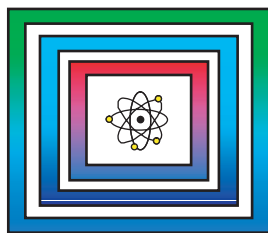


Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland

Untersuchung und Bewertung
von Regionen mit
potenziell geeigneten
Wirtsgesteinsformationen



Hannover/Berlin, April 2007

BGR

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	3
2	Bedeutung der Geologie bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle	4
3	Eigenschaften potenziell geeigneter Wirtsgesteine	4
4	Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen	7
5	Mindestanforderungen und Kriterien für Endlagerstandorte	9
6	Wirtsgesteinsformationen in Deutschland	11
7	Zusammenfassung und Fazit	16
	Literaturverzeichnis	17

Gesamtblattzahl: 17 Seiten

1 Einleitung

Die BGR erhielt im Jahre 2003 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den Auftrag, eine Studie über die Verbreitung von Tongesteinen als potenzielle Wirtsgesteine für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland zu erstellen.

Die BGR hatte bereits 1994/95 je einen Katalog für die Salz- und Kristallinvorkommen in Deutschland veröffentlicht, deren Ergebnisse auch heute noch aktuell sind und Gültigkeit haben:

- Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen
- Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen.

Bei den jetzt komplementär für Tongesteine durchgeführten Untersuchungen dienten international anerkannte von der BGR für die Wirtsgesteine Salz und Kristallin formulierte Ausschluss- und Abwägungskriterien als Grundlage. Sie wurden ergänzt durch die im Jahr 2002 vom Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) aufgestellten wirtsgesteinsunabhängigen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen. Zusätzlich wurden von der BGR weitere aus geowissenschaftlicher Sicht als maßgeblich erachtete Abwägungskriterien bei der Auswahl der Regionen herangezogen.

Im Januar 2005 wurde beim Workshop „Gegenüberstellung von Endlagerkonzepten im Salz und Tongestein“ (GEIST) über erste Zwischenergebnisse berichtet. Seitdem wurde der Kenntnisstand über die Tongesteinsvorkommen in Deutschland weiter vervollständigt.

Der vorliegende Bericht fasst die Forschungsergebnisse über Regionen mit den potenziell geeigneten Endlagerwirtsgesteinsformationen Steinsalz, Kristallin und Tongesteine in Deutschland zusammen. Als Grundlage der Bearbeitung dienten alle verfügbaren Daten aus Karten, Archivmaterial und Bohrungen. In-situ Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

2 Bedeutung der Geologie bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle

Nach dem deutschen Entsorgungskonzept sollen die radioaktiven Abfälle konzentriert und isoliert und in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden. Der langzeit-sichere Einschluss der Abfälle in einem Endlager und ihre Isolation von der Biosphäre werden durch ein Multibarrierensystem gewährleistet, das aus geologischen und technischen Barrieren besteht. Der Geologie kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu.

Voraussetzung für einen geeigneten Endlagerstandort ist in erster Linie eine günstige geologische Gesamtsituation mit einer geeigneten geologischen Barriere, die - entsprechend dem deutschen Endlagerkonzept - die Hauptlast übernimmt. Ihre Wirksamkeit soll durch an sie angepasste technische und geotechnische Komponenten im Gesamtbarrierensystem ergänzt werden.

3 Eigenschaften potenziell geeigneter Wirtsgesteine

In den internationalen Endlagerkonzepten werden als geologische Barrieren vor allem Steinsalz, Tongesteine und Kristallingesteine untersucht (Tab. 1). Im vorliegenden Bericht werden daher die für die Endlagerung in Frage kommenden Wirtsgesteine Steinsalz, Kristallin und Tongesteine für Deutschland mit ihren endlagerrelevanten Eigenschaften dargestellt.

Steinsalz

In Deutschland wurde aufgrund jahrzehntelanger Forschung und über hundertjähriger Erfahrung im Salzbergbau ein umfangreiches Wissen zu allen endlagerrelevanten Eigenschaften von Steinsalz und Salzformationen erarbeitet. Unter natürlichen Lagerungsbedingungen ist Steinsalz praktisch undurchlässig gegenüber Gasen und Flüssigkeiten und besitzt eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie viskoplastische Eigenschaften, die zum Verschluss von Hohlräumen im Gebirge führen. Aufgrund dieser günstigen Eigenschaften ist Steinsalz insbesondere als Wirtsgestein für wärmeentwickelnde hochaktive Abfälle (HAW) sehr gut geeignet.

