen Rückschluss, dass die Störungsdichte, -komplexität und Aktivitätsdauer wesentlich höher ist als im GTA300 abgebildet. Folglich würde die Einbeziehung dieser geologischen Information durch die BGE sehr wahrscheinlich zu einer deutlichen Vergrößerung der störungsbedingten Ausschlussgebiete führen.

3.1.2 Ausschlussgebiete *Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit*

StandAG, bzw. BGE beschreiben das Ausschlusskriterium wie folgt:

....Vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen.... Zur Ermittlung von ausgeschlossenen Gebieten werden Bohrungen verwendet, deren Einwirkungsbereich den endlagerrelevanten Bereich von 300 bis 1500m unter GOK erreicht. Die ausgeschlossenen Gebiete werden durch Erzeugung von Sicherheitsabständen mit einem Radius von 25m um die Bohrpfade generiert, sowohl radial um die Bohrpfade als auch in Richtung des jeweiligen Bohrverlaufs (kuppelartig um die Bohrendpunkte). In der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens ist für die Anwendungsmethode der BGE einzig die Lage der Bohrung im Raum ausschlaggebend. Der Ausschluss erfolgt unabhängig vom Zweck der Bohrungen. Mit der Festlegung durch die BGE, einen 25m Sicherheitsabstand um jedes Bohrloch zu ziehen, sollen mögliche Lageungenauigkeiten der Bohrung erfasst werden.

Im Landkreis Diepholz existiert eine sehr große Anzahl von Bohrungen aus den historischen und aktuellen Aktivitäten der Öl- und Gas-Exploration und -Produktion, die den endlagerrelevanten Tiefenbereich durchteuft haben. Ihre räumliche Verteilung ist sehr unregelmäßig, rangiert über dichte Cluster (z.B. Ölfelder Bockstedt, Düste, Gasfelder Barenburg, Düste, Gasspeicher Rehden etc.), mit Abständen von wenigen hundert Metern bis hin zu >5km Abständen außerhalb der Öl- und Gasfelder. Pro Bohrung gilt allerdings nur eine sehr kleine Fläche mit ca. 50m Durchmesser als Ausschluss-Zone. Die folgenden Punkte könnten im Zuge einer detaillierten Analyse eine Vergrößerung der bohrungsbezogenen Ausschlussgebiete bewirken:

- Für die Festlegung der einzelnen Ausschlussflächen hat die BGE die lückenlose und qualitätsgeprüfte KW-Bohrungsdatenbank des LBEG genutzt, die zum Teil auch die Abweichdaten enthält. Die Ausweisung eines begrenzten Einflussbereichs der Bohrungen erscheint plausibel, da man allgemein, von Einzelfällen abgesehen, von einer vollständigen Versiegelung der verrohrten Bohrlochkonstruktion gegen das umgebende Gebirge ausgehen muss, dessen Beeinflussung der angrenzenden Gesteinsschichten damit räumlich sehr begrenzt ist. Generell wird empfohlen Einzelfall-Analysen durchzuführen (z.B. Integritätsbetrachtungen, etc.) und die Dimension der auszuschließenden Gebirgszone im Zweifelsfall zu vergrößern.
- Bohrungen, die unserer Meinung nach genauer betrachtet werden müssen, sind Injektionsbohrungen von Formationswasser, Bohrspülung, etc.. Diese Daten sind in der Bohrloch-Datenbasis des LBEG nur unzureichend beleuchtet, da es neben designiert gebohrten Injektoren auch Injektoren gibt, die zunächst als Produktionsbohrungen gebohrt und später erst umgebaut wurden. Neben der Injektion von Formationswasser, etc., ist zu beachten, dass die alten Ölfelder zum Teil mit Polymeren geflutet wurden, um eine längere Produktionszeit zu gewährleisten. Sollte gegebenenfalls ein Wirtsgestein im näheren Umfeld eines solchen Feldes oder im Umfeld von lange genutzten Injektoren in folgenden Arbeitsschritten der BGE als Endlagerstandort ausgewählt werden, so müsste ein komplexes

geomechanisches Modell erstellt werden, dass die Injektion von Flüssigkeiten über die Zeit betrachtet und den Einflussradius dieser Maßnahme beurteilt.

- Davon unabhängig bestehen bereits heute innerhalb der Teilgebiete größere, bisher nicht ausgewiesene -de facto- Ausschluss-Gebiete im Bereich einiger Öl- und Gas-Felder des Landkreises Diepholz, in denen schon allein die geringen Bohrungsabstände ein Endlager flächenmäßig nicht zulassen.
- Für den Landkreis Diepholz und dessen anschließende Gebiete ist außerdem die induzierte seismische Aktivität von Erdgasfeldern ein kritischer Faktor, der die Eignung der Region als möglichen Endlager-Standort in Frage stellt. Daher wird dieses Thema im folgenden Abschnitt 3.1.3 als Schwerpunkt separat behandelt.

3.1.3 Induzierte Seismizität – Ausschlussgebiete *Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit / seismische Aktivität ?*

Induzierte Seismizität ist derzeit kein Ausschlusskriterium gemäß § 22 StandAG. Das Ausschlusskriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* besagt, dass ein Ausschluss stattfinden muss, *wenn das Gebirge [...] durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so geschädigt [ist], dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges im Bereich eines vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder vorgesehenen Endlagerbereichs zu besorgen sind.* Der Definition der Ausschlussgebiete *seismische Aktivität* lagen Erdbeben-Baunormen zugrunde, die wiederum aus Erdbebenkatalogen resultierten, die der BGR / BGE nicht zur Verfügung standen (BGR – Standortauswahl). Diese berücksichtigen ausschließlich tektonische Erdbeben und explizit keine induzierten Erdbeben.

Die Erdbebenherde, die mit der Erdgasförderung in der Region Diepholz in Verbindung gebracht werden, liegen im Bereich von reaktivierten Störungszonen im Gesteinsverband unterhalb des Zechsteinsalzes, die sich aber durch die Entkopplung der Strukturen durch das Salz nicht in den Endlager-kritischen Teufenbereich weit oberhalb des Salzes verfolgen lassen (Bischoff et al., 2012 und 2014). Das Ausschlusskriterium *aktive Störungszonen* greift hier somit ebenfalls nicht.

Im LK DH und in dessen näherem Umfeld wurden diverse induzierte Erdbeben mit lokalen Magnituden von bis zu 3,82 (2005, im Bereich Klosterseele) registriert. Eine Zusammenfassung der Erdbeben Aktivität ist in Abb.4 und der dazugehörigen Tabelle 1 zu finden.

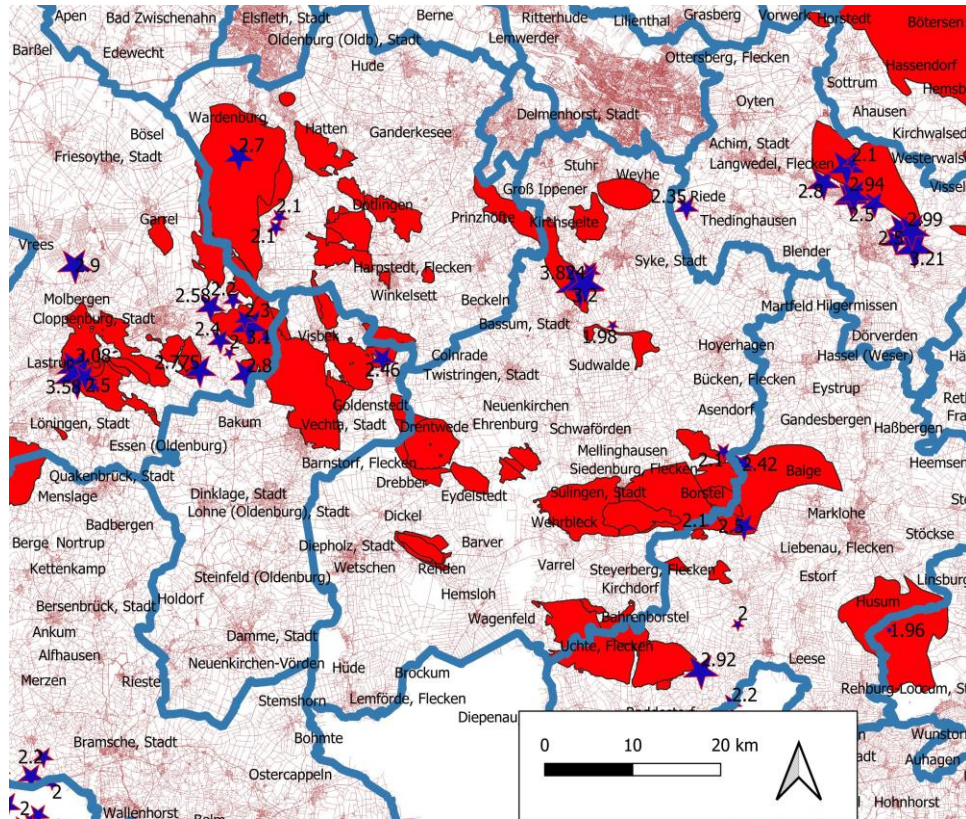


Abb. 4: Lage der induzierten Erdbeben als blaue Sterne (Größe variiert mit Magnitude) mit dazugehörigen Magnituden in schwarzer Schrift, Erdgasfelder in rot. Die Erdbeben sind Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Erdbeben im Bereich des Kartenausschnitts (Abb.4) im Verhältnis zu nahegelegenen Gasfeldern.

nahegelegenes Gasfeld	Datum	Magnitude	nahegelegenes Gasfeld	Datum	Magnitude
Burgmoor / Uchte	16.08.2018	2,92	Klosterseele / Kirchseele	30.07.2005	2,20
E Burgmoor / Uchte	04.07.2003	2,20	Klosterseele / Kirchseele	15.07.2005	3,82
E Burgmoor / Uchte	09.10.1993	2,00	Klosterseele / Kirchseele	01.05.2014	3,20
E Barrien	11.07.2002	2,35	Neubruchhausen	21.07.2021	1,98
Cappeln	02.07.2006	2,78	Quadmoor / Wöstendöllen	17.12.2005	2,46
Goldenstedt / Visbek	10.09.2002	2,58	Staffhorst / Päpsen / Siedenburg	13.07.2015	2,10
Goldenstedt / Visbek	10.12.1998	2,20	Staffhorst / Päpsen / Siedenburg	17.12.2020	2,42
Goldenstedt / Visbek	19.12.2014	3,10	Staffhorst / Päpsen / Siedenburg	16.04.2011	2,10
Goldenstedt / Visbek	08.07.2017	2,30	Staffhorst / Päpsen / Siedenburg	25.05.1996	2,50
Goldenstedt / Visbek	28.03.1999	2,10	Völkersen	03.04.2008	2,80
Goldenstedt / Visbek	02.09.2014	2,80	Völkersen	22.04.2016	3,10
Goldenstedt / Visbek	20.12.2013	2,40	Völkersen	27.02.2017	2,10
Goldenstedt / Visbek	07.10.2017	2,00	Völkersen	22.11.2012	2,90
Goldenstedt / Visbek	02.09.2014	2,80	Völkersen	11.12.2017	2,50
Hengstlage / Sage / Sagermeer	14.01.2016	2,70	Völkersen	15.11.2016	2,50
Hengstlage / Sage / Sagermeer	28.07.2014	2,10	Völkersen	20.10.2019	2,99

Hengstlage / Sage / Sagermeer	27.10.2016	2,10	Völkersen	02.05.2011	2,50
Husum / Schneeren	02.10.2018	1,96	Völkersen	20.11.2019	3,21

Innerhalb der umrissenen Erdöl- und Erdgasfelder ist der Untergrund sicherlich zu sehr beansprucht, um die Sicherheit eines Endlagers zu garantieren. Die Frage inwieweit die induzierte Seismizität die Bereiche, die nicht unmittelbar durch die E&P Industrie genutzt wurden, dauerhaft beeinflusst, sollte zumindest in den folgenden Arbeitsschritten der BGE genauer betrachtet werden. Wie in Abb.5 zu sehen ist, werden makroseismische Meldungen eines induzierten Erdbebens der Stärke 3,2 in einem etwa 10-15km Radius um den Erdbebenherd aufgezeichnet. Die Meldungen sind subjektive Empfindungen und daher nicht als sichere Datenpunkte hinsichtlich messbarer Oberflächen-Auswirkungen zu werten. Im dazugehörigen Bericht werden die Meldungen der Stufe 7 und 8 aus diesem/obigen Grund als unsicher eingestuft und abgewertet. Sie erscheinen der BGR zu hoch für die gemessene Erdbebenmagnitude.

