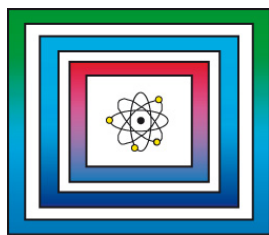


F + E Endlagerung

9Y3207000000

Geologische Referenzprofile
in Süd- und Norddeutschland
als Grundlage für Endlager-
standortmodelle im
Tongestein (AnSichT)



Zwischenbericht

Hannover/Berlin, Juni 2012

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

F + E Endlagerung

Methodenentwicklung und Anwendung eines
Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW-
Endlagerstandort in Tonstein (AnSichT)

Geologische Referenzprofile in Süd- und Norddeutschland
als Grundlage für Endlagerstandortmodelle in Tongestein

Zwischenbericht

Autoren:	Reinhold, Klaus Sönke, Jürgen
Auftraggeber:	KIT PTKA-WTE
Auftragsnummer:	Förderkennzeichen: 02E11061C
Geschäftszeichen:	B3.2/B50112-43/2012-0006/001
Datum:	11.06.2012

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung und Zielsetzung.....	4
1.1 Grundlagen und Randbedingungen	4
1.2 Vorgaben für die Bestimmung von geologischen Referenzprofilen.....	5
2 Eigenschaften der geologischen Referenzprofile.....	7
2.1 Geologisches Referenzprofil SÜD.....	10
2.2 Geologisches Referenzprofil NORD.....	11
3 Zusammenfassung und Ausblick.....	15
Literaturverzeichnis.....	18
Abbildungsverzeichnis.....	20

Gesamtblattzahl: 20

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren:	Reinhold, Klaus Sönnke, Jürgen
Titel:	Geologische Referenzprofile in Süd- und Norddeutschland als Grundlage für Endlagerstandortmodelle im Tongestein (AnSichT)
Stichwörter:	Endlagerstandortmodell, Endlagerung, Norddeutschland, Tongestein, Süddeutschland

Das Vorhaben AnSichT hat das Ziel, die Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tongestein zu erarbeiten und dessen Anwendbarkeit für generische Endlagerstandorte in Nord- und Süddeutschland zu testen. Im Auftrag des BMWi werden die Arbeiten gemeinsam von der DBE Tec (Peine), der GRS (Braunschweig) und der BGR durchgeführt.

Im Rahmen des Projektes erstellt die BGR auf der Basis vorangegangener Forschungsvorhaben u. a. geologische Modelle für generische Endlagerstandorte in Deutschland. Im vorliegenden Bericht werden, basierend auf geologischen Kriterien, Wirtsgesteine und geologische Profile in Nord- (Unterkreide-Tonsteine) und Süddeutschland (Opalinuston) aufgezeigt, die im weiteren Projektverlauf als geologische Referenzprofile bei der Modellerstellung verwendet werden. Mit dieser Ausweisung erfolgt auch eine Darstellung einer charakteristischen geologischen Gesamtsituation, welche in das Endlagerstandortmodell einfließt. Dadurch wird eine Einbeziehung bereits vorliegender und regional repräsentativer Erkundungsdaten im Projekt AnSichT ermöglicht.

1 Einleitung und Zielsetzung

Das Vorhaben AnSichT (Methodik und Anwendung eines Sicherheitsnachweiskonzeptes für einen generischen HAW¹-Endlagerstandort im Tonstein) hat das Ziel, die Methodik des Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tongestein zu erarbeiten und dessen Anwendbarkeit für generische Endlagerstandorte in Deutschland zu testen. Im Auftrag des Projektträgers Karlsruhe (Projektträger für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), werden die Arbeiten gemeinsam von der DBE Tec² (Peine), der GRS³ (Braunschweig) und der BGR⁴ durchgeführt. Durch ein gemeinsames Vorgehen dieser Institutionen soll eine vollständige Betrachtung und Bewertung aller Grundlagen erfolgen, die für eine Sicherheitsanalyse und einen Sicherheitsnachweis notwendig sind.

Im Rahmen des Projektes erstellt die BGR geologische Modelle für generische Endlagerstandorte in Deutschland. Diese bilden die Grundlage, um die Methodik des Sicherheitsnachweises testen zu können. Im vorliegenden Bericht werden, basierend auf geologischen Kriterien, geologische Profile in Süd- und Norddeutschland aufgezeigt, die im Weiteren als geologische Referenzprofile bei der Modellerstellung verwendet werden. Mit dieser Ausweisung erfolgt auch eine Darstellung einer charakteristischen geologischen Gesamtsituation, welche in das Endlagerstandortmodell einfließt. Dadurch wird eine Einbeziehung bereits vorliegender und regional repräsentativer Erkundungsdaten im Projekt AnSichT ermöglicht. Die Ausweisung eines konkreten Endlagerstandortes im Tongestein ist nicht Ziel dieses Berichtes.

1.1 Grundlagen und Randbedingungen

Die Sicherheit eines Endlagers in tiefen geologischen Formationen gründet auf einen dauerhaften und nachsorgefreien Einschluss radioaktiver Abfälle in einem definierten Gebirgsbereich, dem so genannten einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG). Der sichere und langfristige Einschluss von Abfällen soll durch die Eigenschaften des Wirts- und Barrieregesteins zusammen mit den geotechnischen Barriersystemen erreicht werden (AKEND 2002; BMU 2010).

1 High Active Waste (hochradioaktiver Abfall)

2 DBE TECHNOLOGY GmbH: Tochterunternehmen der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe (DBE)

3 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)

4 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Tonige Gesteine besitzen wegen ihrer sehr geringen Permeabilität, ihrer chemischen Pufferwirkung und Rückhaltekapazität für Schadstoffe und Radionuklide sowie der für sie typischen Plastizität günstige Barriereigenschaften (MAZUREK et al. 2003). Die Verbreitung und die Eigenschaften toniger Gesteine sind durch die geologische Entwicklung der ehemaligen Sedimentbecken bestimmt.

