

# Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland - Synthese -



Abschlussbericht

Berlin/Hannover, Juni 2011

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE  
BERLIN/HANNOVER

Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland  
- Synthese -

Autoren:

Klaus Reinhold  
Christian Müller  
Cornelia Riesenberg

Gefördert durch:

BMWi

Geschäftszeichen:

B3.3/B50330-03/2011-0009/005

Förderkennzeichen:

0327765

Datum:

30. Juni 2011

---

## Verkürzte Zusammenfassung

Autoren: Klaus Reinhold  
Christian Müller  
Cornelia Riesenberg

Titel: Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland  
- Synthese -

Stichwörter: Speichergesteine, Barrieregesteine, tieferer Untergrund,  
Speicher-Kataster Deutschland, Informationssystem,  
untersuchungswürdige Gebiete, geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung

Die vorliegende Synthese fasst die Ergebnisse des Gemeinschaftsprojektes der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ zusammen. Ergebnisse sind Potenzialkarten und Erläuterungen zu Speicher- und Barrieregesteinen des tieferen Untergrundes, die hinsichtlich ihrer speichergeologischen Eignung untersucht wurden. Die Erarbeitung erfolgte anhand von Mindestanforderungen, die im Projekt definiert wurden und insbesondere den Nutzungsaspekt der dauerhaften geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> berücksichtigen. Die bundesweiten Potenzialkarten von stratigraphisch definierten Speicher- und Barrierekomplexen des oberen Paläozoikum und des Mesozoikum werden hier auf Grundlage der Arbeiten von Teilprojekten erläutert. Die Potenzialkarten wurden zusammen mit Nachweisdaten zu Tiefbohrungen, seismischen Messungen und Untergrundporenspeichern in eine GIS-basierte Kartenanwendung integriert und werden zusammen mit den Abschlussberichten der Teilprojekte bereitgestellt.

---

Inhaltsverzeichnis		Seite
	Verkürzte Zusammenfassung	2
1	Einleitung	5
2	Projektstruktur und Datengrundlage	6
3	Methodik	7
3.1	Untersuchungsgebiete	8
3.2	Speicher- und Barrierekomplexe	8
3.2.1	Kriterien zur Übersichtskartierung von Speicherkomplexen im Maßstab 1:1.000.000	10
3.2.2	Kriterien zur Übersichtskartierung von Barrierekomplexen im Maßstab 1:1.000.000	11
3.2.3	Regionalgeologische Karten im Maßstab 1:300.000	14
3.2.4	Speicherstrukturen	14
4	Das Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland	15
4.1	Geodateninfrastruktur	15
4.2	Fachliche Themenstrukturierung	16
4.2.1	Topographische Grundlagendaten	16
4.2.2	Karten der Speicher- und Barrierekomplexe	17
4.2.3	Nachweisdaten	18
4.2.4	Zusätzliche Daten	20
4.3	Nutzerorientiertes Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland	20
5	Speichergeologische Charakterisierung der Speicher- und Barrierekomplexe	22
5.1	Permokarbon	23
5.1.1	Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex	23
5.1.2	Ablagerungen des Rotliegend als potenzieller Barrierekomplex	27
5.2	Zechstein	30
5.2.1	Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex	31
5.2.2	Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex	31
5.3	Buntsandstein	36
5.3.1	Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex	36
5.3.2	Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex	43
5.4	Muschelkalk	47
5.4.1	Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)	47
5.4.2	Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)	53
5.5	Mittlerer Keuper (Süddeutschland)	56

Inhaltsverzeichnis	Seite
5.5.1 Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex	56
5.5.2 Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex	57
5.6 Oberer Keuper, Unterjura und unterer Mitteljura	63
5.6.1 Ablagerungen des Oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex	63
5.6.2 Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex	69
5.7 Mitteljura und Oberjura	73
5.7.1 Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex	73
5.7.2 Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)	78
5.7.3 Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)	79
5.8 Kreide	84
5.8.1 Ablagerungen der Unterkreide als potenzieller Speicherkomplex (Norddeutschland)	84
5.8.2 Ablagerungen der oberen Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)	89
5.8.3 Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex (Norddeutschland)	89
5.8.4 Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)	93
5.9 Tertiär	94
5.9.1 Ablagerungen des Tertiär im süddeutschen Molassebecken	94
5.9.2 Ablagerung des Tertiär im Oberrheingraben	96
6 Zusammenfassung	99
7 Grenzen der Studie	101
8 Ausblick	103
Danksagung	105
Literaturverzeichnis	106
Abbildungsverzeichnis	118
Tabellenverzeichnis	122
Glossar	123
Anhang: Liste der Teilprojekte	132

Gesamtseitenzahl: 133 Seiten, ein Anhang und eine CD

## 1. Einleitung

Die Nutzung tiefer Speicherhorizonte beispielsweise für die Erdgasspeicherung, die tiefe Geothermie, die Versenkung von Solen aus dem Kavernenbau oder die Versenkung von Formationswässern aus der Kohlenwasserstoffproduktion gewinnt eine kontinuierlich zunehmende Bedeutung für die Sicherstellung der Energieversorgung in Deutschland. Eine der zukünftig zusätzlichen Nutzungsoptionen für die Speichergesteine des tieferen Untergrundes ist die dauerhafte geologische Speicherung von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ; ugs.: Kohlendioxid) zur Verminderung der Kohlendioxid-Emissionen in die Atmosphäre.

Um die geologischen Anforderungen für eine dauerhafte geologische Speicherung von  $\text{CO}_2$  zu präzisieren, werden seit mehr als zehn Jahren weltweit Projekte zur Erfassung und Bewertung der  $\text{CO}_2$ -Speicherpotenziale im Untergrund durchgeführt. Erste quantitative Abschätzungen für ausgewählte Regionen in Europa wurden von HOLLOWAY et al. (1996) veröffentlicht. Detaillierte Arbeiten zur Erfassung der  $\text{CO}_2$ -Speicherpotenziale in einigen europäischen Ländern folgten, z. B. im Rahmen der EU-Projekte GESTCO (CHRISTENSEN & HOLLOWAY 2004), CO2STORE (CHADWICK et al. 2008) und GeoCapacity (VANGKILDE-PEDERSEN et al. 2009). Derzeit werden in Deutschland insbesondere geotechnische Fragestellungen zur geologischen  $\text{CO}_2$ -Speicherung durch die von der Bundesregierung geförderten Programme GEOTECHNOLOGIEN (STROINK et al. 2009) und COORETEC (BMW 2007) untersucht.

Auch für Deutschland liegt eine rein volumetrische Abschätzung der  $\text{CO}_2$ -Speicherkapazität in Salzwasser führenden Aquiferstrukturen vor – auf Grundlage von ersten Regionalstudien (MAY et al. 2003, MAY et al. 2005), die unter Berücksichtigung zusätzlicher Studien im Jahr 2010 neu berechnet wurde (KNOPF et al. 2010). Demnach könnten in Sole führenden Aquiferstrukturen 6,3 bis 12,8 Mrd. Tonnen  $\text{CO}_2$  gespeichert werden. Zusätzlich wurde für die Erdgasfelder eine Kapazität von 2,75 Mrd. Tonnen  $\text{CO}_2$  berechnet (GERLING 2008). Barrieregesteine wurden bei den bisherigen volumetrischen Abschätzungen nicht untersucht.

Bei einer zukünftigen industriellen Anwendung der CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage) in Deutschland könnten jährlich mehrere Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$  für die Speicherung im tieferen Untergrund anfallen. Die dauerhafte Speicherung derart großer Mengen in Salzwasser führenden Aquiferen beeinflusst auch das Umfeld der eigentlichen Aquiferstruktur im tieferen Untergrund z. B. durch Erhöhung des Reservoirdrucks (SCHÄFER et al. 2010). Daher reicht die rein volumetrische Betrachtung des verfügbaren Porenraumes innerhalb einer Speicherstruktur nicht aus, um das für die Speicherung nutzbare Volumen und die langfristige Sicherheit eines Speicherprojektes zu bewerten (v. GOERNE et al. 2010). Als Grundlage für eine verlässliche Bilanzierung des Potenzials und für eine Bewertung der langfristigen Sicherheit müssen daher Speicher- und Barrieregesteine deutschlandweit großflächig bewertet werden.

Zur Erstellung einer solchen Planungs- und Bewertungsgrundlage hat die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Rahmen des COORETEC-Programmes gemeinsam mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) der Bundesländer das Projekt „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ im Zeitraum April 2008 bis März 2011 durchgeführt. Ziel des Projektes war die Ausweisung untersuchungswürdiger Gebiete mit Vorkommen von Salzwasser führenden Aquiferen und Barrieregesteinen im tieferen Untergrund nach bundesweit einheitlichen speichergeologischen Kriterien. Dazu wurde der speichergeologische Kenntnisstand für die Bundesländer ausführlich dokumentiert sowie Nachweisdatensätze über Tiefbohrungen und seismische Messungen aufbereitet und verfügbar gemacht. Die ausgewiesenen Gebiete sind außer für eine CO<sub>2</sub>-Speicherung grundsätzlich auch für andere Nutzungsoptionen untersuchungswürdig wie z. B. die Gewinnung tiefer Erdwärme oder die Speicherung von Erdgas.

Die vorliegende Synthese führt die Ergebnisse der Teilprojekte zum Speicher-Kataster Deutschland für das gesamte Projekt in Form von 18 abgestimmten Potenzialkarten zu permischen und mesozoischen Speicher- und Barrierekomplexen zusammen. Detaillierte regionalgeologische Beschreibungen der Speicher- und Barrierekomplexe befinden sich in den Abschlussberichten der Teilprojekte (Liste der Teilprojekte, s. Anhang).

Als Hilfestellung für den Leser befindet sich ab Seite 123 ein Glossar mit einer Auswahl von Fachbegriffen, Abkürzungen und Akronymen, die in dieser Synthese verwendet werden.

## **2. Projektstruktur und Datengrundlage**

Im Projekt Speicher-Kataster Deutschland haben die SGD der Länder jeweils ihr Bundesland bearbeitet. Abweichend davon wurden die Arbeiten für Hamburg vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, die Arbeiten für Berlin und für ausgewählte Regionen in Sachsen vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg und die Arbeiten für das Saarland vom Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz übernommen. Die Bearbeitung für Niedersachsen und Bremen wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe durchgeführt. Über den Stand der fachlichen Arbeiten für Niedersachsen und Bremen ist das niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) regelmäßig informiert worden.

Geologische und geophysikalische Daten zum tieferen Untergrund, wie z. B. die speichergeologisch relevanten Parameter Porosität und Permeabilität, werden überwiegend im Rahmen der Exploration nach Kohlenwasserstoffen erhoben und sind als Betriebs- und

Geschäftsgeheimnisse geschützt. Nach Lagerstättengesetz (LagerstG) sind die Untersuchungsergebnisse den zuständigen Landesbehörden mitzuteilen. Die SGD der Länder haben damit die Möglichkeit und das Recht der fachlichen Nutzung und Auswertung der in ihrem Zuständigkeitsbereich erhobenen Daten, um z. B. landesweit Bewertungen zur Nutzung des Untergrundes zu erarbeiten. Durch die hier gewählte Projektstruktur und einer Nutzungsgenehmigung industrie-eigener Daten durch den Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. (WEG) konnten im Projekt Speicher-Kataster Deutschland bundesweit speichergeologisch relevante Informationen genutzt werden.

Die Projektergebnisse basieren auf der Aufbereitung und Neubewertung bereits bestehender Daten aus Bohrdatenbanken sowie geotektonischer und geothermischer Kartenwerke (z. B. BALDSCHUHN et al. 1996; DIENER et al. 1989). Sie bilden die Basis für die im Projektverlauf erstellten Karten über untersuchungswürdige, stratigraphisch definierte Speicher- und Barrierekomplexe. Unterstützt wurden die regionalen Analysen der Speicher- und Barrierekomplexe durch die Auswertung der bundesweiten Kohlenwasserstoff-Bohrungsdatenbank (KW-DB) im LBEG. Digitale Nachweisdaten über Tiefbohrungen, seismische Messungen, Erdöl- und Erdgasfelder sowie in Betrieb befindliche Untergrundporenspeicher sind ergänzend zu den Karten im Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland zusammengestellt. Bei entsprechender Zustimmung der SGD der Bundesländer (Erteilung eines Mandates) wurden dazu die Informationen durch das LBEG zentral bereitgestellt (BARDENHAGEN & BRAUNER 2011).

### **3. Methodik**

Aus den langjährigen Erfahrungen mit der Nutzung tiefer Aquifere im Rahmen genehmigungspflichtiger Industrieprojekte wurden grundlegende geologische und geotechnische Anforderungen an unterirdische Speicher abgeleitet (z. B. AUST & KREYSING 1978, DRESCHER 1997, KRULL et al. 1997, BRAUNER et al. 2007). Es gelten zwei grundsätzliche geologische Voraussetzungen für die unterirdische Speicherung:

- das Vorhandensein eines Speicherhorizontes mit ausreichender Aufnahmefähigkeit (Speicherkapazität)
- das Vorhandensein eines Barrierehorizontes mit einer sicheren, langzeitwirksamen Abdichtung und Festigkeit gegenüber einem zulässigen Lagerstättendruck

Im Projekt Speicher-Kataster Deutschland wurden speichergeologische Eigenschaften auf Basis der verfügbaren Datengrundlagen regionalisiert und in einem bundesweiten Geographischen Informationssystem (GIS) erfasst. In den Teilprojekten wurden dazu Informationen über die regionalgeologischen Gegebenheiten in den jeweiligen Untersuchungsgebieten erarbeitet. Die geologische Bearbeitung in den Untersuchungsgebieten erfolgte schrittweise:



1. Definition potenzieller Speicher- und Barrierekomplexe.
2. Ausweisung untersuchungswürdiger Gebiete (Bearbeitungsmaßstab 1:1.000.000) anhand von Tiefenlage und Mächtigkeit potenzieller Speicher- und Barrierekomplexe.
3. Bewertung speichergeologischer Eigenschaften der Speicher- und Barrierehorizonte in den untersuchungswürdigen Gebieten anhand der jeweils verfügbaren Datengrundlagen (z. B. Porositäts- und Permeabilitätswerte).
4. Erstellung von strukturgeologischen Karten im Bearbeitungsmaßstab 1:300.000 (Isobathen, Isopachen und generalisierte Störungen) der Speicher- und Barrierekomplexe für Teilgebiete.
5. Generelle Einschätzung des Potenzials für die Untergrundspeicherung unter Beachtung der räumlichen Konstellation von Speicher- und Barrierehorizonten.

Diese Vorgehensweise erlaubt eine flächenhafte Bewertung der Speicherpotenziale in Deutschland. Standortspezifische Aussagen, insbesondere für die dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub>, sind damit grundsätzlich nicht möglich. Dafür müssen die lokalen geologischen und lagerstättentechnischen Verhältnisse detailliert untersucht, analysiert und bewertet werden.

### **3.1 Untersuchungsgebiete**

Unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten und des geologischen Kenntnisstandes wurden in den Bundesländern Untersuchungsgebiete festgelegt (Abb. 3.2-1). Diese sind in den Abschlussberichten der Teilprojekte dokumentiert. Bei der Festlegung wurden hauptsächlich in Betracht gezogen:

- Kenntnisse zur Verbreitung von potenziell geeigneten Speicher- und Barrieregesteinen
- Kenntnisse zur Tiefenlage potenziell geeigneter Speicher- und Barrieregesteine
- Art und Umfang der verfügbaren Datengrundlage

### **3.2 Speicher- und Barrierekomplexe**

Unter den Begriffen Speichergesteins- und Barrieregesteinskomplex (kurz Speicher- bzw. Barrierekomplex) sind Formationen oder Gesteinsschichten zusammengefasst, die eine vertikal und lateral abgrenzbare Einheit innerhalb eines ehemaligen Sedimentationsraumes bilden. Der stratigraphisch definierte Komplex enthält weit verbreitete Horizonte, die nach dem derzeitigen Kenntnisstand zur Speicherung oder zur Abdichtung geeignet sein können. Die mögliche Eignung der Gesteinskomplexe wird anhand bestimmter Kriterien



Abb. 3.2-1: Regionale Schwerpunkte der Untersuchungen in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).

ausgewiesen (s.u.) und in den Potenzialkarten (Bearbeitungsmaßstab 1:1.000.000) dargestellt.

Speicherhorizonte sind poröse, geklüftete oder kavernöse Gesteinsschichten. Der Gesamthohlraumanteil einer Gesteinsschicht wird durch die Ablagerungsbedingungen und die weitere geologische Entwicklung beeinflusst. Entscheidende Parameter zur Bewertung eines Speichergesteins sind Mächtigkeit, lateral zusammenhängende Ausdehnung sowie die nutzbare Porosität und Permeabilität. Neben einigen klüftig-kavernösen Karbonaten wurden im Projekt vorrangig poröse bis klüftig-poröse Sandsteine als potenzielle Speichergesteine erfasst.

Barrierehorizonte dienen der sicheren, langfristigen geologischen Abdichtung der darunter liegenden Speichergesteine. Die Barrierewirkung von Gesteinsschichten wird durch petrographische, petrochemische und strukturelle Eigenschaften bestimmt. Insbesondere Salz- und Tongesteine besitzen günstige Barriereigenschaften, die durch eine sehr geringe Durchlässigkeit und ein günstiges Bruch- und Deformationsverhalten bestimmt sind (z. B. WARREN 2006, HOTH et al. 2007).

Die Ausweisung von Gebieten mit geeigneten Speicher- und Barrierekomplexen erfolgte anhand überregional anwendbarer und kartierbarer Kriterien. Top und Basis der Speicher- und Barrierekomplexe wurden durch stratigraphische Grenzen festgelegt. Nur diese Festlegung ermöglichte die Vereinheitlichung auf länderübergreifende Einheiten (vgl. Tab. 3.2-1, Tab. 3.2-2). Zudem gibt es eine ausreichend gute Datengrundlage zu stratigraphischen Horizonten, z. B. eine große Anzahl an geologischen Karten. Bei der Abgrenzung untersuchungswürdiger Gebiete wurden die Kenntnisse der lithologischen und gesteinsphysikalischen Eigenschaften im Bearbeitungsmaßstab 1:1.000.000 berücksichtigt. Dadurch konnten entsprechend den definierten Speicher- und Barrierekomplexen, jungpaläozoische, mesozoische und känozoische Ablagerungen in Deutschland kategorisiert werden. Der Detaillierungsgrad richtete sich dabei nach der verfügbaren Datengrundlage und ist nicht für alle Bundesländer vergleichbar. Rotliegend und Zechstein wurden z. B. in Schleswig-Holstein und Hamburg aufgrund der unzureichenden Datenbasis und der extremen Tiefenlage des nicht-salinaren Rotliegend nur summarisch zum Zweck der Kategorisierung abgeschätzt (HABLE et al. 2011).

### **3.2.1 Kriterien zur Übersichtskartierung von Speicherkomplexen im Maßstab 1:1.000.000**

Ein Ziel des Projektes war die Kategorisierung möglicher Speicherhorizonte auf Basis von Mindestanforderungen. Dazu wurden in den Untersuchungsgebieten die Speicherkomplexe anhand der Parameter Tiefenlage und Mächtigkeit im Bearbeitungsmaßstab 1:1.000.000 kategorisiert. Folgende Kriterien wurden aus CHADWICK et al. (2008) abgeleitet:

- Mächtigkeit: Gesamtmächtigkeit der untersuchungswürdigen Speichergesteine in den jeweiligen Speicherkomplexen > 10 m (Nettomächtigkeit)
- Tiefenlage: Top des Speicherkomplexes > 800 m unter Geländeoberkante

Für die Erfassung der Speichergesteinsmächtigkeit wurde vorrangig die lithostratigraphische Einstufung der potenziell geeigneten geologischen Horizonte berücksichtigt (z. B. Solling-Sandstein). Die Kenntnisse über den lithologischen Aufbau einer Formation ermöglichen eine Abschätzung der Mächtigkeit der potenziell geeigneten Speichergesteine der jeweiligen Formation. In einigen Teilprojekten konnte diese Abschätzung durch die Auswertung der in der KW-DB der Länder im LBEG digital vorhandenen Ergebnisse von Kernuntersuchungen und der verfügbaren Aufschlussakten sowie anhand von Publikationen bestätigt werden.

Zuerst wurden untersuchungswürdige Gebiete mit einer Tiefenlage der potenziellen Speichergesteine des entsprechenden Komplexes von > 800 m und einer Mächtigkeit von > 10 m ausgewiesen (Potenzialkarten). Für die weitergehende Charakterisierung dieser Gebiete wurden, soweit vorhanden, die speichergeologisch relevanten Parameter Porosität und Permeabilität berücksichtigt. Nachfolgende Kriterien wurden festgelegt:

- Porosität: Speichergesteine mit Porositäten > 10 %
- Permeabilität: Speichergesteine mit Durchlässigkeiten > 10 mD

Eine Differenzierung der Art der angegebenen Porosität (z. B. Gesamtporosität, effektive Porosität, Nutzporosität) erfolgte hierbei nicht. Eine weitergehende Differenzierung der speichergeologischen Kennwerte (Porosität > 20 % und Permeabilität > 300 mD) erfolgte, sofern die Daten dies ermöglichten. Eine Regionalisierung der Porositäts- und Permeabilitätswerte als weiterführende Differenzierung in den untersuchungswürdigen Gebieten war aufgrund der verfügbaren Datengrundlage nur eingeschränkt möglich. Bundesweit wurden daher die untersuchungswürdigen Gebiete lediglich anhand der Kriterien Tiefenlage und Mächtigkeit kategorisiert. Zusätzliche Angaben zu verfügbaren Fachdaten, wie z. B. Kernuntersuchungen, sind in der GIS-Kartenanwendung sowie in den Abschlussberichten der Teilprojekte dokumentiert (Liste der Teilprojekte, s. Anhang).

### **3.2.2 Kriterien zur Übersichtskartierung von Barrierekomplexen im Maßstab 1:1.000.000**

Analog zu den Speicherkomplexen wurden potenzielle Barrierekomplexe im Maßstab 1:1.000.000 kategorisiert. Ihre langfristige Wirksamkeit als geologische Barriere haben Ton- und Salzgesteine z. B. als abdeckende Schichten von Erdöl- und Erdgaslagerstätten nachgewiesen (z. B. OSIPOV et al. 2004, WARREN 2006). Die Verbreitung potenzieller Barrierekomplexe mit Salz- und Tongesteinen wurden nach den Empfehlungen von CHADWICK et al. (2008) wie folgt ausgewiesen:

**Tab. 3.2-1:** Bearbeitete stratigraphische Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten (NW = Nordrhein-Westfalen, NI = Niedersachsen inkl. Bremen, SH = Schleswig-Holstein inkl. Hamburg, MV = Mecklenburg-Vorpommern, BB = Brandenburg, inkl. Berlin und ausgewählte Regionen in Sachsen, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen, HE = Hessen).

Periode/Epoche	Alter/Formation	NW		NI		SH		MV		BB		ST		TH		HE		
		SK	BK	SK	BK	SK	BK	SK	BK	SK	BK	SK	BK	SK	BK			
Quartär																		
Tertiär	Pliozän																	
	Miozän																	
	Oligozän	Chatt																
		Rupel																
	Eozän	Mächtige tonige Ablagerungen des Tertiär trennen in N-Deutschland das Salz- und Süßwasserstockwerk																
Kreide	Oberkreide	Maastricht																
		Campan																
		Santon																
		Coniac																
		Turon																
		Cenomane																
	Unterkreide	Alb																
		Apt																
		Barrême																
		Hauterive																
		Valangin																
		Berrias / "Wealden"																
		Jura	Oberjura (Malm)	Tithon														
Kimmeridge																		
Oxford																		
Mitteljura (Dogger)	Callov																	
	Bathon																	
	Bajoc																	
	Aalen																	
Unterjura (Lias)	Toarc																	
	Pliensbach																	
	Sinemur																	
Hettang																		
Trias	Keuper	O Rhätkeuper																
		Steinmergelkeuper																
		M Oberer Gipskeuper																
		Schilfsandstein																
		U Unterer Gipskeuper																
	Muschelkalk	Lettenkeuper																
		Ob. Muschelkalk																
		Mittl. Muschelkalk																
	Buntsandstein	Unt. Muschelkalk																
		O Röt																
		M Solling-Formation																
			Hardegsen-Formation															
			Detfurth-Formation															
U Volpriehausen-Frm.																		
		Quickborn-Formation																
Bernburg-Formation																		
	Calvörde-Formation																	
Perm	Zechstein	Fulda-Formation																
		Friesland-Formation																
		Ohre-Formation																
		Aller-Formation																
		Leine-Formation																
		Staßfurt-Formation																
		Werra-Formation																
	Rotliegend	Oberrotliegend																
		Unterrrotliegend																

**Erläuterung:**

- Vorkommen der bearbeiteten potenziellen Speicherhorizonte
- Vorkommen der bearbeiteten potenziellen Barrierehorizonte

— Exemplarische Grenzen der Speicher- und Barrierekomplexe

SK Speicherkomplex BK Barrierekomplex

**Tab. 3.2-2:** Bearbeitete stratigraphische Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten (BY = Bayern, ORG = Oberrheingraben (Teiluntersuchungsgebiet in Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz), RP /SL = Rheinland-Pfalz / Saarland, Molassebecken (Teiluntersuchungsgebiet in Baden-Württemberg und Bayern)).

Periode/Epoche		Alter/Formation	BY (Nord)		Molassebecken		ORG		RP/SL	
			SK	BK	SK	BK	SK	BK	SK	BK
Quartär										
Tertiär	Pliozän									
	Miozän									
	Oligozän	Chatt								
		Rupel								
	Eozän									
Paläozän										
Kreide	Oberkreide	Maastricht								
		Campan								
		Santon								
		Coniac								
		Turon								
		Cenoman								
	Unterkreide	Alb								
		Apt								
		Barrême								
		Hauterive								
		Valangin								
Berrias / Wealden										
Jura	Oberjura (Malm)	Tithon								
		Kimmeridge								
		Oxford								
	Mitteljura (Dogger)	Callov								
		Bathon								
		Bajoc								
		Aalen								
	Unteljura (Lias)	Toarc								
		Pliensbach								
		Sinemur								
Hettang										
Trias	Keuper	Oberkeuper								
		Feuerletten / Knollenmergel								
		Sandsteinkeuper								
		Gipskeuper								
		Unterkeuper								
	Muschelkalk	Ob. Muschelkalk								
		Mittl. Muschelkalk								
		Unt. Muschelkalk								
	Buntsandstein	O	Röt							
			Solling-Formation							
		M	Hardeggen-Formation							
Defurth-Formation										
Volpriehausen-Frm.										
U		Quickborn-Formation								
		Bernburg-Formation								
Calvörde-Formation										
Perm	Zechstein	Fulda-Formation								
		Friesland-Formation								
		Ohre-Formation								
		Aller-Formation								
		Leine-Formation								
		Staufurt-Formation								
	Werra-Formation									
	Rotliegend / Karbon	Rotliegend								
Oberkarbon										

**Erläuterung:**

- Vorkommen der bearbeiteten potenziellen Speicherhorizonte
- Vorkommen der bearbeiteten potenziellen Barrierehorizonte
- Vorkommen mit teilweiser unsicherer stratigraphischer Zuordnung
- SK Speicherkomplex
- BK Barrierekomplex

- Mächtigkeit: Mächtigkeit geeigneter Barrieregesteinshorizonte im jeweiligen Barrierekomplex > 20 m
- Tiefenlage: Basis des Barrierekomplexes > 800 m unter Geländeoberkante

Die so ausgewiesenen Barrierekomplexe können tiefer liegende potenzielle Speicherhorizonte gegen höhere Horizonte vertikal und lateral hydrodynamisch isolieren.

### 3.2.3 Regionalgeologische Karten im Maßstab 1:300.000

Als untersuchungswürdig werden hier Gebiete bezeichnet, in denen die jeweiligen Mindestanforderungen erfüllt werden. Für einige untersuchungswürdige Gebiete wurden strukturgeologische Informationen zu den Speicher- und Barrierekomplexen erarbeitet. Dazu wurden Isobathen- und Isopachenkarten der Komplexe im Bearbeitungsmaßstab 1:300.000 in den Teilprojekten erstellt, die zum Teil auch den Verlauf von Störungen beinhalten. Diese Karten dienen der weiteren regionalen Bewertung der strukturgeologischen Situation. Die Tiefenlinienkarten geben Aufschluss über die strukturellen Gegebenheiten im tieferen Untergrund. Die Mächtigkeitskarten dokumentieren paläogeographische Besonderheiten wie Hochlagen und Senken. Dabei sind wiederum Mächtigkeitsunterschiede zu berücksichtigen, die durch Erosion verursacht wurden. Die Bewertung der regionalgeologischen Strukturen und der speicher- bzw. barrierewirksamen Horizonte erfolgte getrennt, sofern die verwendeten Daten dies ermöglichten. Aufgrund komplexer strukturgeologischer Verhältnisse, wie z. B. im Oberrheingraben, wurden auch verschiedene Horizonte zu einem Speicher- bzw. Barrierekomplex zusammengefasst. Die jeweiligen regionalgeologischen Karten sind in den Abschlussberichten der Teilprojekte der Bundesländer dokumentiert (Liste der Teilprojekte, s. Anhang).

### 3.2.4 Speicherstrukturen

Weitere Voraussetzungen für die Nutzung der Speichergesteine als Untergrundspeicher sind das Vorhandensein von abdichtenden Barrieregesteinen im Hangenden und von geeigneten Fallenstrukturen, die ein Entweichen gespeicherter Stoffe verhindern. Die exemplarisch durchgeführten Charakterisierungen von Einzelstrukturen (z. B. in Thüringen und Nordrhein-Westfalen) verdeutlichen, dass die im Projekt verfügbaren regionalen Informationen eine weitergehende speichergeologische Bewertung nur eingeschränkt zulassen (s. DÖLLING & LINDER 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010).

In einigen Teilprojekten wurden einzelne Aquiferstrukturen erfasst, sofern diese ein Mindestvolumen von 0,1 km<sup>3</sup> aufweisen. Diesem Grenzwert liegen Abschätzungen zur Ausdehnung der Speicherstruktur, zur Mächtigkeit potenzieller Speicherhorizonte und zur Porosität zugrunde. So entspricht eine Speicherstruktur mit einem Porenvolumen von 0,1 km<sup>3</sup> einer Speicherkapazität von 12 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> (bei einer angenommenen Speichereffizienz von 20 % und einer angenommenen CO<sub>2</sub>-Dichte von 600 kg/m<sup>3</sup>).

## 4. Das Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland

Geographische Informationssysteme (GIS) dienen der Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Präsentation von Daten, die einen räumlichen Bezug aufweisen. Das Speicher-Kataster Deutschland ist das erste bundesweite Informationssystem über Speicher- und Barrieregesteine des tieferen Untergrundes. Es enthält Ergebnisse der regionalen Untersuchungen, die durch die Staatlichen Geologischen Dienste der jeweiligen Bundesländer, oder die für die jeweiligen Bundesländer zuständigen fachlichen Bearbeiter der BGR, durchgeführt wurden. Zusätzlich werden in dem Informationssystem Nachweisdaten zu Tiefbohrungen (tiefer als 500 m), zu geophysikalischen Messungen, zu Erdöl- und Erdgasfeldern sowie zu Untergrundporenspeichern zur Verfügung gestellt.

### 4.1 Geodateninfrastruktur

Die länderbezogenen Projektergebnisse wurden von der BGR in einem Geographischen Informationssystem zentral zusammengeführt, harmonisiert, verknüpft und einheitlich visualisiert. Die Bearbeiter der Teilprojekte nutzten von der BGR zur Verfügung gestellte Musterdatensätze (Shapefiles) als Vorlage. Diese Shapefiles dienten als Grundlage für die strukturierte Erfassung der geometrischen Daten sowie von Sachdaten.