Tab. 1: Endlagerrelevante Eigenschaften potenzieller Wirtsgesteine.

<i>Eigenschaft</i>	<i>Steinsalz</i>	<i>Ton/Tonstein</i>	<i>Kristallingestein (z. B. Granit)</i>
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering bis gering	sehr gering (ungeklüftet) bis durchlässig (geklüftet)
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (Kriechen)	plastisch bis spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch (ungeklüftet) bis gering (stark geklüftet)
In-situ Spannungen	lithostatisch isotrop	anisotrop	anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel bis hoch
Temperaturbelastbarkeit	hoch	gering	hoch

günstige Eigenschaft
 ungünstige Eigenschaft
 mittel

Tongesteine

Tongesteine weisen eine große Bandbreite, vom plastischen Ton mit Übergangsformen bis zum stark verfestigten und z. T. geklüfteten Tonstein, auf. Dabei können erhebliche Unterschiede im Verformungsverhalten, der Temperaturempfindlichkeit und der Gebirgsstabilität auftreten. Die bisher bekannten, für die Endlagerung günstigen Eigenschaften der Tongesteine sind insbesondere die sehr geringe Durchlässigkeit und die hohe Sorptionsfähigkeit. Tongesteinsformationen haben als abdeckende, dichte Schichten z. B. für Kohlenwasserstoff-Vorkommen ihre langfristige Wirksamkeit als geologische Barriere nachgewiesen.

Das Konzept der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen setzt generell eine ausreichende Festigkeit für die Erstellung und Offenhaltung der untertägigen Strecken voraus. In Tongesteinen kann die Standsicherheit der Strecken nur mit Ausbaumaßnahmen erreicht werden. Bei unverfestigten Tonen sind diese Maßnahmen besonders aufwändig und kostspielig. Daher werden hier nur verfestigte Tongesteine in die Betrachtung einbezogen. Endlagerrelevante Forschung sowie mineralogische, geochemische und geotechnische Untersuchungen an Tongesteinen werden zurzeit in internationalen Felslabors durchgeführt.

Kristallingesteine

Kristallingesteine (Granite und metamorphe Gesteine) zeichnen sich besonders durch ihre hohe Festigkeit und Hohlraumstabilität sowie durch ihre geringe Temperaturempfindlichkeit aus. Auch ihr sehr geringes Lösungsverhalten ist für die Endlagerung günstig. Während die Durchlässigkeit von kristallinen Gesteinen im ungeklüfteten Zustand meist sehr gering ist, weisen diese Gesteine in geklüftetem Zustand deutlich höhere bis sehr hohe Durchlässigkeiten auf. In diesem Fall ist der dichte Einschluss der Abfälle nur durch Hinzuziehung geeigneter, technischer Barrieren (Behälter, Bentonit-Versatz) zu gewährleisten.

4 Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen

Als Konsequenz der unterschiedlichen Gesteinseigenschaften sind die Endlagerkonzepte im Steinsalz, in Tongesteinen und in Kristallingesteinen ebenfalls unterschiedlich. Das Endlagerkonzept für Steinsalz basiert aufgrund der Undurchlässigkeit und der Kriecheigenschaft des Steinsalzes auf dem vollständigen Einschluss der Abfälle (Tab. 1). Generell gilt, dass die standortspezifischen Kenntnisse über die Steinsalzvorkommen in Deutschland im Vergleich zum Kenntnisstand über Tongesteins- und Kristallinvorkommen wesentlich größer sind. Eine umfassende Wissensbasis der Eigenschaften der Salzgesteine sowie erprobte Erkundungsmethoden und -verfahren sind vorhanden (Tab. 2).