Die Arbeiten nutzen den im Zuge vorangegangener Forschungsvorhaben zur Endlagerung im Tongestein in Deutschland erreichten Kenntnisstand (z. B. HOTH et al. 2007, JOBMANN et al. 2007a, LARUE et al. 2010). Die dargestellten geologischen Profile basieren in erster Linie auf den Arbeiten von HOTH et al. (2007) und sind Teil der dort ausgewiesenen Gebiete mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen (vgl. Abb. 1).

1.2 *Vorgaben für die Bestimmung von geologischen Referenzprofilen*

Die in den Referenzprofilen dargestellten Tongesteine müssen entsprechend den Sicherheitsanforderungen (BMU 2010) den sicheren Einschluss von radioaktiven Abfällen für einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahre gewährleisten.

Zur Identifizierung geeigneter Endlagerstandorte in einem geologisch günstigen Umfeld hat der „Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte“ (AK_{END} 2002) wirtsgesteinsunabhängige Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen formuliert. Die Ausschlusskriterien dienen dazu, in einem ersten Schritt Regionen mit besonders ungünstigen geologischen Voraussetzungen aus dem Prozess der weiteren Suche nach einem Endlagerstandort auszuschließen. Im Rahmen dieses Projekts werden die vom AK_{END} (2002) erarbeiteten Ausschlusskriterien als Grundlage für die Bestimmung der Referenzprofile für die Endlagerstandortmodelle übernommen.

Das sind im Einzelnen:

- Die Endlagerregion darf keine großräumigen Hebungen von mehr als einem Millimeter pro Jahr im zu prognostizierenden Zeitraum aufweisen
- Im Endlagerbeich dürfen keine aktiven Störungszonen vorliegen
- In der Endlagerregion darf kein quartärer oder zukünftig zu erwartender Vulkanismus vorliegen
- Im Endlagerbereich dürfen die zu erwartenden seismischen Aktivitäten nicht größer sein als Erdbebenzone 1 nach DIN 4149 (2005)

Für die Regionen, die die genannten Anforderungen erfüllen, wurden vom AK_{END} (2002) zusätzliche Mindestanforderungen für die Wirtsgesteine aufgestellt. So muss

der einschlusswirksame Gebirgsbereich neben den günstigen Barriereeigenschaften Anforderungen an die Verbreitung, Mächtigkeit und Tiefenlage erfüllen sowie eine möglichst homogene Ausbildung in lateraler und vertikaler Richtung aufweisen. In Anlehnung an die Empfehlungen des AkEND (2002) und unter Berücksichtigung zusätzlicher tongesteinsspezifischer Kriterien und Parameter wurden von HOTH et al. (2007) folgende Mindestanforderungen für die Ausweisung untersuchungswürdiger Tongesteinsformationen zusammengestellt:

- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss aus Gesteinstypen bestehen, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann
- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens 100 m mächtig sein.
- Die Teufe der Oberfläche des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches muss mindestens 300 m betragen
- Das Endlagerbergwerk soll nicht tiefer als 1000 m liegen (unterhalb einer Teufe von 1000 m muss in Abhängigkeit vom Standort mit gebirgsmechanischen und thermischen Verhältnissen gerechnet werden, die besondere technische Maßnahmen erfordern)
- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss über eine flächenmäßige Ausdehnung verfügen, die eine Realisierung des Endlagers zulässt (mind. 10 km² im Tongestein)
- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich bzw. das Wirtsgestein darf nicht gebirgs-schlaggefährdet sein
- Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahre zweifelhaft erscheinen lassen

Die Ausweisung eines Referenzprofils für das Endlagerstandortmodell baut auf diesen Mindestanforderungen auf. Zusätzlich dazu werden auf Grundlage der Arbeiten von JOBMANN et al. (2007a, 2007b), KELLER (2009) und HAMMER et al. (2009) die geologischen Mindestanforderungen für die Referenzprofile im Tongestein durch zwei weitere Kriterien modifiziert:

- Im Rahmen des Projektes wird für die Einlagerungsbereiche eine Teufenlage zwischen 600 m und 800 m vorgeschlagen
- Die Errichtung der Einlagerungsbereiche erfolgt in einer regional gut charakterisierbaren tonigen Schichtenfolge

Die hier projektspezifisch definierte Teufenlage des Einlagerungsbereiches folgt dem geowissenschaftlichen Abwägungskriterium Teufenlage aus den Empfehlungen des AkEND (2002). Danach wurde eine Teufe der oberen Begrenzung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs von mehr als 500 m als günstig für die Robustheit und hinsichtlich einer Sicherheitsreserve bezüglich des Abstandes zur Biosphäre beurteilt. Das im Projekt AnSichT zu erarbeitende Sicherheitskonzept sieht demnach die Errichtung der Einlagerungsbereiche in einer Teufenlage zwischen 600 m und 800 m vor.

Die Wahl der Teufenlage geht auch auf eine Arbeit von KELLER (2009) zurück, in der auf die Bedeutung von eiszeitlichen Rinnenbildungen für die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte in Norddeutschland hingewiesen wird. So sollte die Mindesttiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches aufgrund entsprechend hoher Erosionsleistungen während der Rinnenbildung mindestens 500 m betragen, sofern nicht nachweislich gegen die Erosion schützende Deckschichten vorhanden sind.

Weiterhin geht aus den Arbeiten des AkEnd (2002) und z.B. HAMMER et al. (2009) hervor, dass der Teufenbereich von 600 m bis 800 m nicht überschritten werden soll, um ungünstige gebirgsmechanische Verhältnisse im Endlager zu vermeiden. Tiefer liegende HAW-Endlager im Tongestein wären außerdem höheren Gebirgstemperaturen ausgesetzt, was sich ungünstig auf das thermische Gesamtsystem auswirkt und im Vergleich eine größere Einlagerungsfläche erfordern würde (JOBMANN et al. 2007a).