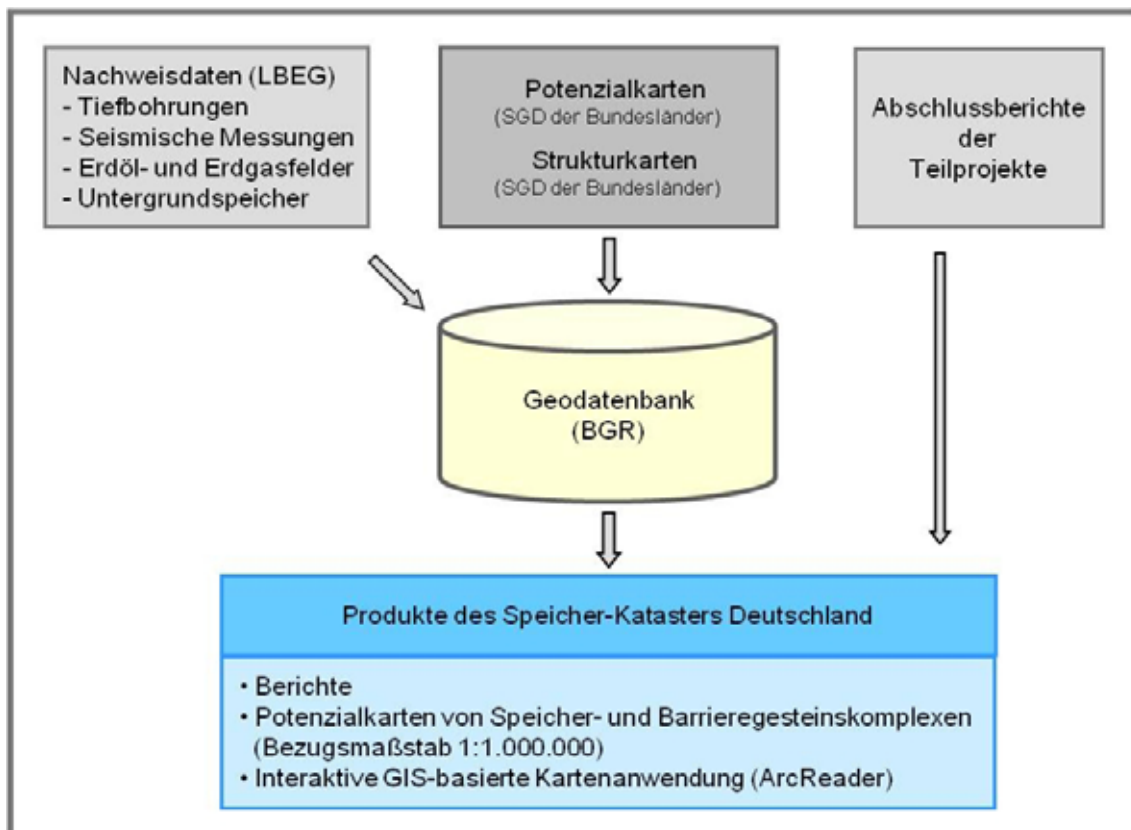
Nach der Abstimmung der erfassten Komplexe über die Ländergrenzen hinweg erfolgte die bundesweite Darstellung der einzelnen Speicher- und Barrieregesteinskomplexe im Maßstab 1:1.000.000 einheitlich im Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Zentralmeridian: 9° östliche Länge; GK3). An den Bezugsmaßstab 1:1.000.000 wurden sämtliche geologischen und topographischen räumlichen Objekt-Daten angepasst.

Die Organisation und Verwaltung der Geometrie- und Sachdaten erfolgte in einer Geodatenbank. Diese ermöglichte:

- die übersichtliche Verwaltung und Speicherung von Daten mit Raumbezug
- die Vermeidung von Redundanzen im Datenbestand
- den problemlosen Im- und Export von Shapefiles
- die Darstellung von Beziehungen zwischen Objekten mit Raumbezug
- die Erstellung einer Karten-Anwendung mittels der Software ArcPublisher der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) auf Grundlage der Geodatenbank

In diese Geodatenbank konnten Nachweisdaten zu Bohrungen, seismischen Messungen, Erdöl- und Erdgasfeldern sowie zu Untergrundporenspeichern integriert werden. Die bohrungsbezogenen Nachweisdaten wurden mit den entsprechenden räumlichen Daten der bearbeiteten Speicher- und Barrieregesteinskomplexe verknüpft (Abb. 4.1-1).





**Abb. 4.1-1:** Übersicht über die Geodateninfrastruktur im Speicher-Kataster Deutschland.

## 4.2 Fachliche Themenstrukturierung

Im Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland werden topographische Daten zur räumlichen Orientierung, geologische Fachdaten zur Charakterisierung von Speicher- und Barrierekomplexen, Nachweisdaten zu Bohrungen und seismischen Messungen aus der Erkundung des tieferen Untergrundes sowie zusätzliche Informationen zu folgenden gruppierten Themen zur Verfügung gestellt.

### 4.2.1 Topographische Grundlagendaten

Grundlage für die kartographischen Darstellungen sind die Daten zur Topographie der Bundesrepublik Deutschland. Im Folgenden sind die wichtigsten topographischen Themen aufgeführt (z. B. Abb. 5.1-1):

- Bundesgebiet mit den Bundesländern
- Nachbarstaaten
- Landeshauptstädte
- Nord- und Ostsee, Bodensee

Diese topographischen Geobasisdaten stammen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).

#### 4.2.2 Karten der Speicher- und Barrierekomplexe

Für die Darstellung der Speicher- und Barrierekomplexe im Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland wurden zwei Bezugsmaßstäbe gewählt. Die Potenzialkarten (Maßstab 1:1.000.000) stellen die Speicher- und Barrierekomplexe dar. Darüber hinaus wurden in diesem Maßstab auch weitergehende Informationen dargestellt, wie z. B. einschränkende Faktoren (z. B. Abb. 5.1-2).

In den Teilprojekten wurden zudem strukturgeologische Informationen zu untersuchungswürdigen Gebieten mit Speicher- oder Barrieregesteinen erarbeitet und im Maßstab 1:300.000 zusammengestellt. Dazu gehören Isopachen, Isobathen und Störungslinien. Diese Datensätze konnten im Rahmen des Projektes nicht bundeslandübergreifend harmonisiert, verknüpft und einheitlich visualisiert werden. Sie sind daher nicht Bestandteil des Informationssystems Speicher-Kataster Deutschland und nur in den Abschlussberichten der Teilprojekte enthalten (Liste der Teilprojekte, s. Anhang).

Nachstehend sind die Themen aufgeführt, welche im Projektverlauf bearbeitet wurden:

1. Untersuchungsgebiete (Maßstab 1:1.000.000), nicht horizontspezifisch (Abb. 3.2-1)
2. Potenzielle Speicher- und Barrierekomplexe (Maßstab 1:1.000.000), unterteilt in:
  - untersuchte stratigraphische Einheiten
  - Kategorisierung der Ablagerungen nach Tiefenlage und Mächtigkeit
3. Informationen über potenziell geeignete Gebiete mit Speicher- oder Barrieregesteinen im Maßstab 1:300.000 (nicht im Informationssystem enthalten), unterteilt in:
  - Isopachen (stratigraphische Mächtigkeit)
  - Isobathen (Tiefenlage Top Speicherkomplex bzw. Basis Barrierekomplex)
  - Störungen

Im vorliegenden Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland werden folgende potenzielle Speicher- und Barrierekomplexe (SK bzw. BK) dargestellt (s. Tab. 3.2-1 und 3.2-2):

- BK Kreide
- SK Unterkreide und untere Oberkreide
- SK Oberjura
- BK Oberer Mitteljura und Oberjura
- SK Mitteljura
- BK Unterjura und unterer Mitteljura
- SK Oberer Keuper und Unterjura

- BK Mittlerer Keuper
- SK Mittlerer Keuper
- BK Unterer und Mittlerer Keuper
- BK Muschelkalk
- SK Muschelkalk (Oberer Muschelkalk)
- SK Muschelkalk (Unterer und Mittlerer Muschelkalk)
- BK Buntsandstein
- SK Buntsandstein
- BK Zechstein
- SK Zechstein
- BK Rotliegend
- SK Permokarbon (Rotliegend und Karbon)

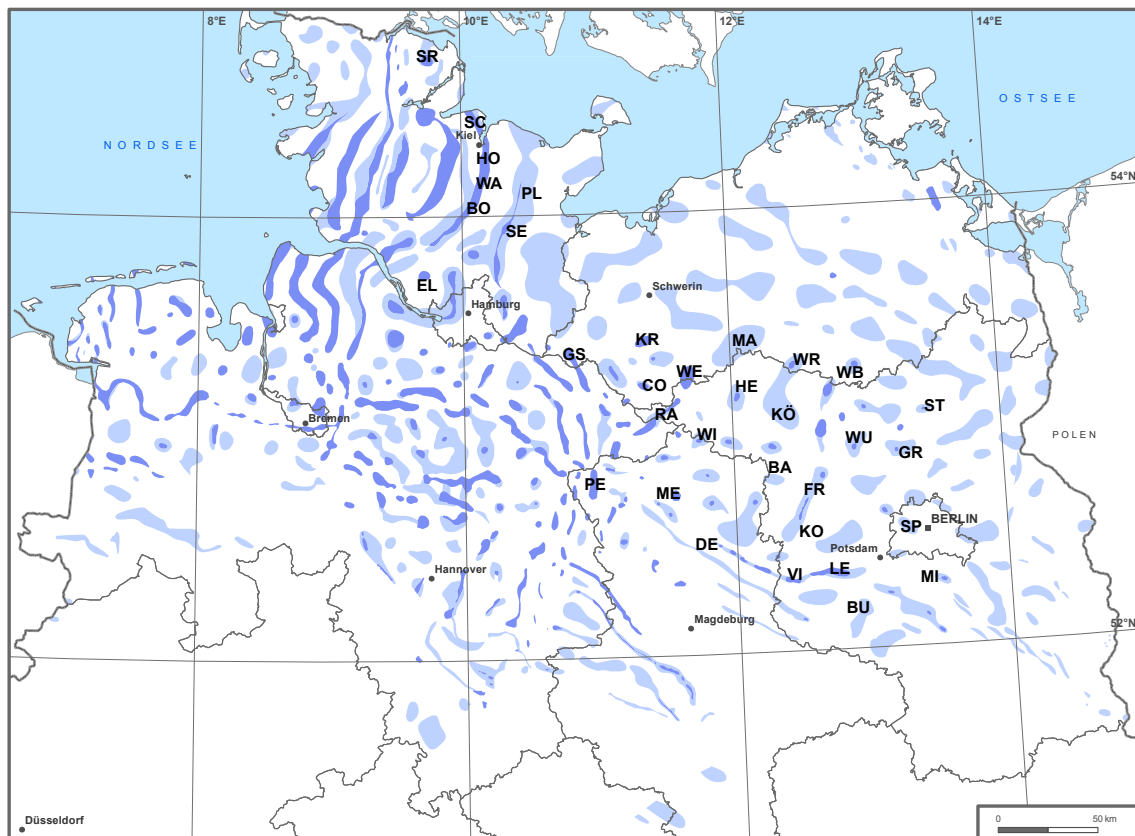
Die Karten zu den Speicher- und Barrierekomplexen wurden von den jeweiligen Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesländer oder von dem für die jeweiligen Bundesländer zuständigen fachlichen Bearbeiter der BGR erarbeitet.

#### **4.2.3 Nachweisdaten**

In Zusammenarbeit zwischen dem LBEG und der BGR wurde ein Nachweissystem über speichergeologisch relevante Informationen aus den umfangreichen Kohlenwasserstoff-Datenbanken erstellt. Dieses Nachweissystem wurde in das Informationssystem zu Speicher- und Barrieregesteinen integriert. Damit besteht die Möglichkeit zur gemeinsamen Darstellung der Nachweisdaten mit den jeweiligen Speicher- und Barrierekomplexen (BARDENHAGEN & BRAUNER 2011, RIESENBERG et al. 2011).

Ziel des Nachweissystems ist es, dem Nutzer einen Überblick über vorhandene Daten zu Tiefbohrungen, 2D- und 3D-Seismik, Erdöl- und Erdgasfelder sowie zu genutzten Untergrundporenspeichern zu geben. Nachweisdaten informieren beispielsweise über die Lage von Bohrungen, über Messungen oder den Eigentümer. Diese Daten werden auch als Stamm- oder Kopfdaten bezeichnet und sind frei verfügbare Informationen. Im Unterschied dazu liefern Fachdaten diskrete (Mess-) Informationen, wie z. B. geologische Profile, Daten der Bohrlochmessungen, Porositäts- sowie Permeabilitätsmesswerte, und sind vertraulich zu behandeln. Da die Fachdaten in der Regel Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse sind, deren Einsichtnahme und Nutzung die Zustimmung des Dateneigentümers voraussetzen, werden sie im Informationssystem nicht vorgehalten.

Der Nutzer des Informationssystems kann sich Nachweisdaten zu Bohrungen anzeigen lassen, die für einen bestimmten Speicher- oder Barrierekomplex relevant sind. Das sind die Bohrungen, die stratigraphische Einheiten des jeweiligen Komplexes erreicht oder durchteuft haben. Zusätzlich werden Bohrungen angezeigt, die diesen Komplex nicht, dafür aber ältere Schichten (i.d.R. tieferliegende Schichten) angetroffen haben und als Belegbohrungen für die Verbreitung des Komplexes von Bedeutung sind. Die Nachweisdaten geben dem Anwender einen Überblick über die durchgeführten Messungen in Gebieten mit untersuchungswürdigen Speicher- und Barrierekomplexen. Ferner wurden im Rahmen des Nachweissystems Abweichdaten zu Bohrungen sowie Tabellen zu Bohrkernen und geophysikalischen Bohrlochmessungen seitens des LBEG erstellt (BARDENHAGEN & BRAUNER 2011). Letztere konnten aufgrund fehlender programmtechnischer Voraussetzungen nicht in die Kartenanwendung aufgenommen werden.



**Salzstrukturen:** BA = Barenthin, BO = Boostedt, BU = Buchholz, CO = Conow, DE = Demker, EL = Elmshorn, FR = Friesack, GR = Grüneberg, GS = Gülze-Sumte, HE = Helle, HO = Honigsee, KO = Kotzen, KÖ = Königsberg, KR = Kraak, LE = Lehnin, MA = Marnitz, ME = Messdorf, MI = Mittenwalde, PE = Peckensen, PL = Plön, RA = Rambow, SC = Schwedeneck, SE = Segeberg, SP = Spandau, SR = Sterup, ST = Storkow, VI = Viesen, WA = Warnau, WB = Wesenberg, WE = Werle, WI = Wittenberge, WR = Wredenhagen, WU = Wulkow

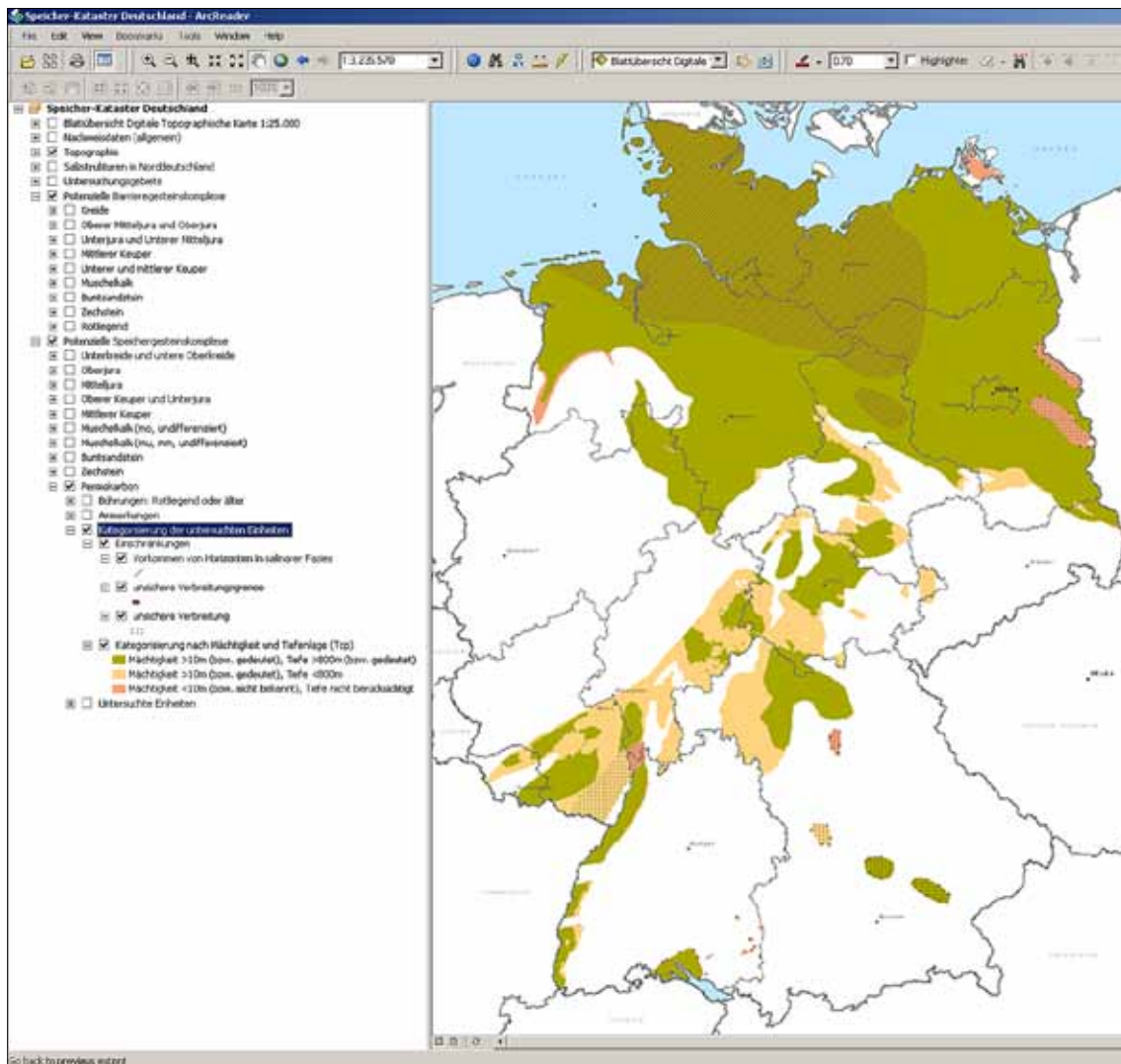
**Abb. 4.2-1:** Lage der Salzstrukturen in Norddeutschland (Festland). Die Abkürzungen kennzeichnen die in Kapitel 5 genannten Salzstrukturen.

#### 4.2.4 Zusätzliche Daten

Das Informationssystem beinhaltet zudem die Blattübersicht der Topographischen Karte im Maßstab 1:100.000, die Lage der Salzstrukturen in Norddeutschland (REINHOLD et al. 2008; vgl. Abb. 4.2-1) sowie Anmerkungen zu einzelnen Speicher- und Barrierekomplexen.

### 4.3 Nutzerorientiertes Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland

Das mit der Software ArcGIS ArcInfo erstellte Informationssystem wurde unter Verwendung der Erweiterung ArcPublisher in ein Dateiformat umgewandelt, welches mit der Kartendarstellungsanwendung ArcReader gelesen werden kann. Die kostenfreie GIS-basierte Anwendung ist leicht und intuitiv anwendbar und erfordert keine Vorkenntnisse. Mit dieser Kartenanwendung ist der Nutzer in der Lage, verfügbare Karten anzusehen, Abfragen zu tätigen sowie Karten oder Kartenausschnitte auszudrucken (s. Abb. 4.3-1).



**Abb. 4.3-1:** GIS-basierte Kartenanwendung am Beispiel Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex in den untersuchten Einheiten - Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage (Topographie © BKG).

Die interaktive Kartenanwendung mit den Ergebnissen (Potenzialkarten und Nachweisdaten) des Projektes Speicher-Kataster Deutschland wird zusammen mit der kostenfreien Software ArcReader den Interessenten auf einem Datenträger angeboten. Der Datenträger ist über die BGR erhältlich. Zusätzlich soll die Kartenanwendung über das Internet ([www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de), [www.infogeo.de](http://www.infogeo.de)) zugänglich gemacht werden. In Abb. 4.3-1, aus der ArcReader-basierten Kartenanwendung, wird beispielhaft der Speicherkomplex Permo-karbon dargestellt. Zu den grundlegenden Funktionalitäten dieser interaktiven Kartenanwendung gehören die Möglichkeiten der Kartenansicht (Maßstabsbegrenzung bei 1:250.000) und der Kartennavigation. Zusätzlich zur freien Themenauswahl stehen dem Anwender Werkzeuge zur Abfrage und Auswertung der dargestellten Daten zur Verfügung. Mit dem Werkzeug „Identifizieren“ können z. B. Attribute zu einer ausgewählten Fläche in einem zusätzlichen Fenster angezeigt werden. Darüber hinaus dient das Tool „Finden“ der konkreten Suche nach einem bestimmten Attribut und den damit verbundenen räumlichen Daten. Die Karten oder Kartenausschnitte können ausgedruckt werden.

## 5. Speichergeologische Charakterisierung der Speicher- und Barrierekomplexe

Speicher- und Barrieregesteine, die für eine langfristige Untergrundspeicherung grundsätzlich geeignet sind, kommen nur in den wenig deformierten und nicht metamorph überprägten Ablagerungen der großen Sedimentbecken vor. Das Norddeutsche Becken besitzt mit einer Sedimentmächtigkeit von mehr als 10.000 m im Beckenzentrum und einer Ausdehnung über den gesamten norddeutschen Raum schon heute eine große Bedeutung für die geotechnische und energiewirtschaftliche Nutzung des tieferen Untergrundes. Vergleichbare Ablagerungen sind im Molassebecken der Alpen, im Oberrheingraben, im Saar-Nahe-Becken, im Thüringer Becken und in der Hessischen Senke vorhanden (Abb. 3.2-1). Speicher- und Barrieregesteine dieser Regionen kommen in mehreren stratigraphischen Einheiten vor, deren Mächtigkeit, Verbreitung, Lithologie und tektonische Beanspruchung (vor allem im Oberrheingraben und im Molassebecken) regional stark variieren und deren Eignung zur Untergrundspeicherung stark einschränken können.

Als potenzielle Speichergesteine wurden vorwiegend poröse bis klüftig-poröse Sandsteine nach den projektspezifischen Mindestanforderungen bewertet. Entsprechende Speichergesteine wurden für die stratigraphischen Einheiten Rotliegend und Buntsandstein bundesweit analysiert. Weiterhin wurde in Norddeutschland der geologische Kenntnisstand zu den Speichergesteinen des Oberen Keuper und Unterjura, des unteren Mitteljura sowie der Unterkreide zusammengestellt. In den Bundesländern Hessen und Thüringen wurden zusätzlich die klüftig-porösen Aquifere im Zechstein (Leine- und Staßfurt-Karbonat) bearbeitet. In Süddeutschland treten Speicherhorizonte, die an Sandsteine oder an klüftig-kavernöse Kalksteine gebunden sind, im Gebiet des Molassebeckens in verschiedenen stratigraphischen Einheiten des Mesozoikum und des Tertiär auf. Im Oberrheingraben kommen sie im Muschelkalk, Mitteljura und im Tertiär vor.

Potenziell geeignete Barrieregesteine sind vorwiegend Salz- und Tongesteine. Mit barrierewirksamen Eigenschaften treten sie im Zechstein und im Oberen Buntsandstein auf. Darüber hinaus wurde in Norddeutschland die geologische Situation der Barrierehorizonte im Unterjura und in der Kreide bewertet. Im Gebiet des Molassebeckens wurde der Kenntnisstand zu den geologischen Barrieren Muschelkalk, Keuper, Unter- und Mitteljura sowie Oberkreide erfasst. Im Oberrheingraben wurden die Barrieregesteine des Muschelkalk und des Mitteljura analysiert. Als stratigraphisch jüngste Gesteinseinheit wurden die mächtigen tertiären Ablagerungen des Molassebeckens und des Oberrheingrabens bearbeitet.

Im Folgenden werden die Speicher- und Barrierekomplexe von stratigraphisch alt nach jung entsprechend der Ergebnisse aus den Teilprojekten zusammenfassend beschrieben.

## 5.1 Permokarbon

In Norddeutschland wurden die Oberrotliegend-Sedimente in einer etwa Ost-West streichenden Beckenstruktur, dem heutigen Norddeutschen Becken, abgelagert. Südlich davon entstanden mehrere intramontane Becken, in denen Sedimente großer Mächtigkeit akkumuliert wurden. Durch die Mitteldeutsche Kristallinzone vorgezeichnet, bildeten sich von Südwestdeutschland (z. B. Saar-Nahe-Becken) bis in den mitteldeutschen Raum (z. B. Saale-Becken; z. B. RAPPSILBER 2003) SW-NE streichende Senkungsbereiche. Weiter südlich entwickelten sich im späten Karbon und frühen Perm das Schramberg-Becken und das Kraichgau-Becken (NITSCH & ZEDLER 2009). Im Gegensatz zu den hier genannten Sedimentbecken sind die Becken mit oberkarbonischen bis unterpermischen Ablagerungen im Untergrund des alpinen Molassebeckens in Deutschland relativ klein (z. B. BACHMANN & MÜLLER 1996).

Im Norddeutschen Becken erfolgt Richtung Beckenzentrum eine zunehmende Verzahnung der fluviatil gebildeten Sandsteine mit Playa-Sedimenten (PLEIN 1993, HOFFMANN et al. 1997). Die Playa-Sedimente im zentralen Bereich des Beckens sind meist feinsandig bis siltig und sehr tonreich, mit zahlreich eingeschalteten Steinsalzhorizonten. Die Verbreitung der jüngsten Rotliegend-Horizonte in salinärer Fazies reicht, entsprechend der expansiven Beckenentwicklung, vom britisch-niederländischen Beckenteil bis zur Müritz und in die Altmark (GAST 1991, GEBHARDT 1994, BALDSCHUHN & KOCKEL 1998, GAST et al. 1998). In den süddeutschen Intramontanbecken dokumentieren sedimentologische Untersuchungen wiederholt eine grobe Randfazies aus Schuttfächern, die beckenwärts in alluviale Arkosesande eines ariden Glacis und tonige Playa-Sedimente übergeht (NITSCH & ZEDLER 2009).

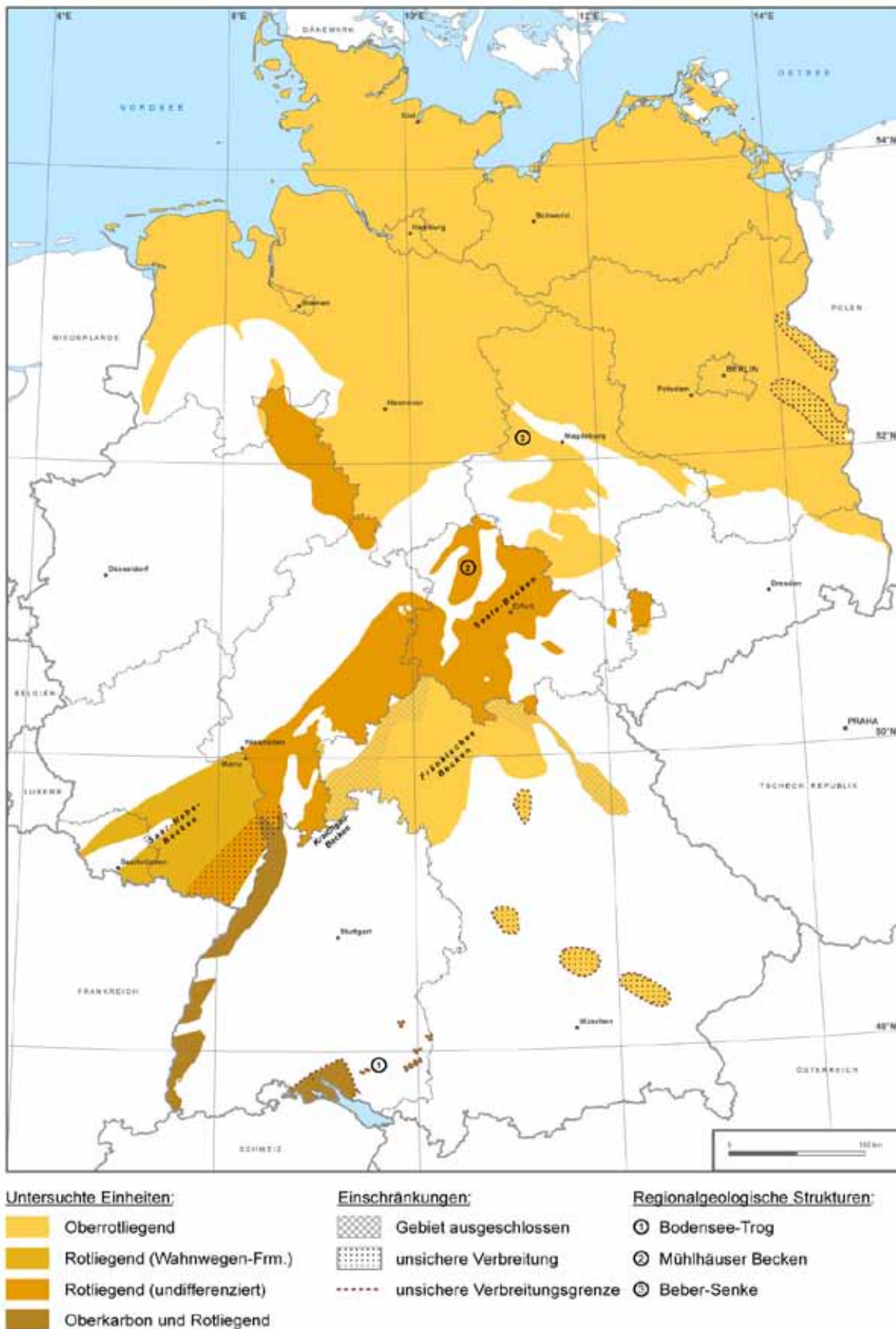
### 5.1.1 Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Permokarbon wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.1-1, 5.1-2):

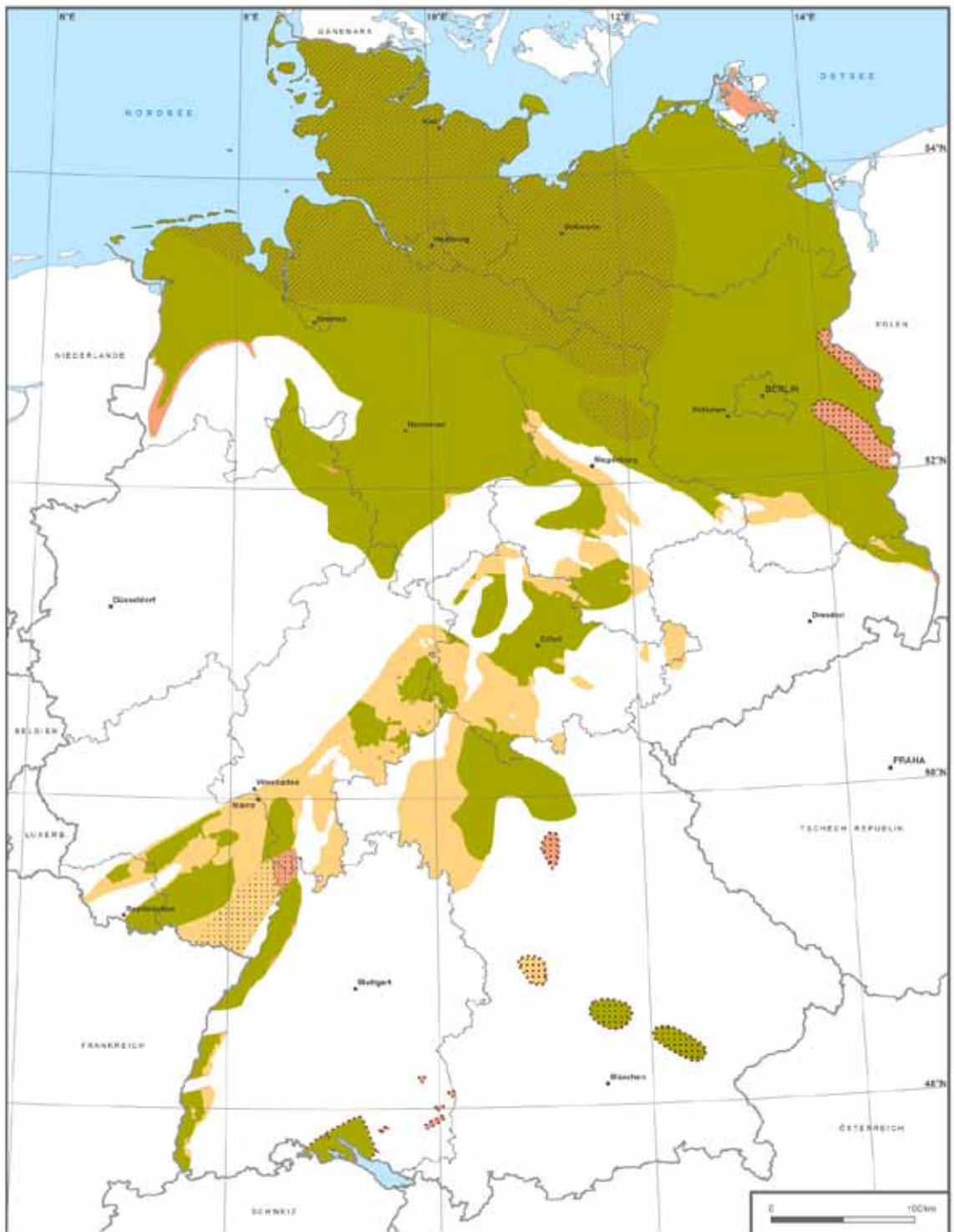
- Oberrotliegend: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, ausgewählte Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg und Nordbayern
- Rotliegend: Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Südbayern
- Permokarbon: Baden-Württemberg

Das nicht-salinare Rotliegend wurde wegen einer ungenügenden Datenbasis in Schleswig-Holstein und Hamburg (HABLE et al. 2011) nur im Rahmen einer summarischen Abschätzung für eine einheitliche Kartendarstellung behandelt und ist in dem Detaillierungsgrad der Bearbeitung nicht mit den benachbarten Bundesländern vergleichbar.