Im Vergleich zum Steinsalz sind die Kenntnisse über Tongesteinsformationen u. a. auch wegen der geringen Bergbauerfahrung geringer. Beim Endlagerkonzept mit Tongesteinen als Wirtsgestein darf die durch die Abfallwärme hervorgerufene maximale Gebirgstemperatur wegen der möglichen Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Tonminerale insbesondere infolge von Mineralumbildungen eine Temperatur von 100 °C nicht überschreiten (zum Vergleich Steinsalz: 200 °C). Dies bedingt eine längere Zwischenlagerzeit, ein neues Endlagerkonzept mit einem wesentlich erhöhten Platzbedarf sowie ein neues Behälterkonzept. In Tongesteinen sind zudem Sicherungsmaßnahmen (Spritzbeton, Ankerung und evtl. Ausbau) für die untertägigen Hohlräume notwendig, wobei dann die Gasbildung und das veränderte chemische Milieu zu berücksichtigen sind (Tab. 2).

Tab. 2: Eckpunkte der Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen.

<i>Komponenten</i>	<i>Steinsalz</i>	<i>Ton/Tonstein</i>	<i>Kristallingestein</i>
Einlagerungssohle	ca. 900 m	ca. 500 m	500 - 1200 m
Lagerungstechnik*	Strecken und tiefe Bohrlöcher	Strecken bzw. kurze Bohrlöcher	Bohrlöcher oder Strecken
Auslegungstemperatur	max. 200° C	max. 100° C	max. 100° C (Bentonitversatz)
Versatzmaterial*	Salzgrus	Bentonit	Bentonit
Zwischenlagerzeit (BE u. HAW-Kokillen)	min. 15 Jahre	min. 30 - 40 Jahre	min. 30 - 40 Jahre
Streckenausbau	nicht erforderlich	erforderlich, ggf. sehr aufwändig	in stark geklüfteten Bereichen erforderlich
Behälterkonzept	vorhanden	für Deutschland neu zu entwickeln	für Deutschland neu zu entwickeln
Bergbauerfahrung	sehr groß (Salzbergbau)	kaum	groß (Erzbergbau)

günstige Eigenschaft
 ungünstige Eigenschaft
 mittel

* wird an das jeweilige Wirtsgestein angepasst

Die Kristallinvorkommen Deutschlands sind ausgewiesen und geologisch kartiert. Aus den bisherigen Bergbauerfahrungen und geologischen Befunden geht hervor, dass in Deutschland homogene und ungeklüftete Bereiche im Kristallin in einer für die Errichtung eines Endlagerbergwerkes notwendigen räumlichen Ausdehnung nicht zu erwarten sind.

5 Mindestanforderungen und Kriterien für Endlagerstandorte

Aufgrund der entscheidenden Bedeutung der geologischen Barriere bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen müssen für die Standortauswahl prioritär geowissenschaftliche Kriterien Anwendung finden. Die Ausweisung von Regionen erfolgte daher in einem ersten Schritt anhand folgender international anerkannter und im Jahr 2002 vom Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) zusammengestellter geowissenschaftlicher und wirtsgesteinsunabhängiger Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen:

- Im Endlagerbereich dürfen die zu erwartenden seismischen Aktivitäten nicht größer sein als in Erdbebenzone 1 nach DIN 4149.
- In der Endlagerregion darf kein quartärer oder zukünftig zu erwartender Vulkanismus vorliegen.
- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss mindestens 100 m mächtig sein und aus Gesteinstypen bestehen, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m pro Sekunde zugeordnet werden kann.
- Die Tiefenlage der Oberfläche des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches muss mindestens 300 m betragen.
- Das Endlagerbergwerk darf nicht tiefer als 1500 m liegen
- Der einschlusswirksame Gebirgsbereich muss über eine flächenmäßige Ausdehnung verfügen, die eine Realisierung des Endlagers zulässt (mind. 10 km² im Tongestein).
- 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.

Legt man diese Mindestanforderungen und Kriterien zugrunde, kommen für die Ausweisung von Wirtsgesteinsregionen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland aufgrund ihrer ausreichend geringen Durchlässigkeit lediglich Steinsalzformationen und Tongesteinsformationen in Betracht. Kristallingesteine müssen wegen ihrer hohen Durchlässigkeit in klüftigen Bereichen in Deutschland ausgeschlossen werden.