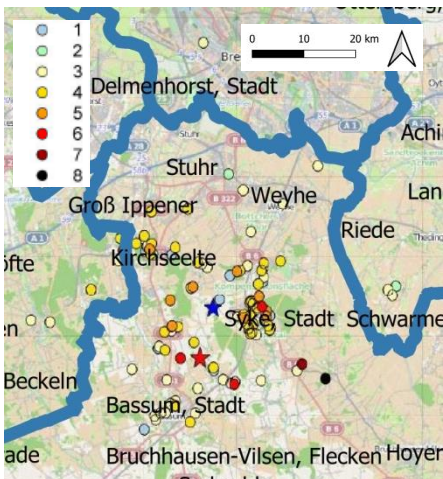


Abb. 5: Exemplarische Darstellung der makroseismischen Meldungen im Zusammenhang mit dem induzierten Erdbeben in Syke/Klosterseele mit einer Magnitude von 3,2 am 01.05.2014 (modifiziert nach Bischoff et al., 2014). Blauer Stern: berechnetes makroseismisches Epizentrum, roter Stern: instrumentell bestimmtes Epizentrum. Intensitätsskala: 1= nicht fühlbar, 2= vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen, 3= von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen, ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern, 4= im Freien vereinzelt wahrgenommen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen, Geschirr und Fenster klirren, 5= im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Gebäude werden insgesamt erschüttert. 6= leichte Gebäudeschäden: feine Mauerrisse und das Abfallen kleinerer Verputzteile, 7= Gebäudeschäden, besonders an älteren Gebäuden deutlich, 8= schwere Gebäudeschäden: Gebäude einfacher Bauart stürzen ein. Personen verlieren das Gleichgewicht.

Die geologisch-geomechanischen Ursachen für die aus der Erdgas-Produktion (und auch Formationswasser-Injektion, etc.) resultierende Seismizität sind weitgehend erforscht. Ein wichtiger Auslöser ist der Ausgleich von geomechanischen Ungleichgewichtszuständen zwischen unterschiedlichen Reservoir-Compartments (Schollen) aufgrund von Änderungen des hydrostatischen Drucks in Teilen des Reservoirs und dessen Umgebung (z.B. van Wees et al. 2014, Fokker und Thienen-Visser, 2015).

Haug et al. (2018) kommen etwa zu dem Schluss, dass die induzierten Erdbeben in Niedersachsen hauptsächlich an steil einfallende Störungen ($>60^\circ$), an hohe Biot-Willis Koeffizienten (Verhältnis von hydrostatischem Druck zu Umgebungsdruck), an nicht homogene überlagernde Gesteinsschichten, an hohe Reservoirmächtigkeiten, sowie an verhältnismäßig flachlagernde Speichergesteine (Reservoirs) und kleine Entfernungen zwischen abdichtendem Salz und Reservoir gebunden sind. Eine Produktion aus den Liegendschollen, die oft bereits Überdrücke im Verhältnis zu den Hangendschollen aufweisen, begünstigt eine Reaktivierung der Störungen.

Eine der Fragen, die in diesem Zusammenhang gestellt werden müssen, ist die nach dem Förderzustand der Erdgasfelder im LK Diepholz zum Zeitpunkt der Konstruktion, bzw. Inbetriebnahme des Endlagers. Die Beantwortung dieser Frage wird in hohem Maße durch politisch-gesellschaftliche Entscheidungen bestimmt. Generell nimmt die Erdgasproduktion in Deutschland seit 2003 beständig ab (Jahresbericht LBEG, 2021), eine Entwicklung, die, u.a., durch den Verzicht auf die Fracking-Technologie beschleunigt wurde. Unter dem LK DH existieren weiterhin beträchtliche Erdgasreserven (z.B. im Bereich Düste Karbon) mit erheblichen Reservoirmächtigkeiten (interne Information Wintershall Dea). Diese Felder sind aus heutiger Sicht nur durch Fracking erschließbar und daher ist es fragwürdig, ob sie in Zukunft produziert werden. Dennoch ist zu beachten, dass auch nach Abschluss der Erdgasförderung das Risiko der seismischen Aktivität weiterbesteht. Zbinden et al. (2017) kommen durch kombinierte Fluidfluss- und geomechanische Simulationen zu dem Ergebnis, dass eine kritisch gestresste Störungszone auch nach Jahrzehnten nach Produktionsstopp noch reaktiviert werden kann, weisen jedoch auch daraufhin, dass die Wahrscheinlichkeit geringer wird.

Abb.6 zeigt potenzielle Gefährdungszonen eines induzierten Erdbebens einer bestimmten Magnitude anhand der Auswertung der zugänglichen makroseismischen Auswertungen des LBEG [Syke (Bischoff et al., 2014) und Völkersen (Bischoff et al., 2012) Berichte]. Diese Bereiche sollten als Anhaltspunkte für potenzielle Ausschlusszonen seitens der BGE in Betracht gezogen werden.

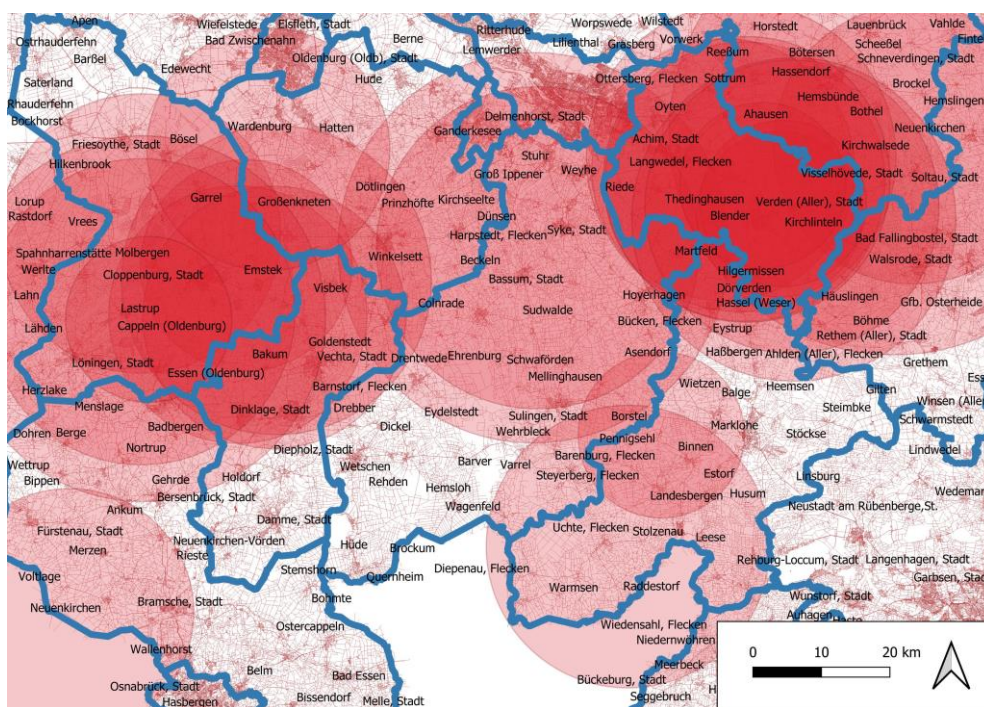


Abb. 6: Darstellung der hypothetischen makroseismischen Ereignismeldungen für induzierte Erdbeben mit Magnituden über 2,5. Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 1 zu finden.

3.2 Relevanz ausgewiesener Teilgebiete im Landkreis Diepholz (und angrenzend an den Landkreis Diepholz)

3.2.1 Methodik BGE

Die Mindestanforderungen (MA) für ein Endlager beziehen sich im Wesentlichen auf die Verbreitung, Mächtigkeit und Beschaffenheit der Wirtsgesteine, wie definiert im StandAG §23: 11:

- Gebirgsdurchlässigkeit in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG): $k_f = <10^{-10}$ m/s
- Mächtigkeit des ewG: mindestens 100m
- minimale Teufe des ewG: mindestens 300m unter der Geländeoberfläche
- Fläche des Endlagers: ewG muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht
- Erhalt der Barrierewirkung: es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des ewG, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.
- Maximale Suchteufe: In den Sicherheitsvorschriften (§21 StandAG) ist eine maximale Teufe des gesuchten ewG mit 1500m unter GOK erwähnt, die auch seitens der BGE als maximale Suchteufe ins Verfahren mit aufgenommen wurde.

Die wesentlichen geologischen Parameter der MA werden flächig über geologische Karten ermittelt, deren Grundlage Bohrungsdaten und 2D-seismische Auswertungen sind. Dabei bleibt unklar, welche Bohrungen zur Analyse von Lithologien und zur Kalibrierung von Mächtigkeits- und Teufenkarten benutzt wurden. Wenn man sich die hohen Daten-Anforderungen für eine vergleichende geologische Qualifizierung eines Endlager-Standorts vor Augen führt, so liefern die MA und die daraus ermittelten identifizierten Gebiete (IG), die an einzelnen verstreuten Bohrungen lithologisch verankert wurden, nur einen ersten, allenfalls groben Filter.

Durch Anwendung der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (GeoWK) erfolgt die Definition der Teilgebiete (TG, Abb.7) und ein datengestützter, objektiver Vergleich der TG untereinander wird ermöglicht, um die Standortauswahl auf die geologisch günstigsten Areale im Zuge von Schritt 2 / Phase 1, zu fokussieren. Dazu ist eine wiederholte Anwendung und Neu-Bewertung der GeoWK mithilfe ihrer Indikatoren (Abb.8) erforderlich, sobald neue Daten mit einbezogen werden können.

Im Unterschied zu den MA erfolgte die Anwendung der 11 GeoWK für den Zwischenbericht überwiegend über Referenzdatensätze, die aus Studien, Forschungsprojekten, Literatur, etc. stammen. Diese Daten, die als repräsentativ für die Wirtsgesteinsabfolgen gelten, haben entweder keinen räumlichen Bezug zu den IG/TG oder sie wurden an einzelnen Bohrungsdaten des IG/TG ermittelt und von dort auf die Gesamtfläche der IG/TG übertragen. Lithologie-, Fazieswechsel oder Veränderungen der physiko-chemischen Eigenschaften von Gesteinen können dabei nicht oder nur unzureichend erfasst werden. Zukünftig sollen dann regional-spezifische Datensätze (aus Bohrungen, etc.) genutzt werden, um die Geowissenschaftliche Abwägung zu verfeinern und die Standortauswahl

einzuengen. Die detaillierte Methodik dazu wird aktuell in vier als repräsentativ eingestuftem Modellregionen (Teilgebieten) entwickelt. Es erscheint sicher, dass nach Einbeziehung flächendeckender lokaler Daten (z.B. aus Bohrlochlogs und -kernen, 3D-Seismik, etc.), eine Gesamtbewertung als *überwiegend günstige geologische Gesamtsituation* für bestimmte Bereiche der TG revidiert werden muss, d.h. die Teilgebiete deutlich verkleinert werden.

Was die aktuellen Einstufungen der Teilgebiete mittels der GeoWK betrifft, so wird allgemein kritisiert, dass die Dokumentation des GeoWK-Prozesses nicht ausreichend transparent ist. Es ist z.B. aktuell nicht möglich, die tatsächliche geologische Übertragbarkeit der Referenzdaten von den Schlüsselbohrungen auf bestimmte Areale der Teilgebiete mangels konkreter Bohrungsverweise zu beurteilen und so die Indikatoren-Bewertungen nachzuvollziehen.