**Abb. 5.1-1:** Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet),  
Tiefe >800m (z. T. gedeutet)
- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet),  
Tiefe <800m
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Einschränkungen:**

- unsichere Verbreitung
- unsichere Verbreitungsgrenze

**Bemerkung:**

- Vorkommen von  
Horizonten in  
salinärer Fazies

**Abb. 5.1-2:** Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

Die stratigraphische Einstufung der isolierten Vorkommen in Süd-Bayern ist unsicher. Ebenfalls aufgrund der unsicheren stratigraphischen Stellung sowie unter Berücksichtigung der Datenlage wurden in Hessen und Nordrhein-Westfalen Rotliegend undifferenziert, in Baden-Württemberg Permokarbon und in Rheinland-Pfalz sowie im Saarland speziell die Wahnwegen-Formation des unteren Rotliegend bearbeitet.

Große zusammenhängende Gebiete, in denen die Kriterien Tiefenlage (größer als 800 m) des Speicherkomplexes und Nettomächtigkeiten der Sandsteinhorizonte (größer als 10 m) erfüllt sind, kommen in Norddeutschland, dem Thüringer Becken, der Hessischen Senke, in Nord-Bayern, im Oberrheingraben und im Saar-Nahe-Becken vor (Abb. 5.1-2). Innerhalb dieser Gebiete konnten die Vorkommen von Speichergesteinen weiter eingegrenzt werden.

- Untersuchungswürdige Speichergesteine in Norddeutschland befinden sich in Regionen mit äolischen und fluviatilen Sandsteinablagerungen. Diese treten südlich des ehemaligen Salzsees (etwa Verbreitung des salinaren Rotliegend in Abb. 5.1-2) und in den östlichen Randbereichen des Norddeutschen Beckens auf. In unterschiedlicher Mächtigkeit kommen diese in verschiedenen stratigraphischen Einheiten vor (DÖLLING & LINDER 2010, BEBIOLKA et al. 2011, KNOPF 2011).
- Gute speichergeologische Verhältnisse und umfangreiche Kenntnisse über die stratigraphischen und faziellen Zusammenhänge liegen insbesondere für die Gebiete mit Gas führenden Rotliegend-Sandsteinen vor (Gaslagerstätten zwischen Ems und Elbe; KNOPF 2011, REINHOLD et al. 2011).
- Durch Bohrungen sind untersuchungswürdige Regionen in Ostbrandenburg und in der östlichen Altmark nachweisbar. Im Subherzyn sind mögliche Speichergesteine aus der Beber-Senke bekannt (BEBIOLKA et al. 2011, REINHOLD et al. 2011).
- Untersuchungswürdige Speichergesteine befinden sich im Mühlhäuser Becken und im zentralen Saale-Trog. Anhand weniger Bohrungen werden Nutzporositäten von ca. 10 % angenommen (ZANDER & HUCKRIEDE 2010).
- In Nordrhein-Westfalen konnten nach aktuellem Kenntnisstand im Weser- und Osnabrücker Bergland untersuchungswürdige Regionen im Speicherkomplex Rotliegend ausgewiesen werden. Das Oberrotliegend wird im Wesentlichen durch mittelsandige bis mittelkiesige Flussablagerungen und feinkörnige äolische Sedimente (Fazies des „Cornberger Sandsteins“) vertreten (GEOLOGISCHER DIENST NORDRH.-WESTF. 2003). Aufgrund des hohen Feinsandanteils ist die Porosität gering (DÖLLING & LINDER 2010).
- Im Saar-Nahe-Becken gibt es mächtige permokarbone Sedimentfolgen, innerhalb derer zur Speicherung grundsätzlich geeignete Gesteinskomplexe vorkommen.

Die maximale Sedimentmächtigkeit findet sich unmittelbar südlich der Hunsrück-Südrand-Störung (HENK 1993). Die intensive tektonische Beanspruchung des Saar-Nahe-Beckens ist bei einer möglichen Nutzung der Speichergesteine zu berücksichtigen. Entsprechend den Kriterien des Projektes ist die Wahnwegen-Formation untersuchungswürdig (REIN et al. 2011).

- Aufgrund der Lithologie und der Diagenese sind die Ablagerungen des Rotliegend nach derzeitigem Kenntnisstand in weiträumigen Gebieten nicht als Porenspeicher geeignet. Dies gilt für Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein (BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011) sowie für geologisch vergleichbare Regionen in Niedersachsen.

Kleinere Regionen, in denen die Kriterien Tiefenlage und Mächtigkeit erfüllt werden, befinden sich im Gebiet des westlichen Molassebeckens, im Oberrheingraben und in der Hessischen Senke. Für diese Regionen sind aufgrund des geringen Kenntnisstandes Einschätzungen der Speichereigenschaften nur eingeschränkt möglich. So sind in Baden-Württemberg Speichergesteine am ehesten im Rotliegend und im Oberkarbon des Bodensee-Trogs (östliche Fortsetzung des Nordschweizer Permokarbondrogs) zu erwarten. Die hier gemessene Porosität (vier Werte) liegt unter 10 % (FEHN et al. 2010). Für die anderen kleinräumigen Intramontanbecken im Untergrund des süddeutschen Molassebeckens liegen keine speichergeologischen Informationen vor (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

In Nordbayern, im Bereich des Fränkischen Beckens (Kraichgau-Saale-Trog), sind kleinräumige Variationen der Mächtigkeit und Fazies des Rotliegend charakteristisch. Dies gilt auch für Ablagerungen in Hessen. Repräsentative Daten zur Porosität und Permeabilität des Rotliegend liegen nicht vor (KÖTT & KRACHT 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Aus Porositäts- und Permeabilitätswerten von Bohrungen außerhalb des Untersuchungsgebietes in Nordbayern lässt sich folgern, dass die Sedimente des Rotliegend als Speichergestein hier vermutlich nicht geeignet sind. Weitere Gebiete wurden aufgrund struktureologischer Befunde in Nordbayern nicht kategorisiert (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

### **5.1.2 Ablagerungen des Rotliegend als potenzieller Barrierekomplex**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Rotliegend wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.1-3, Abb. 5.1-4):

- Rotliegend (Glan-Subgruppe): Rheinland-Pfalz und Saarland

Die Sedimente des Rotliegend bestehen neben Sandsteinen und Arkosen auch aus Schluff- und Tonsteinen, die als Barriere geeignet sein können (REIN et al. 2011).



**Abb. 5.1-3:** Ablagerungen des Rotliegendes als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Abb. 5.1-4:** Ablagerungen des Rotliegendes als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

## 5.2 Zechstein

Die Formationen des Zechstein sind vorwiegend als marine Sedimente und mit mächtigen Salzablagerungen ausgebildet und wurden als weit verbreitete Barrieregesteine oberhalb der potenziellen Speichergesteine des Rotliegend untersucht. Speicherhorizonte des Zechstein wurden regional in Thüringen und Hessen bearbeitet (s. Kap. 5.2-2).

Die Sedimente wurden im südlichen Zechsteinbecken, einem Teilbecken des Mitteleuropäischen Beckensystems, abgelagert. Die nördliche Begrenzung des Zechsteinbeckens bildeten paläogeographische Hochlagen: im Nordwesten das Mittel-Nordsee-Hoch und im Nordosten das Ringkøbing-Fünen-Møn-Arkona-Hoch. Die südliche Begrenzung verlief vom südöstlichen Brandenburg (Lausitzer Lagune) über die weit nach Süden reichenden Randsenken Thüringer Becken und Werra-Fulda-Becken. Die Verbreitung der marinen zechsteinzeitlichen Ablagerungen im Werra-Fulda-Becken wurde im Westen vom östlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges begrenzt. Südlich der Odenwald-Spessart-Rhön-Schwelle sind marine Sedimente im Fränkischen Becken bis in den nördlichen Bereich des heutigen Oberrheingrabens verbreitet (RUPF & NITSCH 2008). Im Nordwesten Deutschlands bildeten die Münsterlandscholle und nördlich davon die Hunte-Schwelle ein nach Norden vorstoßendes Hochgebiet. Im Emsland und in der Niederrheinischen Bucht griff das Zechsteinmeer erneut weit nach Süden vor (FRISCH & KOCKEL 2004). Infolge mehrerer Transgressionen aus nördlicher Richtung und der Evaporation des Meerwassers entstanden zyklisch gegliederte Ablagerungen (PERYT et al. 2010). Ein vollständig entwickelter mariner Zechstein-Zyklus besteht aus basalen feinklastischen Ablagerungen gefolgt von Karbonaten und einer evaporitischen Ausfällungsfolge (Anhydrit, Stein- und Kalisalz). Im Beckenzentrum ist die Sedimentfolge vollständig ausgebildet, nahe den Beckenrändern dominieren Klastika, Karbonate und Anhydrite.

Es sind vor allem Steinsalzlager mit größerer Mächtigkeit, aber auch Tonsteinschichten und unklüftete Anhydritbänke, die die sehr gute Eignung des Zechstein als geologische Barriere begründen. Die Entstehung der Barrierehorizonte wurde durch – regional und zeitlich – variierende Beckengrößen und -tiefen sowie die Gliederung des Beckenrandbereiches in Schwellen und Senken bestimmt (KULICK et al. 1984, KÄDING 2005). Zum Beckenrand hin werden die Evaporite durch terrestrische Ablagerungen abgelöst. Sie verzahnen sich im Übergangsbereich (KÄDING 2005). Eine grobklastische Randfazies ist großflächig im Südwesten des Zechsteinverbreitungsgebietes, am östlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges und am Rand des Thüringischen Schiefergebirges entwickelt (RUPF & NITSCH 2008, KÖTT & KRACHT 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010). Diese Randfazies ist als geologische Barriere weniger gut geeignet. Die weitere regionale Differenzierung der heutigen Verbreitung und Mächtigkeit des Zechsteinsalzes erfolgte durch tektonische und halokinetische Prozesse sowie durch regionale Subrosions- und Erosionsprozesse.

### **5.2.1 Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Zechstein wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.2-1, Abb. 5.2-2):

- Zechstein: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, ausgewählte Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Bayern
- Differenzierung der barrierewirksamen Zechsteinablagerungen oberhalb und unterhalb des Plattendolomit: Hessen

Da die Datenbasis des nicht-salinaren Rotliegend in Schleswig-Holstein und Hamburg (Hable et al. 2011) für eine Speichereinschätzung unzureichend war, wurde der Zechstein für Schleswig-Holstein und Hamburg nur im Rahmen einer summarischen Abschätzung für eine einheitliche Kartendarstellung behandelt und ist in dem Detaillierungsgrad der Bearbeitung nicht mit den benachbarten Bundesländern vergleichbar.

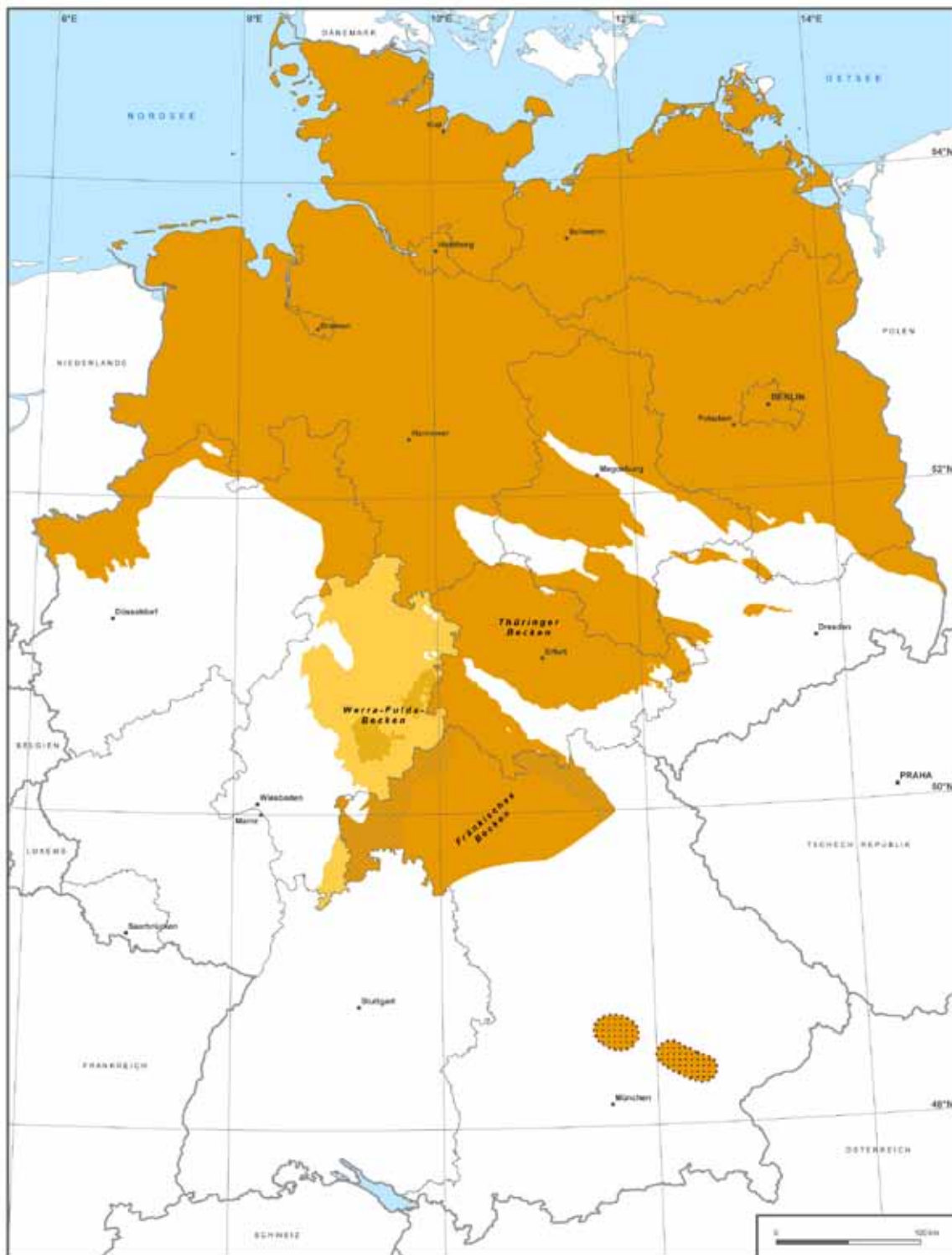
Im gesamten Norddeutschen Becken sowie im Thüringer Becken und im Werra-Fulda-Becken (bis zum Main reichend) treten große Steinsalzmächtigkeiten in den Formationen des Zechstein auf. Die Basis des Barrierekomplexes Zechstein liegt weitverbreitet in Tiefen größer als 800 m unter GOK (Abb. 5.2-2). Weiterhin treten mehrere Tonschichten mit Mächtigkeiten von einigen Metern auf, die zusätzlich eine geologische Barriere bilden. Auch belegen die KW-Lagerstätten des Rotliegend und Zechstein insgesamt die sehr gute hydraulische Barrierewirkung des Zechstein (ZANDER & HUCKRIEDE 2010, KNOPF 2011). Modifiziert wurde die primäre Mächtigkeit der Zechstein-Ablagerungen durch halokinetische Prozesse. So ist die Mächtigkeit des Steinsalzes in den Salzabwanderungsgebieten reduziert und in Salzkissen und Salzstöcken sekundär erhöht (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, KNOPF 2011). Am Rand des ehemaligen Zechsteinbeckens (Randfazies) sind Vorhersagen zur Eignung der Barriere aufgrund des Erkundungsstandes und der zunehmend kleinräumigen Heterogenität der lithologischen Eigenschaften einzelner Schichtfolgen nur stark eingeschränkt oder nicht möglich (KÖTT & KRACHT 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010).

### **5.2.2 Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Zechstein wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.2-3, Abb. 5.2-4):

- Staßfurt-Formation (Hauptdolomit): Thüringen
- Leine-Formation (Plattendolomit): Hessen



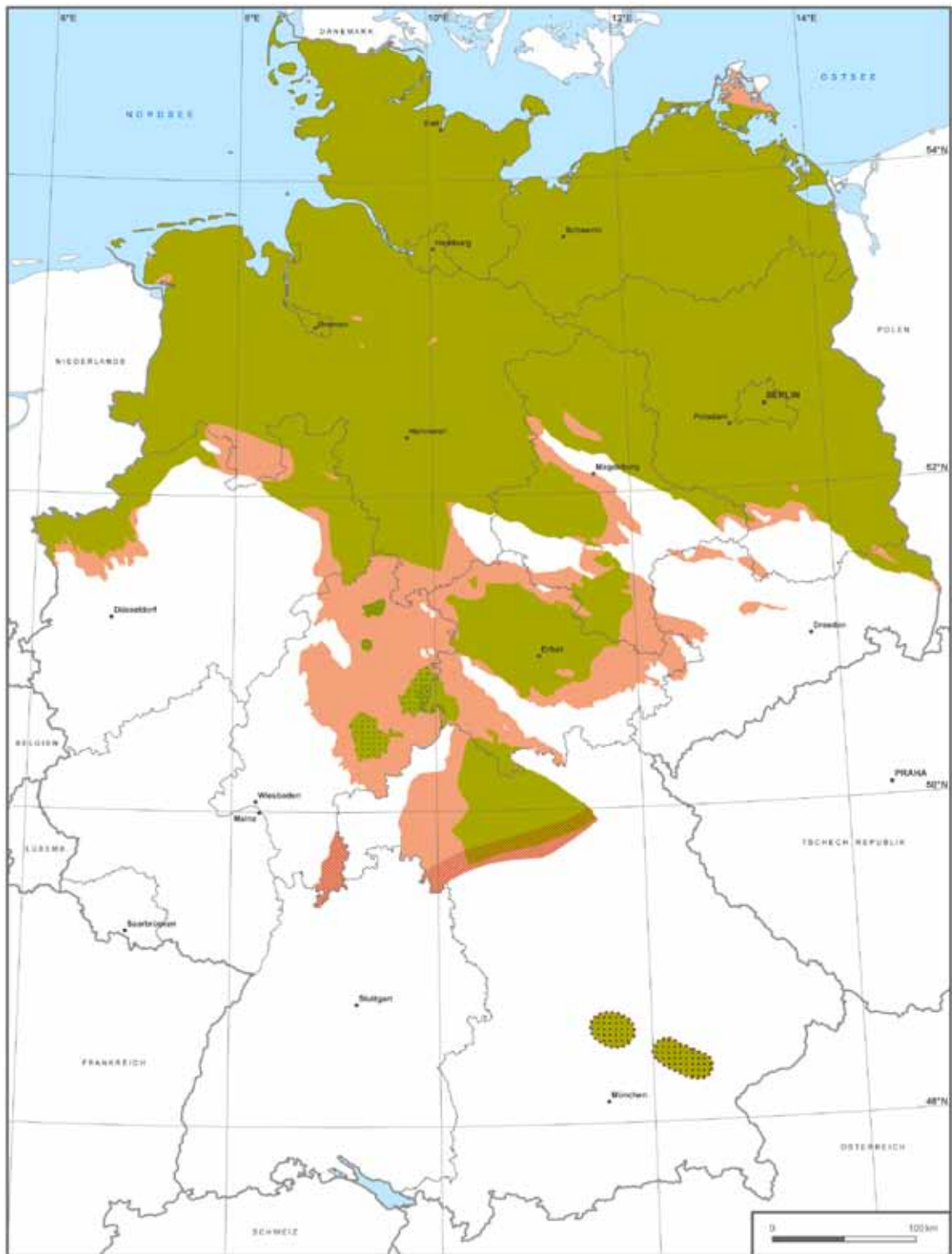
Untersuchte Einheiten:

- Zechstein oberhalb Plattendolomit (z4 - z7)
- Zechstein unterhalb Plattendolomit (z1 - z3)
- Zechstein (undifferenziert)

Einschränkungen:

- Gebiet ausgeschlossen
- unsichere Verbreitung
- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.2-1:** Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >20m (z. T. gedeutet) und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m (z. T. nicht bekannt) und/oder Tiefe <800m

**Anmerkungen:**



- Barriere-Einh. z1 - z3
- Barriere-Einh. z4 - z7

**Einschränkungen:**

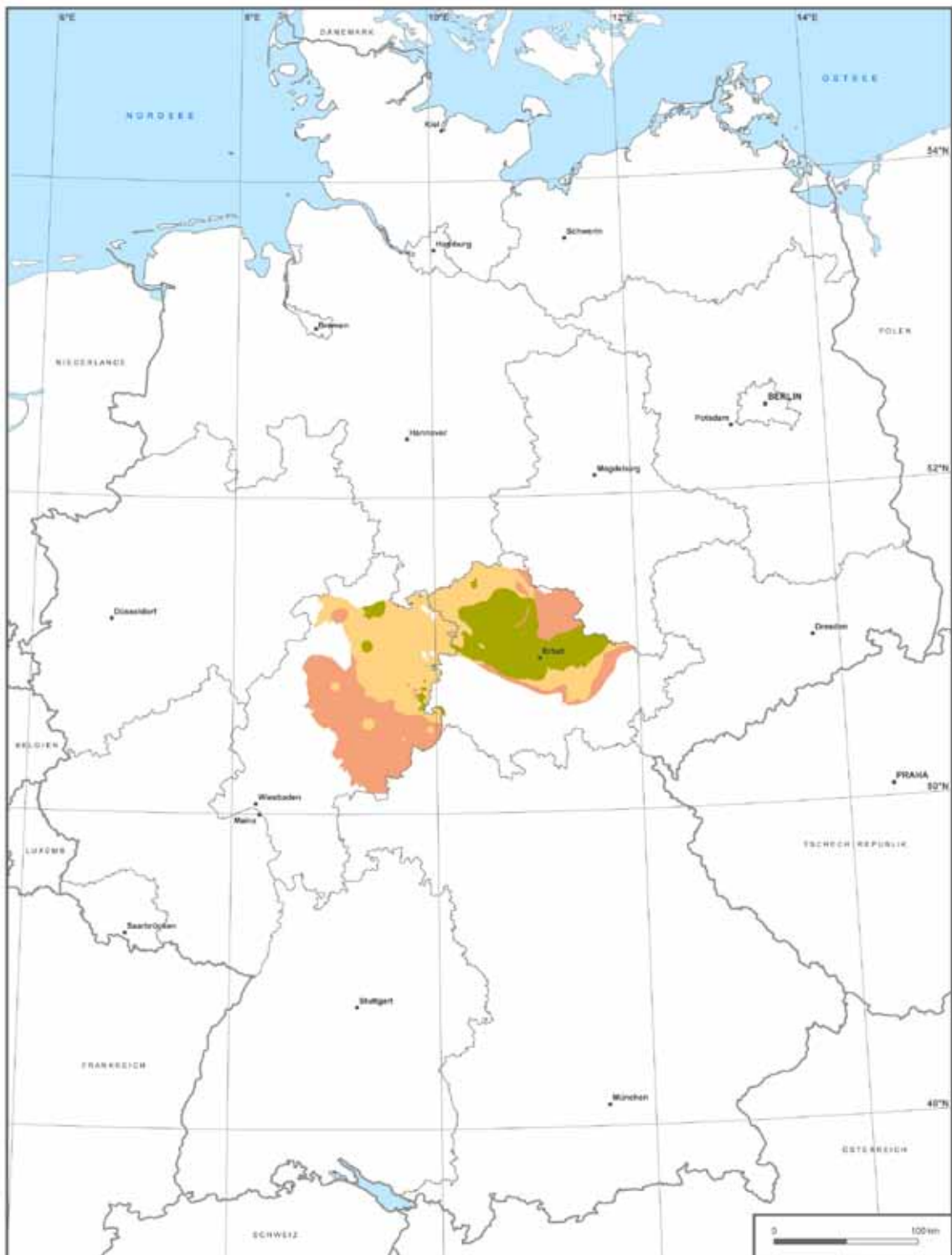
- sandige Randfazies
- unsichere Verbreitung
- ..... unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.2-2:** Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

Untersuchte Einheiten:

-  Hauptdolomit (z2CA)
-  Plattendolomit (z3CA)

**Abb. 5.2-3:** Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >10m (bzw. gedeutet), Tiefe >800m (bzw. gedeutet)
- Mächtigkeit >10m, Tiefe <800m
- Mächtigkeit <10m,  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Abb. 5.2-4:** Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

An die Karbonate der Staßfurt-Formation sind die KW-Lagerstätten des Thüringer Beckens (ZANDER & HUCKRIEDE 2010) sowie der Lausitz und Vorpommerns gebunden. Die Karbonate sind Kluftspeicher mit Mächtigkeiten größer als 10 m. Porenspeicher treten in den Karbonatsanden der Barrenzone auf. Beim Plattendolomit der Leine-Formation handelt es sich um Kluftspeicher mit teilweiser Verkarstung. Diese sind im Werra-Fulda-Becken und im Thüringer Becken verbreitet. Im Werra-Kalirevier dienen sie als Aufnahmehorizont für die Solewässer der Kaliindustrie (KÖTT & KRACHT 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010).

### **5.3 Buntsandstein**

Der Buntsandstein wird lithostratigraphisch in die Untergruppen Unterer, Mittlerer und Oberer Buntsandstein unterteilt (RADZINSKI 2008). Der Untere und der Mittlere Buntsandstein wurden auf Basis der zyklischen Verteilung von Korngrößen in sieben Großzyklen (Sohlbank-Zyklen) gegliedert. Die Großzyklen beginnen mit Sandsteinen und gehen zum Hangenden in eine Wechselfolge von Ton- und Siltsteinen mit nur noch geringem Sandanteil über; sie werden als Formationen bezeichnet. Die Calvörde- und Bernburg-Formation gehören zum Unteren Buntsandstein. Zum Mittleren Buntsandstein zählen die Quickborn-, Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Formation (LEPPER et al. 2005). Der Obere Buntsandstein Norddeutschlands ist lithologisch durch halitische, sulfatische und karbonatische Sedimente in einer insgesamt vorwiegend tonig-mergeligen Schichtfolge gekennzeichnet und wird als Röt bezeichnet. In Süddeutschland dagegen dominiert eine sandige Randfazies, wobei in jüngeren Ablagerungen besonders tonige Schichtfolgen auftreten (GEYER et al. 2011).

#### **5.3.1 Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex**

Zur Zeit des Mittleren Buntsandstein wurden im Norden des Norddeutschen Beckens mächtige sandige Sedimente in den Regionen Schleswig-Holstein, Nordost-Mecklenburg und Vorpommern abgelagert, die vorrangig aus dem nordöstlich gelegenen Fennoskandischen Schild geschüttet wurden. In Niedersachsen erfolgte die Sedimentschüttung vor allem aus südlicher Richtung, dem Rheinischen Massiv. Zum NW-SE streichenden Beckenzentrum, das von der Nordsee bis nach NW-Mecklenburg reichte, nimmt der Sandsteinanteil an der Schichtfolge stark ab und die Basissandsteine der einzelnen Formationen weisen zunehmend Ton- und Karbonatgehalte auf (FEIST-BURKHARDT et al. 2008). Die Entstehung potenzieller Speichergesteine war insbesondere auf die Beckenrandbereiche konzentriert. Der südliche Ablagerungsraum des Mittleren Buntsandstein in Deutschland wurde durch das Vindelizisch-Böhmische Massiv begrenzt (BEUTLER & SZULC 1999). Die aus diesem Gebiet antransportierten Sande bilden primäre Speichergesteine in Südbrandenburg, im Thüringer Becken und im Oberrheingraben.

Die Eignung der Sandsteine des Mittleren Buntsandstein als Speichergesteine wird durch die Erdgaslagerstätten im westlichen Niedersachsen belegt. Die Basissandsteine der Formationen werden an anderen Stellen als Erdgas-Porenspeicher oder als Aquifer für die Gewinnung geothermaler Energie genutzt (LBEG 2009, SCHULZ 2009). Lokale Beispiele sind die Erdgas-Porenspeicher in Brandenburg (Struktur Buchholz) und Berlin (Struktur Spandau). Da die einzelnen Sandsteinhorizonte des Unteren und Mittleren Buntsandstein oft ein regional zusammenhängendes hydrodynamisches System bilden (KATZUNG et al. 1992, KÖTT & KRACHT 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010), wurden die einzelnen Formationen hier zum Speicherkomplex Buntsandstein zusammengefasst.

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Buntsandstein wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.3-1, Abb. 5.3-2):

- Mittlerer Buntsandstein: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, ausgewählte Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Hessen und Nordrhein-Westfalen
- Unterer und Mittlerer Buntsandstein: Thüringen
- Buntsandstein undifferenziert: Baden-Württemberg

Große zusammenhängende Verbreitungsgebiete, in denen die projektspezifischen Kriterien erfüllt sind, gibt es in Norddeutschland und im Oberrheingraben (Abb. 5.3-2). Im Norden des Norddeutschen Beckens ist der Mittlere Buntsandstein fast vollständig verbreitet und liegt meist unter mächtigen, jüngeren Ablagerungen. Richtung Süden wird das Kriterium der kumulativen Mindestmächtigkeit der Sandsteine (größer als 10 m) weiterhin erfüllt, jedoch ist das Tiefenkriterium für den Top des Speicherkomplexes (größer als 800 m) nicht mehr gegeben.

Die regionalen Bildungsbedingungen für die potenziellen Speichergesteine wurden durch paläogeographische Schwellen- und Senkungsgebiete beeinflusst (z. B. Rügen-Schwelle, Hunte-Schwelle, Eichsfeld-Altmark-Schwelle, Südschwarzwald-Schwelle bzw. Thüringische Senke, Niederrhein-Ems-Senke). Zusätzlich wurden die heutige Verbreitung und Tiefenlage durch die Mobilisierung der Zechsteinsalze im Untergrund von Norddeutschland modifiziert. Die halokinetischen Prozesse führten zur Bildung von Hebungs- und Senkungsstrukturen, so dass aufgrund des Salzaufstieges der Mittlere Buntsandstein gebietsweise erodiert oder primär nicht abgelagert wurde.