In einem zweiten Schritt wurden folgende aus geowissenschaftlicher Sicht als maßgeblich für Steinsalz und Tongesteine zu betrachtende Kriterien bei der Auswahl zusätzlich herangezogen, die zum Ausschluss weiterer Regionen führten:

- Für Steinsalzvorkommen in Salzstöcken wurde in der BGR-Studie von 1995 von einer Mindestmächtigkeit von 500 m ausgegangen (300 m Schwebelage, +100 m für die Auffahrung des Bergwerkes, +100 m im Liegenden). Diese Anforderung ist nach BGR Auffassung auch heute noch gültig.
- Für Salzstöcke wurde in der Studie von 1995 eine Salzschwebelage von mindestens 300 m über dem Endlagerbereich gefordert. Das über dem Salzstockdach lagernde Deckgebirge sollte mindestens 200 m betragen und wasserstauende Horizonte enthalten.
- Für Salzstöcke wurde von der BGR 1995 von einer für das Endlager notwendigen Mindestfläche von 9 km² im Endlagerbereich ausgegangen. Hierbei wurden Festen im Flankenbereich von mindestens 200 m sowie ein Aufschlag von wenigstens 20% berücksichtigt, um über Ausweichflächen sowie Sicherheitsabstände bei Einschaltungen von Anhydrit, Kaliflözen u. a. zu verfügen. Die vom AkEnd 2002 postulierte Fläche von 3 km² erschien daher als zu niedrig angesetzt.
- Als weiteres Ausschlusskriterium für Steinsalz wurde die Forderung nach der Unverritztheit des Salzkörpers aufgenommen.
- Bei Tongesteinsformationen unterhalb von 1000 m Tiefe ist mit sehr schwierigen gebirgsmechanischen Verhältnissen zu rechnen, was extreme Aufwendungen bei der Auffahrung und Betrieb eines Endlagers notwendig macht.

Zusätzliche Schwierigkeiten bei der Nutzung von Tongesteinen in einem Tiefenbereich >1000 m sind durch die relativ geringe Wärmeleitfähigkeit dieser Gesteine bei den dort vorhandenen erhöhten Temperaturen bedingt. Bei der Einlagerung stark Wärme entwickelnder Abfälle würde dies zu erheblichen technischen Problemen führen. Es wurde daher bei Tongesteinsvorkommen nur der Tiefenbereich zwischen 300 und 1000 m unter Geländeoberkante berücksichtigt.

6 Wirtsgesteinsformationen in Deutschland

Steinsalz

Steinsalzvorkommen sind sowohl in Norddeutschland als auch in Süddeutschland ausgewiesen. Sie kommen als Salzstöcke aber auch in flacher Lagerung (stratiform) vor und treten in unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten auf (Tab. 3). Einen typischen Schnitt durch einen Salzstock zeigt Abbildung 1. Die stratiformen Steinsalzlagerstätten sind vom Schema her ähnlich aufgebaut wie die Tongesteinsformationen. Eine schematische Darstellung zeigt Abbildung 2.