3.2.2 Teilgebiete und geologische Randbedingungen

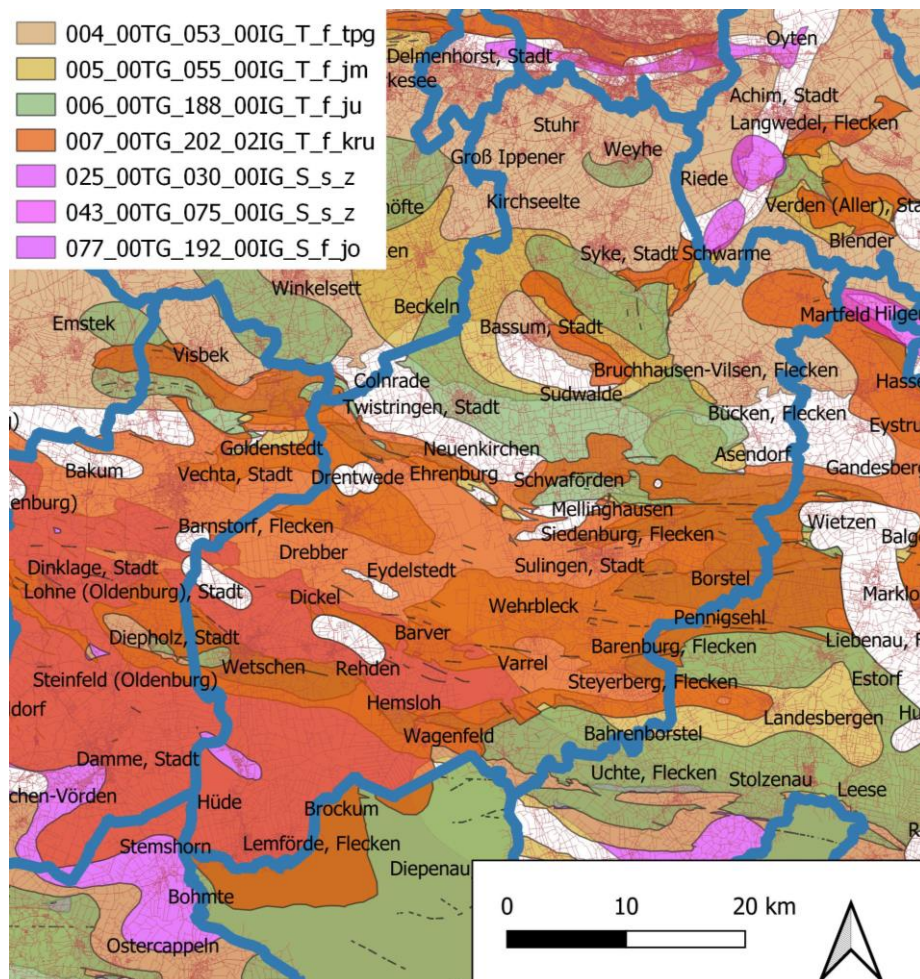


Abb. 7: Übersicht über die 7 im LK DH und dessen Umgebung ausgewiesenen Teilgebiete. Eine detaillierte Karte dieser Abbildung ist in Anhang 2 zu finden.

Für den LK DH sind im Zwischenbericht Teilgebiete 5 potenzielle Wirtsgesteine großflächig ausgewiesen (Abb.7 und Abb.8):

- tertiäre Tonsteine (Paläogen, 004_00TG_053),
- Tonsteine des mittleren Jura (Dogger, 005_00TG_055),
- Tonsteine des unteren Jura (Lias, 006_00TG_188),
- Tonsteine der unteren Kreide (007_00TG_202)
- und stratiformes Salz des oberen Jura (Malm, 077_00TG_192).

Angrenzend an den LK DH sind im Westen und Norden die

- Salzstöcke Eitzendorf (043_00TG_075) und
- Emtinghausen-Thedinghausen und Osterholz-Arsten (025_00TG_030)

ausgewiesen. In den folgenden Kapiteln werden die großflächigen Teilgebiete von stratigraphisch alt nach jung, im Anschluss die Salzstöcke, genauer analysiert.

Der aktuelle Bewertungszustand dieser Teilgebiete durch die BGE ist in Abb.8 dargestellt, die eine Zusammenstellung der 11 GeoWK für die 7 im LK DH ausgewiesenen Teilgebiete zeigt. Auffällig dabei ist, dass die Tonsteine generell günstigere Bewertungen haben als die Salze. Einzig Kriterium 11 *Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* ist bei allen (Salz und Tonsteine) als *bedingt günstig* ausgewiesen. Zusätzlich sind bei den Salzen (stratiformes Malm-Salz und Salzstöcke) die Kriterien 9 *Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* und 10 *hydrochemische Verhältnisse* als *nicht günstig* bewertet. Trotz der Abwertung dieser Kriterien ergeben sich laut BGE Bericht *günstige geologische Gesamtsituationen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle* in allen 7 Teilgebieten, die für den LK DH und dessen unmittelbare Umgebung ausgewiesen sind.

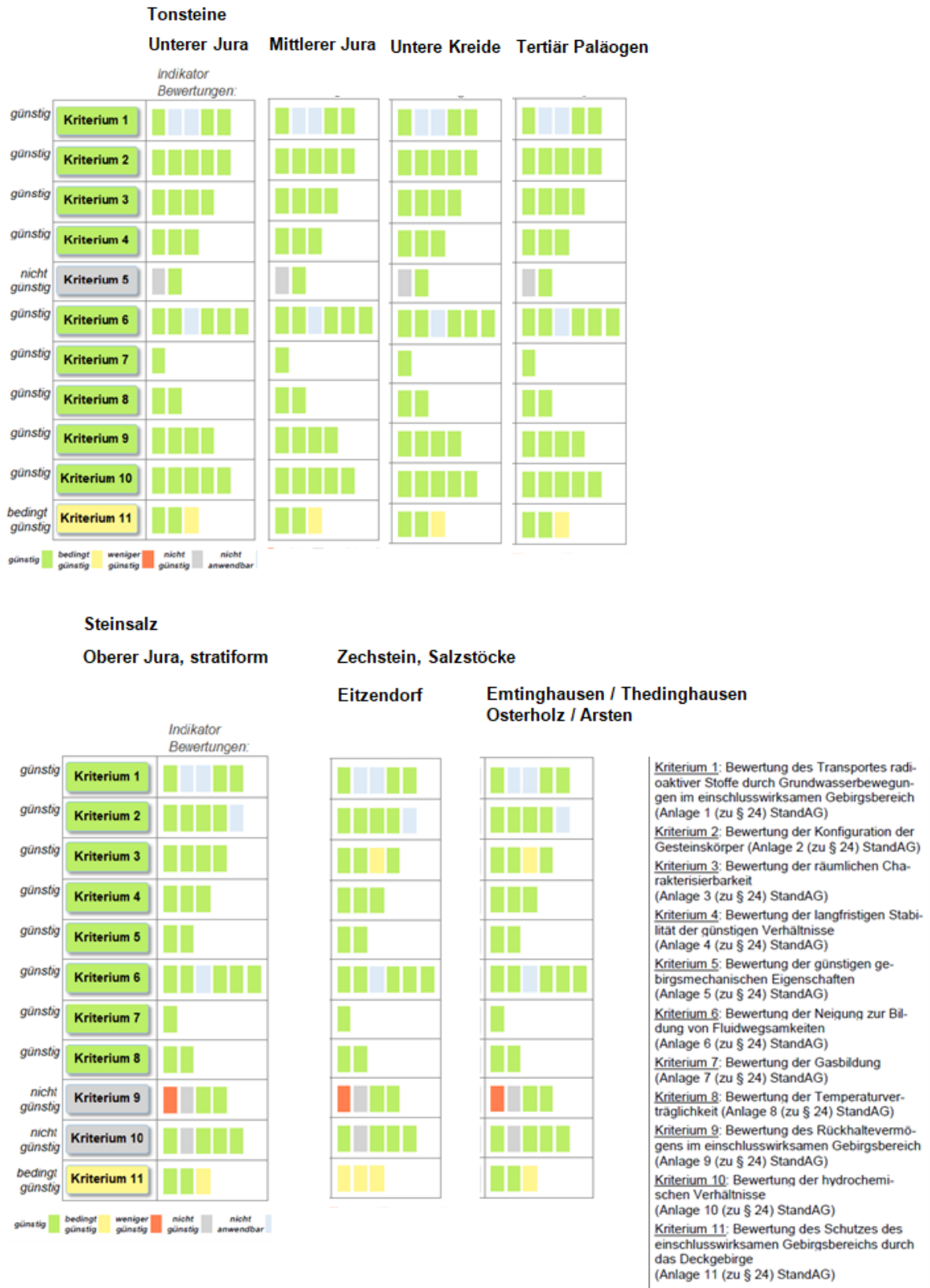


Abb. 8: Zusammenstellung der Bewertungsergebnisse für die 11 GeoWK der im LK DH und dessen Umgebung ausgewiesenen 7 Teilgebiete (s. Zwischenbericht). Oben: Tonsteine, unten: stratiformes Steinsalz und Salzstöcke in der Umgebung des LK DH.

Die geologische Geschichte des LK DH und dessen Umgebung ist komplex. Der Großteil des Kreisgebietes gehört zur tektonischen Großeinheit der Niedersachsen-Scholle (Kockel, 1998), die eine komplizierte geologische Geschichte durchlaufen hat: Während des Jura und der Kreide haben eine großflächige Grabenentwicklung (Rifting) und eine darauffolgende Heraushebung der Beckensedimente (Inversion) komplexe Strukturen erzeugt, die maßgeblich die Ablagerungsräume beeinflussten und zu stark variablen Sedimentationsbedingungen führten. Zudem ist der mesozoische Gesteinsverband durch die mobilisierten Salze des Zechsteins z.T. vom tieferen (präsalinaren) geologischen Sockel entkoppelt, jedoch können die tiefreichenden Sockelstörungen auch in höhere Stockwerke übergehen und deren Entwicklung entscheidend prägen. Auch die Salinare des Oberen Buntsandsteins haben mehrfach als tektonische Gleitfläche gedient und damit in komplexer Weise das Stockwerk des Unteren und Mittleren Buntsandsteins von höherer Trias, Jura und Kreide entkoppelt (Baldschuhn und Best, 1998). Neben den tektonischen Begebenheiten, wurden Fazies- und Lithologiewechsel der mesozoischen Gesteine aufgrund der synsedimentären Tektonik in den Ausführungen der BGE nur unzureichend beleuchtet. Wie bereits erwähnt, ist die Bewertung der GeoWK schwer nachvollziehbar und lokal für die Teilgebiete nicht differenziert. Für den LK DH ist zu erwarten, dass die synsedimentäre Tektonik insbesondere eine lokale Bewertung der Kriterien 1 *Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* (Gebirgsdurchlässigkeit) 2 *Konfiguration des Gesteinskörpers*, 5 *gebirgsmechanische Eigenschaften*, 6 *Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten* 7 *Bewertung der Gasbildung*, 9 *Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* und 11 *Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfordert. Im Nachfolgenden werden solche Anhaltspunkte genauer betrachtet.

3.2.3 Lias – Tonstein, Unterer Jura / 006_00TG_188

Das Teilgebiet umfasst mehrere WNW-ESE-verlaufende Zonen im Landkreis Diepholz. Die größte Fläche befindet sich zwischen Twistringen im Westen und nördlich Sulingen im Osten. Weitere ausgewiesene Gebiete sind ein Bereich südlich von Syke, bei Bahrenbostel und ein Bereich bei Rehden. Große Abschnitte des Teilgebiets werden aufgrund der Mächtigkeitsverteilung nur als bedingt günstig bzw. ungünstig eingestuft (Abb.9). Problematisch für das ausgewiesene Teilgebiet ist der im Süden angrenzende Bereich im nördlichen NRW (grüne Fläche), in dem der untere Jura als gutes potenzielles Wirtsgestein eingestuft wird. Sowohl der Bewertung von NRW als auch der von Niedersachsen liegen laut BGE 3D Modelle zugrunde, die die Lage der Gesteine im Raum darstellen. Bei diesen 3D Modellen müssen grundlegende Unterschiede (unterschiedliche Interpretation von 2D-Seismik, Bohrungen, Gesteinsansprache etc.) vorliegen, um einen solchen Bewertungskontrast entlang einer Landesgrenze zu erzeugen. Die Bewertung ist geologisch unrealistisch und hätte seitens der BGE mehr Aufmerksamkeit benötigt. In den folgenden Arbeitsschritten der BGE muss durch genauere Betrachtung von Seismik, neue, eigene Interpretationen und Bohrungsanalysen eine Homogenisierung erfolgen.

Die Mächtigkeitsverteilung der Tonsteine des Lias ist im LK DH sehr variabel, was zumeist darauf zurückzuführen ist, dass sich während des Lias bereits kleinere WNW-ESE-streichende Sub-Becken bildeten, in denen die Mächtigkeiten höher sind als auf den relativen Hochlagen.

Eine wichtige Qualitätseinschränkung des Wirtsgesteins Lias im LK DH ergibt sich aus den hohen Anteilen an organischer Substanz (bis 16%) im Niveau der Posidonienschiefer-Formation, d.h. im oberen Lias. Entsprechend der Lage in den Subbecken und der Versenkungsgeschichte weisen die Gesteine des Posidonienschiefers im LK DH eine thermische Reife bis ins Haupt-Ölfenster auf (Binot et al., 1993). Das gilt genauso für tiefere stratigraphische Niveaus des Lias mit erhöhten Gehalten an organischem Material. Infolge dieser geologischen Bedingungen kommt es im Lias zur Erdöl- und Erdgas-Generierung. Die Kohlenwasserstoffe (KW) können dann über natürliche Kluftsysteme in höhere Abschnitte des Lias-Tonsteins, oder auch in stratigraphisch überlagernde Schichten, z.B. den Dogger oder die Kreide, auswandern, bzw. dort akkumulieren. Das Öl ist in diversen Ölfeldern im LK DH zu finden und wird dort gefördert, z.B. in Bockstedt, Düste Valendis, Dickel, Wehrbleck etc. (Abb.9).