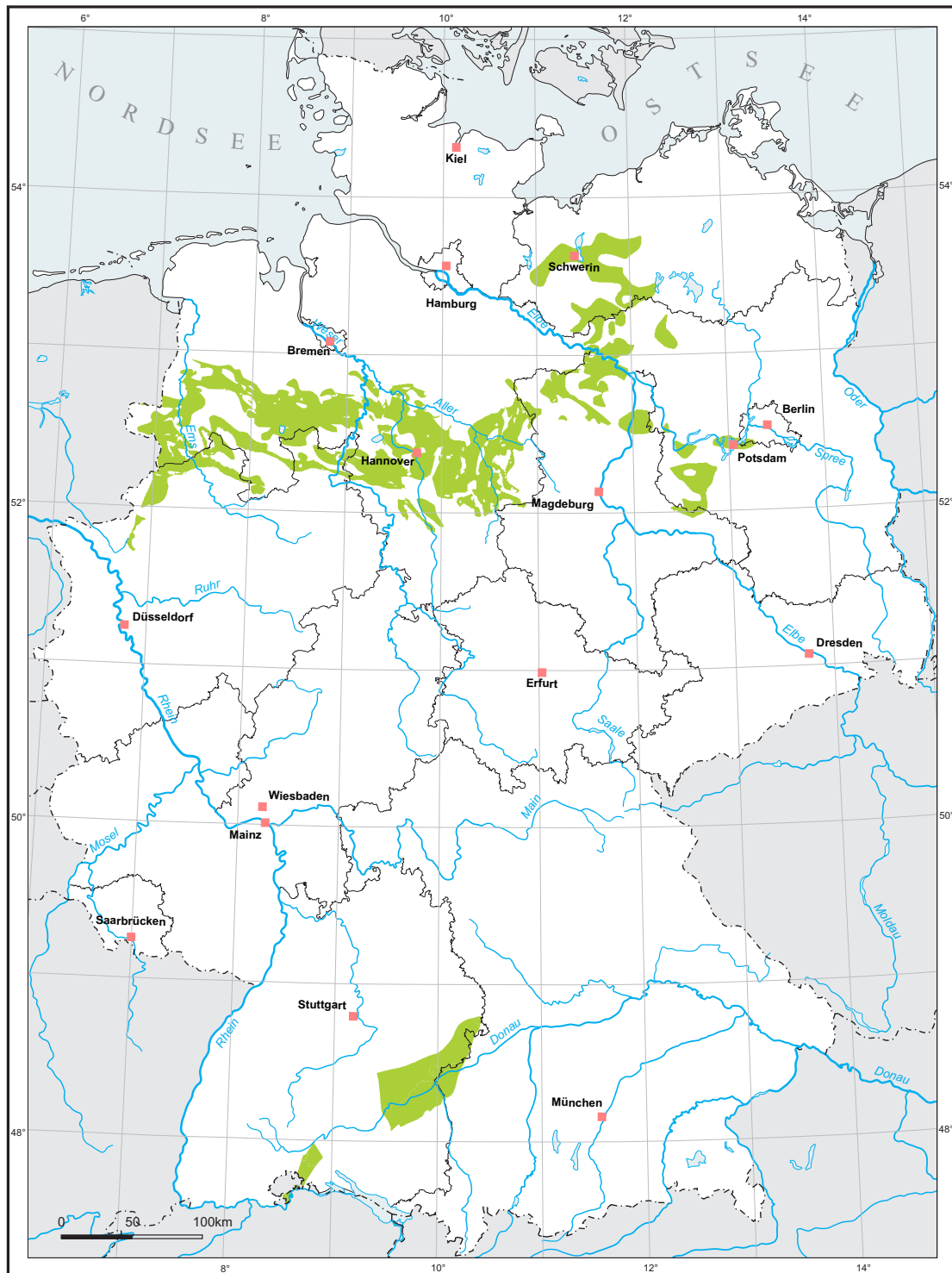
Eine weitere, hier anzuwendende spezifische Anforderung an ein geologisches Referenzprofil steht im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit geowissenschaftlicher Daten. Ein guter Kenntnisstand sowie einfache geologisch-strukturelle Verhältnisse sind insgesamt günstige Voraussetzungen, um die Methodik eines Sicherheitsnachweises für einen generischen Endlagerstandort im Tongestein in einer geologisch gut charakterisierbaren tonigen Schichtenfolge zu entwickeln und anzuwenden.

2 Eigenschaften der geologischen Referenzprofile

Eine Beschreibung der Referenzprofile erfolgt auf der Grundlage der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007). In den in Abb. 1 ausgewiesenen Gebieten können die Lithologie und die Mineralogie der Tongesteinsformationen lateral und vertikal deutlich variieren. So sind die Mengenverhältnisse der Tonminerale (z.B. Kaolinit, Illit, Montmorillonit/Smektit, Vermiculit), der Anteil anderer Minerale (z.B. Pyrit, Quarz) und der Anteil an organischem Kohlenstoff sowie der Wassergehalt in den ausgewiesenen tonigen Schichtenfolgen regional unterschiedlich. Außerdem können in der Schichtenfolge der Tongesteinsformationen geringmächtige sandige und/oder karbonatische Schichten vorkommen. Die unterschiedlich

weit fortgeschrittene Diagenese der Tone bzw. Tonsteine beeinflusst die Gesteinseigenschaften zusätzlich. Daher sind aufgrund regional unterschiedlicher geologischer Verhältnisse laterale und vertikale Änderungen der Barriereigenschaften einzelner Schichtenfolgen der untersuchungswürdigen Tongesteininformationen möglich.