In Schleswig-Holstein sind vorrangig die Ablagerungen im Gebiet der geologischen Struktureinheiten Westschleswig- und Ostholstein-Block untersuchungswürdig. Die Oberfläche des Mittleren Buntsandstein liegt hier in Tiefen von etwa 1.600 m bis 2.500 m unter NN; die Ablagerungen besitzen überwiegend Mächtigkeiten von über 300 m (HABLE et al. 2011). Die Sandsteinfolgen in den Ablagerungen sind wenige 10er Meter mächtig,

teilweise auch geringer. Tendenziell nehmen die Tonstein-Siltstein-Zwischenschichten in den Sandsteinfolgen nach Westen und Nordwesten an Mächtigkeit zu, während die Mächtigkeit und Korngröße der Sandsteine abnehmen (HABLE et al. 2011). Sandsteinhorizonte mit größeren Mächtigkeiten treten in der Quickborn-, Volpriehausen- und der Solling-Formation auf. Die Quickborn- und Volpriehausen-Sandsteine der oben genannten Struktureinheiten sind zusammen bis zu 45 m mächtig und besitzen eine Porosität von 12 % bis 21 %. Die Sandsteinhorizonte der Solling-Formation sind besonders im Bereich des Westschleswig-Blockes durch deutliche Mächtigkeitsunterschiede (10 m bis 44 m) gekennzeichnet. Im Bereich des Ostholstein-Blockes sind Mächtigkeiten bis zu 16 m zu erwarten. Die Porosität der Solling-Sandsteine liegt im Nordwesten Schleswig-Holsteins unterhalb von 10 % und erreicht im Osten bis zu 16 % (HABLE et al. 2011).

Die vor allem aus südlicher Richtung geschütteten sandigen Sedimente in Niedersachsen werden generell durch eine Verringerung der Korngrößen und des Korngrößenspektrums in Richtung Norden charakterisiert. Die kumulierte Mächtigkeit der Sandsteinhorizonte des Mittleren Buntsandstein ist nahezu über die gesamte Verbreitungsfläche größer als 10 m. In den zentralen Gebieten von Niedersachsen (z. B. südlich von Bremen) ist die kumulierte Sandsteinmächtigkeit größer als 50 m. Im Gebiet südlich von Bremen belegen besonders zahlreiche Messwerte Porositäten und Permeabilitäten größer als 10 % bzw. 10 mD (KNOPF 2011). In Niedersachsen wird der ehemalige südliche Beckenrand teilweise von äolischen Sedimenten in Form von Dünengürteln gesäumt, die sich mit fluviatilen Ablagerungen verzahnen (MADER 1982). So ist beispielsweise der Dötlingen-Sandstein (Solling-Formation) im Raum Cloppenburg bis an die Aller westlich von Celle aus äolischen Sanden aufgebaut (SCHULZ & RÖHLING 2000) und ist somit für die Untergrundspeicherung untersuchungswürdig.

Im Weser- und Osnabrücker Bergland wird die geforderte Mindestdtiefe im nördlichen Münsterland und westlich von Minden erfüllt. Die Tiefe der Oberfläche des Mittleren Buntsandstein liegt zwischen 800 m und maximal 4.900 m unter NN bei einer Gesamtmächtigkeit von 50 m bis maximal 275 m (DÖLLING & LINDER 2010). Die Region wird struktureologisch insbesondere durch das Horizontalverschiebungssystem der Osnig-Zone geprägt und ist in Teilbereichen stark in Schollen gegliedert (DROZDZEWSKI 1988). Lithologie, Mächtigkeit und Verbreitung der Gesteine des Mittleren Buntsandstein variieren im Bereich des Osnigs räumlich so stark, dass derzeit keine verlässlichen Vorhersagen zu Speicherstrukturen und -potenzial möglich sind. Angaben zur Porosität und Permeabilität liegen aus dem Untersuchungsraum nicht vor, wurden aber anhand der Literatur (SCHULZ et al. 1994, PLEIN 1999, BRASSER & BREWITZ 2002, MAY et al. 2004) auf 7 % bis 25 % geschätzt (DÖLLING & LINDER 2010).

Am nordöstlichen Beckenrand im Nordosten Mecklenburg-Vorpommerns ist der Sandsteinanteil in den Abfolgen der Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Formation sehr hoch

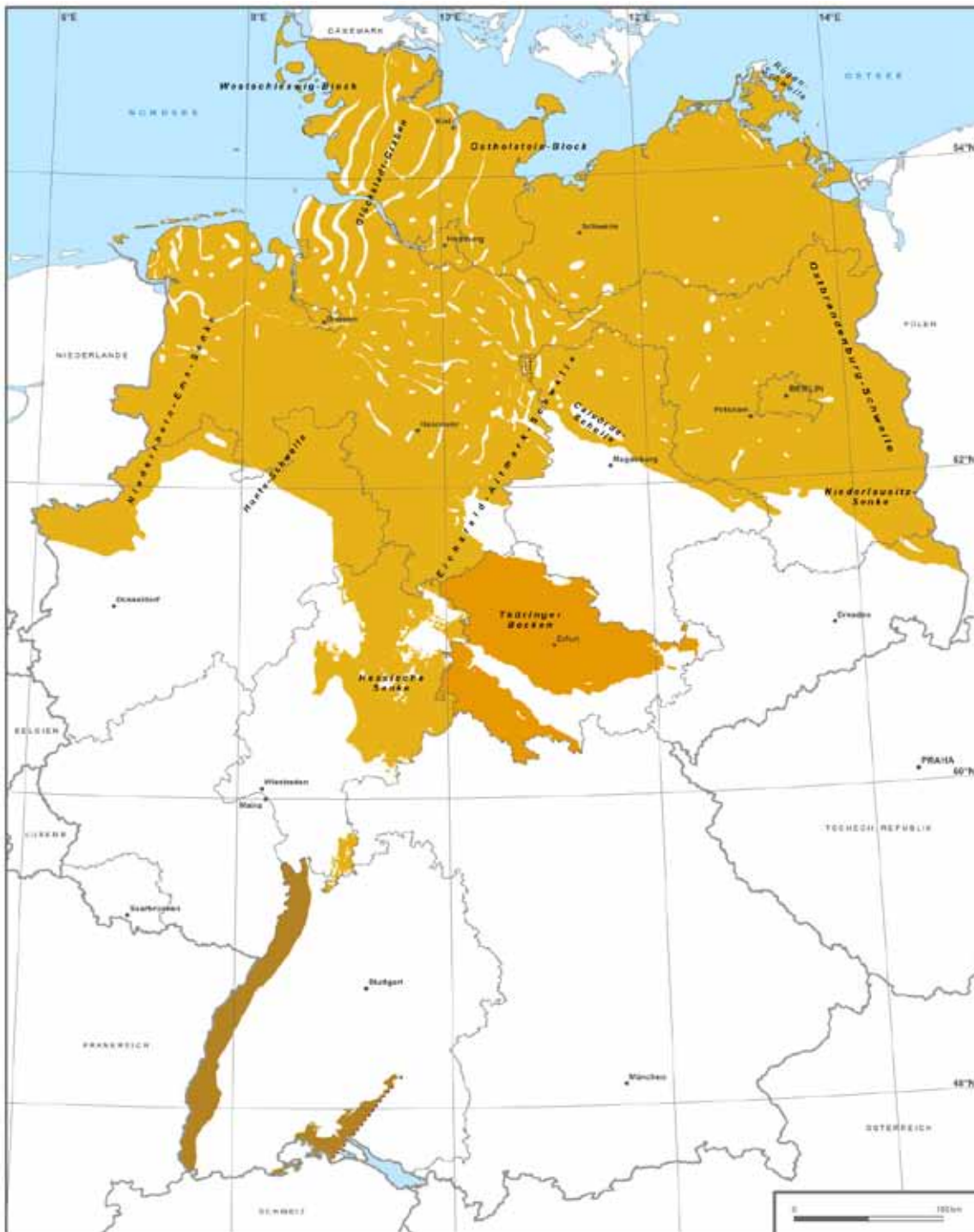
(kumulative Sandsteinmächtigkeit größer als 100 m). Im Bereich von Rügen befindet sich der Top des Mittleren Buntsandstein in einer Tiefe von 750 m unter GOK, während in Richtung Südwesten rasch größere Tiefen von 1.000 m und mehr erreicht werden (BRANDES & OBST 2010).

Der Volpriehausen-Sandstein ist in Vorpommern mehr als 25 m mächtig. Der Detfurth-Sandstein weist im Nordosten des Norddeutschen Beckens Mächtigkeiten von 20 m bis 40 m auf und stellt regional den Hauptaquifer innerhalb des Mittleren Buntsandstein dar. Die mittlere Nutzporosität liegt bei 20 % bis 30 %; die Permeabilität beträgt durchschnittlich 500 mD (BRANDES & OBST 2010). Die Sandsteine der Hardeggen-Formation sind in Vorpommern 20 m bis 50 m mächtig und weisen eine Nutzporosität bis zu 25 % (maximal 30 %) und eine Permeabilität zwischen 200 mD und 700 mD im Nordosten Vorpommerns auf. Der Solling-Sandstein ist im Durchschnitt 15 m bis 20 m (in Ausnahmefällen auch bis zu 30 m) mächtig (FELDRAPPE et al. 2008). Die Nutzporosität und Permeabilität der Solling-Sandsteine in Mecklenburg-Vorpommern entsprechen denen der liegenden Folgen des Mittleren Buntsandstein (BRANDES & OBST 2009, 2010).

In Brandenburg liegt die durchschnittliche Gesamtmächtigkeit des Mittleren Buntsandstein bei 175 m bis 200 m und nimmt Richtung Nordwesten auf mehr als 400 m zu (BEBIOLKA et al. 2011). In der Niederlausitz-Senke sind Mächtigkeiten bis 300 m nachgewiesen, wobei die Tiefenlage der Basis des Mittleren Buntsandstein in Süd-Brandenburg auf ca. 200 m ansteigt (BEBIOLKA et al. 2011). Der Anteil an Sandsteinhorizonten in den einzelnen Formationen ist in Südost-Brandenburg höher als im Nordwesten (GÖTHEL 2006a). Porositäts- und Permeabilitätswerte für Brandenburg und Berlin wurden anhand von 24 bzw. 7 Bohrungen der KW-Datenbank der Länder ermittelt. Die Mittelwerte der Porosität liegen zwischen 6 % und 23 %, die Medianwerte der Permeabilität erreichen Werte von mehr als 10 mD. Die Angaben zur Porosität, die durchschnittlich bei 20 % bis 25 % liegen, aber auch bis über 30 % ansteigen können, werden durch die Profile im Geothermischen Kartenwerk bestätigt (BEBIOLKA et al. 2011).

In der Altmark (Sachsen-Anhalt) besitzen die Basissandsteine der Detfurth-Formation im Bereich der Buchholz-Scholle und weiter in Richtung Brandenburg günstige Speichereigenschaften (BRÜCKNER et al. 1990, DIENER et al. 1991, 1992). Die Mächtigkeit der Sandsteine der Solling-Formation erreicht nordöstlich der Struktur Peckensen (s. Abb. 4.2-1) mit rund 70 m ein Maximum (FELDRAPPE et al. 2008). Im Gebiet der Salzwedel-Scholle befindet sich eine weitgehend gleichmäßige Sandsteinbank von 30 m bis 40 m Mächtigkeit und guten Speichereigenschaften (Porosität größer als 20 %; DIENER et al. 1992). In der nördlichen Altmark erreichen die Solling-Sandsteine lokal Mächtigkeiten bis 50 m (PUFF & RADZINSKI 1980). Im Nordosten der Altmark beträgt die kumulative Mächtigkeit der Sandsteine innerhalb der Solling-Formation nach BRÜCKNER et al. (1990) etwa 15 m bis 20 m. Im Bereich der Altmark-Schwelle steigt die Sandstein-Mächtigkeit auf rund 25 m an und weist zudem hohe Nutzporositäten auf (15 % bis 25 %).





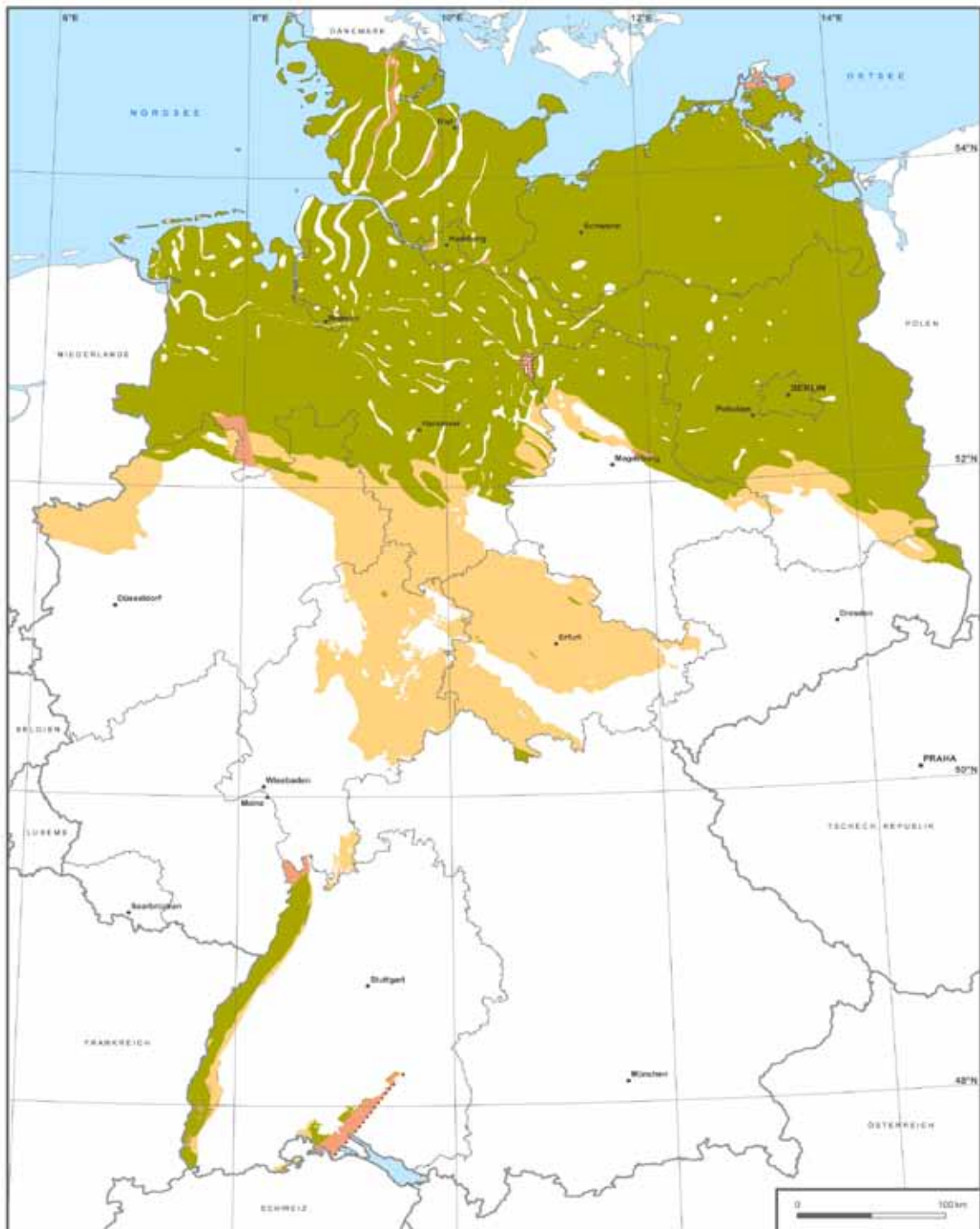
**Untersuchte Einheiten:**

- Mittlerer Buntsandstein
- Unterer und Mittlerer Buntsandstein
- Buntsandstein (undifferenziert)

**Einschränkungen:**

- unsichere Verbreitung
- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.3-1:** Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe >800m (z. T. gedeutet)
- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe <800m
- Mächtigkeit >10m, Tiefenlage nicht bekannt
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Einschränkungen:**

- unsichere Verbreitung
- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.3-2:** Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

In Thüringen liegt der Top des Buntsandstein-Speicherkomplexes generell flacher als 700 m unter GOK und streicht oft großflächig entlang der Grundgebirgsaufbrüche aus. Der Komplex ist 400 m bis 500 m mächtig; davon entfallen auf den Unteren Buntsandstein 200 m bis 310 m und auf den Mittleren Buntsandstein 140 m bis 240 m. Sandsteine des Mittleren Buntsandstein haben Nutzporositäten bis zu 22 %; in den zentralen Teilen des Thüringer Beckens häufen sich Werte um 12 % bis 17 % (PRATSCHKO 1972, 1975, BRUMLICH et al. 1977). Aufgrund seiner geringen Tiefenlage hat der Buntsandstein-Speicherkomplex in Thüringen kein Potenzial als CO<sub>2</sub>-Speicher. Wegen der großen Mächtigkeit und der weiten Verbreitung des Buntsandstein-Speicherkomplexes kann der verfügbare Porenraum jedoch als „Reservespeicher“ oder „Indikatorhorizont“ für tiefer liegende Speicherkomplexe genutzt werden (ZANDER & HUCKRIEDE 2010).

In Hessen befindet sich der Top der Volpriehausen-Formation nur in einem kleinen Gebiet bei Kassel unterhalb von 800 m unter GOK (KÖTT & KRACHT 2010). In zwei Tiefbohrungen wurde an der Basis ein 20 m bis 25 m mächtiges, oft relativ bindemittelarmes und absandendes Grobsandsteinpaket erbohrt. Nach DÜRBAUM (1969) können im Volpriehausen-Sandstein allerdings auch alle Übergänge bis zum dichten Sandstein auftreten. Fast im gesamten Verbreitungsgebiet der Volpriehausen-Formation sind Gesamtmächtigkeiten von 20 m bis über 50 m zu verzeichnen, die maximale Mächtigkeit kann bis zu 175 m betragen. Der grobkörnige Basis-Sandstein weist Mächtigkeiten bis zu 25 m auf. Der Volpriehausen-Sandstein ist als Kluft-Aquifer anzusprechen, da das Kluftvolumen des bruchtektonisch überprägten Gebirges das Porenvolumen der Gesteine bei weitem übersteigt (KÖTT & KRACHT 2010).

In Südwestdeutschland ist der Buntsandstein im Oberrheingraben weit verbreitet. Die unter fluviatilen Bedingungen entstandenen Sedimente bestehen fast ausschließlich aus klastischen Sedimenten, unter denen die Sandsteine überwiegen. Aufgrund von Schwellen und Senken schwankt die Mächtigkeit des Buntsandstein von 150 m bis über 450 m (RUPF & NITSCH 2008, FEHN et al. 2010). Der Top des Buntsandstein liegt im südlichen Grabenbereich bei 500 m bis 1.500 m unter NN und zwischen Offenburg und Karlsruhe in Tiefen von über 4.000 m unter NN (FEHN et al. 2010). Die Sandsteine der Bausandstein-Formation des Unteren Buntsandstein sind karbonatisch und silikatisch gebunden. Im Mittleren Buntsandstein sind massige, fein- bis mittelkörnige und geringer zementierte Sandsteine ausgebildet. Die Plattensandstein-Formation des Oberen Buntsandstein besteht aus dünnbankigen, fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen. Die Datengrundlage ist aufgrund der geringen Anzahl von neun Bohrungen, die den Buntsandstein durchteuften, sehr unsicher (FEHN et al. 2010).

Im Untersuchungsgebiet des Molassebeckens erreicht der Buntsandstein eine Mächtigkeit von maximal 25 m. Aufgrund der geringen Größe der Vorkommen sind die für den Buntsandstein abgegrenzten Flächen als Speicherregionen vermutlich ungeeignet (Abb. 5.3-2).

### 5.3.2 Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex

Mit der Transgression im Oberen Buntsandstein (Röt) dominierten im Ablagerungsraum flachmarine Verhältnisse. In der Röt-Folge überwiegen pelitische Sedimente, wobei im unteren Röt des Norddeutschen Beckens zwei mächtige Salzlager vorkommen. Daher wird das Röt in Norddeutschland in Rötsalinar (unteres Röt) und Rötpelet (oberes Röt) unterteilt. In Richtung der paläogeographischen Schwellen (z. B. Rügen-Schwelle) wird die Salinarfolge deutlich geringmächtiger und wird durch pelitische Sedimente ersetzt. In Baden-Württemberg sind Teile des unteren Röt in sandiger Randfazies ausgebildet (Plattensandstein-Formation), aber auch hier nimmt der Anteil toniger Schichtenfolgen insgesamt zu (LEPPER & RÖHLING 1998).

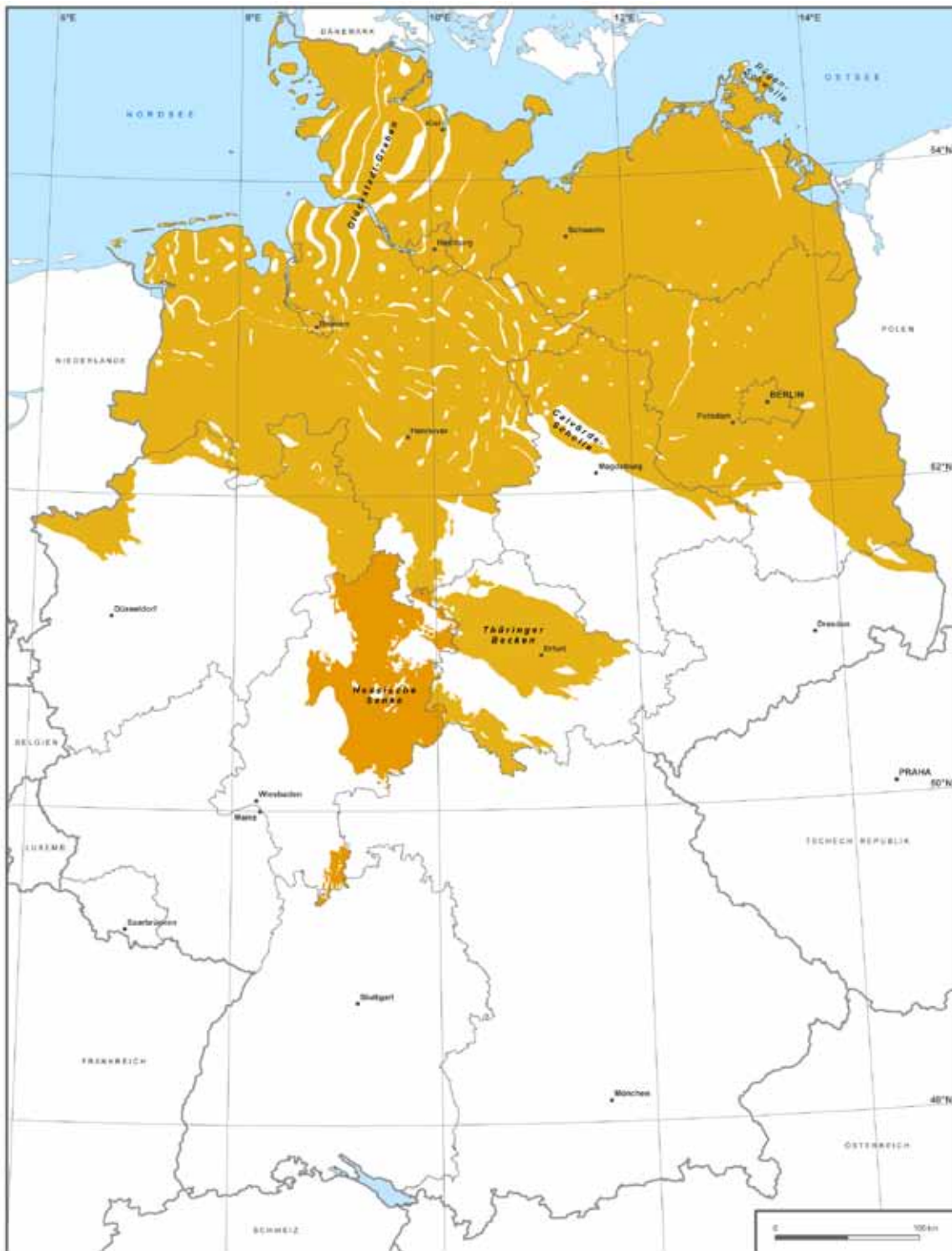
Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Buntsandstein wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.3-3, Abb. 5.3-4):

- Oberer Buntsandstein (Röt): Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, ausgewählte Regionen in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen
- Mittlerer Buntsandstein: Hessen

Die Basis des Oberen Buntsandstein befindet sich in großen Teilen Norddeutschlands in Tiefen größer als 800 m. In Süd-Brandenburg liegt die Basis des Röt bei ca. 100 m unter GOK, in Nord-Rügen sowie im Thüringer Becken oberhalb von 700 m, und in der südlichen Altmark (Calvörde-Scholle) liegt die Basis oberhalb 200 m. Vom Beckenrand her sinkt die Basis des Röt in Richtung Beckenzentrum auf über 4.000 m. Aufgrund halokinetischer und tektonischer Prozesse wurde der generelle Tiefentrend durch lokale Senken modifiziert (z. B. an der Salzstruktur Kraak bzw. der Gardelegen-Störungszone; DÖLLING & LINDER 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010, BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011).

Die Mächtigkeit des Oberen Buntsandstein in Brandenburg erreicht durchschnittlich 140 m bis 250 m. In Niedersachsen liegen die Werte im Mittel bei etwa 230 m. Hohe Mächtigkeitwerte treten in Nordwest-Brandenburg und Südwest-Mecklenburg auf (ca. 300 m). Im Süden und Südosten von Brandenburg werden dagegen nur Werte von ca. 160 m erreicht. Weiterhin kommen reduzierte Mächtigkeiten im Norden der Insel Rügen (80 m bis 100 m), in Beckenrandlage im Weser- und Osnabrücker Bergland (50 m bis 100 m) und im nördlichen Schleswig-Holstein vor (DÖLLING & LINDER 2010, ZANDER & HUCKRIEDE 2010, BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011).

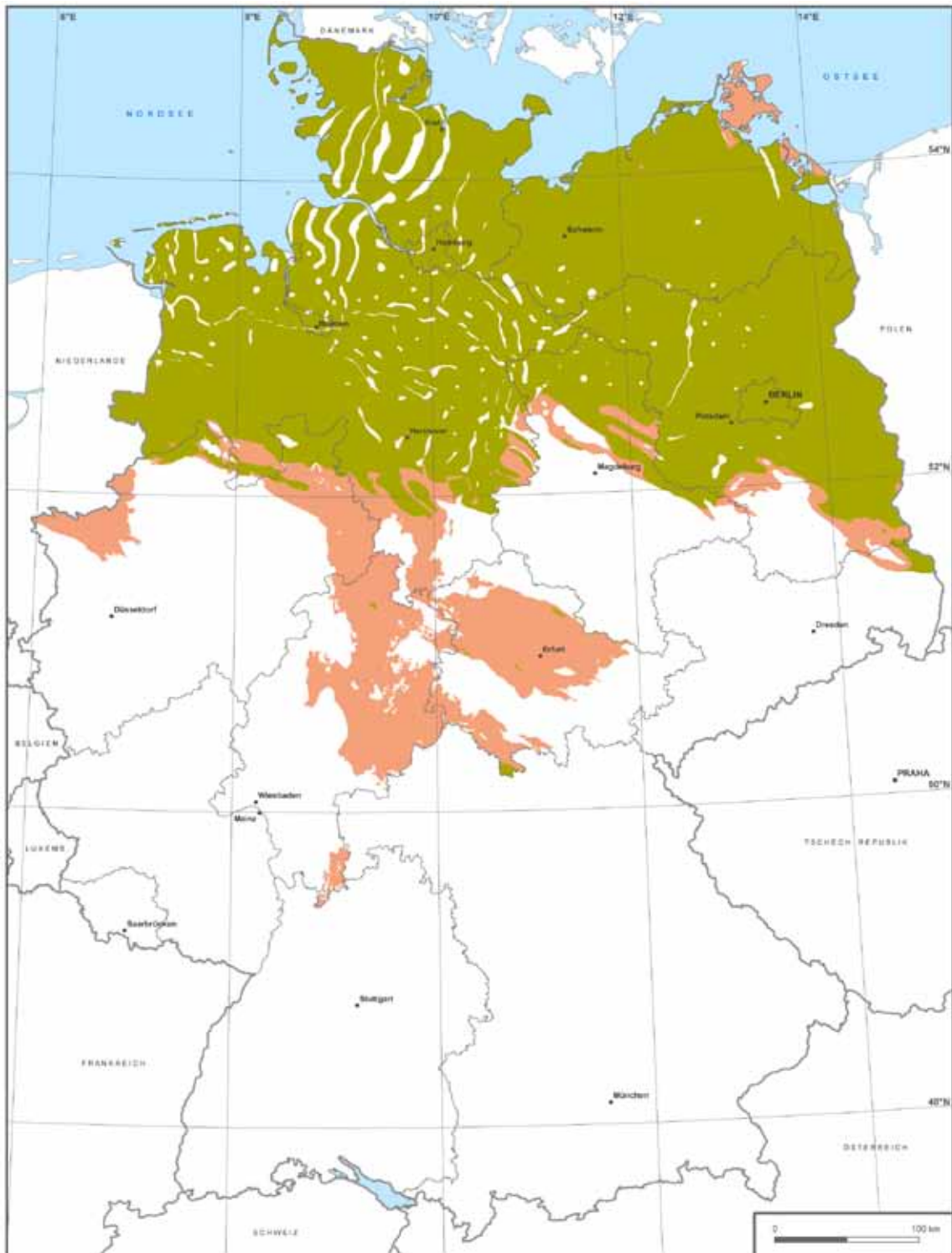
Als potenzielle Barrieregesteine eignen sich sowohl die Salzgesteine des Rötsalinar als auch die tonigen Sedimente des Rötpelet. Röt-Steinsalz mit einer Schichtmächtigkeit von



Untersuchte Einheiten:

- Oberer Buntsandstein
- Mittlerer Buntsandstein

**Abb. 5.3-3:** Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >20m (z. T. gedeutet) und Tiefe >800m (z. T. gedeutet)
- Mächtigkeit <20m (z. T. nicht bekannt) und/oder Tiefe <800m

**Abb. 5.3-4:** Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

mehr als 20 m kommt in West-Mecklenburg, Brandenburg, Berlin, im Nordosten von Sachsen, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen vor. In Mecklenburg-Vorpommern fehlt das Röt-Steinsalz nordöstlich der Linie Rostock - Neubrandenburg (ZANDER & HUCKRIEDE 2010, BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011). Die geforderte Mindestmächtigkeit der tonigen Barrieregesteine wurde in den pelitischen Ablagerungen in Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern nachgewiesen. Im Bereich der Inseln Rügen und Usedom ist die Mächtigkeit der Tonsteinhorizonte stark reduziert (BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011).

In der Altmark ist nach RADZINSKI (2008) die Rötpelet-Folge überwiegend aus Tonmergelstein aufgebaut. So ist die Rötpelet-Abfolge (112 m) in der Forschungsbohrung Garlipp (E Gap 1/86) größtenteils aus Tonmergelstein aufgebaut, gefolgt von dolomitischem Mergelgestein und untergeordnet von Tonstein und Anhydrit (BRANDES 2011). Wegen der Subrosion des salinaren Röt im Südwesten Sachsens-Anhalts wird vermutet, dass die Ablagerungen in der Rötpelet-Abfolge nicht mehr als Barriere geeignet sind (Abb. 5.3-4). Als Ursache der Subrosion werden Wasserwegsamkeiten im Untergrund angenommen, was wiederum auf unzureichende Abdichtung im Hangenden hinweist (BRANDES 2011).

In Nord- und Ost-Hessen ist die gesamte Abfolge des Mittleren Buntsandstein als Kluft-Aquifer ausgebildet. Dieser wird von den feinkörnigen, Grundwasser hemmenden Schichten des Oberen Buntsandstein (Röt) mit teilweise hoher Gipsführung abgedeckt. Bei entsprechender Mächtigkeit fungiert der Obere Buntsandstein regional als hydraulische Barriere, erreicht jedoch nicht die im Projekt geforderte Mindestdtiefe (KÖTT & KRACHT 2010).

Im Oberen Buntsandstein reicht die evaporitisch-halitisch geprägte Beckenfazies des zentralen Norddeutschen Beckens bis an den Nordrand des Thüringer Beckens. Nach Süden schließt sich eine breite Übergangszone mit vorwiegend pelitischen Sedimenten an, die verbreitet auch halitische und sulfatische Einschaltungen enthalten. Im zentralen und westlichen Thüringer Becken ist das Salinarröt mit einer Mächtigkeit von ca. 50 m Steinsalz und Anhydrit als guter Barrierehorizont anzusehen (ZANDER & HUCKRIEDE 2010). Da die Basis des Oberen Buntsandstein in Thüringen vorwiegend in geringeren Tiefen als 800 m unter Geländeoberkante liegt, hat dieser in Thüringen nur die Funktion einer zusätzlichen Barriere (ZANDER & HUCKRIEDE 2010). Die Eignung ist durch die Erdgasfelder Allmenhausen, Fahner Höhe und Langensalza im Mittleren Buntsandstein belegt (KÄSTNER et al. 2003).