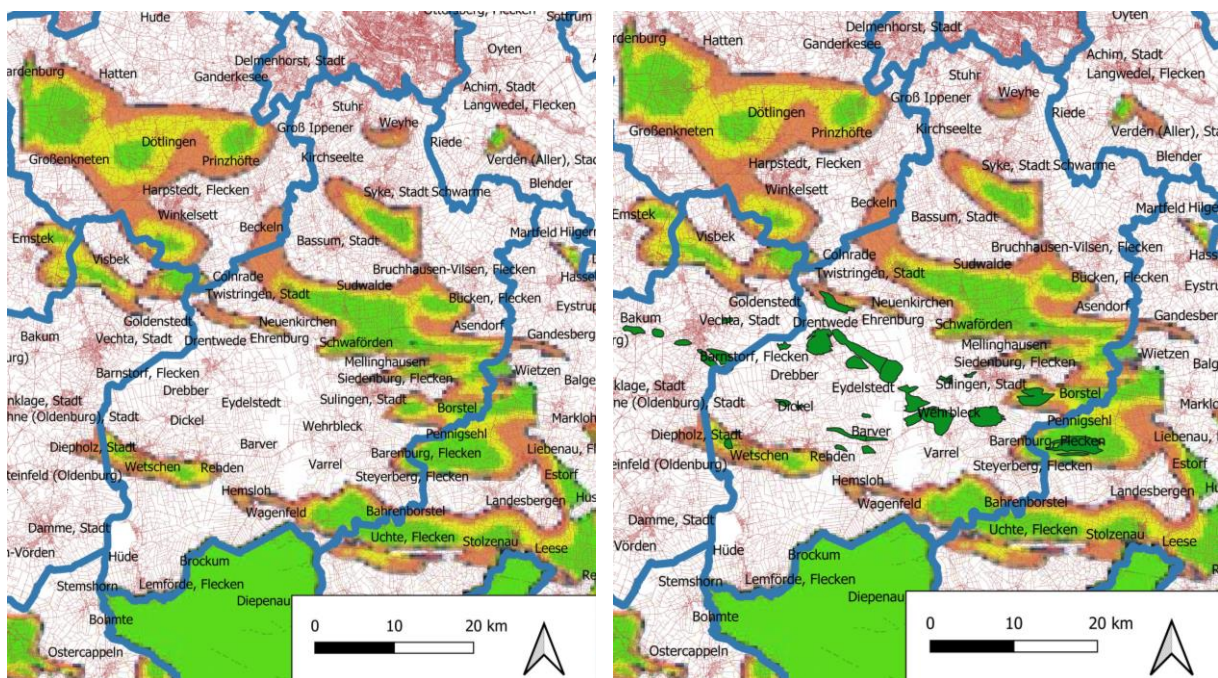


Abb. 9: Links: Teilgebiet Lias, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Auffällig ist der Bewertungscontrast entlang der Grenze von Niedersachsen und NRW. Rechts: Zusätzliche Darstellung von Erdölfeldern in grün im Bereich des LK DH. Für alle Felder fungierte der Posidonienschiefer als Muttergestein, untergeordnet gibt es auch eine Beteiligung des unterkretazischen Wealden Tonsteins. Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 3 zu finden.

Ein potenzielles Endlager in einem aktiv KW-generierenden Wirtsgestein oder im Bereich von KW-Aufstiegsbahnen ist sicherheitstechnisch nicht vorstellbar. Dabei bezieht sich das GeoWK 7 zur *Bewertung der Gasbildung* lediglich auf das (Formations-)Wasserangebot als Gasquelle. Die mögliche Präsenz sorbierter Kohlenwasserstoffe in KW-trächtigen Abschnitten des Lias-Tonsteins (z.B. Posidonienschiefer) oder auch des Wealden-Tonsteins (Unterkreide, Kapitel 3.2.6) werden weder durch das StandAG noch durch die Bewertungsprozesse der BGE aktuell erfasst. Dagegen weist Hoth

(2007) bereits auf das regionale Risiko einer KW-induzierten Gasführung in Kap. 4.5 (S. 96) als einschränkendes Kriterium ausdrücklich hin.

Das Teilgebiet Lias-Tonstein erscheint im Bereich des Landkreises Diepholz auf Grund seiner Kohlenwasserstoff-generierenden Einschränkungen als möglicher Endlagerstandort eher ungeeignet. Zudem sind die verbleibenden Flächen nach Ausschluss der bedingt und weniger günstigen Mächtigsbereiche relativ klein. Das Teilgebiet sollte daher in den folgenden Bearbeitungsschritten der BGE weniger, bzw. keine weitere Beachtung finden.

3.2.4 Dogger – Tonstein, Mittlerer Jura / 005_00TG_055

Das Teilgebiet ist im LK DH, ebenso wie das Teilgebiet Lias, in WNW-ENE streichenden Bereichen zu finden. Die Gebiete sind dabei ähnlich verteilt. Im Süden ist das Dogger Teilgebiet im Bereich von Diepholz, im Westen bis Wagenfeld / Bahrenbostel im Osten zu finden. Nördlich davon gibt es einen größeren Bereich um Wehrbleck, der sich bis in den Norden südlich Syke zieht. Die Mächtigs- und Verbreitungskarten aus dem BGE Bericht zeigen für die nördliche Hälfte des LK DH eher ungünstige bis weniger günstige Mächtigkeiten (gelb/rot), die für eine eher ungünstige Barrierewirkung des Wirtsgesteins stehen. In der Überschneidungskarte mit den Bereichen günstiger Teufe (> 500m) ist das ausgewiesene Gebiet zum überwiegenden Teil schraffiert (Abb.10), was im laufenden Bewertungszyklus eine lokal ungünstige Bewertung zur Folge haben würde. Die einzigen Bereiche, die besser bewertet sind, befinden sich bei Wehrbleck, bei Diepholz und bei Wagenfeld / Bahrenbostel. Auch für dieses Teilgebiet besteht ein massiver Bewertungscontrast über die Grenze nach NRW im Süden, wo der Dogger flächig als gutes potenzielles Wirtsgestein ausgewiesen wird. Diese Bewertung ist geologisch unrealistisch. Sie ist, wie zuvor beschrieben, einer mangelhaften -oder fehlenden-grenzüberschreitenden Bearbeitung seitens der BGE geschuldet.

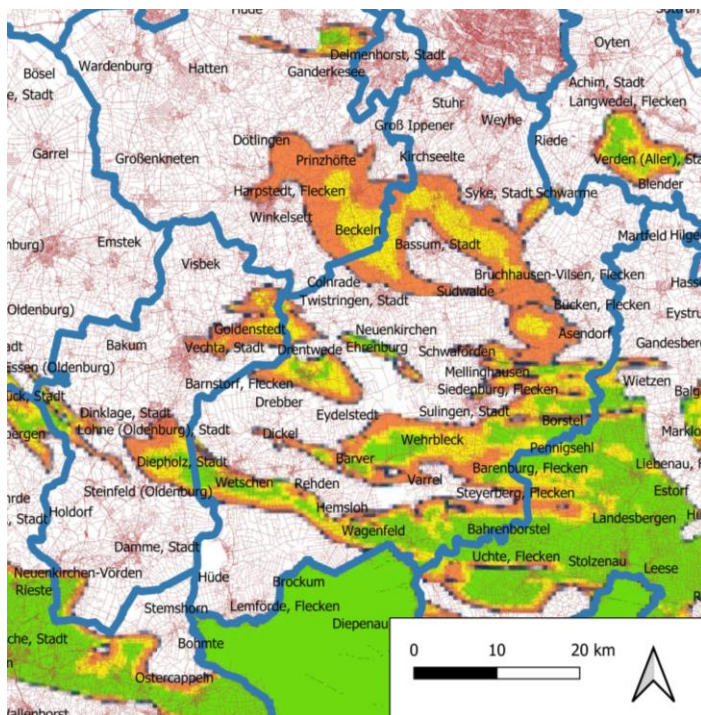


Abb. 10: Teilgebiet Dogger, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 4 zu finden.

Sowohl die Mächtigkeiten, als auch die Lithologien der Dogger-Ablagerungen sind wesentlich variabler als die des Lias. Die Mächtigkeiten in den Subbecken sind meist erhöht, was auf synsedimentäre Subsidenz der Senken schließen lässt. Die Sedimente des Dogger bestehen keineswegs nur aus Tonsteinen (u.a. Hoth et al., 2007). In Mulden, sowie in Randsenken von Salzstöcken oder Salzkissen wurden zur Zeit des mittleren Jura im Bereich des LK DH sogar eher Silt- bis Sandsteine abgelagert. Teilweise sind sie von so guter Qualität, dass sie heute als Reservoirgesteine für Erdöl fungieren (Erdölfelder Wehrbleck, Siedenburg, Düste, etc.). Aufgrund dieser Faziesausbildung der Dogger-Sedimente sind der Bereich von Wehrbleck, die Nähe Barnstorfs und der Bereich um Rehden / Diepholz unserer Meinung nach auszuschließen. Die als günstig eingestufte homogene Tonsteins-Mächtigkeit von >300m, bzw. auch die als weniger günstig eingestufte Mächtigkeit von >100m, kann hier nicht erfüllt werden. Für die Erfüllung der Mindestanforderung *Gebirgsdurchlässigkeit* ist nach Hoth et al. (2007) ein Tonanteil im Tonstein von >80% erforderlich. Es ist zweifelhaft, ob diese Bedingungen in anderen ausgewiesenen Bereichen (bei Wagenfeld – Bahrenbostel) der Dogger Ablagerungen des Landkreises erfüllt sind. Damit könnte auch der Indikator *Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit* für GeoWK 1 eine Abwertung erfahren.

Auf Grund der Mächtigkeitsverteilung, der faziellen und lithologischen Ausbildung erscheint das Teilgebiet des Dogger-Tonsteins für einen Endlager-Standort im LK DH als ungeeignet.

3.2.5 Malm – Salz (stratiform), Oberer Jura / 077_00TG_192

Das Teilgebiet überdeckt den südlichen Abschnitt des Landkreises Diepholz, südlich einer WNW-ESE verlaufenden Linie von Drebber bis Bahrenbostel (Abb.11). Die nördliche Hälfte dieses Gebiets ist durch 3D-Seismik (Ridderade, Scholen, Uchte-Bahrenbostel) überdeckt und die südliche Hälfte ausschließlich durch 2D-Seismik. Das Teilgebiet wird durch unzureichende Mächtigkeit im Norden des Gebiets und südöstlich Diepholz nur relativ wenig eingeschränkt. Jedoch ist auch hier zu beachten, dass es den mehrfach erwähnten Bewertungscontrast zu NRW gibt. Dort scheint das Gebiet durch unzureichende Datenlage nicht abschließend bewertet worden zu sein (schraffiert dargestellt).

Das Teilgebiet befindet sich überwiegend in einem tektonisch weniger beanspruchten Bereich, zum Großteil auf der zentralen Niedersachsenscholle, ist aber im Norden (Bereich Rehden) bereits stark gestört (Abb.12).

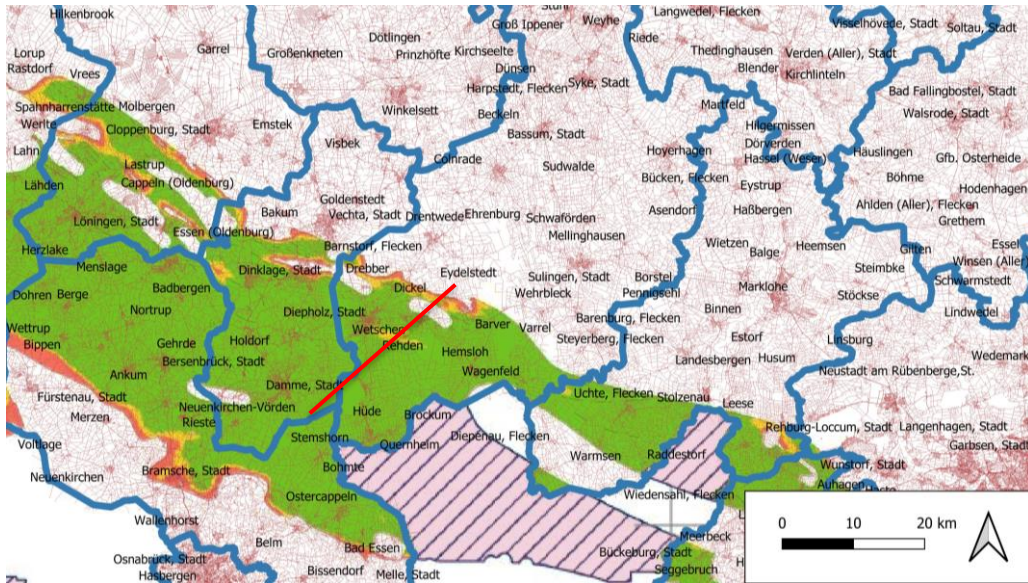


Abb. 11: Teilgebiet Malm, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitssbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitssbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitssbereiche in rot (100 – 200m). Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 5 zu finden.