Für die methodische Entwicklung eines Sicherheitsnachweises für ein HAW-Endlager im Tongestein und dessen Anwendung werden repräsentative tongesteinstypische Parameter für den Bereich des Endlagerstandortmodells u. a. für die Berechnungen zur Gebirgsintegrität benötigt. Um diesen Sachverhalt zusammen mit den regionalen geologischen Verhältnissen im Projekt AnSichT angemessen berücksichtigen zu können, werden die Eigenschaften der Referenzprofile gesondert für Süd- und Norddeutschland betrachtet.




 untersuchungswürdige Tongesteinsformationen in Deutschland (nach HOTH et al. 2007)

Abb. 1: Regionen mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen in Deutschland nach HOTH et al. (2007)

2.1 Geologisches Referenzprofil SÜD

Nach den Ergebnissen der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007) werden in Süddeutschland die Mindestanforderungen zur Mächtigkeit (100 m), zum Gesteinstyp mit einer Gebirgsdurchlässigkeit ($k_f < 10^{-10}$ m/s) sowie zur Tiefenlage (300 m bis 1000 m) von der Opalinuston-Formation des Mittel-Jura (unteres Aalenium) erfüllt (Abb. 2).

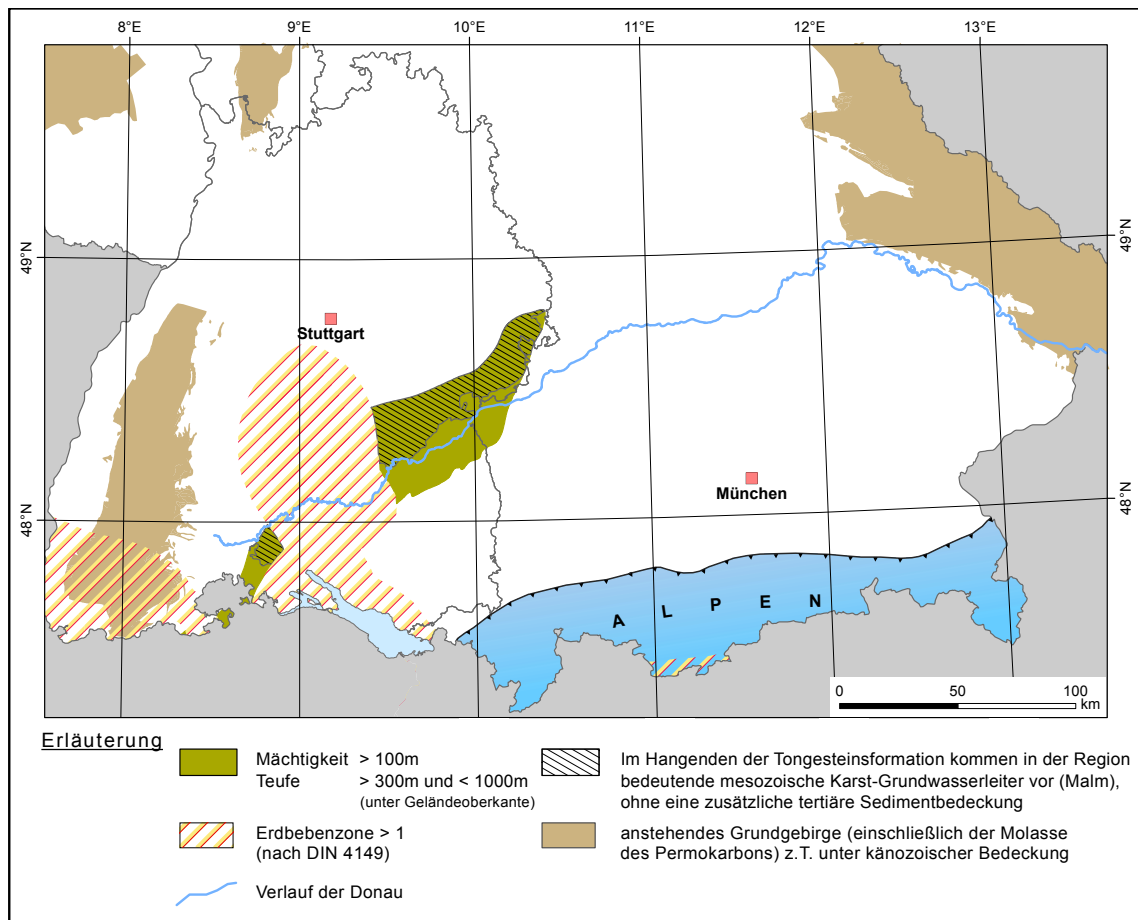


Abb. 2: Verbreitung der untersuchungswürdigen Opalinuston-Formation in Süddeutschland auf der Grundlage der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007)

Vorwiegend im östlichen Baden-Württemberg befindet sich eine zusammenhängende Region, in der die Tongesteine großflächig verbreitet sind und den o. g. Mindestanforderungen entsprechen. In dieser Region fallen die mesozoischen Schichten nach Süden ein und werden dabei zunehmend von Ablagerungen der tertiären Molasse überdeckt (Abb. 2). In einem 8 km bis 10 km breiten und 50 km langen Streifen, der etwa dem Verlauf der Donau folgt, liegt die Oberfläche der Opalinuston-Formation in einer Tiefe von 500 m bis 700 m unter Geländeoberfläche. Die hier etwa 110 m bis 120 m mächtige Opalinuston-Formation besteht fast durchgehend aus Tongesteinen, die durch eine geringe laterale Variabilität der Fazies charakterisiert sind. Damit werden die in Kapitel 1.2 beschriebenen Vorgaben

für ein Referenzprofil für weitere Arbeiten im Projekt AnSichT erfüllt. Das Referenzprofil SÜD ist, gemeinsam mit den für Modellrechnungen erforderlichen Gesteinsparametern, in einem im Projekt AnSichT bis Ende Juni 2013 zu erstellenden Standortmodell-Bericht enthalten. Das Profil wird im Weiteren als Referenzprofil SÜD bezeichnet.

2.2 Geologisches Referenzprofil NORD

Die „Regionale Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007) zeigt, dass sich in Norddeutschland den Anforderungen entsprechende Tongesteinsformationen über ein sehr großes Gebiet erstrecken (Abb. 3).