## 5.4 Muschelkalk

Im Projekt wurden Ablagerungen des Muschelkalk nur im Oberrheingraben und im Gebiet des westlichen Molassebeckens bearbeitet. Der überwiegend durch marine Fazies gekennzeichnete Muschelkalk wird in den Unteren Muschelkalk, den Mittleren Muschelkalk und den Oberen Muschelkalk gegliedert (HAGEDORN & SIMON 2005). Aufgrund der verfügbaren Daten in Süddeutschland konnte die separate Bearbeitung der drei genannten lithostratigraphischen Subgruppen nicht durchgehend realisiert werden. In Norddeutschland erfolgte keine Bearbeitung der Ablagerungen im Muschelkalk, da im Rahmen des Projektes dort vorrangig sandige Speichergesteine charakterisiert wurden. Regional können in Norddeutschland saline Ablagerungen im Muschelkalk eine zusätzliche Barriere für tiefer liegende Speichergesteine sein.

### 5.4.1 Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Muschelkalk wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.4-1, Abb. 5.4-2, Abb. 5.4-3, Abb. 5.4-4):

- Muschelkalk undifferenziert: Baden-Württemberg (Teilgebiet Oberrheingraben)
- Unterer und Mittlerer Muschelkalk: Baden-Württemberg (Teilgebiet Molassebecken)
- Muschelkalk undifferenziert: Bayern (Teilgebiet Molassebecken)

Im Gebiet der Süddeutschen Molasse weisen der Untere Muschelkalk und der Obere Muschelkalk Speichereigenschaften auf; mangels Daten konnten der Untere und Mittlere Muschelkalk nicht getrennt erfasst werden. Der Mittlere Muschelkalk ist durch Barrieregesteine dominiert. Insgesamt erfüllen der Untere und Obere Muschelkalk als potenzieller Speicherkomplex Mächtigkeits- und Tiefenkriterium in großen Teilen des Untersuchungsgebietes (Abb. 5.4-2, Abb. 5.4-4). Im Oberrheingraben sind Speichergesteine insbesondere im Oberen Muschelkalk ausgebildet. Der Untere Muschelkalk in Baden-Württemberg wird nach FEHN et al. (2010) wie folgt charakterisiert:

- Der Untere Muschelkalk ist durch mittel- bis grobkörnige, teilweise konglomeratische Arkosesandsteine mit partieller silikatischer und kalkig-dolomitischer Zementation charakterisiert.
- Speichergesteine sind in der Eschenbach-Formation des Unteren Muschelkalk nachgewiesen (BOIGK 1981). Im Gebiet von Fronhofen-Illmensee besitzen diese eine Porosität von ca. 10 %.
- Die effektive Mächtigkeit liegt im Bereich von 6 m bis 10 m.
- Westlich der Linie Ulm - Ravensburg liegt der Top der Einheit vorwiegend in



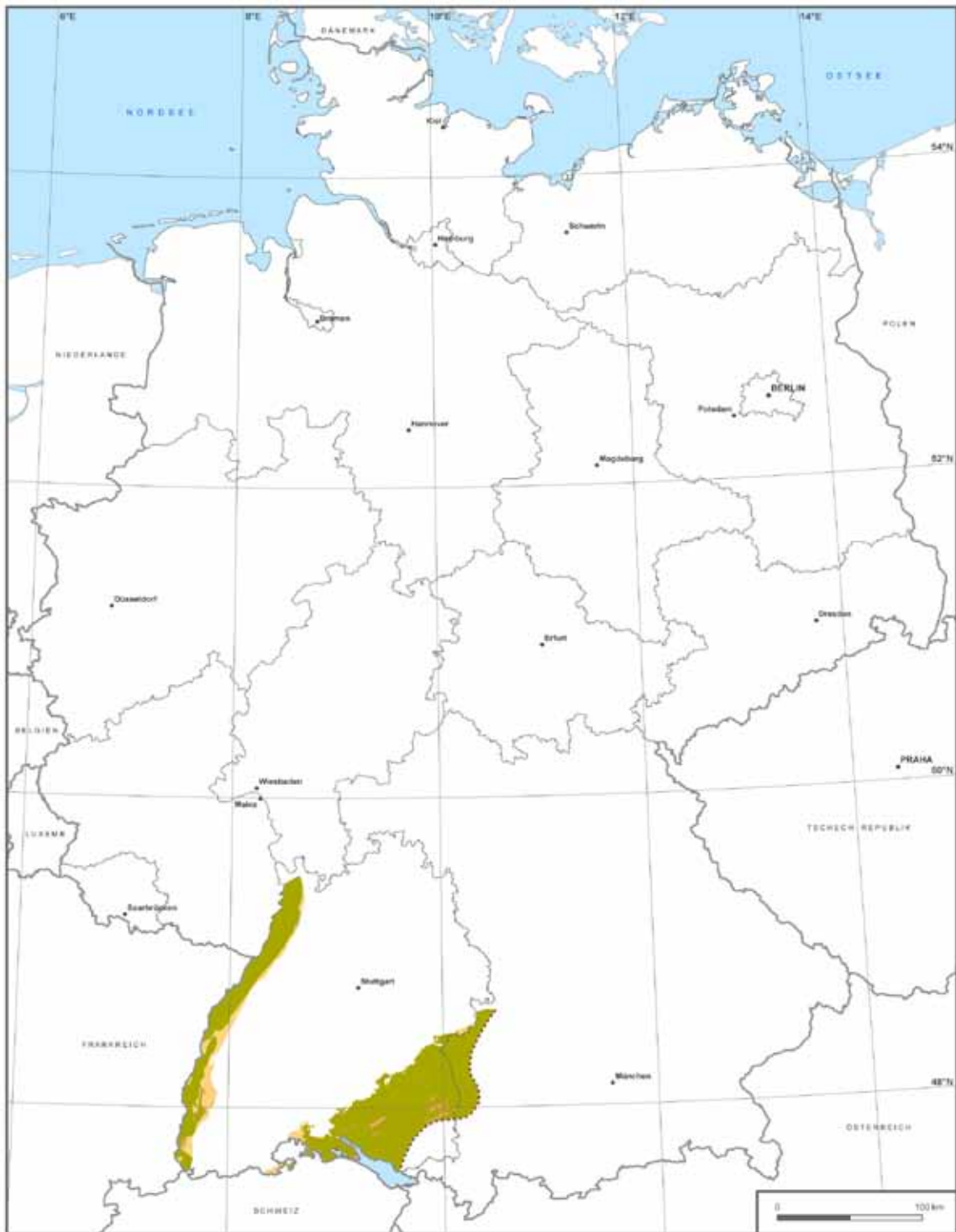
Untersuchte Einheiten:

- Unterer und Mittlerer Muschelkalk
- Muschelkalk (undifferenziert)

Einschränkung:

- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.4-1:** Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Unterer und Mittlerer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



- |   |                              |
|---|------------------------------|
| <b>Kategorisierung nach:</b>  | <b>Einschränkung:</b>        |
| Mächtigkeit >10m, Tiefe >800m   | unsichere Verbreitungsgrenze |
| Mächtigkeit >10m, Tiefe <800m   |                              |
| Mächtigkeit >10m, Tiefe nicht bekannt   |                              |
| Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),<br>Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt |                              |

**Abb. 5.4-2:** Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Unterer und Mittlerer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

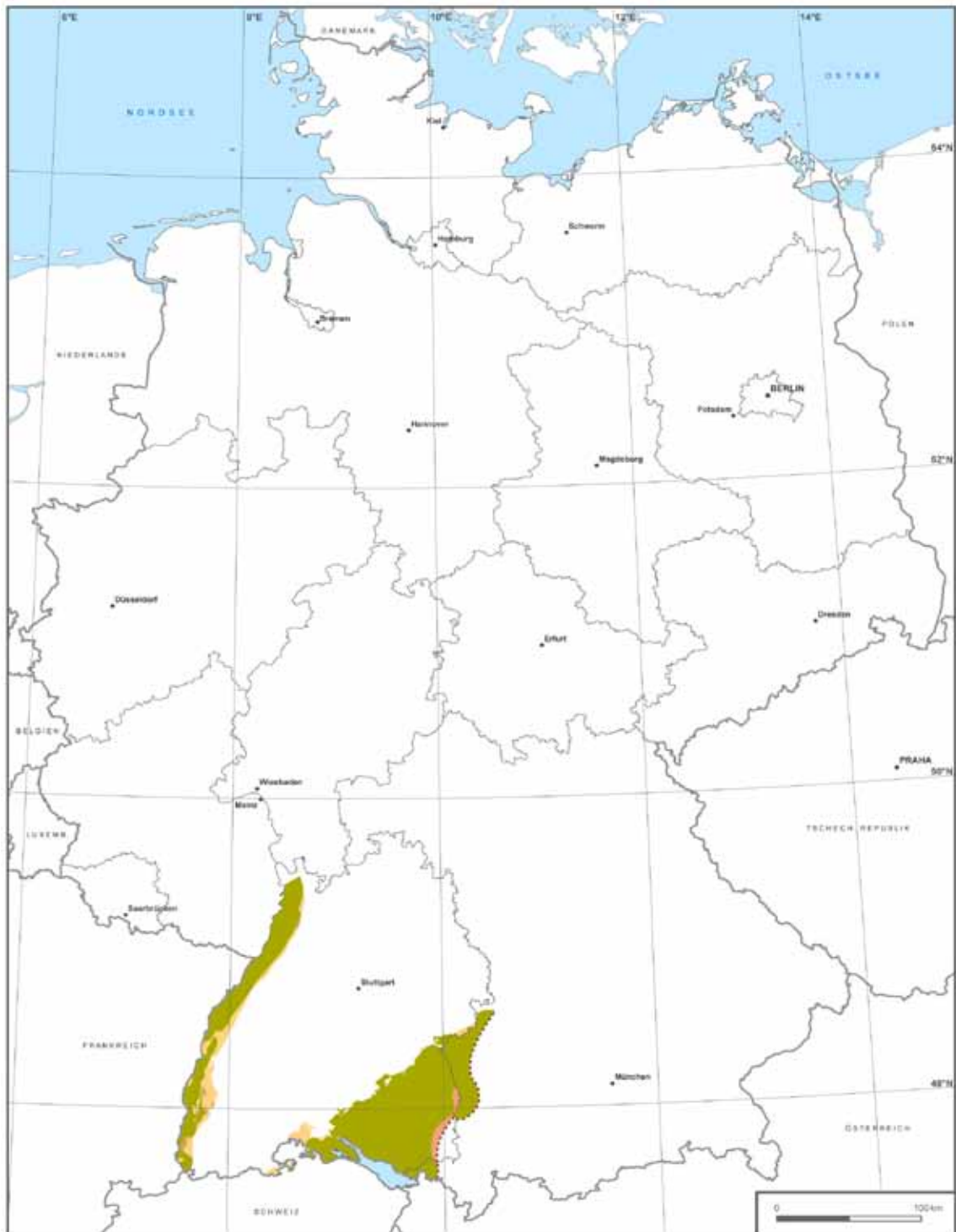
Untersuchte Einheiten:

- Oberer Muschelkalk
- Muschelkalk (undifferenziert)

Einschränkung:

- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.4-3:** Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Oberer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| <b>Kategorisierung nach:</b>   | <b>Einschränkung:</b>              |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808000; border: 1px solid black;"></span> Mächtigkeit >10m, Tiefe >800m                            | ----- unsichere Verbreitungsgrenze |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black;"></span> Mächtigkeit >10m, Tiefe <800m                            |                                    |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #C08040; border: 1px solid black;"></span> Mächtigkeit >10m, Tiefenlage nicht bekannt               |                                    |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #FF8C00; border: 1px solid black;"></span> Mächtigkeit <10m, Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt |                                    |

**Abb. 5.4-4:** Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Oberer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

Tiefen zwischen 1.000 m und 2.500 m (NN) und weist eine höhere Mächtigkeit auf. Richtung Südosten nimmt die Tiefenlage stark zu.

- In Richtung der paläogeographischen Schwellen im Nordwesten und Ost-Südosten reduziert sich die Mächtigkeit des Unteren und Mittleren Muschelkalk. Die Ablagerungen sind zunehmend durch Randfazies-Bildungen charakterisiert.

Der Obere Muschelkalk in Baden-Württemberg (Untersuchungsgebiet Molassebecken) wird nach FEHN et al. (2010) wie folgt charakterisiert:

- Der Obere Muschelkalk wird durch dolomitische Kalksteine und Kalksteine charakterisiert.
- Im Nordwesten des Untersuchungsgebietes beträgt die Mächtigkeit des Oberen Muschelkalk etwa 70 m und nimmt Richtung Ost-Südost stetig ab.
- Insbesondere der Trigonodusdolomit fungiert als geklüfteter und kavernöser Aquifer. Dessen Anteil am Oberen Muschelkalk nimmt von ca. 25 m Mächtigkeit im Norden und Westen der Region nach Südosten auf praktisch 100 % der Mächtigkeit des Oberen Muschelkalk zu.
- Angaben zur Porosität liegen zwischen 11 % und 18 %. Sekundär geklüftete und/oder kavernöse Gesteinsschichten können die Porositätswerte des Oberen Muschelkalk deutlich beeinflussen.
- Westlich der Linie Biberach - Ravensburg liegt der Top des Oberen Muschelkalk vorwiegend in Tiefen zwischen 1.000 m und 2.500 m. Richtung Süden nimmt die Tiefenlage stark zu. Außerdem ist dort der Anteil des Oberen Muschelkalk an der Gesamtmächtigkeit des Muschelkalk erhöht.

In Bayern (Untersuchungsgebiet Molassebecken) tritt der Muschelkalk im äußersten Westen gebietsweise in sandiger Randfazies auf (z. B. nördlich von Memmingen und im Gebiet von Lindau). Die Mächtigkeit des gesamten Muschelkalk nimmt in diesen Gebieten von ca. 50 m im Westen nach Osten hin rasch ab. Im Untersuchungsgebiet werden Tiefen- und Mächtigkeitskriterium erfüllt (Abb. 5.4-2, Abb. 5.4-4). Aussagen zu Speichereigenschaften lassen sich aus den vorliegenden Daten nicht ableiten (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

In Baden-Württemberg (Oberrheingraben) ist der Muschelkalk nach FEHN et al. (2010) wie folgt charakterisiert: Mit Ausnahme eines sich nach Süden bis in die Freiburger Bucht allmählich verbreiternden Streifens entlang der östlichen Grabenrandverwerfung und kleinerer Bereiche entlang des Rheins zwischen Offenburg und Freiburg ist der Muschelkalk im gesamten Untersuchungsgebiet des Oberrheingrabens verbreitet.

Die marin-salinare Abfolge des Muschelkalk besteht aus Kalksteinen, Tonsteinen, Sulfatgesteinen und vorwiegend dolomitischem Kalkstein. Potenzielle Speicherhorizonte sind

insbesondere im Oberen Muschelkalk sowie in der oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalk entwickelt. Der kavernöse, dolomitische Zellenkalk des Trigonodusdolomit (Rottweil-Formation) am Top des Oberen Muschelkalk bildet dabei den bedeutendsten Speicherhorizont. Der Muschelkalk erfüllt als potenzieller Speicherkomplex in großen Teilen des Untersuchungsgebietes Mächtigkeits- und Tiefenkriterium (Abb. 5.4-2, Abb. 5.4-4) und erreicht im Oberrheingraben insgesamt Mächtigkeiten von 160 m bis 210 m. Der aus Kalkstein, dolomitischem Kalkstein und Tonstein aufgebaute Untere Muschelkalk hat im Vergleich zum Oberen Muschelkalk deutlich weniger gut ausgeprägte Speichereigenschaften (GLA-BW/BRGM 1979, GLA-BW 1981).

Vor allem im Bereich der östlichen Grabenrandverwerfungen des Oberrheingrabens liegt der Top des Muschelkalk in geringeren Tiefen als 800 m. Dies betrifft insbesondere die Region zwischen Offenburg und Freiburg, die durch die Struktur der Rheinischen Hauptschwelle bestimmt wird (RUPF & NITSCH 2008).

#### **5.4.2 Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)**

Die nachfolgenden stratigraphischen Einheiten des Muschelkalk wurden für Baden-Württemberg speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.4-5, Abb. 5.4-6):

- Muschelkalk undifferenziert: Teilgebiet Oberrheingraben
- Unterer und Mittlerer Muschelkalk: Teilgebiet Molassebecken

In beiden Teilgebieten ist der Mittlere Muschelkalk als geologische Barriere entwickelt, konnte aber mangels Daten nicht als eigenständige geologische Einheit ausgewertet werden. Die Darstellung bezieht sich daher auf den Unteren und Mittleren Muschelkalk im Molassebecken und den gesamten Muschelkalk im Oberrheingraben. Der so definierte Muschelkalk erfüllt als potenzieller Barrierekomplex in großen Teilen des Untersuchungsgebietes Mächtigkeits- und Tiefenkriterium (Abb. 5.4-6).

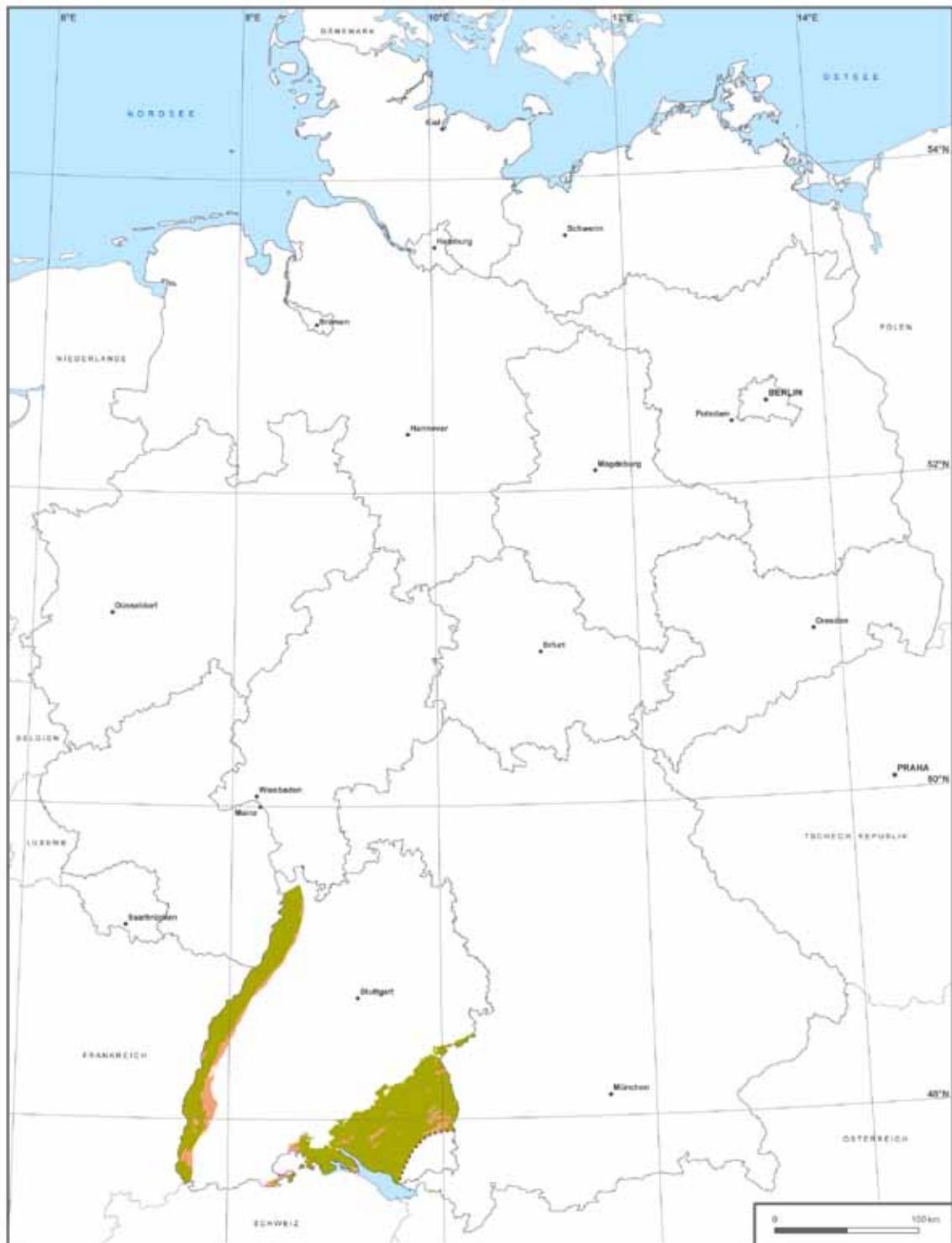
Im Oberrheingraben wurden die salinaren Ablagerungen des Mittleren Muschelkalk größtenteils ausgelaugt. Die Residualgesteine bestehen überwiegend aus Ton- und Sulfatgestein und bilden eine geologische Barriere. Allerdings können die stauenden Tonsteinzwischenlagen örtlich stark zerbrochen sein, so dass Wasserwegsamkeiten bestehen (FEHN et al. 2010).

Im Westen des Gebietes des Molassebeckens in Baden-Württemberg treten im Mittleren Muschelkalk Steinsalzbildungen auf, die in Richtung der Vindelizischen Schwelle auskeilen (RUPF & NITSCH 2008). Als Barrieregesteine treten im gesamten Gebiet zudem dolomitische Mergel, Ton- und Kalksteine auf (FEHN et al. 2010).



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Untersuchte Einheiten:</b>     | <b>Einschränkung:</b>              |
| Unterer und Mittlerer Muschelkalk | ----- unsichere Verbreitungsgrenze |
| Muschelkalk (undifferenziert)     |                                    |

**Abb. 5.4-5:** Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >20m und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m (z.T. nicht bekannt)  
oder Tiefe <800m (z.T. nicht bekannt)

Einschränkung:

- unsichere Verbreitungsgrenze

**Abb. 5.4-6:** Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.



## 5.5 Mittlerer Keuper (Süddeutschland)

Im Gebiet des Süddeutschen Molassebeckens hat sich der Sedimentationsraum im Keuper gegenüber dem Muschelkalk deutlich nach Südosten erweitert. Die vorwiegend marinen bis brackischen Ablagerungen des Unteren Keuper werden nachfolgend zunehmend von limnischen bis terrestrischen Ablagerungen im Mittleren und Oberen Keuper ersetzt, in denen sich einzelne Sandsteinhorizonte entwickelten. Im Mittleren Keuper sind dies die lithostratigraphischen Einheiten Schilfsandstein, Kieselsandstein, Sandsteinkeuper und Stubensandstein (BoIGK 1981). Die siliziklastischen Schüttungen des Schilfsandstein stammen vom Skandinavischen Schild im Nordosten. Die Sandschüttungen des Kieselsandstein, Sandsteinkeuper und Stubensandstein erfolgten vom weniger weit entfernten Vindelizisch-Böhmischen Festland im Osten. Diese Sandsteine sind daher generell eher grobkörnig und weniger gut sortiert (Groschopf & Villinger 2002, Etzold & Schweizer 2005). In Süddeutschland begrenzten die verfügbaren Bohrungen und Karten die Bearbeitung der lithostratigraphischen Einheiten auf den Mittleren Keuper.

### 5.5.1 Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Mittleren Keuper wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.5-1, Abb. 5.5-2):

- Sandsteinkeuper: Bayern
- Stubensandstein-Formation: Baden-Württemberg

Die Abfolgen des Sandsteinkeuper im Gebiet der bayerischen Molasse bestehen aus fein- bis grobkörnigen, z. T. Geröll führenden Sandsteinen (nur selten Arkosen) mit Steinmergel-, Tonstein- und Gipsstein-Einschaltungen. Sie reichen hier bis etwa zur Linie Kempten - Pfaffenhofen/Ilm. Das in Abb. 5.5-1 dargestellte Verbreitungsgebiet des Sandsteinkeuper enthält mit der Mühldorfer Bucht am südwestlichen Abbruch des Landshut-Neuöttinger Hochs einen Bereich mit unsicherer Sandsteinkeuper-Verbreitung (Schulz & Diepolder 2010).

Die Schichtobergrenze des Sandsteinkeuper liegt zwischen 500 m unter NN im Norden und 3.800 m unter NN im Süden, bei Mächtigkeiten bis zu 100 m (Diepolder & Schulz 2011). Anhand von 6 Bohrungen wurden Mittelwerte der Porosität zwischen 14 % und 20 % sowie Median-Werte der Permeabilität zwischen 5 mD und 569 mD bestimmt (Schulz & Diepolder 2010).

Richtung Beckenzentrum im Westen sind die Ablagerungen zunehmend deutlicher in einzelne Abfolgen gegliedert. Im Gebiet des Molassebeckens von Baden-Württemberg wurden die Sandsteine der Stubensandstein-Formation als potenzielle Speicher bearbeitet. Die Stubensandstein-Formation besteht hier aus einem tonigen Mittelsandstein in

Wechsellagerung mit Sand- und Tonstein. Die Sandsteine sind meist rinnen- bis linsenförmig ausgebildet. Die Stubensandstein-Formation erreicht eine Gesamtmächtigkeit von bis zu 70 m, im Durchschnitt ist sie 10 m bis 30 m mächtig. Die Nettomächtigkeit der Sandsteinhorizonte dieser Formation liegt im Durchschnitt unter 10 m, lediglich in 6 Bohrungen konnten Werte über 10 m ermittelt werden. Diese Bohrungen liegen südöstlich von Biberach sowie in den KW-Feldern Kirchdorf und Mönchsrot. Für die Porosität und Permeabilität wurden im Gebiet Wurzach (Erdgasfeld) Werte von 10 % bis 18 % bzw. max. 45 mD, in Pfullendorf-Ostrach (Erdöl-/Erdgasfeld) durchschnittlich 20 % bzw. 50 mD bis 150 mD angegeben (FEHN et al. 2010).

### **5.5.2 Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex**

In Süddeutschland wurden zeitlich äquivalente Ablagerungen des oberen Mittleren Keuper für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.5-3, Abb. 5.5-4):

- Feuerletten-Formation: Bayern
- Knollenmergel-Formation: Baden-Württemberg

Die überwiegend tonig bis mergelig ausgebildete Feuerletten-Formation des oberen Mittleren Keuper erfüllen im Gebiet der bayerischen Molasse, bis auf den Bereich der keuperzeitlichen Küstenlinie (sandige Randversandung und geringe Mächtigkeit), die Anforderungen für einen Barrieregesteinskomplex. Die Ablagerung erreicht eine Mächtigkeit von über 40 m, wobei diese Richtung Süden abnimmt (DIEPOLDER & SCHULZ 2011). Der Bereich der sandigen Randfazies kann aufgrund mangelnder Angaben zur Lithologie nicht exakt abgegrenzt werden. So können in dem Gebiet, in dem die Kriterien Tiefenlage und Mächtigkeit erfüllt werden, auch Bereiche mit ungeeigneter Gesteinsbeschaffenheit für eine regionale Barriere auftreten. Ein Bereich mit unsicherer Verbreitung ist die Mühdorfer Bucht (Abb. 5.5-3; SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

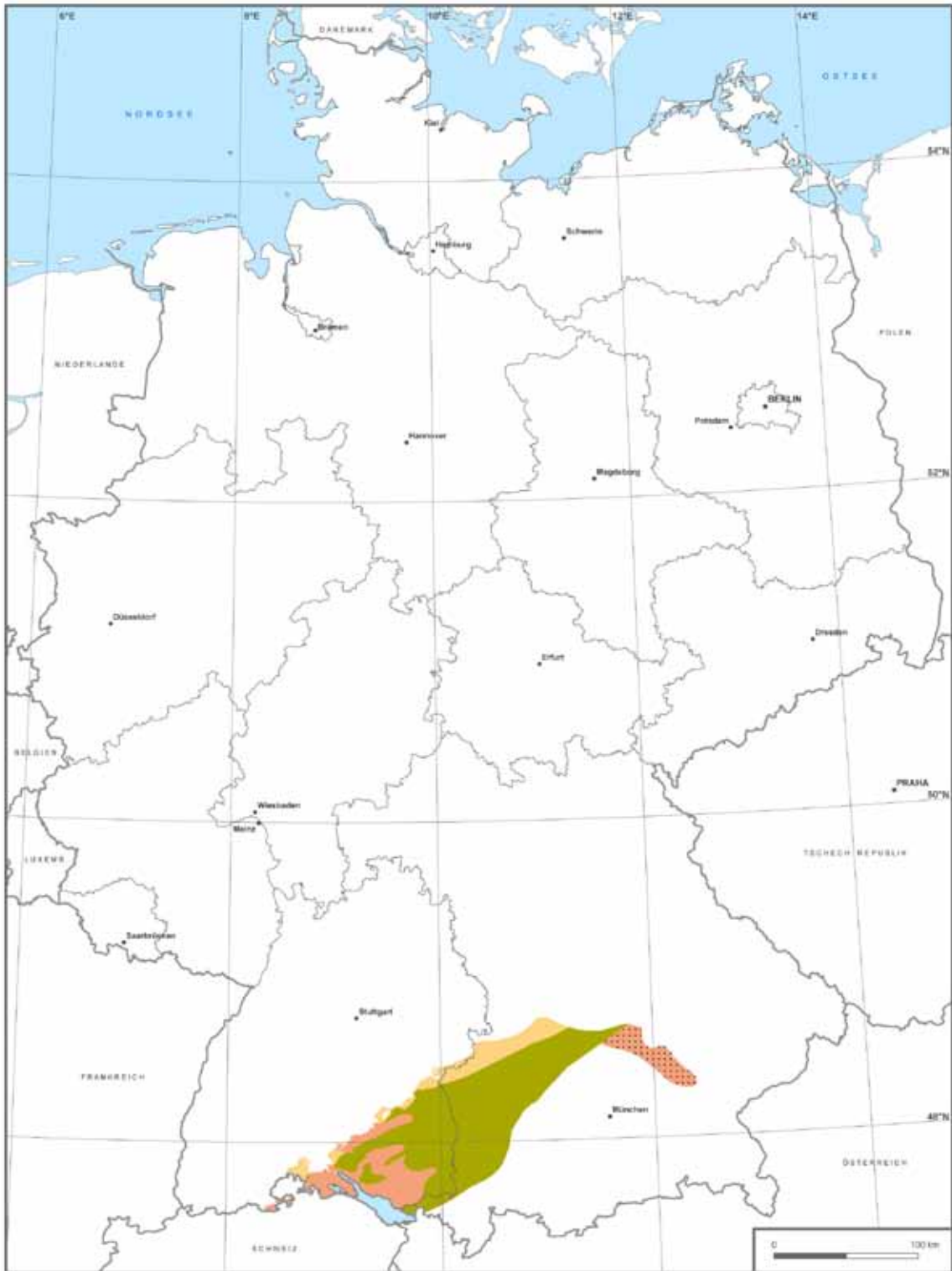
Die untersuchungswürdige Stubensandstein-Formation wird im Gebiet der Molasse von Baden-Württemberg (bis auf den südlichsten Bereich) von der Knollenmergel-Formation als potenzielle Barriere überlagert (Abb. 5.5-2, Abb. 5.5-4). Die Knollenmergel-Formation besteht aus einförmig ausgebildeten karbonatischen Tonsteinen mit Einschaltungen von Sandstein und erreicht Mächtigkeiten bis 45 m. Im zentralen Teil des baden-württembergischen Molassebeckens werden Tiefen- und Mächtigkeitskriterium erfüllt, nördlich und südlich davon jedoch nicht. Im Norden liegt der Top der Knollenmergel-Formation weniger als 800 m unter der Geländeoberkante, im Süden ist sie zu gering mächtig (FEHN et al. 2010).