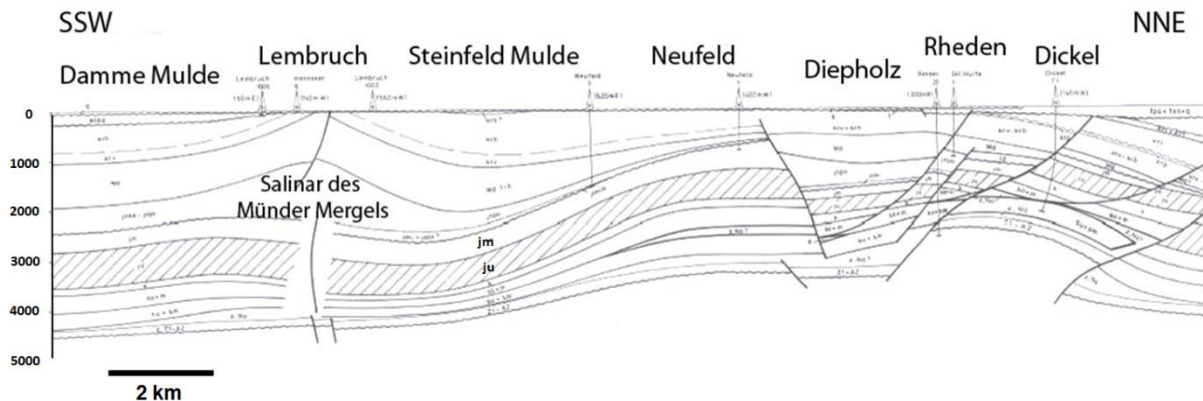


Abb. 12: Profilschnitt durch das Teilgebiet des stratiformen Malm-Salzes (aus GTA, Baldschuhn und Best, 1998). Im Bereich Lembruch bilden die Salze des Münder Mergels ein Salzkissen.

Das Steinsalz-Lager ist beschränkt auf die Münder Mergel – eine Formation des oberen Malm. Der LK DH unterlag während der Sedimentation der Münder Mergel hohen Subsidenzraten. Im Bereich des ausgewiesenen Teilgebiets kam es im südlichen Teil zu einer stärkeren Einsenkung und ein Halbgraben entwickelte sich (GTA, Baldschuhn und Best, 1998). Generell sind die Oberjura Ablagerungen durch synsedimentär aktive Horst- und Grabenstrukturen großen Mächtigkeitsschwankungen unterworfen (Reinhold et al., 2014). Jurassische Halbgräben können deutlich an der erhöhten Sedimentmächtigkeit im Bereich der Hangendschollen zum Bereich der Liegendschollen identifiziert werden. Zusätzlich zu den synsedimentären Mächtigkeitsschwankungen entwickelten sich Salzkissen im Bereich des Teilgebiets. Die Salzkissenbildung begann wahrscheinlich in der unteren Kreide (Wealden; Jaritz, 1973) und wurde durch die Inversion in der Oberkreide verstärkt.

Baldschuhn und Best (1998) entnehmen der Bohrung Damme 1, dass reines Oberjura-Steinsalz nur in Lagen von wenigen Metern Mächtigkeit auftritt. Im Normalfall wird das Steinsalz von zahlreichen dünnen Ton- und Anhydritlagen durchsetzt. Auch mächtigere Tonstein- und Anhydrit-Partien treten auf. Es ist anzunehmen, dass durch halokinetische Prozesse das ehemals schichtige Münder-Mergel-Salinar zusammengeflossen und intensiv mit den zwischengeschalteten Tonsteinen und Anhydritlagen verfaultet ist (Baldschuhn und Best, 1998). In Analogie zum benachbarten Salzkissen Damme wird angenommen, dass das Salinar bei Lembruch ähnliche Zusammensetzungen aufweist. Reinhold et al. (2014) bezieht sich in der Bewertung von Salinaren als Endlager auf uniaxiale und triaxiale Kompressionsversuche von Liang et al. (2007), die feststellten, dass Halit-Anhydrit-Wechselagerungen eine deutlich höhere triaxiale Festigkeit im Vergleich zu reinen Steinsalzproben aufwiesen. Die Elastizitätsmodule sind deutlich geringer. Es tritt hier verstärkt Kluft- und Rissbildung auf, was die Barrierewirkung für ein mögliches Endlager stark beeinträchtigen würde.

Das ausgewiesene Teilgebiet bedarf Nachbearbeitung durch die BGE. Die hohe Sedimentmächtigkeit und die auftretenden Salzkissen lassen die Münder Mergel im südlichen Teil des LK DH zunächst als potenziellen Standort erscheinen. Sollten sich jedoch die im GTA100 beschriebenen lithologischen Begebenheiten zahlreicher Ton- und Anhydritzwischenlagen, im Bereich von Salzkissen stark verfaultet, als regional auftretend erweisen, müsste dementsprechend eine Abwertung erfolgen. Unter den geologischen Rahmenbedingungen ist die sichere Vorhersage eines Endlager-tauglichen lithologisch homogenen, d.h. kaum verunreinigten Steinsalzkörpers innerhalb des Teilgebietes Malm-Salz, auch über 3D-seismische Methoden, auflösungsbedingt nicht möglich. Das Teilgebiet müsste daher bei der geowissenschaftlichen Abwägung insgesamt abgewertet werden.

3.2.6 Untere Kreide – Tonstein / 007_00TG_202

Das Teilgebiet überdeckt den Großteil der südlichen Hälfte und 3 kleinere Gebiete im Norden des LK DH. Die Gebiete bei Emtinghausen/Syke und Bassum/Bruchhausen-Vilsen sollten aufgrund durchweg ungünstiger Mächtigkeiten nicht weiter betrachtet werden. Das Gebiet bei Schwarme/Martfeld zieht sich aus dem benachbarten LK Nienburg/Weser aus südöstlicher Richtung in den LK DH hinein. Der größte Teil des ausgewiesenen Gebietes befindet sich südlich Twistringern im Westen bis südlich Bücken/Flecken im Osten.

Die Unterkreide im LK DH weist eine hohe Sedimentmächtigkeit (bis maximal ca. 800m) mit unterschiedlichen Faziestypen und Lithologien auf. Sie besteht zu großen Teilen aus Tonstein und könnte in verschiedenen stratigraphischen Niveaus die Mindestanforderungen bezüglich Gebirgsdurchlässigkeit und Mächtigkeit für ein potenzielles Endlager-Wirtsgestein erfüllen. Die Zusammenfassung der mächtigen Unterkreide als einzelnes potenzielles Wirtsgestein ist aufgrund der Gesteinswechsel (s.o.) problematisch. In der folgenden Bearbeitung durch die BGE muss hier differenziert werden.

Die Sedimente der unteren Unterkreide (Wealden) weisen einen hohen organischen Anteil auf, befinden sich im thermischen Stadium der Erdöl-Generierung und werden als Muttergesteine für etliche Ölfelder im LK ausgewiesen (Dickel, Düste, Sulingen, Wehrbleck, Barenburg, Siedenburg; Binot

et al., 1993). Entsprechend unserer Beurteilung für den Lias wäre ein Endlagerstandort in einer Kohlenwasserstoff-generierenden Schicht aus Sicherheitsgründen nicht zu vertreten. Die darüber liegenden Unterkreide-Sandsteine des Valangin stellen ein exzellentes Reservoirstein für etliche Erdölfelder des LK DH dar (Abb.13) und besitzen keine Barrierewirkung.

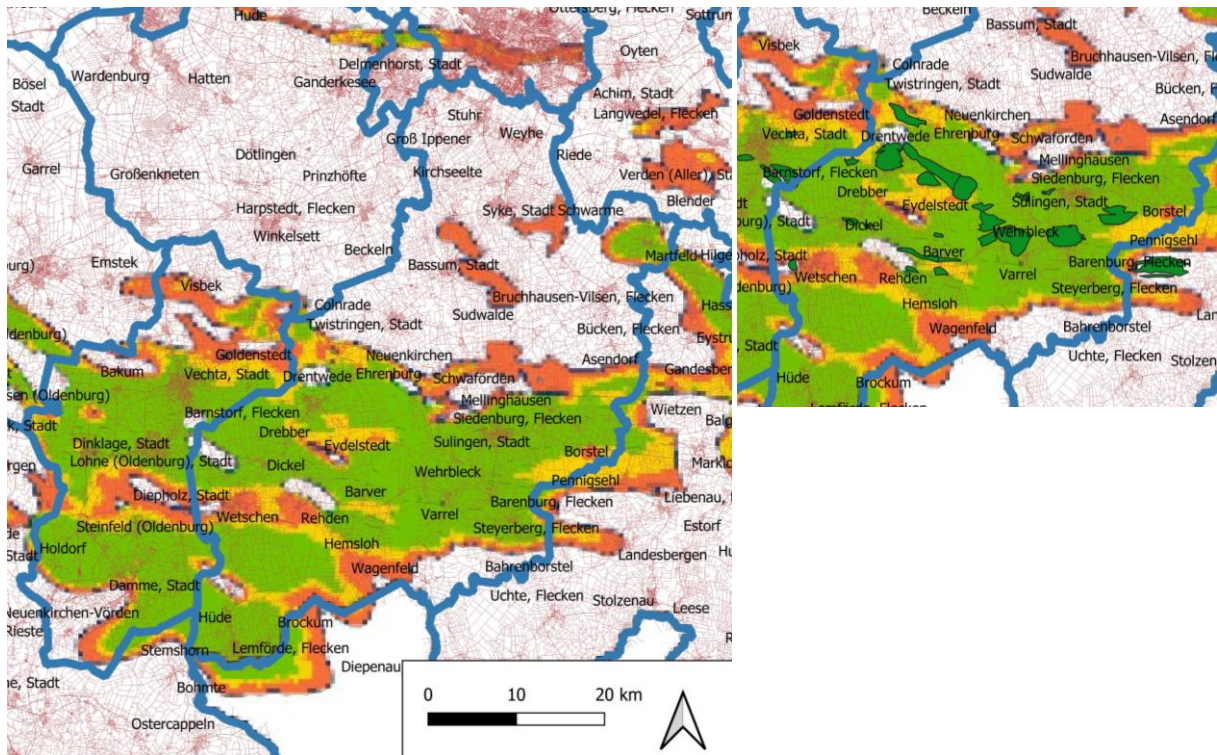


Abb. 13: Links: Teilgebiet Unterkreide Tonstein, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Rechts: Darstellung der Erdölfelder in grün, die zum Teil durch Wealden Öl gespeist werden als auch Unterkreide-Reservoirsteine aufweisen. Maßstab und Nordpfeil gelten für beide Karten. Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 6 zu finden.

Die marine Unterkreide (ab Stufe Hauterive) bildet die regionale Abdichtung der Erdölfelder im Valangin und stellt somit sehr wahrscheinlich ein potenziell gutes Wirtsgestein dar. Da in der Bewertung der Teilgebiete allerdings der gesamte Stapel der Unterkreide-Sedimente ausgewiesen ist, ist es fraglich, ob die Mächtigkeit solcher prinzipiell geeigneten Lithologien, eingelagert in Zwischenschichten, flächenmäßig ausreichend ist, um als günstig für ein Endlager eingestuft zu werden.