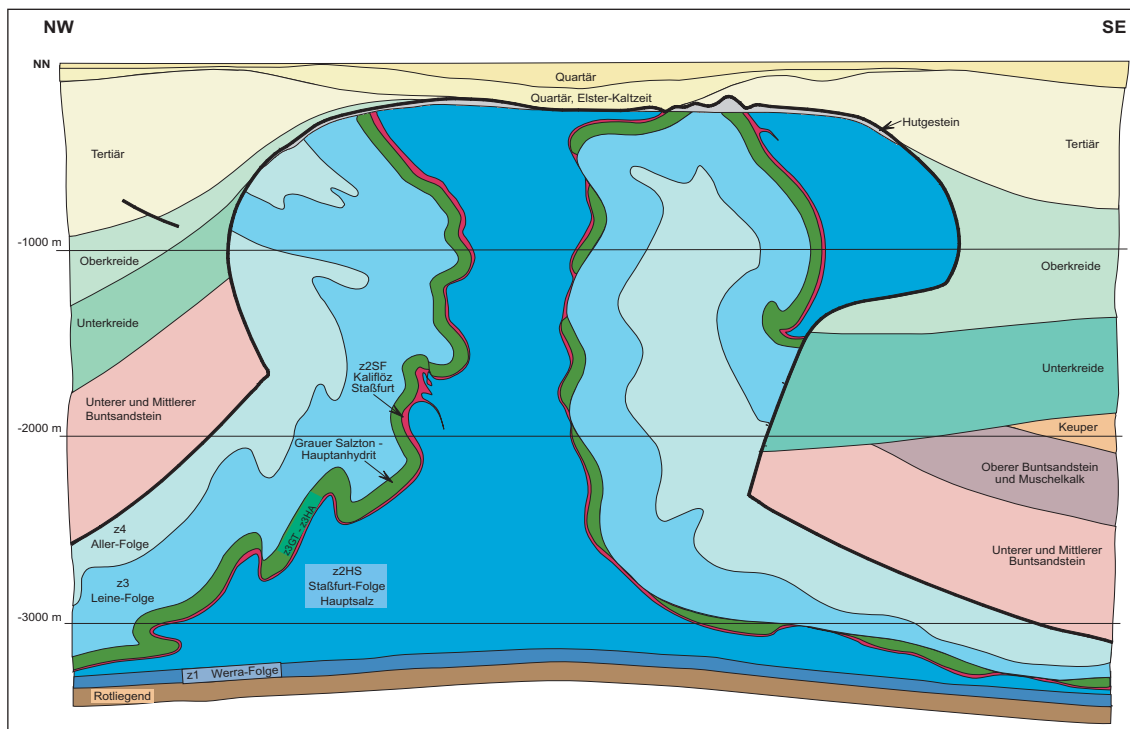


Abb. 1: Typischer Schnitt durch einen Salzstock am Beispiel des Salzstocks Gorleben.

Bei den Steinsalzvorkommen Deutschlands sind folgende geologische Besonderheiten zu berücksichtigen:

- Durchgehend gute Wirtsgesteinseigenschaften über eine große Mächtigkeit weist nur das Hauptsalz der Staßfurt-Folge Norddeutschlands auf.
- Das z. T. sehr mächtige Rotliegend-Steinsalz, das in den Doppelsalzstrukturen Nordwestdeutschlands in endlagerrelevanten Tiefen vorkommt, liegt im Allgemeinen in Salzstöcken mit sehr komplizierter Innenstruktur vor. Der hohe Tonanteil in dem Salz-Ton-Gemisch des sog. „Haselgebirges“ verbessert zwar die ansonsten sehr geringe Sorptionsfähigkeit für Schadstoffe und Radionuklide, vermindert andererseits jedoch die gute Wärmeleitfähigkeit des reinen Steinsalzes.

- Die stratiformen Salzlagerstätten (flache Lagerung) am Südrand der Zechsteinverbreitung (Niederrheinische Bucht, Solling-Scholle, Scholle von Calvörde) sind in Bezug auf ihre Tiefenlage, barrierewirksame Mächtigkeit und tektonischer Situation als Reserveoptionen zu betrachten.
- Die stratiformen Salzlagerstätten (flache Lagerung) des Werra-Gebietes (Zechstein 1) und der Thüringer Senke werden nicht berücksichtigt, da sie außerhalb der aktiven Bergbauregionen nur engräumig homogene Steinsalzpartien von über 100 m Mächtigkeit aufweisen.
- Die Zechstein-Steinsalze der Aller- bis Mölln- Folge sind aufgrund zu geringer Mächtigkeiten nicht untersuchungswürdig. Das Gleiche trifft auf die im Oberen Buntsandstein, Muschelkalk und im Tertiär auftretenden Steinsalze zu. Die Keupersalze kommen aufgrund ihrer Tiefenlage nicht als Wirtsgesteine in Betracht. Das Steinsalz des Oberjura zeichnet sich durch starke Zwischenlagerungen von Anhydrit und Tonstein aus und wird daher als nicht untersuchungswürdig eingestuft.

In Ergänzung zum Salzstock Gorleben wurden von der BGR 1995 die Salzstöcke Norddeutschlands auf der Grundlage der verfügbaren Daten einer abschließenden Bewertung unterzogen, die auch heute noch aktuell ist. Nach den zugrunde gelegten Auswahlkriterien wurden 4 weitere Strukturen ermittelt, die in Abbildung 3 dargestellt sind.

Tongesteinsformationen

Tongesteinsformationen kommen in Deutschland ebenfalls in unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus und geographischen Regionen vor (Tab. 3). Unter Berücksichtigung der Tiefe und Mächtigkeit lassen sich Tongesteine in relevanter Lage im Tertiär, in der Kreide und im Jura sowohl in Nord- als auch in Süddeutschland ausweisen. Einen Schnitt durch eine geologische Struktur mit einer Tongesteinsformation zeigt die schematische Darstellung in Abbildung 2.