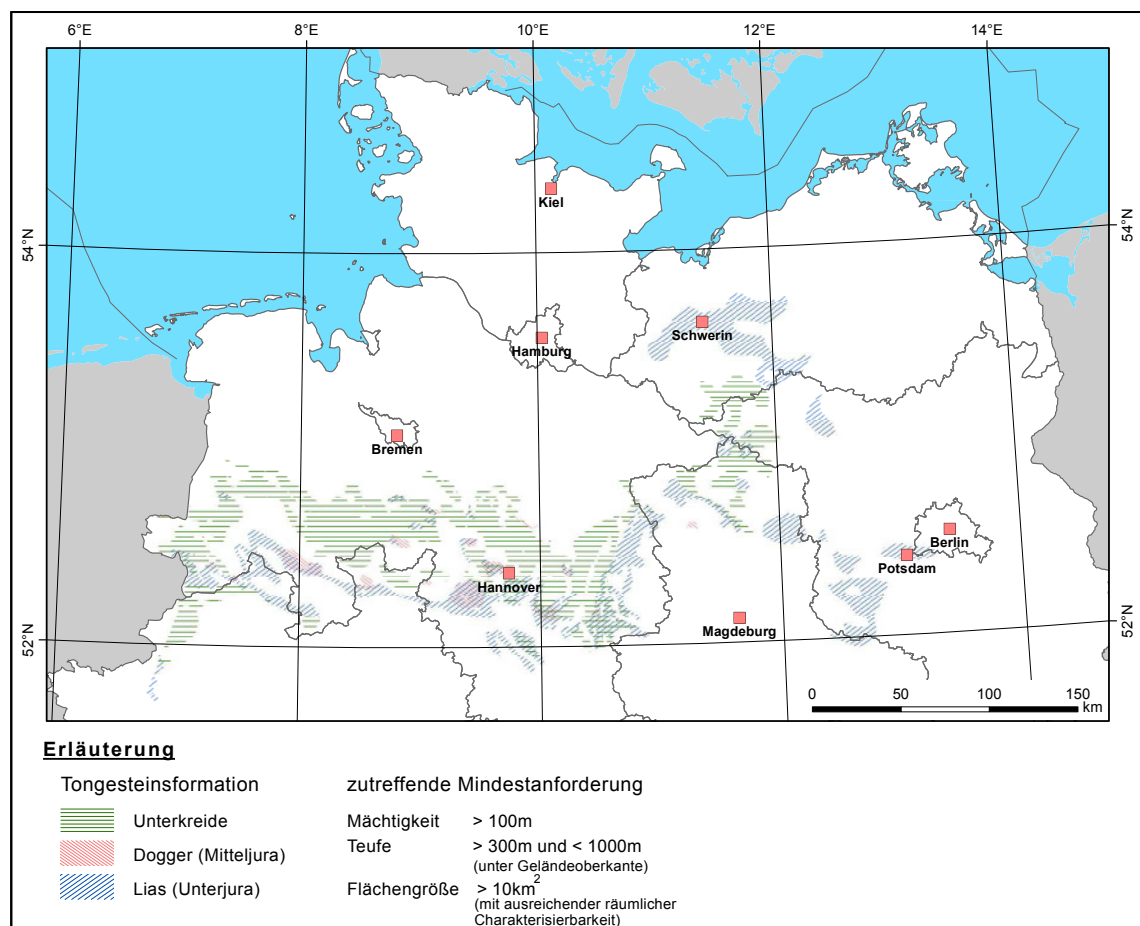


Abb. 3: Regionen mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen in Norddeutschland auf der Grundlage der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007)

Die Verbreitung dieser untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen ist im Wesentlichen auf zwei überregionale geologische Strukturräume verteilt. Zum einen auf das Niedersächsische Becken (z. B. KEMPER 1979, BOIGK 1981, BETZ et al. 1987, SENGLAUB et al. 2005) und zum anderen auf das Nordostdeutsche Becken (z. B. KOSSOW 2001). Im

Bereich des Niedersächsischen Beckens, einer geologischen Struktur, die von der Ems-Region im Westen bis etwa zur Linie Braunschweig - Gifhorn im Osten reicht, befindet sich der größte Flächenanteil an tonigen Ablagerungen, welche nach HOTH et al. (2007) in Norddeutschland für weitere Untersuchungen in Frage kommen.

Das intrakontinentale Niedersächsische Becken wurde im Zeitraum Oberkreide bis Paläogen (Tertiär) invertiert (BETZ et al. 1987, KLEY et al. 2008), wodurch ehemals tief versenkte tonige Schichtenfolgen des Lias, des Dogger und der Unterkreide so weit gehoben wurden, dass sie die Anforderung an die Tiefenlage erfüllen. Ablagerungen der marinen Unterkreide kommen, im Tiefenbereich von 300 m bis 1000 m unter Gelände, vorwiegend in den weniger stark gehobenen Gebieten im Norden sowie im Westen und im östlichen Bereich vor. In den stärker herausgehobenen Gebieten im Süden und im Osten (Braunschweig-Gifhorn-Bruchzone) sind dagegen vorrangig tonige Ablagerungen des Lias und Dogger im geforderten Tiefenniveau verbreitet (Abb. 3).

Die marinen Tongesteine des Jura und der Unterkreide Norddeutschlands sind ehemals weitflächig verbreitet gewesen. Die heute vorhandenen Vorkommen zeichnen sich durch regional unterschiedliche Gesteinseigenschaften aus, die auf räumlichen Veränderungen der Sedimentfazies und einem unterschiedlichen Diageneseegrad beruhen. Neben den vor allem durch die Versenkungstiefe bestimmten physikalischen Parametern (z. B. Druck und Temperatur) sind auch chemische Parameter sowie der Faktor Zeit für die diagenetischen Veränderungen der Tongesteine des Lias, des Dogger und der Unterkreide von Bedeutung (HOTH et al. 2007).