Die Sedimente der marinen Unterkreide heben sich in ihren Eigenschaften als potenzielles Endlager, falls die Mächtigkeit es zulässt, gegenüber den bisher diskutierten Teilgebieten, hervor. Folgende weitere Aspekte müssen von der BGE allerdings berücksichtigt und in die Analyse einbezogen werden:

- Bei der Versenkung von Tonsteinen über geologische Zeiträume werden durch Anstieg von Temperatur und Druck wesentliche mineralogische und physiko-chemische Eigenschaften verändert, in Abhängigkeit von der spezifischen Zusammensetzung des Gesteins. Zentrale Prozesse dabei sind die Verfestigung und Kompaktion, sowie die Entwässerung und Porositätsabnahme (Hoth et al. 2007). Parallel dazu erfolgt eine Umwandlung der (geschichteten) Tonminerale mit Änderung der Gitterstruktur und Abnahme des quellfähigen Schichtanteils (Illit/Smektit WL + Montmorillonit).
- Mit zunehmender Temperatur verstärken sich die tonmineralogischen Umwandlungsprozesse, so dass wesentliche Parameter, die für die günstige Barrierewirkung von Tonsteinen kritisch sind (z.B. Plastizität bei dynamischer Beanspruchung) ab $T > 100^{\circ}\text{C}$ irreversibel verloren gehen. Thermisch überhitzte, weitgehend wasserfreie Tonsteine reagieren spröde auf mechanische Beanspruchung und Stress-Änderungen, neigen zu Mikroklüftung und erzeugen damit geomechanische Risiken für ein Endlager-Bergwerk. Eine lokale Rekonstruktion der Temperatur- und Diagenese-Geschichte und möglichst gute Kenntnisse der Mineralogie des potenziellen Wirtsgesteins sind daher eine Voraussetzung für eine realistische Bewertung.
- In der Bewertung der Unterkreide als Wirtsgesteins ist hervorzuheben, dass das ausgewiesene Teilgebiet im LK DH sich durch starke Inversionstektonik auszeichnet (s. Profilschnitte in den Abb.3 und Abb.12) und die Teufenlage der marinen Unterkreide zur Zeit des Beginns der Inversion im Coniac (Oberkreide) deutlich tiefer lag als es heute der Fall ist. Die Tonsteinschichten haben wahrscheinlich eine hohe thermische Beanspruchung und Umwandlung erfahren, die kritische 100° Isotherme (BGE Dokumente) durchlaufen und ihre günstigen Barriere-Eigenschaften weiträumig verloren. Dies gilt auch für die Tonsteine des Lias und des Dogger, die sich jedoch bereits durch andere Kriterien eindeutiger ausschließen lassen.

Somit ist die Identifizierung von (1) invertierten gegenüber nicht-invertierten Strukturzonen und (2) die Modellierung der schollen-bezogenen Versenkungs- und Temperaturgeschichte anhand geologischer Primärdaten zwingend erforderlich, um die GeoWK der Unterkreide im Kreisgebiet 7sicherheitsgerichtet adäquat zu bewerten.

Selbst unter der Annahme, dass die lithologisch günstigen Teilhorizonte der Unterkreide ausreichend mächtig für eine Eignung als Endlager-Standort sind, ist die komplexe geologische Geschichte des LK DH ein Argument gegen eine flächige Ausweisung der Unterkreide-Tonsteine. Für eine realistische Klassifizierung sind aufwendige Detailuntersuchungen auf Basis lokaler Bohr- und Seismik-Daten durch die BGE erforderlich.

3.2.7 Paläogen – Tonstein, Tertiär / 004_00TG_053

Im Gebiet des LK DH wird das Teilgebiet nördlich Bassum ausgewiesen. Die Teufenlage der Basis und die Mächtigkeit sind jedoch nur nördlich Syke als gut bewertet (Abb.14). Das ausgewiesene Areal ist vollständig durch 3D-Seismik abgedeckt. In Niedersachsen werden die Stufen des Thanetium aus dem oberen Paläozän und des Ypresium aus dem unteren Eozän betrachtet.

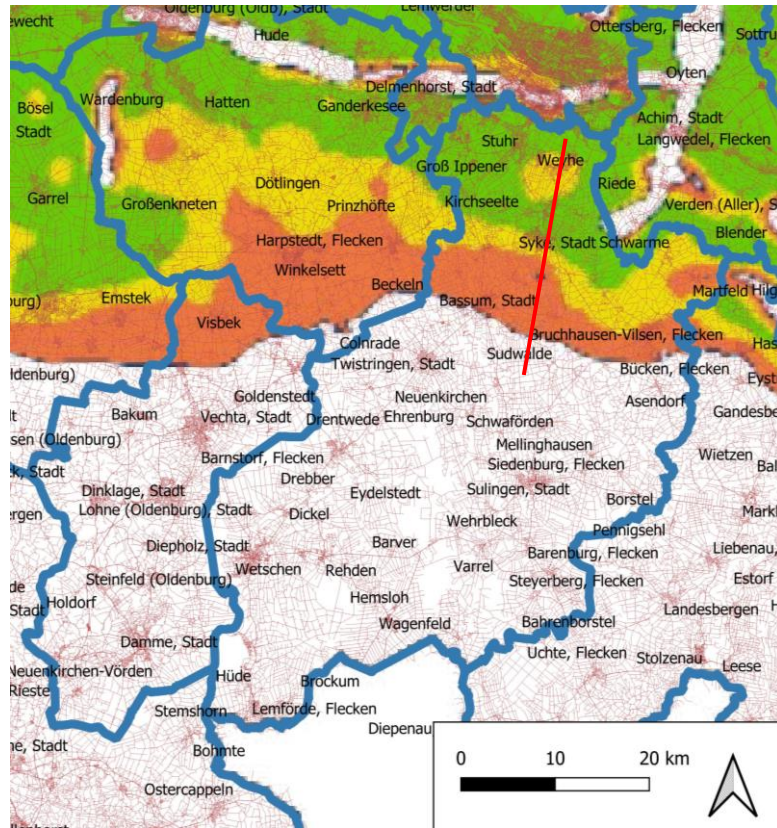


Abb. 14: Teilgebiet Paläogen Tonstein (Tertiär), unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Eine detaillierte Karte der Abbildung ist in Anhang 7 zu finden. Lage des Profilschnitts aus Abb.15 in rot.

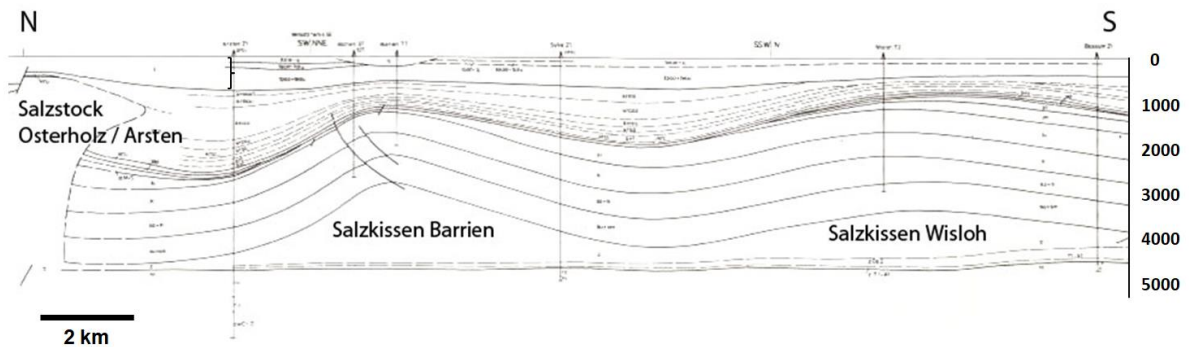


Abb. 15: Exemplarische Darstellung eines Profilschnitts südlich des Salzstockes Osterholz-Arsten. Der Salzstock weist mächtige Salzrandsenken in der Kreide und ausklingend auch noch im Tertiär auf. Richtung Süden (rechts) verlieren die tertiären Schichten an Mächtigkeit (aus GTA, Jürgens, 1984).

In der Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Niedersachsen vom 02.02.2021 werden die tertiären Tonsteine im Vergleich zu anderen Tonsteinen kritisch betrachtet. Die Anwendung eines eigenen Referenzdatensatzes sei für die tertiären Tonsteine unbedingt erforderlich: *Zahlreiche Bohrungen belegen die große Heterogenität und lithofazielle Differenzierung der tertiären*

Abfolgen. Die tertiären (paläogenen) Sedimente in Norddeutschland sind gekennzeichnet durch sehr unterschiedliche Faziesräume, durch große petrologische und mineralogische Unterschiede innerhalb des Verbreitungsgebietes. Das Paläogen weist bei den Tonsteinen geringere und bis in große Tiefen sehr uneinheitlich ausgebildete Verfestigungsgrade auf. Wichtige Eigenschaften (u. a. Paläotemperatur, Porosität, Permeabilität, Tonmineralbildung) unterscheiden sich bei den jüngeren Tonsteinen wesentlich von denen älterer Einheiten. Aufgrund der fast landesweiten Ausweisung des Teilgebietes tertiärer Tonstein, sowie der erwähnten geologischen Heterogenität, wurde eine unabhängige Tertiär-Studie zur Prüfung der Eignungskriterien durch das LBEG in Auftrag gegeben hat (mdl. Information, LBEG, 2021).

Für den LK DH ist zu erwähnen, dass er während des der Ablagerung der ausgewiesenen tertiären Tonsteine im südlichen Bereich des Eozän- (auch oberes Paläozän-)Meeres lag und daher sehr wahrscheinlich zahlreiche Sand- / Siltlagen zwischen den Tonsteinen aufweist. Für das obere Paläozän sind z.B. in *Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG* eine Zunahme von Glaukonit-Sand- und -Konglomerat-Einschaltungen vom Raum Hamburg-Bremen südwärts zu beachten. Sollten die Tonsteine des unteren Tertiärs in den nächsten Schritten des BGE genauer betrachtet werden, muss eine Fazies- und Lithologieanalyse auf der Basis von Bohrungsdaten erfolgen. Ein zusätzlicher Schwachpunkt der tertiären Tonsteine ist der geringe bis sehr geringe Verfestigungsgrad, der ungünstige geomechanische Eigenschaften bedingt, zumal bei der Einlagerung hochradioaktiver Abfälle zusätzlich mit mineralogischen Reaktionen gerechnet werden muss (Krull et al., 2004).

Eine flächendeckende Abwertung seitens der BGE nach detaillierten Gutachten ist zu erwarten.

3.2.8 Grenznahe Teilgebiete außerhalb des Landkreises Diepholz - Salzstöcke

In den folgenden 2 Kapiteln werden die Salzstöcke Emtinghausen / Thedinghausen und Osterholz / Arsten und der Salzstock Eitzendorf betrachtet.

3.2.8.1 Salzstock, Zechstein / 025_00TG_030

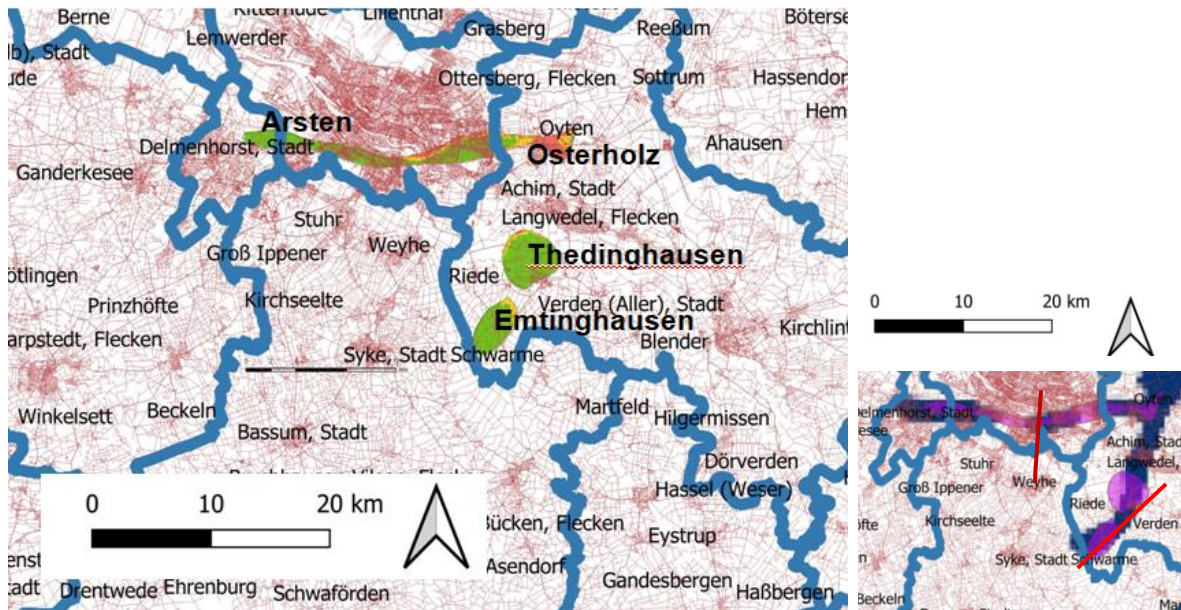


Abb. 16: Links: Teilgebiet Salzstöcke Osterholz-Arsten und Emtinghausen-Thedinghausen, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Rechts: Die Salzstöcke in Verschnitt mit der Karte Ausschlusskriterium aktive Störungszonen. Die Störungszonen sind aufgrund ihrer Auflösung überdimensioniert dargestellt. Lage der Profilschnitte in rot (Abb.17 in hellrot, Abb.18 in dunkelrot).