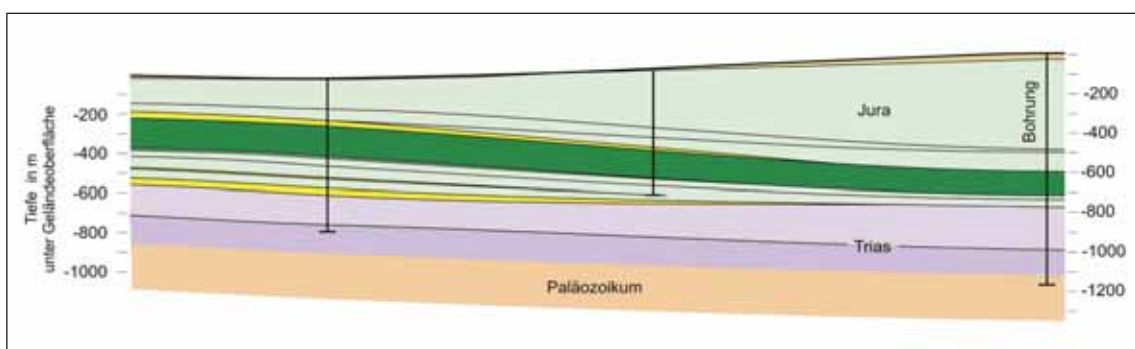


Abb. 2: Typischer Schnitt durch eine geologische Struktur mit einer Tongesteinsformation (dunkelgrün).

Bei der Ausweisung eines Tongesteinsvorkommens als Endlager-Wirtsgestein müssen jedoch folgende zusätzliche Einschränkungen berücksichtigt werden:

- Sämtliche Tongesteinsformationen des Oberrheingrabens sind, neben dem teilweisen Ausschluss durch die Lage in der Erdbebenzone größer 1, aufgrund der tektonischen Verhältnisse (engständiges und weit reichendes Störungsmuster) als nicht weiter untersuchungswürdig einzustufen.
- Die Tertiärtone Norddeutschlands stellen zwar wichtige hydrogeologische Barrieren des Untergrundes dar, ihre Wirtsgesteinseignung ist aufgrund des geringen Verfestigungsgrades jedoch als sehr eingeschränkt zu beurteilen. Sie können deshalb bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle zwar als Barrieregesteine in einer günstigen geologischen Gesamtsituation von Bedeutung sein, für die hier zu betrachtende Wirtsgesteinoption werden sie jedoch nicht berücksichtigt.
- Die tertiären Tone und Tonsteine des Alpenin Vorlandbeckens sind aufgrund ihrer starken lithologischen Variabilität im Vergleich zu den übrigen Vorkommen nur schwer charakterisierbar und prognostizierbar. Da sie außerdem zum großen Teil nur einen geringen Verfestigungsgrad aufweisen, werden sie für die Wirtsgesteinoption ebenfalls nicht berücksichtigt.
- In Teilbereichen des Verbreitungsgebietes des Opalinustons in Süddeutschland schränkt ein bedeutender und genutzter Karst-Grundwasserleiter im Deckgebirge eine Nutzung ein.
- Teilbereiche des Opalinustons in Süddeutschland werden durch die Erdbebenzone größer 1 ausgeschlossen.
- Gebiete mit extrem steiler Lagerung in der Nähe von Salzstrukturen wurden wegen ihrer mangelnden Charakterisierbarkeit und Prognostizierbarkeit nicht betrachtet.

Im Ergebnis verbleiben mächtige Tonsteinvorkommen in der Kreide Norddeutschlands und im Jura Nord- und Süddeutschlands (Abb. 3).

Tab. 3: Stratigraphische Position der Steinsalz- und Tongesteinsformationen in Deutschland.