Nach der „Regionalen Tonstudie“ der BGR hat die Unterkreide-Tongesteinsformation im Vergleich mit den untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen des Lias und Dogger den größten Flächenanteil im Bereich des invertierten Niedersächsischen Beckens. In dieser Region sind die Ablagerungen der Unterkreide gut untersucht (z. B. MUTTERLOSE & BORNEMANN 2000, SKD 2000, VOIGT et al. 2008). Der geologische Kenntnisstand sowie die große Mächtigkeit und Homogenität der marinen Unterkreide innerhalb des Niedersächsischen Beckens bieten zusammen eine gute Grundlage, um das Wirtsgestein zu charakterisieren und für die Belange des Projektes ein geologisches Modell für einen generischen Endlagerstandort entwickeln zu können.

Die Ablagerungen der Unterkreide weisen Transgressions- und Regressionszyklen auf. Die Unterkreide endet mit den Sedimenten der Alb-Transgression und wird von den darüber liegenden mergelig-kalkigen Schichten der Oberkreide abgelöst (VOIGT et al. 2008). Aufgrund unterschiedlicher Sedimentmächtigkeiten und Fazies der Unterkreide-Abfolge kann das Niedersächsische Becken in folgende Regionen gegliedert: Emsland (Westteil des Beckens), südlich des Weser- und Osnabrücker Berglands sowie Teutoburger Wald (Südrand des Beckens), nördliches Wiehengebirgsvorland (Zentralteil des Beckens) und die Region Hannover - Braunschweig im Osten (Abb. 4; KEMPER 1979, MUTTERLOSE 2000).



Abb. 4: West-, Zentral- und Ostteil des Niedersächsischen Unterkreide-Beckens (KEMPER 1973)

Die marine Unterkreide in der Region Hannover - Braunschweig weist eine durch Ton- und Tonmergelgesteine geprägte Beckenfazies auf (Abb. 5). Diese ist großflächig verbreitet und erfüllt als Wirtsgestein die Kriterien Tiefenlage (300 m bis 1000 m) sowie Mächtigkeit (größer 100 m). In dieser Region sind die geringe Tiefenlage der Tonstein-Oberfläche sowie eine hohe Mächtigkeit von etwa 1300 m typisch für die Tongesteinsformation der Unterkreide.

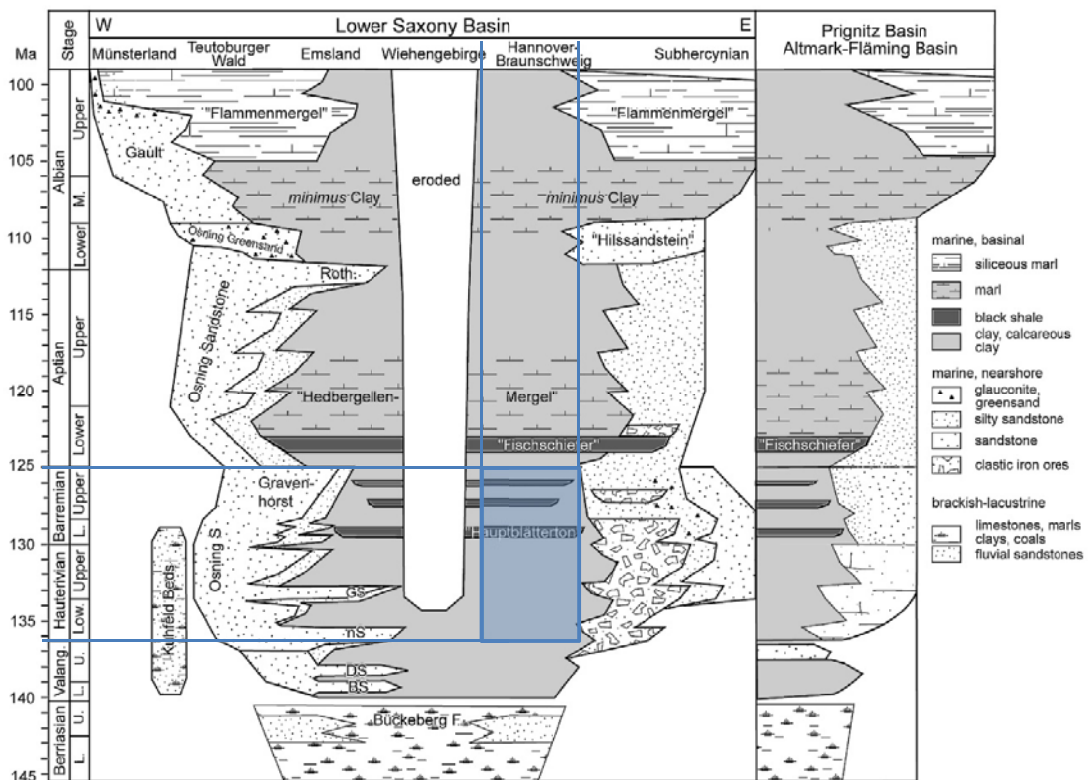


Abb. 5: Zusammenfassende Darstellung der räumlichen und zeitlichen Verbreitung der Unterkreidesedimente in Norddeutschland (VOIGT et al. 2008). Abkürzungen: BS = Bentheim-Sandstein, DS = Dichotomites-Sandstein, GS = Gildehaus-Sandstein, nS = noricum-Sandstein, Roth= Rothenberg Sandstein. Blau gekennzeichnet ist ein Bereich potenziell geeigneter Wirtsgesteine der Unterkreideschichtenfolge, die im Raum Hannover-Braunschweig exemplarisch die Anforderungen an die Tiefenlage und Mächtigkeit erfüllen

Die Lagerungsverhältnisse der Unterkreide-Schichtenfolge wurden durch endogen-tektonische Prozesse sowie durch die Halokinese der Zechsteinsalinare im Untergrund regional unterschiedlich beeinflusst. Infolge der geologischen Entwicklung in dieser Region sind die Ablagerungen des Valanginium, Aptium und Albium häufig durch Schichtlücken gekennzeichnet. Die Ablagerungen des Hauterivium und Barremium sind dagegen meist vollständig ausgebildet (MUTTERLOSE 2000). In Abhängigkeit von der paläogeographischen Position bilden die Ablagerungen aus dem Hauterivium eine bis zu 300 m mächtige Ton-/Tonmergelstein-Wechselfolge. Die Tongesteinsfolge des Barremium ist im Durchschnitt etwa 200 m mächtig (MUTTERLOSE 2000).