Zusätzlich wird im Gebiet der bayerischen Molasse für den Unteren Keuper bis zum Gipskeuper (Mittlerer Keuper) ein Barrierepotenzial angenommen (Abb. 5.5-5). Die Litho-



<b>Untersuchte Einheiten:</b>	<b>Einschränkung:</b>	<b>Regionalgeologische Struktur:</b>
Sandsteinkeuper	unsichere Verbreitung	Mühldorfer Bucht
Stubensandstein-Formation		

**Abb. 5.5-1:** Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

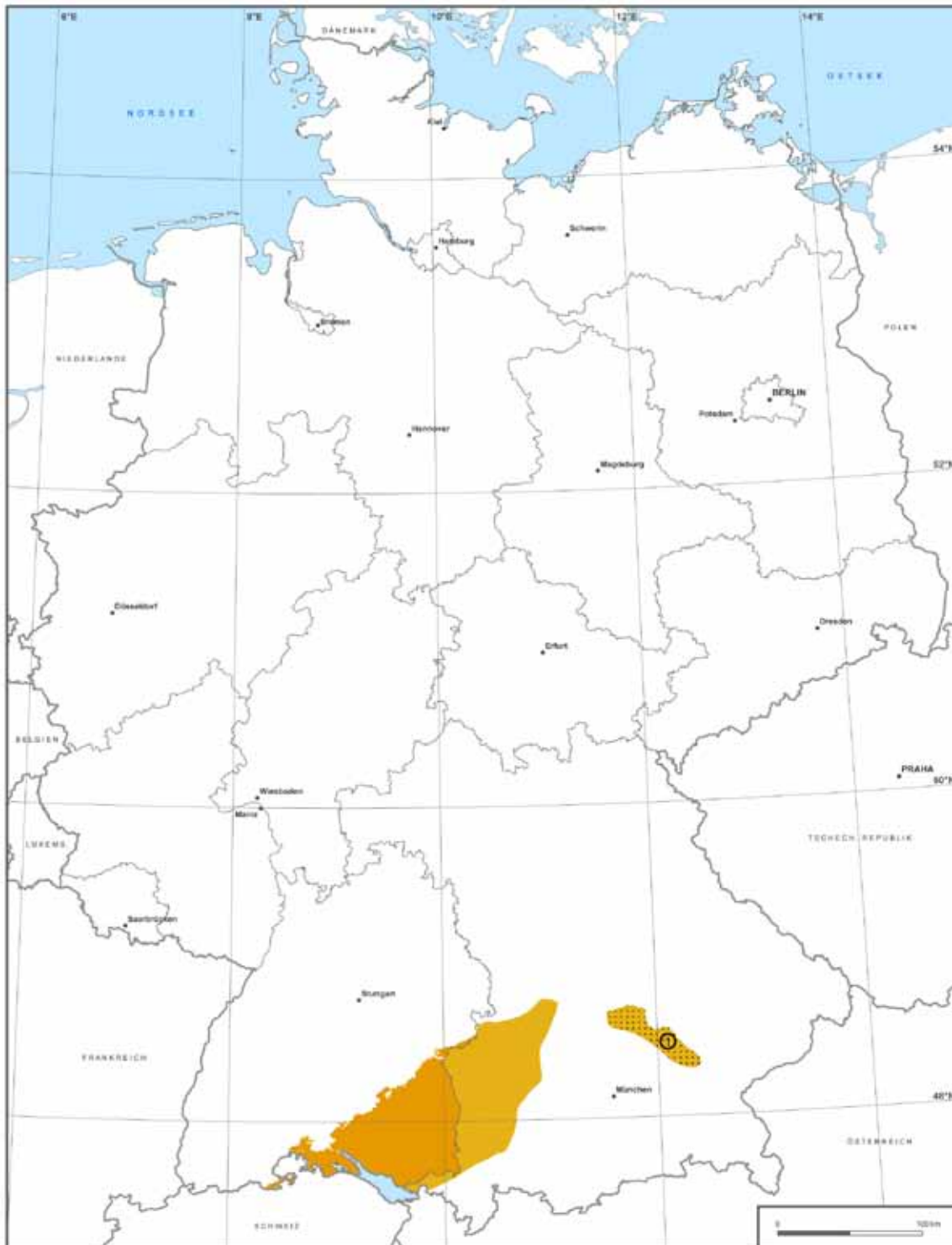
- Mächtigkeit >10m, Tiefe >800m
- Mächtigkeit >10m, Tiefe <800m
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Einschränkung:**

- unsichere Verbreitung

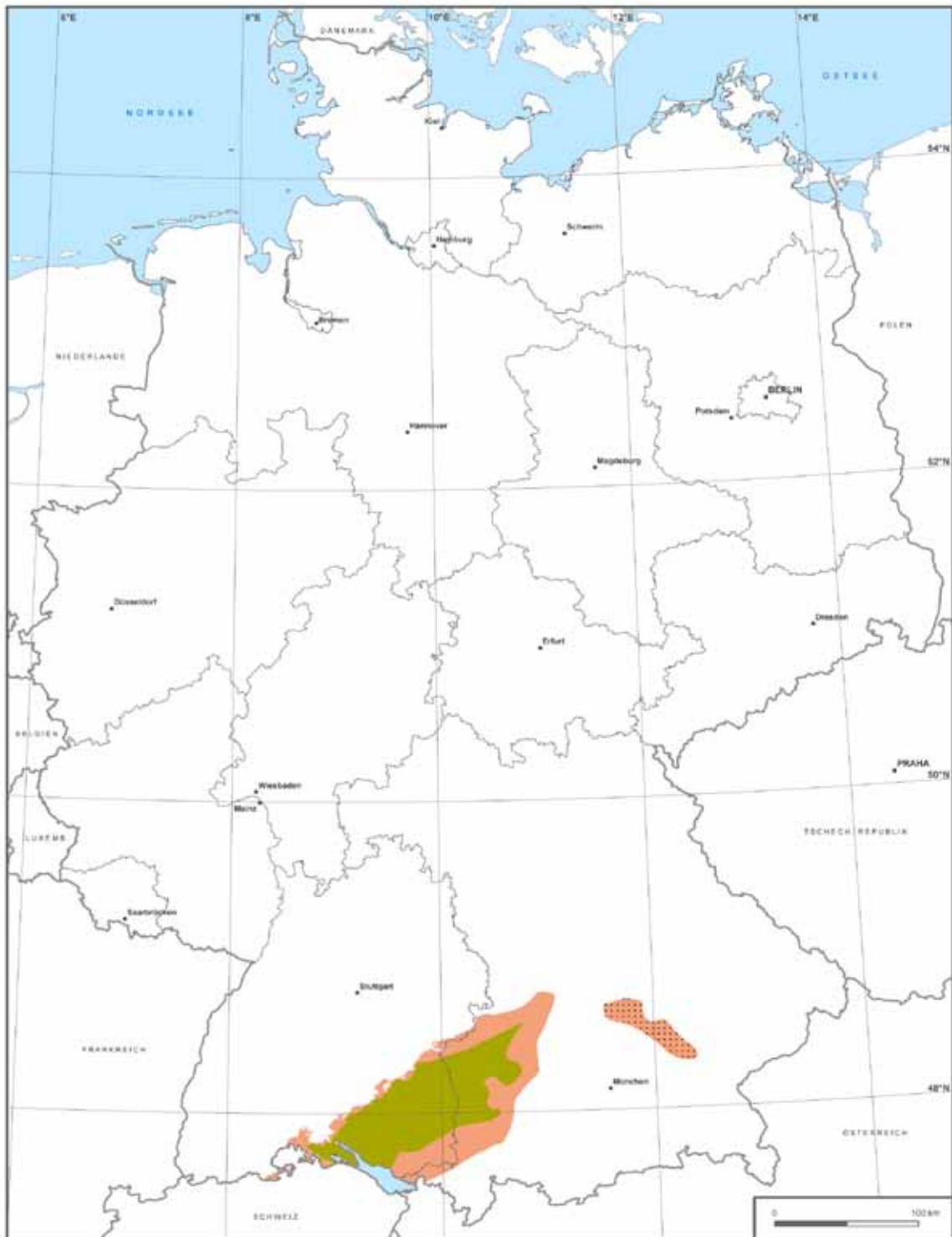
Mittelwert der Nettomächtigkeit der Stubensandstein-  
Formation in Baden-Württemberg: 6,9m

**Abb. 5.5-2:** Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.



<b>Untersuchte Einheiten:</b>	<b>Einschränkung:</b>	<b>Regionalgeologische Struktur:</b>
Feuerletten-Formation	unsichere Verbreitung	Mühldorfer Bucht
Knollenmergel-Formation		

**Abb. 5.5-3:** Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >20m und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m (z. T. nicht bekannt) und/oder Tiefe <800m (z. T. nicht bekannt)

**Einschränkung:**

- unsichere Verbreitung

**Abb. 5.5-4:** Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

**Untersuchte Einheit:**

 Unterer Keuper bis Mittlerer Keuper (Gipskeuper)

**Abb. 5.5-5:** Ablagerungen des Unteren bis Mittleren Keuper (Gipskeuper) als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheit im Teilprojekt (Untersuchungsgebiet).

logie dieser Ablagerungen ist durch Tonstein, Kalkstein sowie Gipslagen gekennzeichnet, wobei Richtung Südosten eine sandige Randfazies zu beachten ist (FREUDENBERGER 1996). Aufgrund mangelnder Daten konnten diese Ablagerungen nicht nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert werden (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

## **5.6 Oberer Keuper, Unterjura und unterer Mitteljura**

Der Obere Keuper (Rhät, Rhätkeuper) wird von NITSCH (2005) als Exter-Formation bezeichnet. Für den Unterjura wird nachfolgend häufig der stratigraphische Begriff Lias und für den Mitteljura der Begriff Dogger verwendet (s. Tab. 3.2-1, Tab. 3.2-2). Die stratigraphischen Grenzen der unterschiedlichen Bezeichnungen weichen geringfügig voneinander ab, beeinflussen jedoch nicht die speichergeologischen Einschätzungen im Projekt. Die Aquifere des Rhät und des unteren Lias sind in Nordostdeutschland eine Abfolge lithologisch sehr ähnlich entwickelter Sandstein-Aquifere und bilden häufig eine hydrodynamische Einheit.

Die Entwicklung des Norddeutschen Beckens ist in diesem Zeitraum durch eine zunehmende Differenzierung des Sedimentationsraums in kleinere Teilbecken gekennzeichnet. Regional bedeutende, tektonisch gesteuerte Subsidenzzentren waren der Gifhorn-Trog und die Südwest-Mecklenburg-West-Brandenburg-Senke sowie im Lias eine Nordwest-Südost gerichtete Zone, die etwa das westliche und nordwestliche Niedersachsen umfasst. Weiterhin treten maximale Mächtigkeiten innerhalb von Randsenken auf, deren Entstehung mit halokinetischen Bewegungen der Permsalinare in Zusammenhang stehen (z. B. SCHECK 1997). Zusätzlich sind sowohl die Verbreitung als auch die Mächtigkeit der Ablagerungen des Rhät und des Lias durch Erosion modifiziert worden.

Die Ablagerungen im Rhät und Lias sind durch einen Wechsel der Fazies von vorwiegend limnisch-fluviatil bis litoral im Rhät hin zu überwiegend tonigen Sedimenten im Lias gekennzeichnet. Potenzielle Speichergesteine in Nord- und Süddeutschland sind die sandigen Ablagerungen des Rhät und unteren Lias (Kap. 5.6.1), wobei im Lias geeignete Sandsteine vorwiegend im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens verbreitet sind. Die tonigen Ablagerungen des Lias und Dogger werden im Barrierekomplex Unterjura und unterer Mitteljura analysiert und bewertet (Kap. 5.6.2).

### **5.6.1 Ablagerungen des Oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Oberen Keuper und des Unterjura wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.6-1, Abb. 5.6-2):



- Rhätkeuper und Lias (ohne Toarc): Brandenburg, Berlin und Mecklenburg-Vorpommern
- Rhätkeuper und Lias (ohne Pliensbach und Toarc): Sachsen-Anhalt
- Rhätkeuper und Lias (undifferenziert): Bayern
- Rhätkeuper (-Formation): Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Baden-Württemberg

In der zusammenhängenden Fläche in Norddeutschland, in der die Kriterien erfüllt sind, kommen auch größere Gebiete mit fehlender Verbreitung oder Gebiete, die nicht den projektspezifischen Anforderungen genügen vor (Abb. 5.6-2). Dabei ist Richtung Nordosten und Südosten das Kriterium der kumulativen Mindestmächtigkeit der Sandsteine weiterhin gegeben, jedoch das Tiefenkriterium für den Top des Speicherkomplexes häufig nicht mehr. Im Gebiet des Molassebeckens werden die Kriterien nur eingeschränkt im Bereich von Baden-Württemberg erfüllt (Abb. 5.6-2).

In Norddeutschland sind mögliche Speicherhorizonte des Rhät vorrangig an drei unterschiedlich alte Sandsteinhorizonte gebunden: den Postera-Sandstein des Unterrhät (Rinteln-Subformation), den Contorta-Sandstein des Mittelrhät (Oeynhausens-Subformation) und an die Sandsteinlagen des Oberrhät (Vahlbruch-Subformation; BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011). Daneben treten Sandsteinlagen lokal (z. B. in Brandenburg) auch im Mittleren Steinmergelkeuper auf (BEBIOLKA et al. 2011). Im westlichen und nordwestlichen Nordwestdeutschland sind die Sandsteine Teil einer marinen bis deltaisch-paralischen Fazies. In Richtung Osten folgen zunehmend Ablagerungen eines Deltas, die in Rinnen- und Überflutungsfazies untergliedert ist. Im Mittelrhät dominiert in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern eine lagunäre Fazies (BEUTLER et al. 1999, BEUTLER & NITSCH 2005, FRANZ 2008). Die Deltasedimente wurden von dem im Nordosten gelegenen Fennoskandischen Festland geschüttet (SCHULZ & RÖHLING 2000). Die distalen Ausläufer dieser Schüttungen reichen bis ins Subherzyn. Aus Süden (vom Vindelizisch-Böhmischen Festland) wurden Sedimente im südlichen Brandenburg und im Subherzyn abgelagert. Diese Sedimente verzahnen sich Richtung Norden mit den sandigen Sedimentschüttungen aus dem Norden (BEBIOLKA et al. 2011).

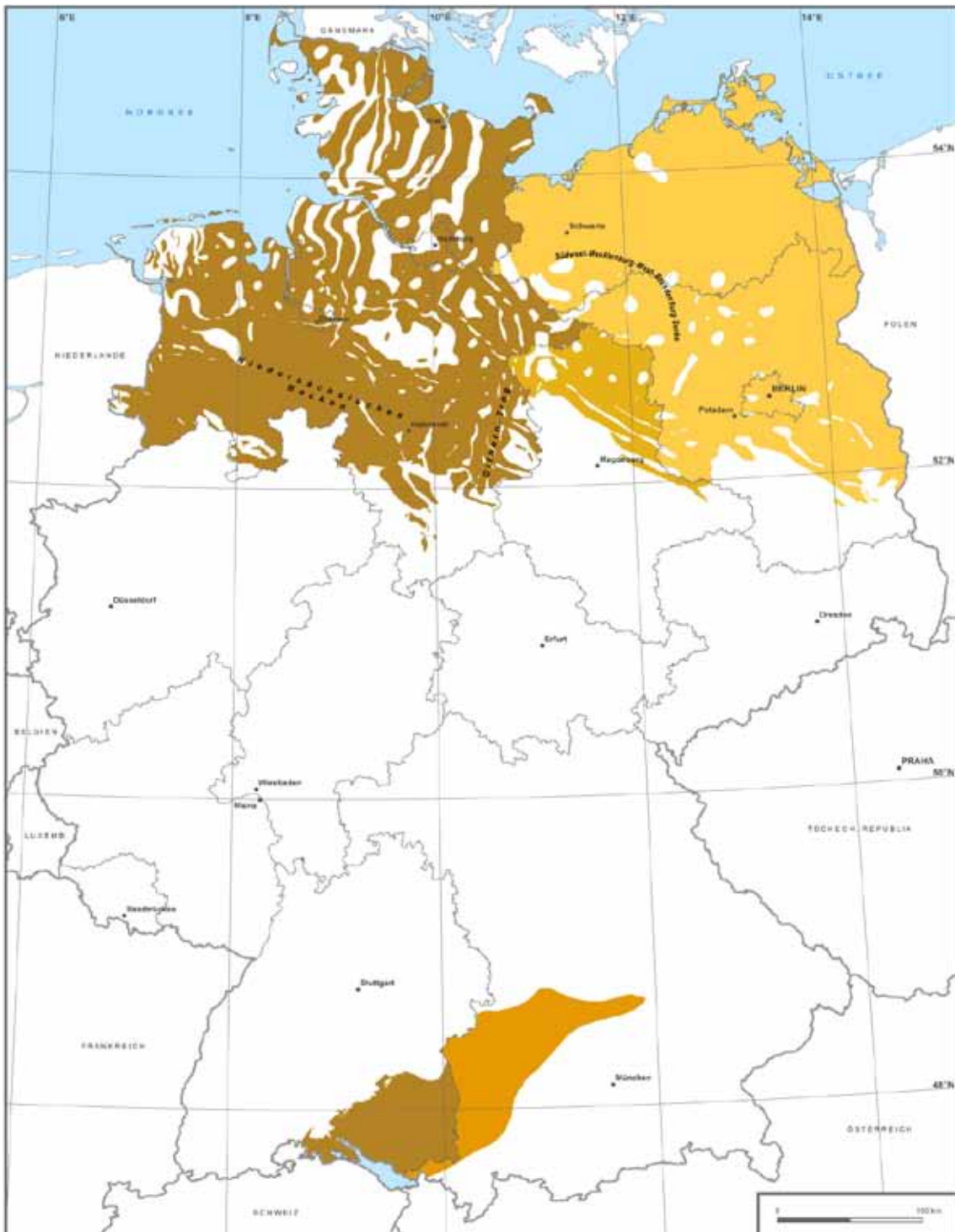
Generell nimmt der Sandsteinanteil an der Gesamtmächtigkeit des Rhät von den Beckenrandbereichen im Osten in Richtung Westen (zentrales Norddeutsches Becken) zugunsten der Tongesteinsmächtigkeit ab. So können die Sandsteinanteile in Südost-Brandenburg (nahe dem Abtragungsgebiet des Vindelizischen Festlandes) bei bis zu 75 % liegen, in den durch Wechsellagerungen charakterisierten Gebieten in Nord-Brandenburg bei 50 % und weniger (RUSITZKA 1969, BEBIOLKA et al. 2011). Richtung Rügen im Nordosten, einer paläogeographischen Schwellenregion, sind kumulative Mächtigkeiten von bis zu 400 m im Gebiet von Vorpommern und Usedom bekannt

(BRANDES & OBST 2010). Im Westschleswig-Block sind dagegen aufgrund der z. T. geringen Restmächtigkeiten im Rhät und der zunehmenden Verentonung keine relevanten Speicherpotenziale mehr zu erwarten (HABLE et al. 2011).

Günstige Speichergesteine sind vorrangig an die deltaische Rinnenfazies gebunden. Der Verlauf der Rinnen wurde durch synsedimentäre halokinetische Bewegungen der permischen Salinare beeinflusst. In den so entstandenen Senkungszonen treten Sandsteinschichten auf, die nur geringfügig durch tonig-schluffige Einschaltungen differenziert sind. Insbesondere im Osten von Niedersachsen sind die trennenden tonigen Schichten zwischen den Sandsteinen nur geringmächtig ausgebildet (SCHULZ & RÖHLING 2000). Dieser Trend setzt sich Richtung Osten fort. Auch in Schleswig-Holstein sind, bei hoher Gesamtmächtigkeit des Rhät, kumulierte Sandsteinmächtigkeiten von 70 m bis 85 m in den Randtrögen der Salzstrukturen Honigsee-Warnau und Sterup (Abb. 4.2-1) zu verzeichnen (HABLE et al. 2011).

Der Lias wird in die vier Stufen Hettang, Sinemur, Pliensbach und Toarc gegliedert (MÖNNIG 2005). Im Lias gewinnen marine Sedimente zunehmend an Bedeutung und es ist generell im Norddeutschen Becken zwischen einer sandigeren Ostfazies und einer tonigeren Westfazies (auch Beckenfazies genannt) zu unterscheiden (BRAND & HOFFMANN 1963). Es kam zu mehreren aufeinander folgenden von Westen nach Osten vordringenden Transgressionszyklen. Infolge tiefer Erosion kann das Hettang in Brandenburg bis in den Steinmergelkeuper diskordant übergreifen (GÖTHEL 2006b). Die Sande sind vor allem aus nordöstlicher und südöstlicher Richtung geschüttet worden und sind westlich der Linie Hannover - Hamburg kaum noch ausgebildet (HOTH et al. 2007). Im Osten von Niedersachsen ist anhand von Bohrungen eine Sandsteinmächtigkeit zwischen 2 m und 83 m erfasst worden; im Osten von Schleswig-Holstein treten stärker sandige Lagen (ca. 9 m bis 28 m) im Hettang auf (HABLE et al. 2011, KNOPF 2011). Mächtigere Sandsteinhorizonte kommen im Nordostdeutschen Becken in den Ablagerungen des Hettang (Pylonotensandstein), des Sinemur und des Oberen Pliensbach vor (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010). Für das Sinemur, die Basis des Unteren sowie des Oberen Pliensbach sind feinkörnige Sandsteine typisch. Diese sind über das gesamte nordöstliche Becken verbreitet, wobei die Mächtigkeit von Westen nach Osten zunimmt (PETZKA et al. 2004). Im Bereich der Eichsfeld-Altmark-Schwelle treten im Untersinemur eisenoolithische Sandsteine auf; ansonsten überwiegen tonige bis tonig-mergelige Ablagerungen (BRANDES 2011).

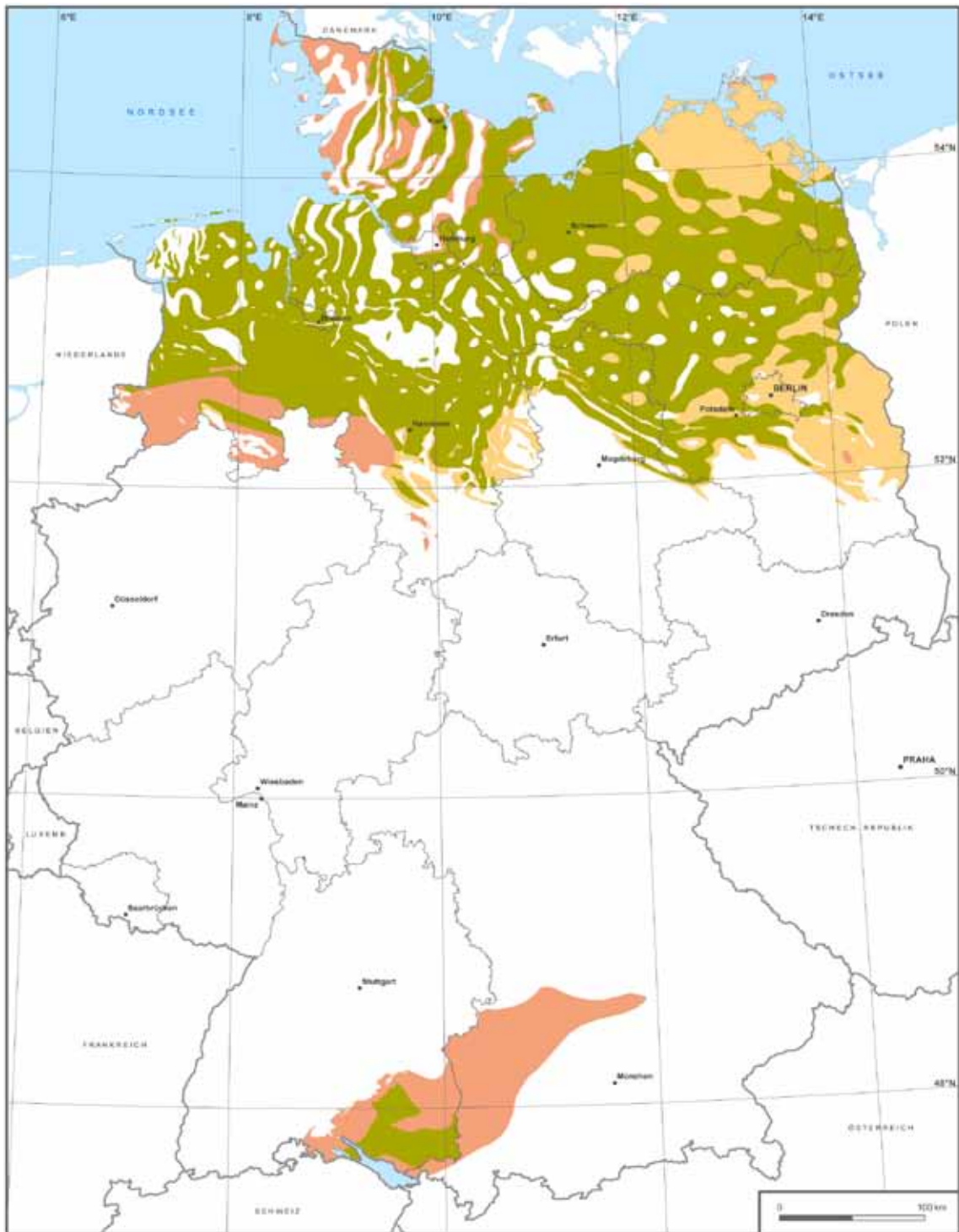
Insgesamt sind die in Norddeutschland weit verbreiteten Rhät-Sandsteine durch gute Speichereigenschaften (Porosität, Permeabilität und Mächtigkeit) charakterisiert, die insbesondere durch die Fazies und die Tiefenlage der Sandsteinhorizonte beeinflusst werden. Konkret liegen die Porositätswerte im Osten Niedersachsens bei 9 % bis 14 % mit maximalen Werten von über 20 % (KNOPF 2011). Auch in der westlichen Altmark liegen



Untersuchte Einheiten:

- Rhätkeuper und Lias (ohne Toarc)
- Rhätkeuper und Lias (ohne Pliensbach und Toarc)
- Rhätkeuper und Lias (undifferenziert)
- Rhätkeuper (-Formation)

**Abb. 5.6-1:** Ablagerungen des Oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >10m , Tiefe >800m
- Mächtigkeit >10m , Tiefe <800m
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

Einschränkung:

Mittelwert der Nettomächtigkeit der Rhätkeuper-  
Formation in Baden-Württemberg: 4,5m

**Abb. 5.6-2:** Ablagerungen des Oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

die Porositätswerte im Bereich von 15 % bis 25 % (BRANDES 2011). In den Contorta-Schichten von Mecklenburg-Vorpommern liegt die Nutzporosität deutlich über 10 % bei maximalen Werten von über 30 % (BRANDES & OBST 2010). In Schleswig-Holstein sind anhand von Bohrungen Rhät-Sandsteine nachgewiesen, die Porositätswerte von über 15 % bis maximal 30 % haben (HABLE et al. 2011). Porositätswerte von über 20 % weisen vorrangig Sandsteinschichten in geringerer Tiefenlage als 2.500 m auf (THOMSEN 2004). Für Ablagerungen des Hettang und des Sinemur sind östlich Berlins Porositätswerte von 20 % bis 28 % sowie für die Sandsteine des Pliensbach von 20 % bis 30 % nachgewiesen worden. Die Permeabilitäten liegen hier zwischen 110 mD bis maximal 998 mD. In den nordöstlich von Berlin anschließenden Gebieten sind vergleichbare Angaben mit Porositätswerten von 25 % und 30 % vorhanden (BEBIOLKA et al. 2011).

Im Gebiet des süddeutschen Molassebeckens wird der potenzielle Speichergesteinskomplex Rhät bis zum unteren Lias von Sandsteinen mit Tonstein-Einschaltungen aufgebaut. Die Verbreitung reicht bis etwa zur Linie Landshut - Augsburg - Kempten. Der Komplex ist aufgrund unterschiedlicher stratigraphischer Zusammenfassungen in den verfügbaren Bohrprofilen oft nicht weiter zu differenzieren und wird häufig als Rhätolias zusammengefasst. Im Vergleich zu Norddeutschland besitzt der Speicherkomplex im Gebiet des süddeutschen Molassebeckens eine sehr geringe Gesamtmächtigkeit von weniger als 10 m im Osten und erreicht maximal 20 m in Richtung Südwesten, in dem einzelne sandige Ablagerungen (z. B. der sogenannte Werksandstein an der Basis Lias) vorkommen (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Diese sind in Baden-Württemberg wichtige Öl und Gas führende Speichergesteine mit einer Porosität zwischen 12 % und 28 % (BOIGK 1981, FEHN et al. 2010).

Die geforderte Mindestmächtigkeit von 10 m wird im Osten des Verbreitungsgebietes vorrangig dort erreicht, wo zusätzlich der überlagernde Lias  $\beta$  auch in sandiger Randfazies vorliegt. Aufgrund unzureichender lithologischer Beschreibungen können diese Gebiete nicht abgegrenzt werden (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Eine Abschätzung der Mächtigkeit der Sandsteine dieses Komplexes ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Aufgrund der geringen Sandsteinmächtigkeit wird der Speicherkomplex in Bayern daher in seiner Gesamtheit als ungeeignet eingestuft (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). In Baden-Württemberg werden die Kriterien im zentralen Untersuchungsgebiet unter Annahme eines Sand-Tonsteinverhältnisses von 1:1 knapp erfüllt (Abb. 5.6-2). Die weitergehende Auswertung von Bohrungen zeigte, dass die Rhätkeuper-Formation in keiner dieser Bohrungen eine Nettomächtigkeiten größer als 10 m erreicht und damit im Sinne der festgelegten Kriterien kein Speicherpotenzial besitzt (FEHN et al. 2010).

### **5.6.2 Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex**

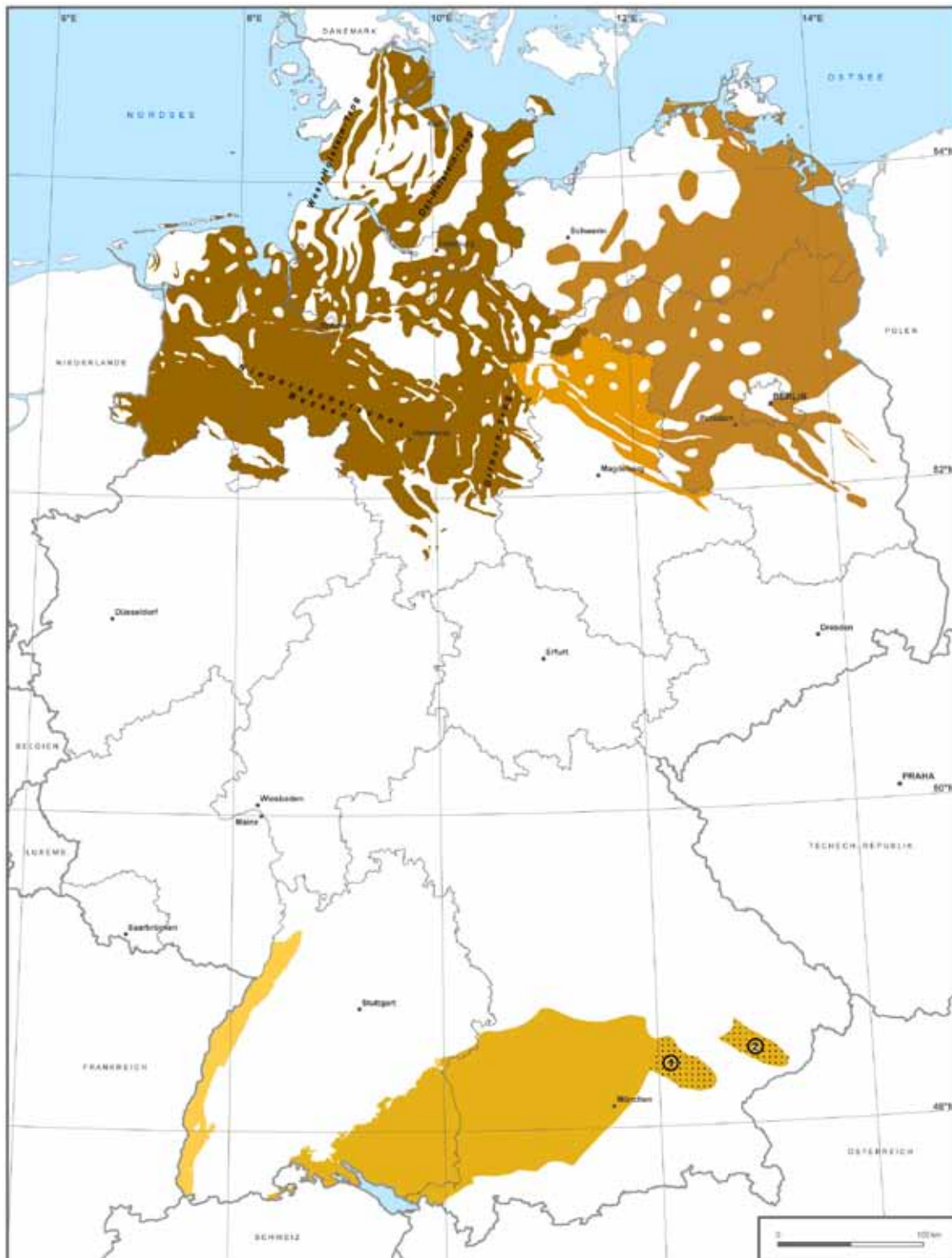
Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Unter- und des Mitteljura wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.6-3, Abb. 5.6-4):

- Unterjura und unterer Mitteljura: Bayern und Baden-Württemberg
- Unterjura (Pliensbach, Toarc): Sachsen-Anhalt
- Unterjura (Toarc): Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin
- Unterjura (undifferenziert): Niedersachsen, Bremen Schleswig-Holstein und Hamburg

Die Verbreitung von Tongesteinen im Norddeutschen Becken ist durch den Wechsel von Trans- und Regressionen des Meeres im Verlauf des Unterjura bestimmt. Die Transgression beginnt im Westen bereits im Hettang und erfasst in den höheren Stufen des Unterjura auch das Gebiet des Nordostdeutschen Beckens. Entsprechend den paläogeographischen Verhältnissen treten im Nordwestdeutschen Becken in allen Stufen des Unterjura mächtige Ton- und Schluffsteine auf. Im Nordostdeutschen Becken sind insbesondere die tonigen Ablagerungen des Toarc aber auch des Pliensbach als Barrieregesteine von überregionaler Bedeutung (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011).