Salzstöcke Emtinghausen und Thedinghausen:

Die miteinander durch eine Salzbrücke verbundenen Salzstöcke Emtinghausen und Thedinghausen befinden sich östlich des nördlichen Teils (östlich Weyhe) des LK DH. Sie sind durch die 3D-Seismik-Datensätze Achim-Emtinghausen und Achim-Thedinghausen überdeckt.

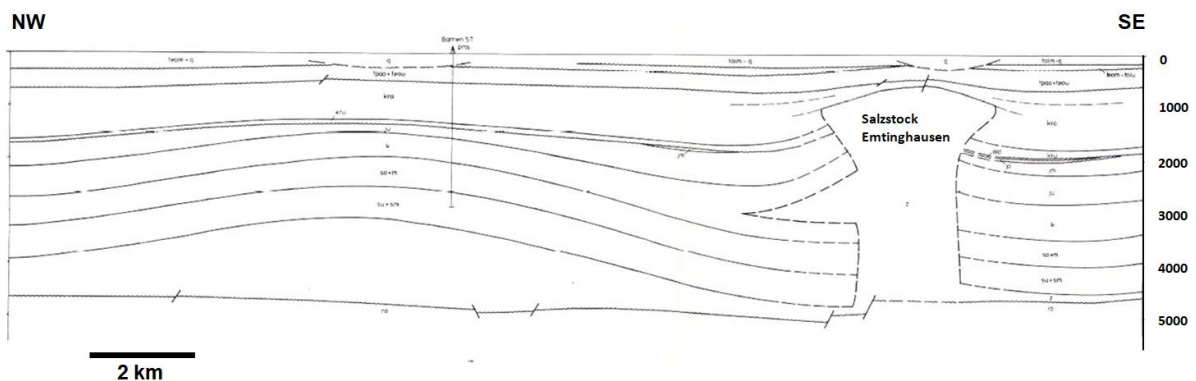


Abb. 17: Profilschnitt durch den Salzstock Emtinghausen (aus GTA, Jürgens, 1984).

Der Salzstock Emtinghausen ist oval, in NE-SW-Richtung gestreckt. Er ist 6,3km lang und max. 3,1km breit. Die Vertikalerstreckung des Salzkörpers beträgt 4000m, im Niveau der tiefen Trias ist der

Salzkörpers ca. 1000m breit (Kockel und Krull, 1995). Das Dach ist gewölbt, randlich abfallend auf 700-1000m ü. NN. Eine NE-streichende westfallende Störung im Dachbereich geht gegen N in einen WNW-streichenden asymmetrischen Scheitelgraben über. Auf der östlichen, höher gelegenen Firste hat eine von NW kommende quartäre Rinne das Tertiär teilweise bis zum Untereozän ausgeräumt (ca. 180m, Kockel und Krull, 1995).

Der Salzstock Thedinghausen ist rundlich, leicht WNW-ESE gestreckt und weist eine Länge von 5,5km und eine Breite von 4,2km auf. Die Vertikalerstreckung des Salzkörpers beträgt 4200m. Im Niveau der tiefen Trias ist der Salzkörper ca. 1000m breit. Das Dach ist wenig gewölbt, im W auf 1200 bis 1500m ü. NN absinkend, im E auf <500m ü. NN. Drei bedeutende W-fallende, parallele Scheitelstörungen durchsetzen das Salzstock-Dach bis ins Alttertiär, die westlichste möglicherweise auch noch die Untermiozän-Basis. Eine quartäre Rinne, die auch halotektonisch bedingt sein kann, verläuft im Bereich der Firste von NNE in die SW-Richtung (Emtinghausen). Sie räumte die Dachsedimente bis zum Mitteleozän aus.

Scheitelstörungen dienen zwar stockwerksbezogen, d.h. für die tertiären Schichten, als Ausschlusskriterium, aber schließen nicht einen kompletten Salzstock als potenzielles Endlager aus. Es erscheint allerdings nicht plausibel, dass derzeit unter dem Kriterium 11 *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* das Vorhandensein von Scheitelstörungen und glazialen Rinnen nicht berücksichtigt wird. Mit einer Größe von 9km² in dem Teufenbereich 300m unterhalb der Caprock-Oberfläche (Kockel und Krull, 1995) ist der Salzstock Thedinghausen relativ klein. Der Salzstock Emtinghausen ist noch kleiner (ohne Angaben in vergangenen Bewertungen). Die Scheitelstörungen mögen in der Klassifizierung der Teilgebiete derzeit keinen Einfluss haben, sind aber in der Karte *aktive Störungszonen* der BGE als Ausschlussbereich erfasst und erstrecken sich entlang der kompletten Längsausdehnung der Salzstöcke. Selbst mit einem kleinen Ausschlussbereich von 1km beidseitig der Störung (in der Karte überdimensioniert), wäre das Restvolumen der Salzstöcke sehr wahrscheinlich nicht ausreichend um ein Endlager zu fassen.

Salzstock Osterholz-Arsten:

Der Salzstock Osterholz-Arsten befindet sich direkt nördlich an die LK-Grenze. Er ist ca. 25km lang und maximal ca. 5km breit und hat an beiden Flanken breite Überhänge (Jaritz, 1983). Er ist nur in den Randbereichen durch 3D-Seismik überdeckt.

Der Salzstock ist langgestreckt in W-E-Richtung mit 3 Kulminationen. Das Dach steigt im E bis auf ca. 400m u. NN an. In den Deckschichten existieren N-fallende Abschiebungen in Längserstreckung. Eine davon ist auf dem Profilschnitt in der Abb.19 deutlich zu erkennen. Der Versatzbetrag an der Störung beträgt hier etwa 300m (Abb.18). Der Kissenfuß ist in geringem Umfang nördlich und südlich ausgebildet. Im E liegt noch ein kräftiger Kissenfuß im Bereich des Anschlusses an den Salzstock Schaphusen (Jürgens, 1984). Die langgestreckte Ausbildung in E-W-Richtung deutet auf eine starke Überarbeitung während der Inversion hin.

Auch bei diesem Salzstock ist zu erwähnen, dass er komplett von einer Störung durchzogen ist, die unter dem Ausschlusskriterium *aktive Störungszonen* erfasst ist. Mit einer maximalen Breite von 1,8km

erscheint er außerdem sehr schmal, was sowohl den Flächenbedarf in Frage stellt als auch die geophysikalische Erkundung deutlich erschwert. Der Salzstock sollte im nächsten Bewertungsschritt der BGE abgewertet werden.

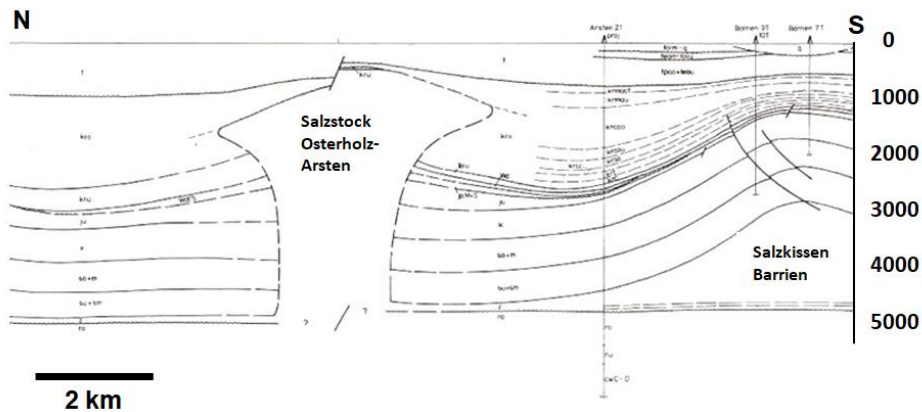


Abb. 18: Profilschnitt durch den Salzstock Osterholz-Arsten (aus GTA, Jürgens, 1984).

3.2.8.2 Salzstock, Zechstein / 043_00TG_075

Der Salzstock Eitzendorf befindet sich östlich angrenzend an den LK DH (E Martfeld) und ist ausschließlich durch 2D-Seismik abgedeckt. Er besitzt ein bohnenförmiges, in W- und SE-Richtung gestrecktes Dach, das ca. 11km lang und max. 2,3km breit ist. Die Vertikalerstreckung des Salzkörpers einschließlich Kissenfuß beträgt etwa 4200m. Die Dachmorphologie ist stark asymmetrisch, nach N auf 1700m ü. NN, im SW auf 1000m ü NN abfallend. Im SSW ist der Kontakt gestört. Eine quartäre Rinne überquert den Salzstock in N-S-Richtung. Die NNE-Flanke fällt steil gegen SSW ein, die SSW-Flanke wird durch das hochgeschleppte Dach eines mächtigen Kissenfußes gebildet. Überhänge im NNE im Santon-Campan sowie im Alb (übereinander) sind bis max. 1km mächtig und max. 1,5km breit. Der ausgeprägte Kissenfuß im SSW ist max. 2600m hoch und 2000-3000m breit. Salzkeile sind an der SSW-Flanke im Niveau des Rät und des Mittleren Muschelkalk ausgebildet (Kockel und Krull, 1995).

Diese allochthonen Salzkeile (Abb.20), die aus der steilen Flanke des Salzstocks hervorstehen, entstehen meistens als Salzgletscher während subaerischer Exposition des Salzstocks. Hier ist es allerdings wahrscheinlicher, dass die Salzkeile tiefer im Untergrund durch Kontraktion während der Inversion entstanden. Dabei werden die umgebenden Sedimente gefaltet und angehoben. Der entstandene Platz kann durch Salz gefüllt werden (Rowan und Krzywiec, 2014).

Beide Profilschnitte (Abb.20 und Abb.21) zeigen außerdem deutliche Störungen im Bereich des Tops des Salzstockes, zum Teil mit beträchtlichen Versätzen von ca. 300m (Abb.20). Zum Teil scheinen diese Störungen durch das Ausschlusskriterium *aktive Störungszonen* erfasst worden zu sein und schränken damit das Restvolumen des Salzstockes deutlich ein.

Aufgrund des komplexen Aufbaus, zahlreicher Störungen im Dachbereich und eines kleinen Flächenangebots (6,5km² 300m unterhalb der Caprock-Oberfläche) erscheint dieser Salzstock gänzlich

ungeeignet als Endlager Standort und sollte folglich auch in den Bewertungen der BGE herabgestuft werden.

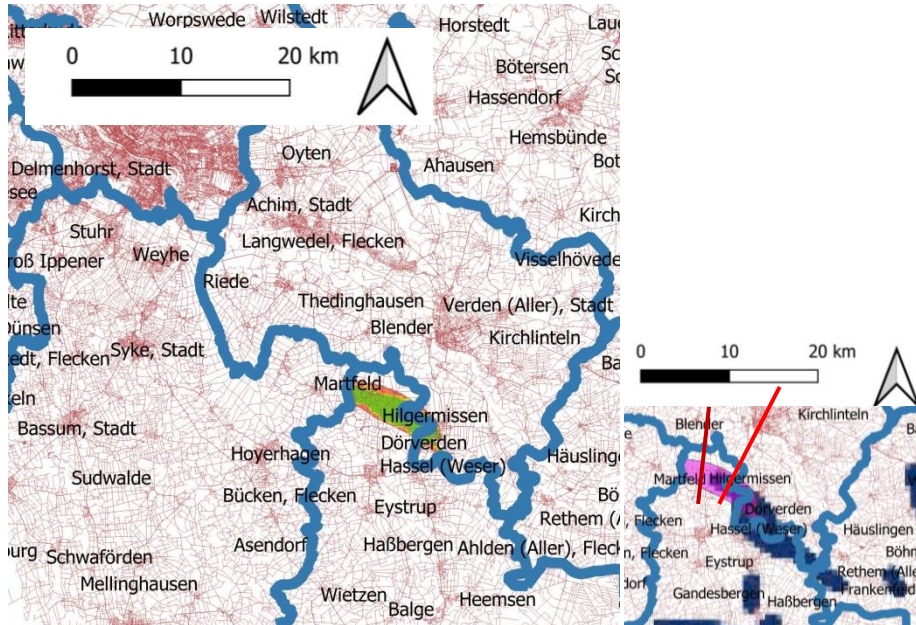


Abb. 19: Links: Teilgebiet Salzstock Eitzenendorf, unterlagernde Darstellung der günstigen Mächtigkeitsbereiche in grün (>300m), bedingt günstige Mächtigkeitsbereiche in gelb (200 – 300m) und weniger günstige Mächtigkeitsbereiche in rot (100 – 200m). Rechts: Der Salzstock in Verschnitt mit der Karte Ausschlusskriterium aktive Störungszonen. Die Störungszone ist aufgrund ihrer Auflösung überdimensioniert dargestellt. Lage der Profilschnitte in rot (Abb.20 in hellrot, Abb.21 in dunkelrot).