Teilgebiete der Region Hannover - Braunschweig sind durch eine gleichmäßige und nur gering geneigte Lagerung der Unterkreide-Schichten gekennzeichnet, in denen die Basis der marinen Unterkreide bspw. im Tiefenbereich von 800 m bis 1000 m liegt. Innerhalb der Tongesteinsformation Unterkreide erfüllen in diesen Gebieten die Ablagerungen der Stufen Hauterivium sowie Barremium die im Kapitel 1.2 formulierten Anforderungen an

das Wirtsgestein. Die Ablagerungen dieser Stufen sind durch eine laterale Kontinuität ihrer lithologischen Eigenschaften (Abb. 5) und eine große Mächtigkeit der tonigen Schichtenfolgen gekennzeichnet. Sie werden daher für das geologische Modell als Referenzprofil zu Grunde gelegt.

Auf Grundlage der oben beschriebenen charakteristischen Ausbildung der Formationen Hauterivium und Barremium erfolgt im Rahmen eines im Projekt AnSichT bis Ende 2012 fertigzustellenden Berichtes die Erarbeitung des Endlagerstandortmodells NORD auf der Basis von verfügbaren und nutzbaren geowissenschaftlichen Daten. Die Anzahl und Verteilung von tiefen Bohrungen und von reflexionsseismischen Messungen insbesondere im östlichen Teil der Region gewährleisten eine ausreichende Datengrundlage zur Charakterisierung der Unterkreide-Tongesteinsformation und für die geplanten Arbeiten im Projekt AnSichT.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Bericht werden geologische Eigenschaften von Tonsteinen in Süd- und Norddeutschland betrachtet, die im weiteren Verlauf des Projektes AnSichT für die Erstellung von Endlagerstandortmodellen für generische Endlagerstandorte verwendet werden können.

Für den sicheren und langfristigen Einschluss radioaktiver Abfälle in einem Endlager und ihre Isolation von der Biosphäre ist die geologische Gesamtsituation mit einem geeigneten Wirtsgestein von entscheidender Bedeutung (AkEND 2002, HOTH et al. 2007). Aufgrund der unterschiedlichen geologischen Entwicklung sind unterschiedliche geologische Verhältnisse für Süd- und Norddeutschland charakteristisch.

Die im Projekt AnSichT betrachteten Regionen berücksichtigen die wirtsgesteinsunabhängigen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen des AkEND (2002) und bauen unmittelbar auf den Ergebnissen der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007) auf. Für die Bestimmung der Referenzprofile wurden die geologischen Mindestanforderungen in zwei Punkten modifiziert. So soll die Teufe des Einlagerungsbereiches im Modell des generischen Endlagerstandortes zwischen 600 m und 800 m betragen, und es soll eine regional gut charakterisierbare tonige Schichtenfolge als Wirtsgestein vorliegen (siehe Kapitel 1.2).

Diese Anforderungen werden in Süddeutschland von den Ablagerungen der Opalinuston-Formation mit untersuchungswürdigen Tongesteinen in einer Teufenlage von 600 m bis 800 m erfüllt. Die nach Südsüdost einfallende Opalinuston-Formation ist durch eine geringe laterale Variabilität seiner lithologischen Fazies charakterisiert und hat eine

Mächtigkeit von 110 m bis 120 m. Somit erfüllen sie die geologischen Anforderungen für ein Referenzprofil SÜD.

Von den in Norddeutschland von HOTH et al. (2007) ausgewiesenen untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen werden die Sedimente der marinen Unterkreide im invertierten Niedersächsischen Becken als charakteristisch betrachtet.

Im östlichen Teil des Niedersächsischen Beckens kommen im geforderten Tiefenbereich von 600 m bis 800 m homogen ausgebildete, tonige Sedimente des Hauterivium und Barremium vor. Die Schichtenfolge beider Stufen ist hier meist vollständig ausgebildet und bis zu 300 m bzw. durchschnittlich 200 m mächtig. Das aus Hauterivium und Barremium aufgebaute Schichtpaket erfüllt die geologischen Anforderungen an das Referenzprofil NORD.

Für die Referenzprofile können die geologischen Kenntnisse regional differenziert betrachtet und die Daten aus Bohrberichten, seismischen Untersuchungen oder der Literatur zusammengestellt werden. Weiterhin liegen Informationen aus Untersuchungen von Tongesteinen ähnlicher Zusammensetzung sowie Ergebnisse von Standorterkundungsprogrammen im Rahmen von Endlagerprojekten in der Schweiz und in Frankreich vor. Darauf aufbauend wird eine Einschätzung der Übertragbarkeit geologischer Befunde für die Bestimmung und Charakterisierung relevanter geologischer Prozesse für zwei unterschiedliche Endlagerstandortmodelle möglich.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE HANNOVER

Im Auftrag

(Dr. V. Bräuer)
- Direktor und Professor -
Abteilungsleiter B3
Projektleiter Endlagerung