Gebiete mit einer flächenhaften Verbreitung und einer vergleichsweise sehr hohen Mächtigkeit befinden sich insbesondere in Nordwestdeutschland: zum einen in zwei Nordwest-Südost streichenden Zonen in Niedersachsen (zentraler nordwestlicher Teil des Norddeutschen Beckens und Niedersächsischen Beckens) und zum anderen in den Randsenken der Salinarstrukturen Schwedeneck-Boostedt, Plön-Segeberg (Abb. 4.2-1) und im Westholstein-Trog. Weiterhin ist der Gifhorn-Hamburger Trog durch sehr hohe Sedimentmächtigkeit charakterisiert. In den genannten Gebieten treten Mächtigkeiten von mehr als 500 m auf. Im Gegensatz dazu ist in vielen anderen Gebieten von Niedersachsen und Schleswig-Holstein nur noch eine Restmächtigkeit des Unterjura vorhanden oder die Ablagerungen fehlen (KNOPF 2011, HABLE et al. 2011).

In Westbrandenburg kommt dagegen hohe Mächtigkeit des Toarc (mehr als 100 m) bei einer weitgehend flächigen Verbreitung vor. Richtung Nordosten und Südosten ist das Kriterium der Mindestmächtigkeit für die Tongesteine weiterhin erfüllt, jedoch häufig nicht das Tiefenkriterium (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010). Ablagerungen des Toarc fehlen flächenhaft im Osten und Nordosten von Mecklenburg-Vorpommern und im Süden von Brandenburg. Im Toarc gelangten vornehmlich marine, bituminöse Tonsteine im Westen des Norddeutschen Beckens zur Ablagerung (Posidonienschiefer), die sich



**Untersuchte Einheiten:**

- Mitteljura (Opalinuston-Frm.)
- Unterjura und unterer Mitteljura
- Unterjura (Toarc und Pliensbach)
- Unterjura (Toarc)
- Unterjura (undifferenziert)

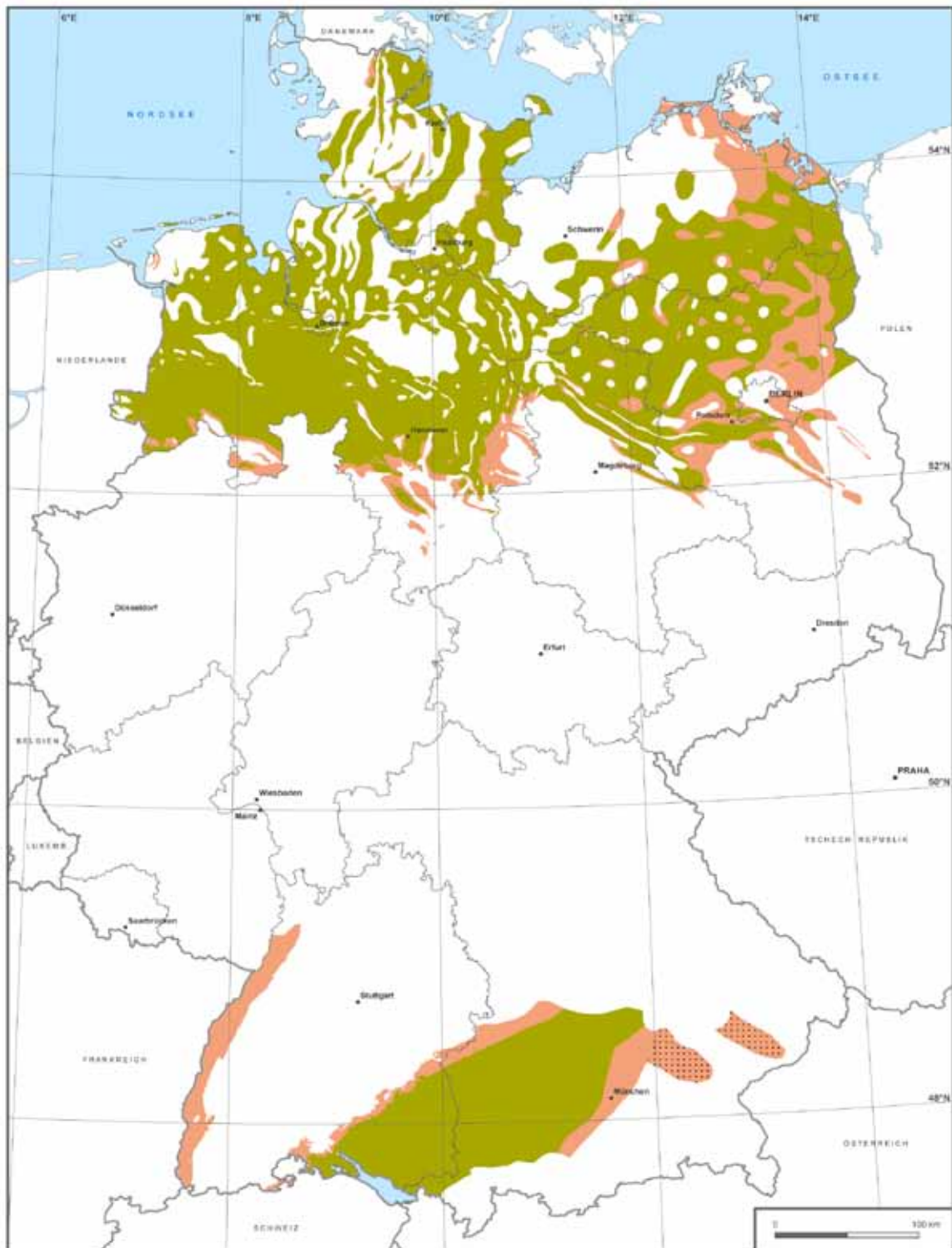
**Einschränkung:**

- unsichere Verbreitung

**Regionalgeologische Strukturen:**

- ① Mühlbacher Bucht
- ② Regensburger Bucht

**Abb. 5.6-3:** Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >20m (z. T. gedeutet) und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m (z. T. nicht bekannt) und/oder Tiefe <800m (z. T. nicht bekannt)

**Einschränkung:**

- unsichere Verbreitung

**Abb. 5.6-4:** Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.



in Richtung Osten mit den tonigen Ablagerungen der „Grünen Serie“ verzahnen. Die „Grüne Serie“ besteht aus grünlich grauen, meist kalkfreien, teilweise schluffigen, feingeschichteten, vorwiegend limnischen Tonsteinen mit nur geringem Anteil an organischer Substanz (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010).

Aufgrund der im Lias vorrangig verbreiteten Fazies von überwiegend (z.T. bituminösen) Ton- und Tonmergelsteinen sowie der hohen Mächtigkeit wurden für das Verbreitungsgebiet des Barrierekomplexes Lias die Eigenschaften der Barriere als gut eingeschätzt. So konnten in Mecklenburg-Vorpommern in über 300 Bohrungen Tonsteinhorizonte mit einer Mindestmächtigkeit von 20 m erfasst werden. Auch im südlichen zentralen Bereich von Niedersachsen und weiter ostwärts bis etwa zur Braunschweig-Gifhorn-Bruchzone konnte anhand von Bohrungen ein zusammenhängendes Gebiet abgegrenzt werden, wo das Mindestkriterium von mehr als 20 m erfüllt ist (KNOPF et al. 2010, BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011).

In Süddeutschland sind die jurassischen Sedimente in der nördlichen Tethys entstanden, einem vorwiegend marin-dominierten Ablagerungsraum. In diesem Gebiet werden die Ablagerungen des Unterjura (Schwarzer Jura) überwiegend aus tonigen Ablagerungen aufgebaut, in die Kalksteinbänke, feinkörnige Sandsteine und bituminöse Ton- und Mergelsteine eingeschaltet sind. Auch die Tonsteine der Opalinuston-Formation des Mitteljura erfüllen die projektspezifischen Anforderungen an eine Barriere. Der Opalinuston des Mitteljura besteht vorrangig aus dunkelgrauen bis schwarzgrauen Tonsteinen. Das sich sukzessive nach Südosten ausbreitende Jura-Meer erreichte im Aalen (Mitteljura) etwa die Linie Landshut - München - Weilheim. Die fortschreitende Überflutung der Vindelizischen Schwelle führte zur Entstehung von sandigen oder konglomeratischen Ablagerungen im Bereich der ehemaligen Küste. Diese Randfazies liegt vermutlich innerhalb eines 10 km bis 25 km breiten Streifens am Südostrand des Verbreitungsgebiets (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Nach Nordwesten nimmt die Mächtigkeit der tonigen Ablagerungen zu (RUPF & NITSCH 2008). Dabei werden für den Unterjura Mächtigkeiten von 40 m bis 60 m und für die Opalinuston-Formation von 110 m bis 140 m erreicht (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Mögliche Lias-Vorkommen als Ergebnis kurzzeitiger Meeresvorstöße in die Mühldorfer und Regensburger Bucht wurden nicht näher bearbeitet (Abb. 5.6-3), da hierfür die Datenlage nicht ausreicht (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Dies gilt auch für die durch tonige Sedimente dominierte Opalinuston-Formation im Oberrheingraben (FEHN et al. 2010).

## 5.7 Mitteljura und Oberjura

Der Mitteljura (Dogger) ist stratigraphisch in die Stufen Aalen, Bajoc, Bathon und Callov untergliedert und besteht vorrangig aus Tongesteinen. In Norddeutschland sind die Ablagerungen des Mitteljura eine faziell sehr heterogene, zyklische Abfolge von fluviatildeltaischen Sandsteinen und mächtigen marinen Ton- und Siltsteinen. Dabei setzen sich die tonigen Sedimente des Toarc ohne abrupten Fazieswechsel oder ausgeprägte Diskordanz bis ins Unter-Aalen fort. Ein Fazieswechsel hin zu einer durch sandige Ablagerungen charakterisierten Entwicklung erfolgt in Norddeutschland erst ab dem Ober-Aalen (MÖNNIG 2005). Die in die tonige Abfolge eingeschalteten Dogger-Sandsteine bilden im Nordwestdeutschen Becken häufig Erdölspeichergesteine und sind auch aufgrund sedimentärer Eisenerzvorkommen gut erkundet (BOIGK 1981). Für die lithologische Charakterisierung der Speicherhorizonte in Nordwestdeutschland ist die Arbeit von BRAND & MÖNNIG (2009) eine wesentliche Grundlage. Im Oberjura (Malm) wurden vorrangig kalkige Sedimente abgelagert, die in Süddeutschland bewertet wurden (Kap. 5.7.3).

### 5.7.1 Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Mitteljura (Dogger) wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.7-1, Abb. 5.7-2):

- Eisensandstein-Formation: Bayern, Baden-Württemberg (Teilgebiet Molassebecken)
- Hauptrogenstein-Formation: Baden-Württemberg (Teilgebiet Oberrheingraben)
- Aalen: Brandenburg
- Dogger (undifferenziert): Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein und Hamburg

Die Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex wurde für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.

Die Abb. 5.7-1 zeigt eine sehr ungleichmäßige Verbreitung des Mitteljura in Norddeutschland. In den Gebieten des Niedersächsischen Beckens und des Giffhorn-Trogs, in Nord-Brandenburg wie auch im südlichen Mecklenburg-Vorpommern sind flächendeckend Sedimente des Mitteljura verbreitet. Dieser Ablagerungsraum reicht bis in den Norden von Sachsen-Anhalt, wurde dort aber im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet. In Schleswig-Holstein sind die entsprechenden Sedimente dagegen auf schmale, tief eingesenkte Tröge (z. B. Ostholstein-Trog, Westholstein-Trog) und lang gestreckte Randsenken entlang der Salinarstrukturen (z. B. Schwedeneck-Boostedt und Plön-Segeberg, Elmshorn, s. Abb. 4.2-1) begrenzt. Insgesamt war der Sedimentationsraum gegenüber dem Unterjura durch die beginnende Heraushebung von Schwellen (z. B. Nordwestmecklenburg-Schwelle)

stärker eingeengt. Zusätzlich erfolgte eine Verkleinerung auf die heutige Verbreitung durch tiefe Erosion im Bereich struktureller Hochlagen.

In Norddeutschland reichen die von Osten geschütteten sandigen Sedimente bis an den westlichen Rand des Gifhorn- und Ostholstein-Trogs (BOIGK 1981). Des weiteren erfolgten Sandschüttungen eines großen Deltasystems aus Norden und Nordosten, dessen sandige Ablagerungen sich weit nach Süden bis ins Niedersächsische Becken erstrecken (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, HABLE et al. 2011, KNOPF 2011). Potenzielle Speichergesteine dieser Ablagerungen sind die Sandsteine des Aalen (Wesendorf-, Hankensbüttel- oder Altmark-, Boostedt- und Wöhrden-Sandstein), des Bajoc (Varel-, Elsfleth-, Suderbruch-Sandstein), des Bathon (Mittelplate-, Württembergica- und Aspidoides-, Karstädt-Sandstein) und des Callov (Porta-Sandstein; MÖNNIG 2005). Die zeitlich versetzt verlaufende Entwicklung der Randsenken und Becken sowie die unterschiedliche Tiefenlage und Mächtigkeit in den jeweiligen Senken führte zu einer regional differenzierten Verbreitung der genannten Sandsteine, ihrer Fazies und der speichergeologischen Eigenschaften (BEBIOLKA et al. 2011, HABLE et al. 2011). Nur schwer ist eine weiträumige Korrelation der Schichtenfolge zu realisieren, so dass weitere Regionalnamen für einzelne Sandsteinhorizonte des Doggers existieren (z. B. Werle-Sandstein im Callov).

In Norddeutschland ist das Tiefenkriterium im Süden von Niedersachsen und Richtung Nord- und Südosten nicht erfüllt. Im Südosten ist die Verbreitung zunehmend sehr lückenhaft. Aber auch die Mächtigkeit des Mitteljura ist in Vorpommern mit Werten von 50 m bis 120 m vergleichsweise gering (BRANDES & OBST 2010, KNOPF 2011). Im Osten von Brandenburg variiert die Mächtigkeit des Mitteljura zwischen 30 m und 120 m (pers. Mitt. Bebiolka 2011).

In Schleswig-Holstein und Hamburg ist die heutige Verbreitung der Dogger-Sandsteine auf die Salzstockrandsenken begrenzt. Insgesamt schwanken die Porositätswerte der Sandsteine vom Aalen bis zum Bajoc in Schleswig-Holstein und Hamburg zwischen 0,4 % und 40,5 % bei kumulativen Mächtigkeiten von mehr als 10 m (Hable et al. 2011). Die Medianwerte der Porositäten differieren zwischen 22 % und 24 %. So sind im Ostholstein-Trog in den grobkörnigeren Abschnitten des Staufensis- und Boostedt-Sandsteins mit einer Porosität zwischen 32 % und 38 % und kumulativen Mächtigkeiten von 5 m bis 35 m zu rechnen. In feinkörnigen Abschnitten weisen diese eine Porosität von 15 % bis 27 % auf. Im Westholstein-Trog sind im Varel-(Barsfleth-)Sandstein Porositätswerte zwischen 24 % und 30 % ermittelt worden; bei Mächtigkeiten von 5 m bis 10 m. Während im zentralen Bereich des Ostholstein-Trogs (Mächtigkeit 10 m bis 30 m) die Porosität bei 11 % bis 30 % liegt, wurden im nördlichen Teil durchweg höhere Werte von 19 % bis 32 % bestimmt (HABLE et al. 2011).

Wichtige Sandsteinhorizonte in Niedersachsen sind die Aalen-Sandsteine im Nordosten. Aus dem Bajoc ist der Garantianen-Sandstein von Bedeutung, der in zentralen Gebieten Niedersachsens verbreitet ist. Er hat eine Mächtigkeit von 20 m bis 40 m und besitzt eine Porosität von 13 % bis 18 %. Auch die Sandsteine im Bathon (Württembergica- und Aspidoides-Sandsteine) wurden aus dem Norden geschüttet und werden unter der Bezeichnung Cornbrash-Fazies zusammengefasst. Sie sind im Südosten und im Westen des Niedersächsischen Beckens weit verbreitet, mehrere 10er Meter mächtig und sie haben eine Porosität von 10 % bis 25 %. Die diesen Werten zugrunde liegenden Bohrungen befinden sich überwiegend im nördlichen Randbereich des Niedersächsischen Beckens. Nur im Südosten, im Bereich der Hannover-Scholle, zeigen einige Bohrungen eine geringe Porosität an. Die Analyse von 90 Bohrungen im Niedersächsischen Becken ergab dabei eine kumulative Sandsteinmächtigkeit von durchschnittlich 63 m (KNOFF 2011).

Nach der Analyse der Bohrdatenbank des Geologischen Dienstes von Mecklenburg-Vorpommern liegt die kumulative Sandsteinmächtigkeit im Aalen im Südwesten Mecklenburgs zwischen 30 m und 70 m. In der nördlichen Randsenke der Struktur Kraak (s. Abb. 4.2-1) weisen die getesteten Sandsteinhorizonte des Aalen (je 15 m bis 30 m mächtig) eine Nutzporosität von 20 % bis zu 30 % auf (BRANDES & OBST 2010).

In Brandenburg haben insbesondere die Sandsteine des Ober-Aalen überregionale Bedeutung als Speicherhorizont, mit einer Nutzporosität von 20 % bis zu 35 % (BRÜCKNER et al. 1990, DIENER et al. 1991, BEBIOLKA et al. 2011). Die größte Sandsteinmächtigkeit von ca. 100 m tritt in der Südwest-Mecklenburg-West-Brandenburg-Senke auf. In dieser Region erreichen die Aalen-Sandsteine in der Randsenke des Salzstocks Werle nachweislich eine Mächtigkeit von über 100 m, wobei zusätzlich eine 32 m mächtige Sandsteinbank (Callov) nachgewiesen ist. Nach Osten, in Richtung auf die Ostbrandenburg-Mecklenburg-Hochlage, nehmen sowohl die Gesamtmächtigkeit als auch die Sandsteinmächtigkeit des Aalen ab (BEBIOLKA et al. 2011). Im Bereich der Salinarstrukturen Marnitz, Wittenberge und dem Erkundungsobjekt Karstädt-Nord tritt aufgrund karbonatischer Zementation eine reduzierte Nutzporosität von 17 % bis zu 22 % auf (BEBIOLKA et al. 2011).

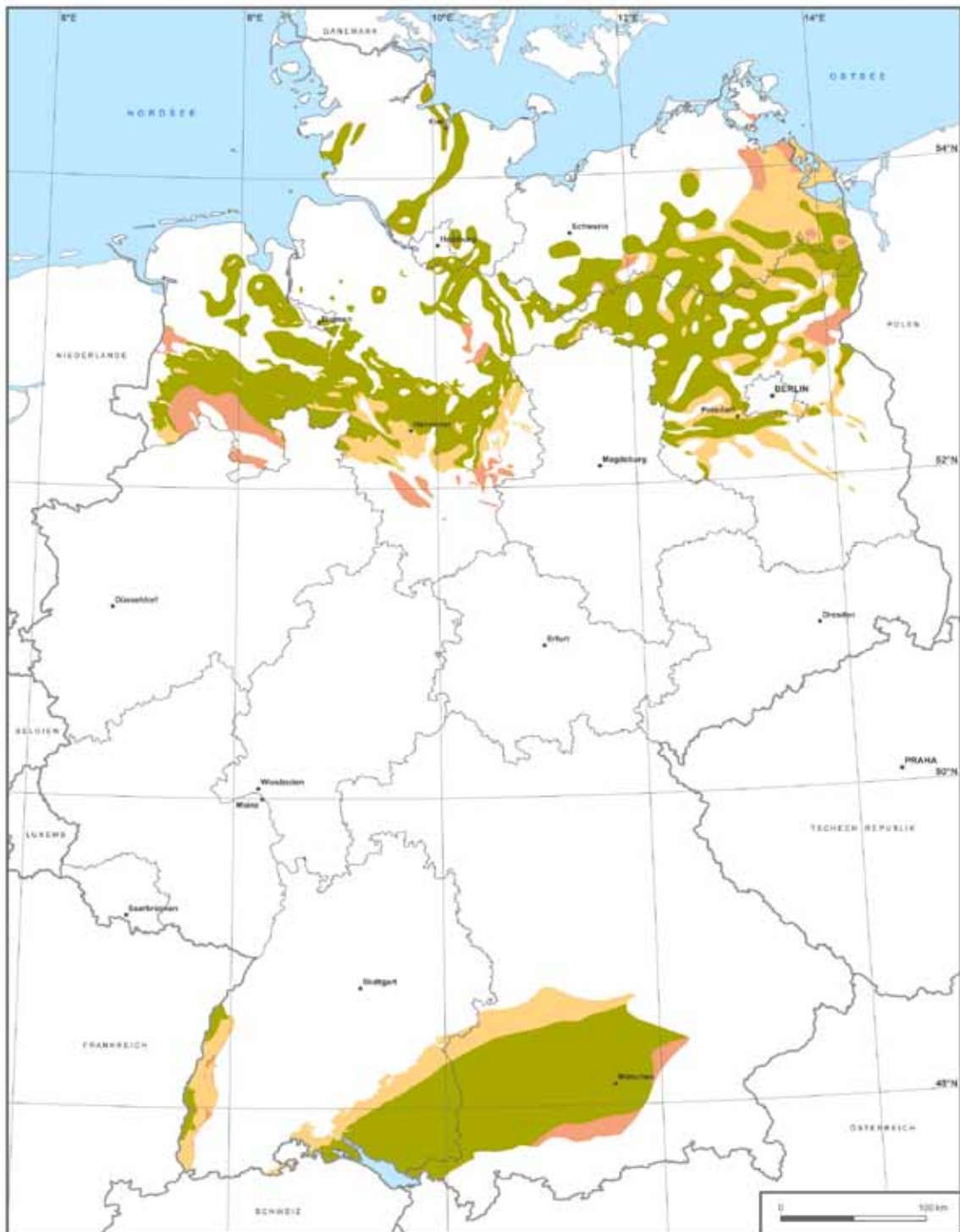
In Süddeutschland ist die Eisensandstein-Formation durch typische braune, eisenreiche Sandsteine mit tonigen Zwischenlagen charakterisiert. Im gesamten Bearbeitungsgebiet des Molassebeckens tritt sie in ausreichender Gesamtmächtigkeit und Tiefenlage auf. Die sandigen, potenziellen Speicherhorizonte besitzen jedoch nur eine Nettomächtigkeit von etwa 10 m oder weniger. Die Porosität potenzieller Speicherhorizonte der Eisensandstein-Formation liegt im Mittel bei 15 % (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Die Hauptrogenstein-Formation ist im süddeutschen Jura nur im Oberrheingraben anzutreffen und bildet eine von Kalkstein, Kalkmergelstein sowie Kalkoolith mit Schilllagen dominierte Ablagerung. Sie hat im Oberrheingraben ihre größte Mächtigkeit mit über 80 m im Raum Lörrach. Nur in zwei Vorkommen im Westen von Freiburg und Offenburg weist sie bei



Untersuchte Einheiten:

- Hauptrogenstein-Formation
- Eisensandstein-Formation
- Aalen
- Dogger (undifferenziert)

**Abb. 5.7-1:** Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete). Dieser potenzielle Speicherkomplex wurde für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.



**Kategorisierung nach:**

- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe >800m
- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe <800m
- Mächtigkeit >10m, Tiefenlage nicht bekannt
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Einschränkung:**

Mittelwert der Nettomächtigkeit der Eisensandstein-  
Formation in Baden-Württemberg: 4,7m

**Abb. 5.7-2:** Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage. Dieser potenzielle Speicherkomplex wurde für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.

mäßigen Porositätswerten von ca. 10 % Speicherpotenzial auf. Im Raum Offenburg geht die Hauptrogenstein-Formation in Richtung Norden in eine von Tonmergelsteinen und Mergelsteinen dominierte Fazies über (FEHN et al. 2010).

### **5.7.2 Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Mittel- und des Oberjura wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.7-3, Abb. 5.7-4):

- oberer Mitteljura bis unterer Oberjura (Wedelsandstein- bis Impressamergel-Formation): Baden-Württemberg
- oberer Mitteljura (Ornatenton-Formation): Bayern

Die potenziellen Speichergesteine der tiefer liegenden Eisensandstein-Formation werden im Gebiet des süddeutschen Molassebeckens flächendeckend von den potenziellen Barrieregesteinen des oberen Mitteljura und des unteren Oberjura überdeckt, wobei in zwei Gebieten (Abb. 5.7-4) die projektspezifischen Kriterien erfüllt sind (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Im nordöstlichen Gebiet, in dem die Kriterien erfüllt sind (südwestlich des Landshut-Neuöttinger Hochs), erreicht der Ornatenton eine Mächtigkeit von bis zu 55 m und ist hier ein Barrieregestein von weiträumiger Bedeutung (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Im Westen, im Grenzbereich zwischen Bayern und Baden-Württemberg, liegt nach MEYER & SCHMIDT-KAHLER (1989) der untere Oberjura (Malm  $\alpha$ ) als Impressamergel vor. Dieser bildet zusammen mit dem Ornatenton einen etwa 80 m mächtigen, barrierewirksamen Gesteinskomplex (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Westlich davon, in Baden-Württemberg, besteht der Barrierekomplex aus den Ablagerungen der Wedelsandstein- bis Ornatenton-Formation (oberer Mitteljura) und der Impressamergel-Formation (unterer Oberjura). Der Barrierekomplex ist hier bis zu 300 m mächtig, wobei insbesondere die Ton- und Tonmergelschichten der Ornatenton-Formation barrierewirksam sind (FEHN et al. 2010). Im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes von Bayern ist der Ornatenton aufgrund der geringen Mächtigkeit nach den projektspezifischen Kriterien als Barriere nicht geeignet (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

### **5.7.3 Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)**

Das Verbreitungsgebiet der Kalk- und Dolomitsteine des Oberjura (Malm; Abb. 5.7- 5) erstreckt sich über das gesamte Gebiet des Molassebeckens mit Ausnahme des Landshut-Neuöttinger Hochs. Die Karbonate des Malm haben eine Mächtigkeit von 400 m bis zu 700 m (im Braunauer Trog von 100 m bis zu 500 m) und tauchen an der Südgrenze des Untersuchungsgebiets bis auf über 5.500 m unter NN ab (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Da es sich beim Kluft-Karst-Aquifer des Malm um einen offenen, überwiegend Süßwasser führenden Grundwasserleiter handelt, ist er als Zielhorizont für die CO<sub>2</sub>-Speicherung grundsätzlich auszuschließen (s. Abb. 5.7-6). Zudem bildet der Malm aufgrund seiner meist hohen Ergiebigkeit und der überregional großen Tiefenlage den wichtigsten Thermalwasserleiter des süddeutschen Molassebeckens und ist ein bedeutendes Reservoir für geothermische Energie (FEHN et al. 2010, DIEPOLDER & SCHULZ 2011).