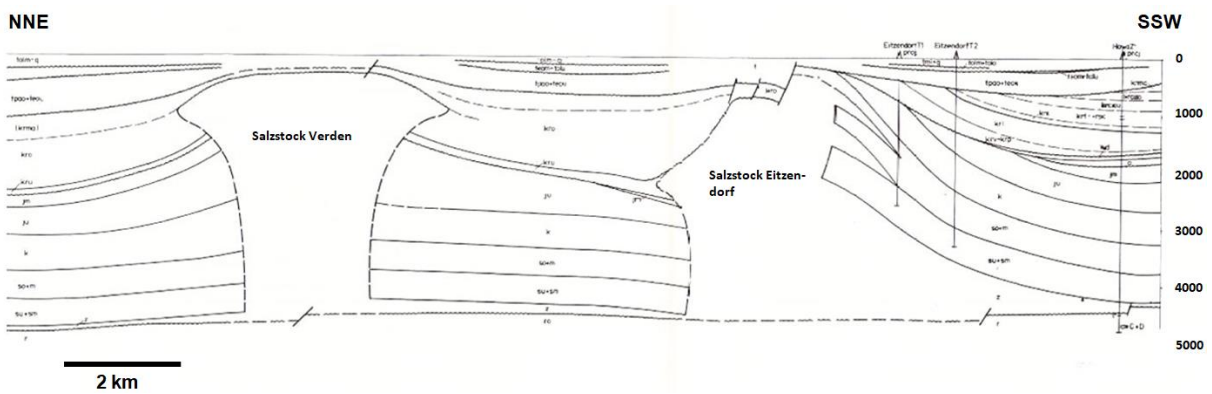


Abb. 20: Profilschnitt durch die Salzstöcke Verden und Eitzenendorf. Besonders auffällig hier sind die nach SSW-auskeilenden Zechsteinzwischenlagen (eingeschaltet in Buntsandstein; aus GTA, Jürgens, 1984).

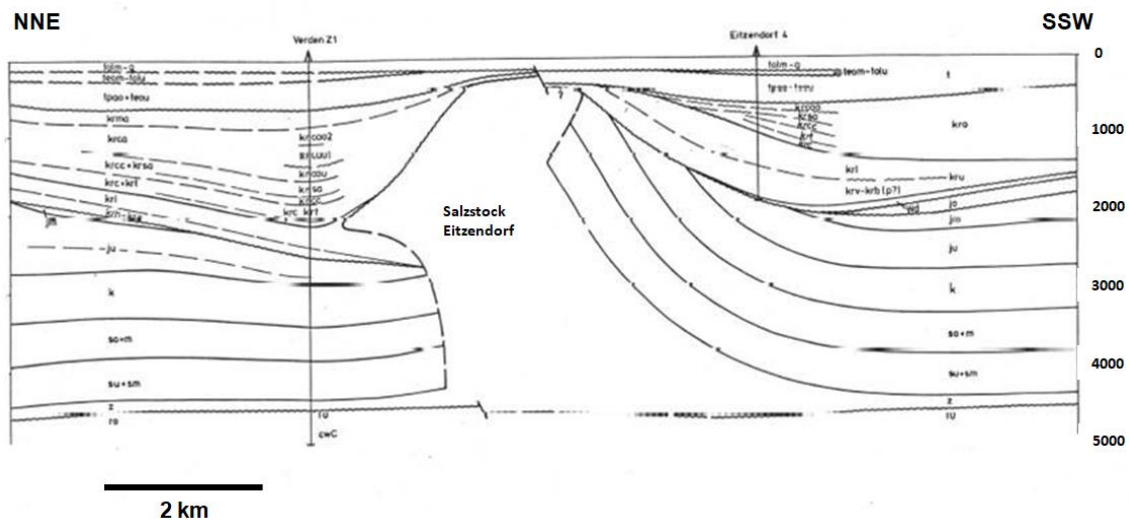


Abb. 21: Profilschnitt durch den Salzstock Eitzendorf (aus GTA, Jürgens, 1984).

4 Zusammenfassung

Das Vorgehen der BGE bei den Bearbeitungsschritten zur Anwendung der Ausschlusskriterien und zur Teilgebiets-Ausweisung wurde nachvollzogen und mit Fokus auf den LK DH in einem Screening-Ansatz auf Plausibilität geprüft. Es ist zu betonen, dass sich die Aussagen der BGE im Zwischenbericht und den untersetzenden Unterlagen immer auf das jeweilige Teilgebiet im Gesamten beziehen. Eine ortsspezifische Analyse und Bewertung der Teilgebiete speziell im Areal des LK DH ist bisher amtsseitig nicht erfolgt, bzw. nicht veröffentlicht. Insofern war es das Ziel, die Übertragbarkeit dieser Allgemeinaussagen auf die geologische Situation im LK DH in einem ersten Ansatz zu prüfen.

Für jedes Teilgebiet wurde eine Beurteilung abgegeben, inwiefern die aktuelle Ausweisung speziell für das Kreisgebiet auf Basis verfügbarer Informationen relevant ist, in welche Richtung sich eine potenzielle Neu-Bewertung nach Einbeziehung lokaler Daten entwickeln könnte, bzw. welche nachfolgenden Studien zur Bewertung durch die BGE erstellt werden müssten. Dazu wurden neben Publikationen auch die geologischen Detail-Karten und Berichte zum Geotektonischen Atlas von Norddeutschland, der als digitales Übersichtsmodell eine wesentliche Bewertungsgrundlage der BGE darstellt, mit einbezogen. Der ortsgenaue Vergleich der verfügbaren digitalen Daten (Teilgebiete, Bohrungen, Seismik, Strukturpläne) mit den Karten-Scans des GTA100 und anderen geologischen Spezialkarten erfolgte mit Hilfe des geografischen Informationssystems QGIS.

Die Ergebnisse sind wie folgt:

- Die Ausschlussgebiete *aktive Störungszonen* müssen auf Grund der Störungskomplexität, einer möglichen jüngeren Reaktivierung und des Einfallens der Störungen erweitert bzw. neu definiert werden.
- Die Ausschlussgebiete *Einflüsse aus früherer oder gegenwärtiger bergbaulicher Tätigkeit* müssen geprüft und gegebenenfalls im Bereich von Injektionsbohrungen erweitert werden. Das Erstellen von geomechanischen Modellen ist dafür notwendig.
- Ein (zusätzliches) Ausschlusskriterium muss die bisher nicht erfasste induzierte Seismizität und deren Einflussradien berücksichtigen. Es erscheint plausibel, dass das Landkreisgebiet Diepholz schon allein aufgrund der induzierten Seismizität und der starken industriellen Durchteufung und Nutzung des Untergrundes im zukünftigen Verfahren nicht weiter berücksichtigt wird.
- Aus Sicht der Autoren erscheinen die Teilgebiete im Malm-Salz und in den Lias- und Dogger-Tonsteinen, aus jeweils verschiedenen, z.T. kumulativ wirkenden geologischen Schwachpunkten als weitgehend ungeeignet.
- Die Teilgebiete in den Tonsteinen der Unterkreide und des Tertiärs bedürfen einer weiteren intensiven Prüfung durch die BGE. Insbesondere die Tonsteine der Unterkreide haben eine komplexe Versenkungs- und Hebungsgeschichte durchlaufen. Es wird erwartet, dass beide Teilgebiete aufgrund von komplexen Strukturen und ihrer lithologischen Zusammensetzung eine Abwertung erfahren werden.
- Die besondere tektonische Geschichte der Niedersachsen-Scholle im Untergrund des Landkreises hat mit großer Wahrscheinlichkeit die physiko-chemischen Eigenschaften der tonigen Wirtsgesteine im Jura und in der Unterkreide über weite Bereiche negativ verändert und stellt ihre Eignung als Endlagerstandort in Frage.

- Die außerhalb des LK Diepholz grenznah gelegenen Teilgebiete für die Salzstöcke sollten eine Abwertung aufgrund ihrer komplexen Strukturen (Ausschlusskriterium *aktive Störungszonen*), sowie grenzwertiger Eignungskriterien und Mindestanforderungen erfahren.

Zusammenfassend betrachtet reduzieren die geologischen Randbedingungen im Landkreis und in dessen Randgebieten die Qualität und Eignung der ausgewiesenen Teilgebiete als mögliche Endlagerstandorte erheblich. Damit besteht aus unserer Sicht nur eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass der Landkreis Diepholz im laufenden Bewertungsprozess der BGE in den engeren Fokus gerät.

5 Referenzen

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S. & Kockel, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor - Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. Geologisches Jahrbuch, A 153: pp. 3-95.

Baldschuhn R, Best G (1998) Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1:100000 Blatt C3514 Diepholz, unveröffentlichter Bericht.

Binot, F., Gerling, P., Wiltmann, W., Kockel, F. & Wehner, H. (1993): The Petroleum System in the Lower Saxony Basin. In: Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons III, Spec. Publ. European Assoc. Petrol. Geoscientists No.3, Chapter 11: p.121-139.

Bischoff M, Bönnemann C, Fritz J, Gestermann N, Plenefisch T (2014): Untersuchungsergebnisse zum Erdbeben bei Völkersen (Landkreis Verden) am 12.11.2012 - Seismologische Auswertung. LBEG / BGR Bericht

Bischoff M, Ceranna L, Fritz J, Gestermann N, Plenefisch T (2014): Untersuchungsergebnisse zum Erdbeben bei Syke (Landkreis Diepholz) am 01.05.2014 - Seismologische Auswertung. LBEG / BGR Bericht

BGE - verwendete Berichte: BGE/Endlagersuche/Wesentliche Unterlagen

BGR (2020) Standortauswahl: 9S2019070000. Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität Abschlussbericht.

Fokker PA, van Thienen-Visser K (2015) Inversion of double-difference measurements from optical levelling for the Groningen gas field. Proc IAHS. 372:375–378.

Frisch U (1982) Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1:100000 Blatt C3114 Oldenburg, unveröffentlichter Bericht.

Haug C, Nüchter J-A, Henk A. (2018) Assessment of geological factors potentially affecting production-induced seismicity in North German gas fields. Geomechanics for Energy and the Environment 16:15–31.

Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K., Bräuer, V., Krull, P. & Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. Berlin / Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Jaritz W (1983) Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Jürgens U. (1984) Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1:100000 Blatt C3118 Bremen, unveröffentlichter Bericht.

Kockel, F. (1998): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1:300000. Die paläogeographische und strukturelle Entwicklung Nordwestdeutschlands, Band 1: Geschichte der Erforschung, Datengrund-lage, Methodik, großregionale Stellung NW-Deutschlands, Schollengliederung des Sockels, Typisierung der Strukturen des Oberbaues, Zeitlichkeit der Bewegungen, thermische und Reifungsgeschichte, Subsidenzgeschichte. - Bericht Nr. 115557: 77 S., Hannover (Bundesanst. Geowiss. Rohstoffe) [unveröff.].

Kockel F, Krull P (eds., 1995) Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen.

Krull P, Hoth P, Bräuer V, Wirth H (2004): Enlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland – Untersuchungswürdige Regionen mit potentiellen Wirtsgesteinsformationen. BGR Bericht.

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2021) Erdöl- und Erdgasreserven in der Bundesrepublik Deutschland am 01. Januar 2021.

Liang W, Yang C, Zhao Y, Dusseault MB, Liu J (2007): Experimental investigation of mechanical properties of bedded salt rock. International journal of rock mechanics and mining sciences, 44:400-411.

Müller, C., Jähne-Klingberg, F., von Goerne, G., Binot, F. & Röhling, H.-G. (2016): Vom Geotektonischen Atlas ("Kockel-Atlas") zu einem 3D-Gesamtmodell des Norddeutschen Beckens; Basisinformationen zum tieferen Untergrund von Norddeutschland. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 167, 2-3: pp. 65-106. DOI:10.1127/zdgg/2016/0072.

Reinhold, K, Hammer, J & Pusch, M (2014): Verbreitung, Zusammensetzung und geologische Lagerungsverhältnisse flach lagernder Steinsalzfolgen in Deutschland: Zwischenbericht. Hannover: BGR

Rowan M, Krzywiec P (2014) The Szamotuły salt diapir and Mid-Polish Trough: Decoupling during both Triassic-Jurassic rifting and Alpine inversion. Interpretation 2: SM1-SM18. AAPG.

Van Wees JD, Buijze L, van Thienen-Visser K, Nepveu M, Wassing B, Orlic B, Fokker PA (2014) Geomechanics response and induced seismicity during gas field depletion in the Netherlands. Geothermics. 52:206–219.

Zbinden D, Rinaldi AP, Urpi L, Wiemer S (2017) On the physics-based processes behind production-induced seismicity in natural gas fields. JGR Solid Earth. 122:5.