System	Serie	Stufe / Folge	Salzformationen		Tonformationen			
			N-Deutschl.	S-Deutschl.	N-Deutschl.		S-Deutschl.	
					W	E	W	E
Quartär ca. 1,8								
Tertiär	Pliozän	Ober						
		Unter						
	Miozän	Ober						
		Mittel						
	Oligozän	Chatium						
		Rupelium						
	Eozän	Ober						
		Mittel						
	Paläozän	Unter						
		Ober						
Kreide	Oberkreide	ca. 65 Ma						
		Maastrichtium						
		Campanium						
		Santonium						
		Coniacium						
	Unterkreide	Turonium						
		Cenomanium						
		Albium						
		Aptium						
		Barremium						
Jura	Oberjura (Malm)	Hauterivium						
		Valanginium						
		Berriasium						
	Mitteljura (Dogger)	ca. 142 Ma	Thilonium					
		Kimmeridgium						
		Oxfordium						
		Callovium						
	Untejura (Lias)	Bathonium						
		Bajocium						
		Aalenium						
Trias	Keuper	ca. 200 Ma	Toarcium					
		Pliensbachium						
		Sinemurium						
		Hettangium						
		O	k6 - "Rhatkeuper"					
	Muschelkalk	M	k5 - "Steinmergelkeuper"					
		k4 - "Oberer Gipskeuper"						
		k3 - "Schilfsandstein"						
	Buntsandstein	U	k2 - "Unterer Gipskeuper"					
		k1 - "Lettenkeuper"						
Oberer		Oberer						
		Mittlerer						
		Unterer						
Unterer		O	s7 - "Röt-Folge"					
		M	s6 - "Solling-Folge"					
	s5 - "Hardegsen-Folge"							
	s4 - "Detfurth-Folge"							
Perm	Oberperm (Zechstein)	ca. 251 Ma	s3 - "Volpriehausen-Folge"					
		s3 - "Quickborn-Folge"						
		s2 - "Bernburg-Folge"						
		s1 - "Calvörde-Folge"						
		U	z7 - "Mölin-Folge"					
		z6 - "Friesland-Folge"						
		z5 - "Ohre-Folge"						
z4 - "Aller-Folge"								
Unterp Perm (Rotliegend)	z3 - "Leine-Folge"							
	z2 - "Stäbfurt-Folge"							
	z1 - "Werra-Folge"							
	Oberrotliegend							
	Unterrotliegend							

<p>Salzvorkommen</p> <ul style="list-style-type: none"> untersuchungswürdig bedingt regional untersuchungswürdig nicht untersuchungswürdig 	<p>Ton- und Tonsteinvorkommen</p> <ul style="list-style-type: none"> Formation mit hohem Ton- bzw. Tonsteinanteil regionale und lokale Verbreitung von Ton- und Tonsteinen gut prognostizierbar regionale und lokale Verbreitung von Ton- und Tonsteinen nur schwer prognostizierbar Formation mit höherem grobklastischen Anteil (Sandsteine, Siltsteine)
---	---

* Alter des Haselgebirges im Alpenraum fraglich (Perm-Trias)