(K. Reinhold)
- Wiss. Mitarbeiter -
Autor

(G. Enste)
- Direktor und Professor -
Fachbereichsleiter B3.1

(J. Sönke)
- Wiss. Oberrat -
Autor

(Dr. J. R. Weber)
- Direktor und Professor -
Fachbereichsleiter B3.2

(Dr. J. Hammer)
- Geologieoberrat -
Arbeitsbereichsleiter

(Dr. S. Keller)
- Geologieoberrat -
Arbeitspaketleiter

Literaturverzeichnis

- AKEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd). - 260 S.; Köln.
- BETZ, D., FÜHRER, F., GREINER, G. & PLEIN, E. (1987): Evolution of the Lower Saxony Basin. - Tectonophysics, 137 (1-4): 127-170.
- BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. - 22 S.; Berlin.
- BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland. - 330 S.; (Enke-Verlag).
- DIN 4149 (2005): DIN 4149: 2005-04 – Bauten in deutschen Erdbebengebieten Lastannahmen, Bemessungen und Ausführung üblicher Hochbauten. – Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN); Berlin.
- HAMMER, J., SÖNNKE, J. & MINGERZAHN, G. (2009): Entwicklung und Umsetzung von technischen Konzepten für geologische Endlager in allen Wirtsgesteinen (EUGENIA) - Teil I: Grundlagen und Beispiele für Standortauswahlverfahren für HAW-Endlager in unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen. - Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: 161 S.; Hannover.
- 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. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: 118 S.; Berlin / Hannover.
- JOBMANN, M., UHLIG, L., AMELUNG, P., BILLAUX, D., POLSTER, M. & SCHMIDT, H. (2007a): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland - GENESIS - Abschlussbericht. - DBE TECHNOLOGY GmbH, 92 S.; Peine.
- JOBMANN, M., AMELUNG, P. & UHLIG, L. (2007b): Untersuchungen zur sicherheitstechnischen Auslegung eines generischen Endlagers im Tonstein in Deutschland - GENESIS - Anlagenband Geologie der Referenzregionen im Tonstein. - DBE TECHNOLOGY GmbH, 73 S.; Peine.
- KELLER, S. (2009): Eiszeitliche Rinnensysteme und ihre Bedeutung für die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte mit hochradioaktiven Abfällen in Norddeutschland. – Bericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 24 S.; Hannover.
- KEMPER, E. (1979): Die Unterkreide Nordwestdeutschlands. Ein Ueberblick. - In: WIEDMANN, J. [Hrsg.]: Aspekte der Kreide Europas, 1-9.
- KEMPER, E. (1973): The Valanginian and Hauterivian stages in northwest Germany. - In: The Boreal Lower Cretaceous, 5, 327-344; Liverpool (Seel House Press).

- KLEY, J., FRANZKE, H.-J., JAEHNE, F., KRAWCZYK, C., LOHR, T., REICHERTER, K., SCHECK-WENDEROTH, M., SIPPEL, J., TANNER, D., VAN GENT, H., MÜLLER, R., URAI, J. L. & VOIGT, T. (2008): Strain and stress. - *In*: LITTKER, R., BAYER, U., GAJEWSKI, D. & NELSKAMP, S. [Hrsg.]: Dynamics of Complex Sedimentary Basins. The Example of the Central European Basin System, 97-124; Berlin (Springer).
- KOSSOW, D. (2001): Die kinematische Entwicklung des invertierten, intrakontinentalen Nordostdeutschen Beckens [Dissertation]. 101 S.; Uni. Potsdam.
- LARUE, J., KOCK, I. & SEHER, H. (2010): VerSi Endlagerung im Tonstein – Abschlussbericht zum Vorhaben 3607R02538 „Untersuchung aktueller planerischer Grundsatzfragen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ – Entwicklung eines synthetischen Tonsteinstandortes (Teil 2: Randbedingungen und Anforderungen an einen Tonsteinstandort). Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: 71S.; Köln.
- MAZUREK, M., PEARSON, F.J., VOLCKAERT, G. & BOCK, H. [Hrsg.] (2003): Features, Events and Processes Evaluation Catalogue for Argillaceous Media. - NEA, OECD. 4437: 376 S.; Paris.
- MUTTERLOSE, J. (2000): Unterkreide im Niedersächsischen Becken. *In*: Deutschland, Stratigraphische Kommission [Hrsg.]: Stratigraphie von Deutschland III, Volume 226: 79-101; Frankfurt am Main.
- MUTTERLOSE, J. & BORNEMANN, A. (2000): Distribution and facies patterns of Lower Cretaceous sediments in northern Germany. - *Cretaceous research*, 21 (6): 733-759.
- SENGLAUB, Y., BRIX, M.R., ADRIASOLA, A.C. & LITTKER, R. (2005): New information on the thermal history of the southwestern Lower Saxony Basin, northern Germany, based on fission track analysis. - *Int. J. Earth Sci.*, 94 (5-6): 876-896.
- SKD (2000): Stratigraphische Kommission Deutschlands - Stratigraphie von Deutschland III - Die Kreide der Bundesrepublik Deutschland. 226: 207 S.; (Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg).
- VOIGT, S., WAGREICH, M., SURLYK, F., WALASZCZYK, I., ULICNY, D., CECH, S., VOIGT, T., WIESE, F., WILMSEN, M., NIEBUHR, B., REICH, M., FUNK, H., MICHALIK, J., JAGT, J. W. M., FELDER, P. J. & SCHULP, A. S. (2008): Cretaceous. - *In*: McCANN, T. [Editor]: The Geology of Central Europa. Vol. 2: Mesozoic and Cenozoic. - Geol. Soc.: 923-997, ISBN 978-1-86239-264-9; Bath/UK.

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Regionen mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen in Deutschland nach HOTH et al. (2007).....	9
Abb. 2: Verbreitung der untersuchungswürdigen Opalinuston-Formation in Süddeutschland auf der Grundlage der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007).....	10
Abb. 3: Regionen mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen in Norddeutschland auf der Grundlage der „Regionalen Tonstudie“ der BGR (HOTH et al. 2007).....	11
Abb. 4: West-, Zentral- und Ostteil des Niedersächsischen Unterkreide-Beckens (KEMPER 1973).....	13
Abb. 5: Zusammenfassende Darstellung der räumlichen und zeitlichen Verbreitung der Unterkreidesedimente in Norddeutschland (VOIGT et al. 2008). Abkürzungen: BS = Bentheim-Sandstein, DS = Dichotomites-Sandstein, GS = Gildehaus-Sandstein, nS = noricum-Sandstein, Roth= Rothenberg Sandstein. Blau gekennzeichnet ist ein Bereich potenziell geeigneter Wirtsgesteine der Unterkreide-Schichtenfolge, die im Raum Hannover-Braunschweig exemplarisch die Anforderungen an die Tiefenlage und Mächtigkeit erfüllen.....	14