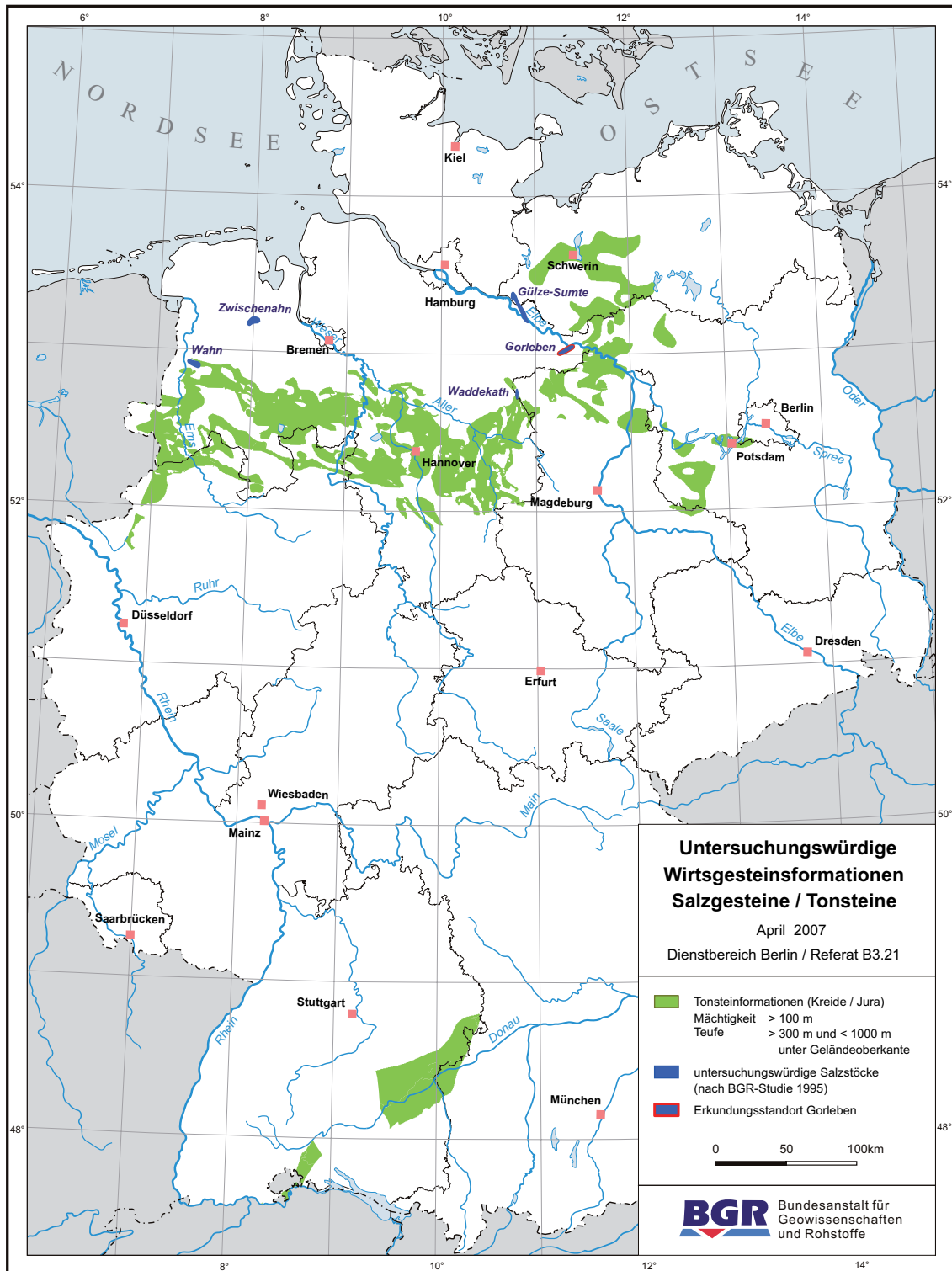


Abb. 3: Karte der untersuchungswürdigen Steinsalz- und Tonsteinformationen in Deutschland.

7 Zusammenfassung und Fazit

Für die Auswahl von potenziellen Wirtsgesteinen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands wurden international anerkannte geowissenschaftliche Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen sowie zusätzliche aus geowissenschaftlicher Sicht als maßgeblich zu betrachtende Kriterien herangezogen. Kristallingesteine wurden wegen der geringen Ausdehnung ungeklüfteter Bereiche und der meist hohen Durchlässigkeit in geklüfteten Bereichen nicht berücksichtigt. Vorkommen der unverfestigten tertiären Tone wurden aufgrund ihrer ungünstigen mechanischen Eigenschaften und dem damit verbundenen aufwändigen Ausbau als Wirtsgesteine nicht betrachtet.

Als Ergebnis wurden in einer Übersichtskarte (Abb. 3), neben dem Salzstock Gorleben und den bereits 1995 von der BGR bewerteten Salzstöcken, Tonsteinvorkommen der Unterkreide in Norddeutschland und des Jura in Nord- und Süddeutschland dargestellt. Als Bearbeitungsgrundlage für den vorliegenden Bericht dienten alle verfügbaren Daten aus Karten- und Archivmaterial und Bohrungen.

BGR, Berlin.

Hannover/Berlin, April 2007

Literaturverzeichnis

- AkEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd-Arbeitskreis Auswahlverfahrens Endlagerstandorte. – 260 S., Köln.
- KOCKEL, F. & KRULL, P. (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. – BGR-Bericht, 48 S., Hannover/Berlin.
- BRÄUER, V., REH, M., SCHULZ, P., SCHUSTER, P. & SPRADO, K. H. (1994): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen. – BGR-Bericht, 147 S., Hannover.
- HOTH, P., WIRTH, H., KRULL, P., OLEA, R., FELDRAPPE, H. & REINHOLD, K. (2005): Tonstein-Formationen - eine mögliche Alternative für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. – Z. geol. Wiss., 33 (4/5), S. 209 - 241, Berlin.