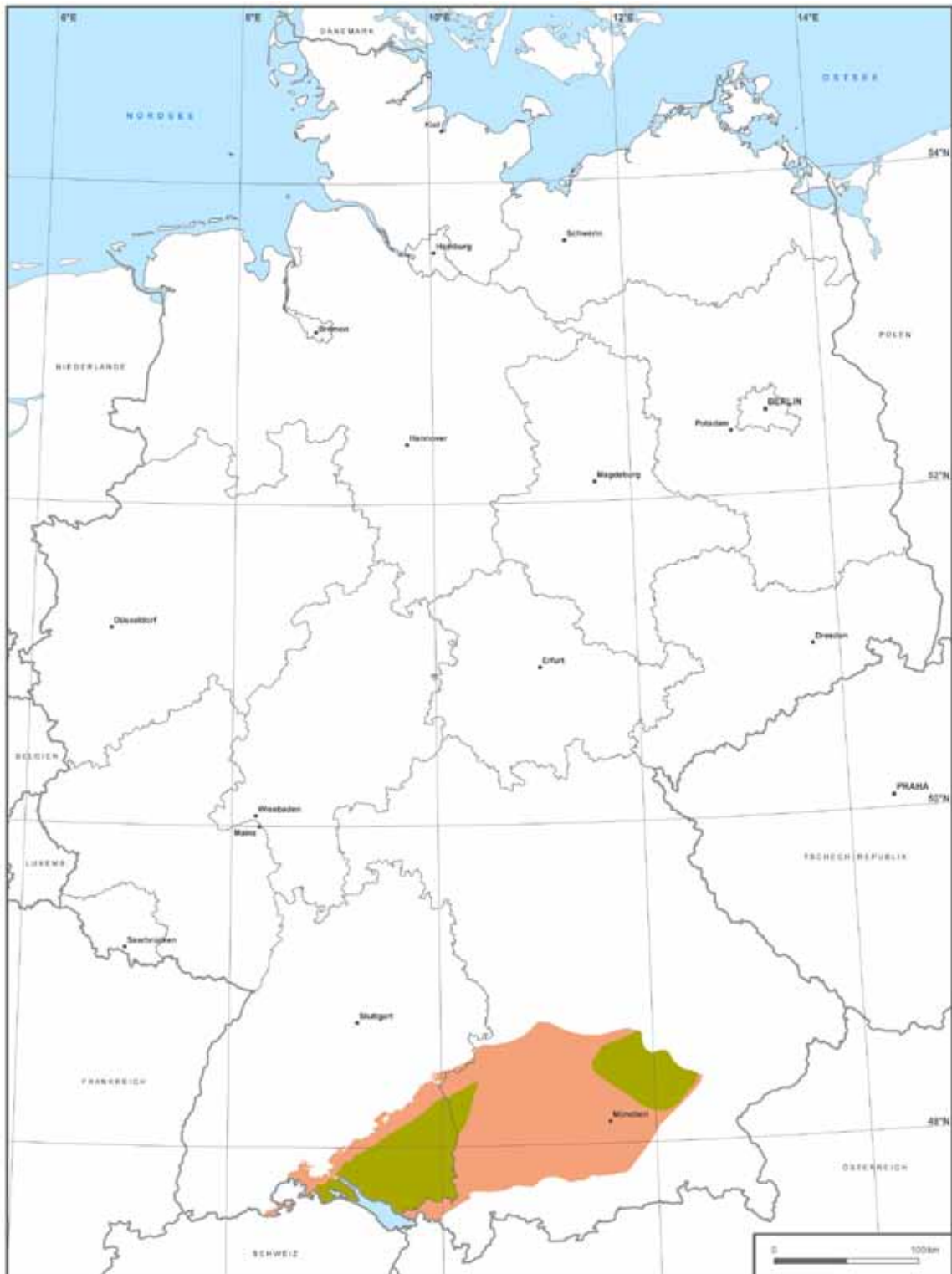




Untersuchte Einheiten:

- Wedelsandstein- bis Impressamergel-Formation
- Ornatenton-Formation

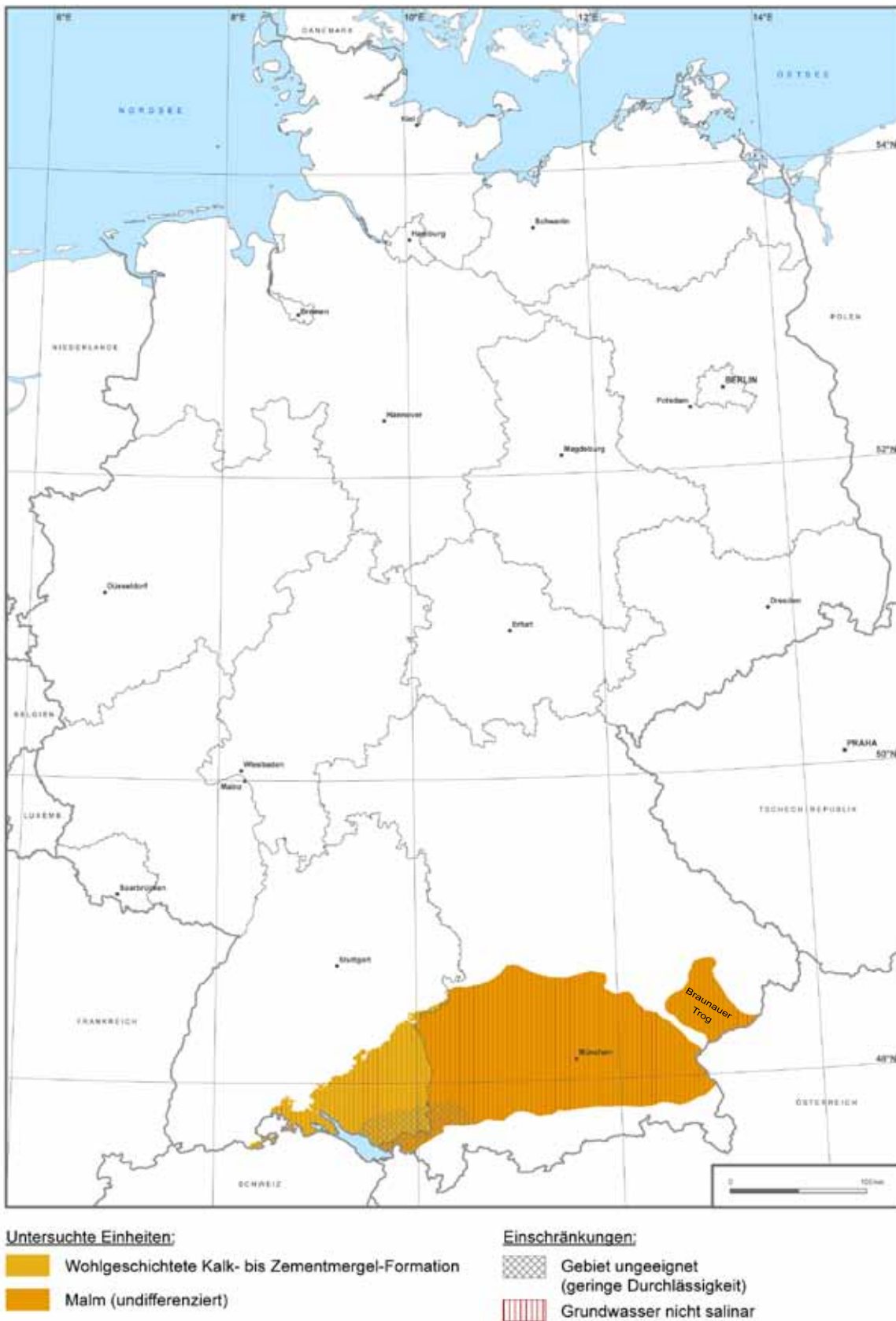
**Abb. 5.7-3:** Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



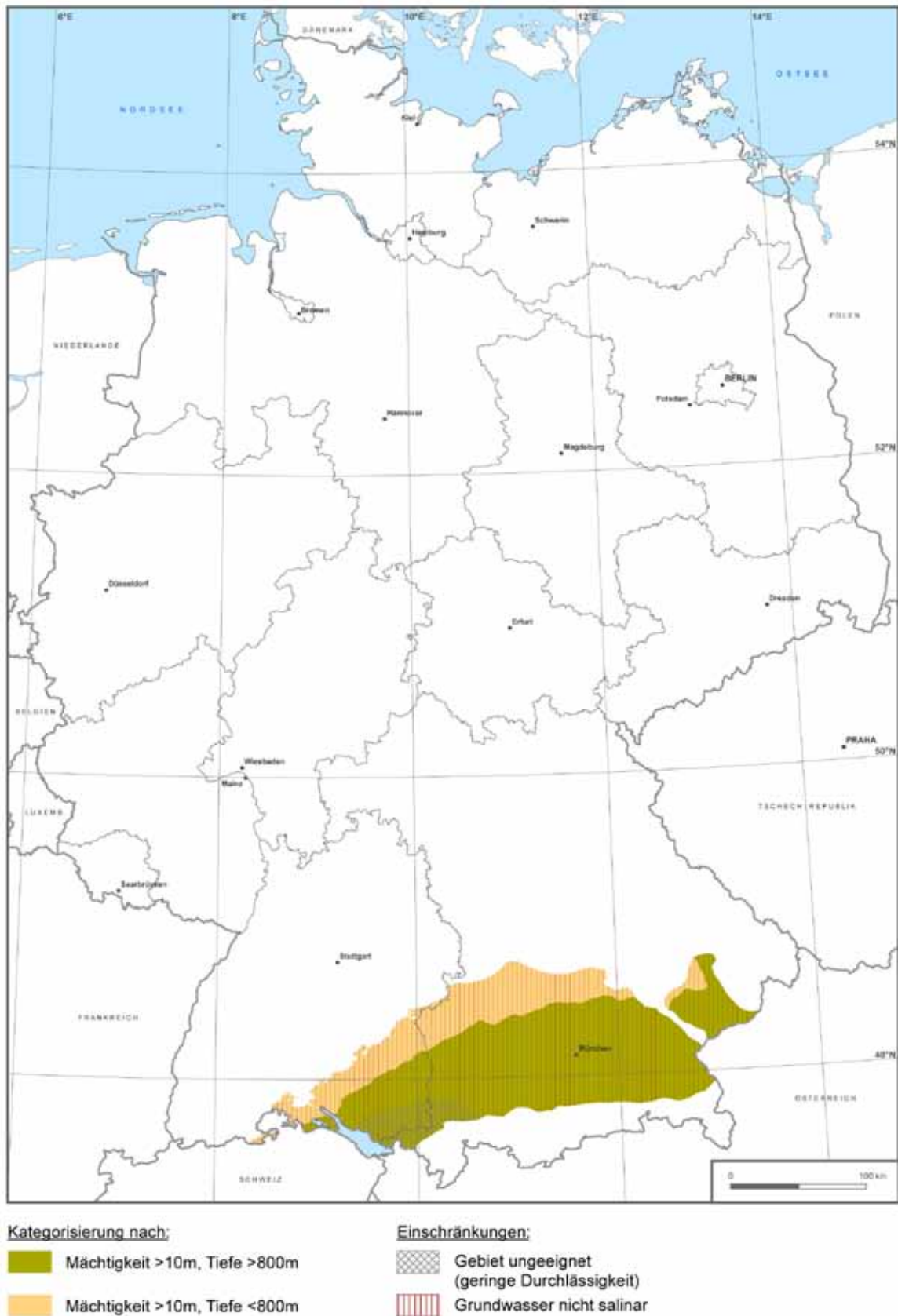
Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >20m und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m oder Tiefe <800m

**Abb. 5.7-4:** Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.



**Abb. 5.7-5:** Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).



**Abb. 5.7-6:** Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.

## 5.8 Kreide

In Deutschland werden zwei große Gebiete mit kreidezeitlichen Ablagerungen unterschieden: ein weit ausgedehntes Gebiet im Bereich des Norddeutschen Beckens und ein Gebiet in Südost-Bayern. Die Kreide-Sedimente in Norddeutschland repräsentieren Ablagerungen des paläogeographischen Borealbereichs. Die süddeutschen Kreide-Vorkommen gehören zum Ablagerungsraum der Tethys (Hiss et al. 2005).

Die Ablagerungen der tiefsten Unterkreide Norddeutschlands beginnen mit sandig-tonig dominierten Sedimenten, die ab dem Valangin und Hauterive durch vorwiegend marine Sedimente abgelöst wurden. Es wird eine überwiegend tonige Beckenfazies von Regionen mit einer Randfazies unterschieden. Typisch für die Randfazies ist das Vorkommen mächtiger, in die Ablagerungen eingeschalteter Sandsteine (Hiss et al. 2005). Regionale unterkretazische Senkungsbereiche waren das Niedersächsische Becken, die Südwestmecklenburg-Altmark-Brandenburg-Senke und die Dänisch-Polnische Senke (s. Abb. 5.8-1). Weiträumige herausgehobene Gebiete waren die Pompeckj-Schwelle, die Altmark-Schwelle und das Ostbrandenburger Hebungsgebiet (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, KNOPF 2011). Mächtigkeit und Fazies der Ablagerungen wurden von kleinräumig vorkommenden Schwellen und Senken, die durch halokinetische Prozesse im Untergrund verursacht wurden, zusätzlich beeinflusst (Hiss et al. 2005). So dünnt die Unterkreide über den halokinetisch verursachten Hebungsstrukturen aus oder ist in diesen Bereichen nicht verbreitet.

Nach wiederholten Transgressionen in der Unterkreide erreichte das Meer im Alb (vgl. Tab. 3.2-1, Tab. 3.2-2) seine weiteste Verbreitung in Norddeutschland. Dies führte zur Bildung der überregionalen Norddeutsch-Polnischen Oberkreide-Senke und beendete die Unterkreide-Entwicklung (DIENER et al. 2004). Insgesamt treten in der Unterkreide Norddeutschlands vorwiegend sandig-tonige Gesteine auf; die Oberkreide besteht dagegen vor allem aus kalkig-tonigen Ablagerungen.

### 5.8.1 Ablagerungen der Unterkreide als potenzieller Speicherkomplex (Norddeutschland)

Nach heutigem Kenntnisstand sind in Schleswig-Holstein und Hamburg keine sandigen Unterkreide-Speichergesteine in ausreichender Mächtigkeit und Tiefenlage verbreitet. Das Speicherpotenzial der Kreide wurde daher im Teilprojekt von Schleswig-Holstein nicht bearbeitet (HABLE et al. 2011). In der östlichen Altmark (Sachsen-Anhalt) kommen dagegen sandige Speichergesteine der Unterkreide vor, welche die Kriterien Tiefenlage und Mächtigkeit erfüllen. Dies gilt sowohl für die kreidezeitlichen Ablagerungen zwischen den Salinarstrukturen Messdorf und Wittenberge (s. Abb. 4.2-1) als auch entlang der salinaren Sattelstruktur Demker-Viesen (FELDRAPPE et al. 2008). In Sachsen-Anhalt wur-

den die Ablagerungen der Unterkreide im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet. In Niedersachsen, Bremen und Mecklenburg-Vorpommern wurde für die Kategorisierung des Speicherkomplexes nach Tiefenlage (Abb. 5.8-2) der Top, in Brandenburg die Basis des Speicherkomplexes Unterkreide verwendet. In Brandenburg wurde dabei besonders die stratigraphische Lage der Sandsteinhorizonte berücksichtigt, die dort vorrangig in der unteren Unterkreide auftreten (KNOPF 2011, BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010).

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit der Unterkreide wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.8-1, Abb. 5.8-2):

- Berrias („Wealden-Fazies“) bis Hauterive: Brandenburg
- Berrias („Wealden-Fazies“) bis Apt: Mecklenburg-Vorpommern
- Berrias („Wealden-Fazies“) bis Alb: Niedersachsen und Bremen

Die Ablagerungen der Unterkreide als potenzieller Speicherkomplex wurden für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.

Im dem großen zusammenhängenden Gebiet unterkreidezeitlicher Ablagerungen im Nordosten Deutschlands erreichen die klastischen Gesteine erst südlich von Prenzlau die geforderte Tiefe und Mächtigkeit (BRANDES & OBST 2010). Im nördlichen Bereich der Südwest-Mecklenburg-Altmark-Brandenburg-Senke sind die Ablagerungen durch einen raschen Wechsel von kalkig-sandigen und mergelig-tonigen Gesteinen gekennzeichnet. Im unteren Teil der Bückeberg-Formation („Wealden-Fazies“) treten dabei mehrere Sandsteinhorizonte auf, deren Mächtigkeit kaum 10 m erreicht. Die Sandsteinhorizonte sind selten über größere Entfernungen verfolgbar und daher schwer miteinander zu korrelieren (BRANDES & OBST 2010). Im brandenburgischen Teil der Senkenstruktur steigt der Anteil sandiger Horizonte zum südöstlichen Beckenrand hin an. Während in der Prignitz tonige Ablagerungen dominieren, treten westlich Berlin Ton/Schluff- und Sandsteinabfolgen auf. In den Bohrungen bei Königsberg, Fehrbellin und Neuruppin ist die „Wealden-Fazies“ überwiegend sandig entwickelt. Nördlich von Berlin ist die Unterkreide vermehrt durch Sandsteinhorizonte geprägt (BEBIOLKA et al. 2011).

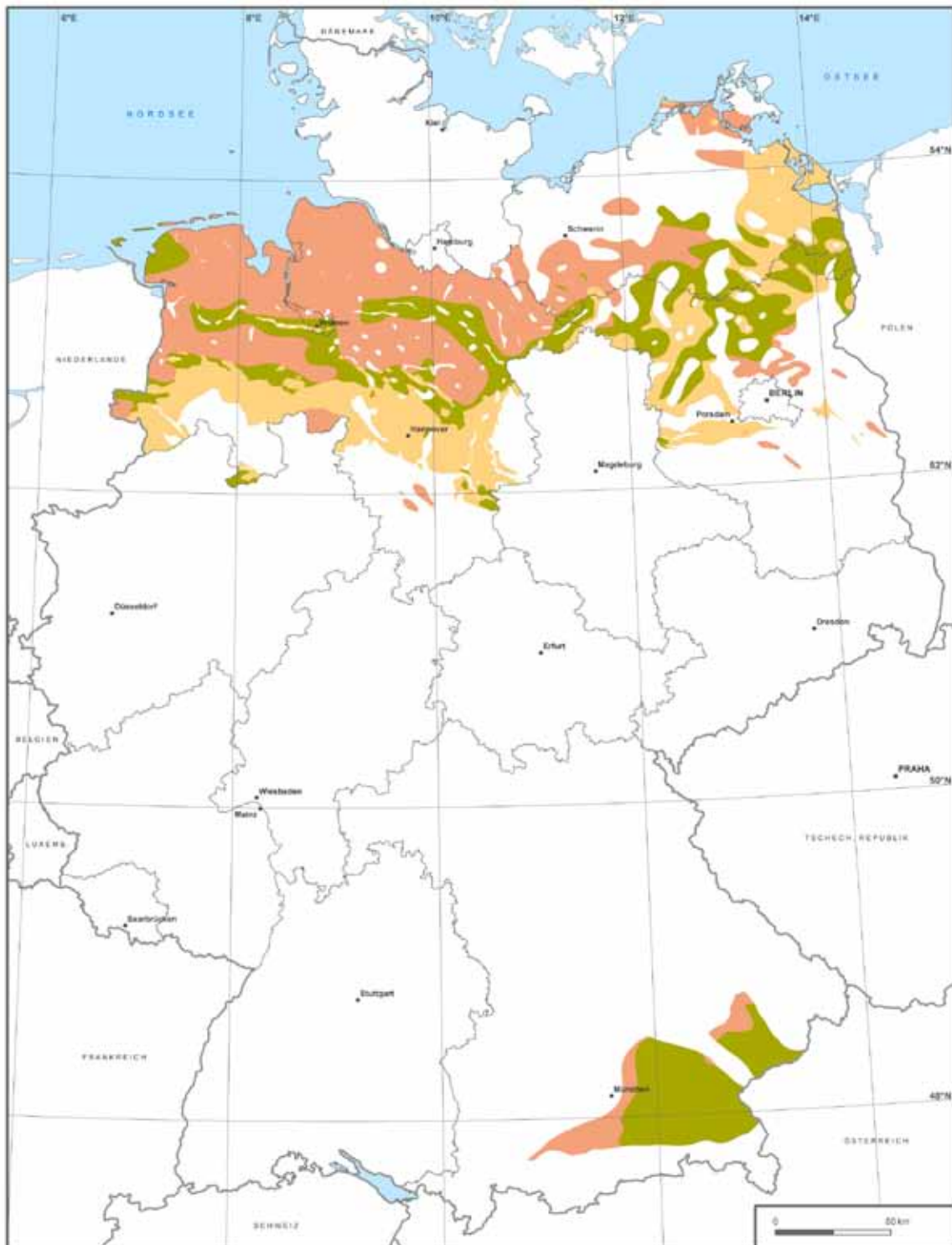
Weitere Sandsteinpakete in Nordostdeutschland sind in Südwest-Mecklenburg dem Valangin (50 m) und dem Hauterive bei Gransee, Prenzlau, Penkun und Gartz zugeordnet (DIENER et al. 1990). Im Nordosten Brandenburgs treten Sandsteine im Unter- und Mittel-Alb auf. Insgesamt beträgt die kumulative Mächtigkeit der Sandsteinhorizonte in Mecklenburg-Vorpommern durchschnittlich 50 m. Besonders hohe Mächtigkeiten treten im Gebiet zwischen den Salzstöcken Conow und Rambow (s. Abb. 4.2-1) sowie auf der Insel Usedom auf (BRANDES & OBST 2010). Die Sandsteinmächtigkeiten in Brandenburg liegen zwischen 20 m und 60 m, in der Randsenke der Struktur Königsberg (s. Abb. 4.2- 1)



Untersuchte Einheiten:

	Untere Oberkreide (Cenoman)		Unterkreide (Berrias bis Apt)
	Obere Unterkreide (Apt bis Alb; Gault-Sandstein)		Unterkreide (Berrias bis Hauterive)
	Unterkreide (Berrias bis Alb)		

**Abb. 5.8-1:** Ablagerungen der Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete). Dieser potenzielle Speicherkomplex wurde für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.



Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe >800m
- Mächtigkeit >10m (z. T. gedeutet), Tiefe <800m
- Mächtigkeit <10m (z. T. nicht bekannt),  
Tiefenlage nicht weiter berücksichtigt

**Abb. 5.8-2:** Ablagerungen der Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage. Dieser potenzielle Speicherkomplex wurde für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.



bei 200 m (BEBIOLKA et al. 2011). In Brandenburg kommen permeable Sandsteine der Unterkreide hauptsächlich vom Valangin bis Hauterive stratigraphisch gesichert vor. In West-Brandenburg liegt die Nutzporosität für die Sandsteinhorizonte des Hauterive bei 30 %. Die Nutzporosität der bindemittelarmen Sandsteine des Unter- und Mittel-Alb schwankt zwischen 20 % und 40 % (BEBIOLKA et al. 2011).

In Niedersachsen war das Niedersächsische Becken der bedeutendste Ablagerungsraum in der Unterkreide. Bei fortschreitender Subsidenz wurden im Zentrum des Beckens mehr als 2.000 m Sedimente der Unterkreide akkumuliert. Die sandigen Sedimente (Randfazies) wurden von der Rheinisch-Böhmischen Masse im Süden, der Pompeckj-Scholle im Norden sowie im Westen von der Ostholländischen Schwelle geschüttet und treten überwiegend in der tieferen Unterkreide auf (BOIGK 1981).

Wichtige Sandsteinhorizonte in Nordwest-Deutschland treten im Berrias (Oberkirchen-Sandstein), Valangin (Bentheim-Sandstein, Dichotomiten-Sandstein) und Hauterive (Gildehaus-Sandstein) auf. Aus dem höheren Teil der Unterkreide ist nur der Hils-Sandstein des Alb im äußersten Südosten des Untersuchungsgebietes durch Bohrungen belegt. Die aus der Bohrungsdatenbank abgeleiteten kumulativen Sandsteinmächtigkeiten weisen im Emsland, im zentralen südlichen Niedersachsen sowie östlich von Hannover Werte von mehr als 10 m auf. Von 227 Bohrungen mit Sandsteinmächtigkeiten von mehr als 10 m enthalten 77 Bohrungen Werte größer als 50 m (KNOPF 2011).

Aufgrund der hohen Mächtigkeit und der faziellen Entwicklung der Unterkreide im Niedersächsischen Becken (ZIEGLER 1990, MUTTERLOSE & BORNEMANN 2000, DOORNENBAL & STEVENSON 2010) ist eine kumulative Sandsteinmächtigkeit von mehr als 10 m im Großteil des Niedersächsischen Beckens gedeutet worden (KNOPF 2011). Im Niedersächsischen Becken ist die geringe Tiefenlage der Oberfläche des Unterkreide-Speicherkomplexes der begrenzende Parameter bei der Kategorisierung (Abb. 5.8-2). Zusätzlich kommen, den Kriterien entsprechend und durch Bohrungen belegt, potenzielle Speichergesteine nur im Bereich des Leer-Bremen-Lineamentes, des Uelzen-Lineamentes und im Bereich der Emsmündung vor.

Bohrungen mit Werten zu Porosität und Permeabilität der Unterkreide-Speichergesteine sind fast ausschließlich im Bereich des Niedersächsischen Beckens vorhanden. Die Porosität der Sandsteine ist zumeist größer als 10 %. Der Bentheimer Sandstein im Emsland besitzt eine Porosität von durchschnittlich 20 % bis 25 % (BOIGK 1981). Insgesamt erstrecken sich die Gebiete mit nachweislich porösen Sandsteinen entlang der nördlichen Grenze des Niedersächsischen Beckens vom Emsland bis in den Raum Hannover (KNOPF 2011).

### **5.8.2 Ablagerungen der oberen Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex (Süddeutschland)**

Folgende Ablagerungen der stratigraphischen Einheiten der Unterkreide und der unteren Oberkreide wurden für das genannte Bundesland speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.8-1, Abb. 5.8-2):

- Apt bis Alb und Cenoman: Bayern

Sedimente der Kreide kommen in der Wasserburger Senke und im Braunauer Trog vor, die durch das Landshut-Neuöttinger Hoch voneinander getrennt sind. Die Entwicklung dieser beiden Becken begann im Obercenoman und erfuhr besonders im Coniac eine Intensivierung. Kreidezeitliche Sandsteine sind hier die Glaukonit führenden Gault-Sandsteine des Abt bis Alb in der Wasserburger Senke sowie die Cenoman-Sandsteine und Regensburger Grünsandsteine des Obercenoman im Braunauer Trog. Die lithologisch sehr ähnlichen Ablagerungen erreichen eine Gesamtmächtigkeit von 8 m bis zu 28 m im Braunauer Trog und von 2 m bis zu 66 m in der Wasserburger Senke. Die speichertaugliche Nettomächtigkeit beträgt zwischen 75 % und 100 % der Gesamtmächtigkeit. HÄNEL et al. (1984) geben für die kreidzeitlichen Sandsteine eine Porosität von etwa 20 % an und die Permeabilität beträgt 100 mD bis 1000 mD (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

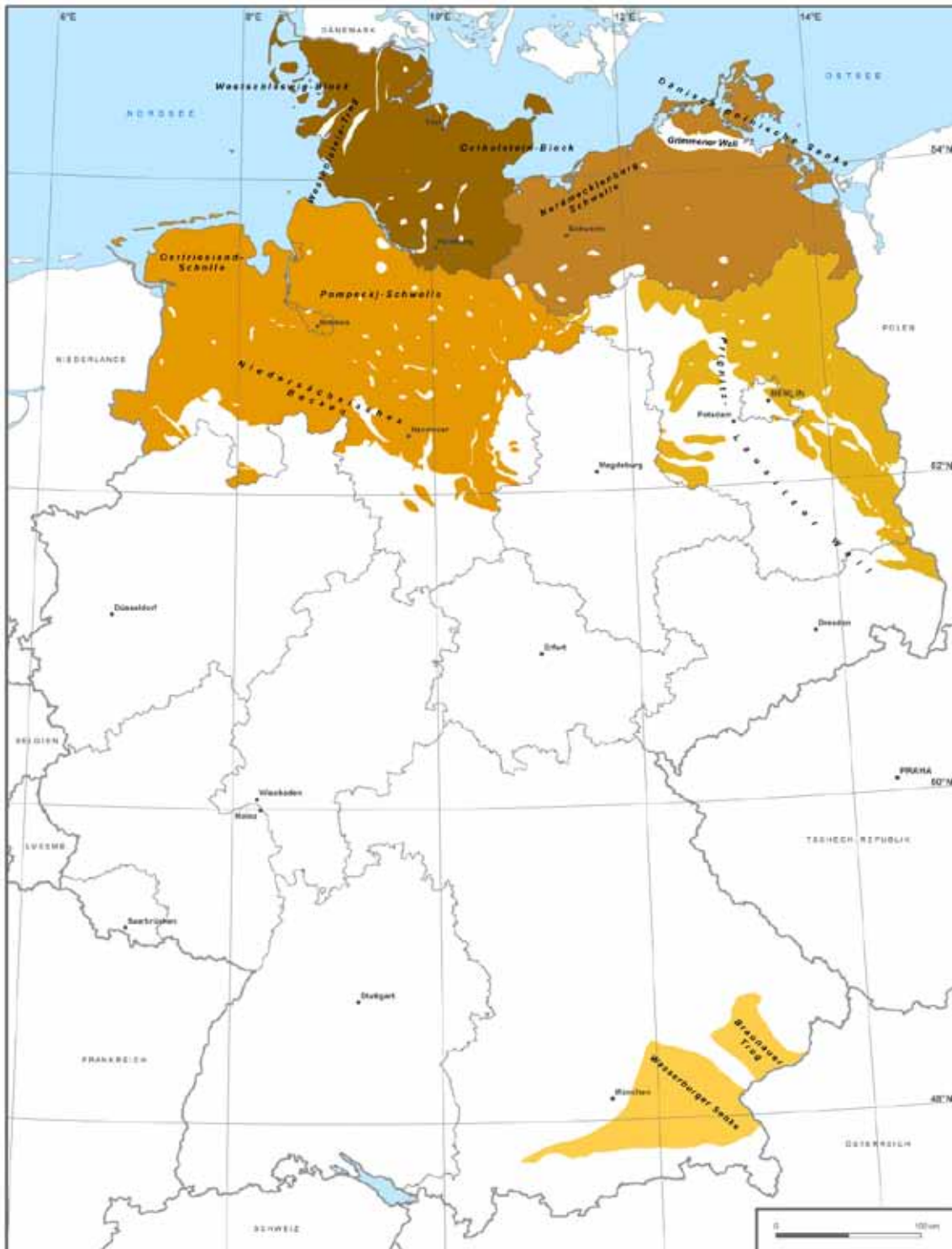
Im Westen der Wasserburger Senke ist der Gault-Sandstein durch meist tonreiche, geringdurchlässige Unterkreidesedimente hydraulisch vom darunter liegenden Malmaquifer getrennt. Im Braunauer Trog hingegen stehen die Cenoman-Sandsteine im Norden in hydraulischem Kontakt zum Malmaquifer (BAYSTMWIVT 2010).

### **5.8.3 Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex (Norddeutschland)**






Das Hauptverbreitungsgebiet toniger Sedimente der Unterkreide befindet sich in Nordwestdeutschland. So sind die unterkreidezeitlichen marinen Tonsteine die abdeckenden Schichten der unterkretazischen KW-Lagerstätten östlich und westlich der Weser sowie westlich der Ems (BOIGK 1981). In der Oberkreide Norddeutschlands sind dagegen vorwiegend kalkig-mergelige Ablagerungen entstanden (ZIEGLER 1990, DOORNENBAL & STEVENSON 2010), die zwar regionale Grundwasserstauer sind, aber nicht den projektspezifischen Anforderungen entsprechen.

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit der Kreide wurden für die genannten Bundesländer in Norddeutschland speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien kategorisiert (Abb. 5.8-3, Abb. 5.8-4):

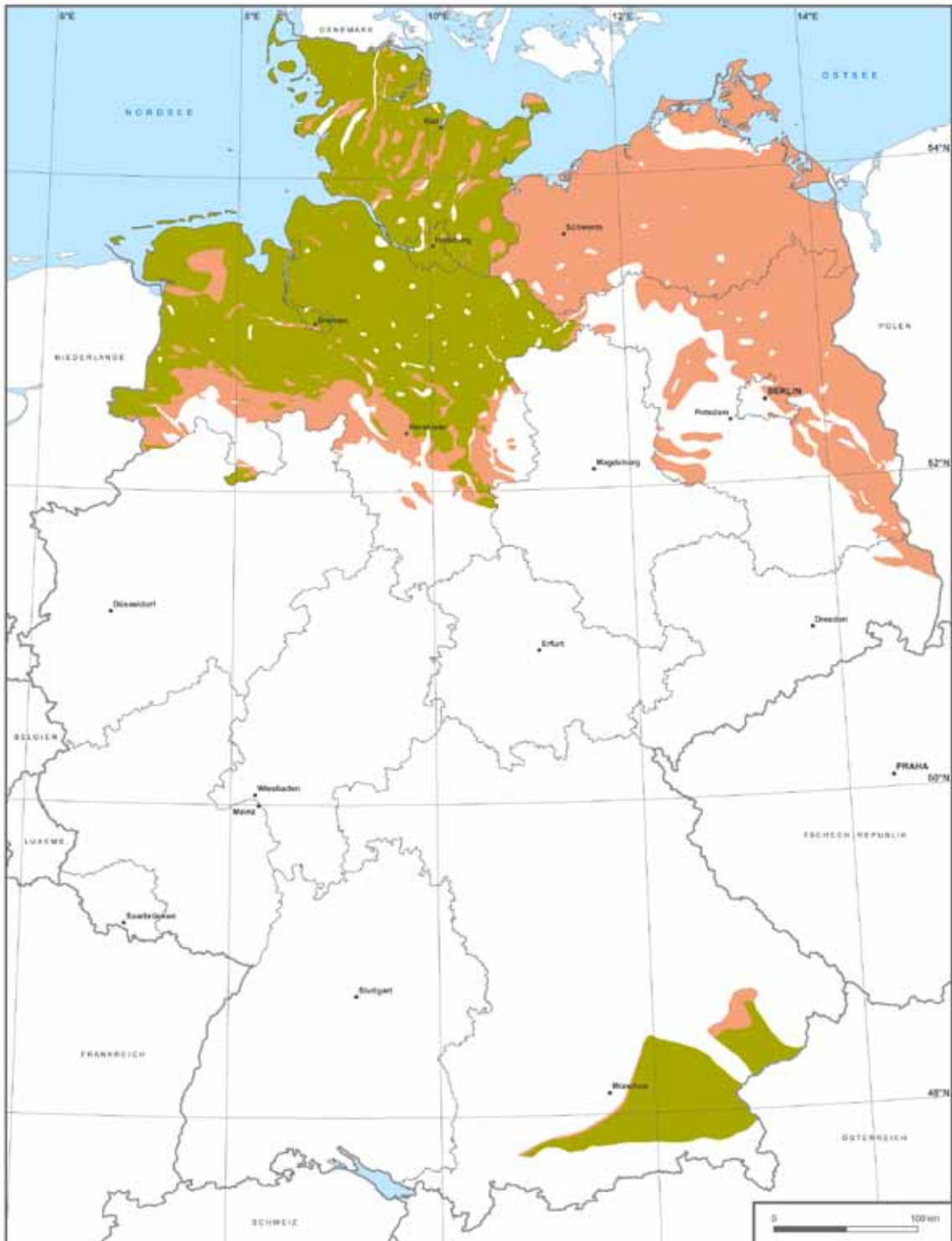
- Kreide: Niedersachsen und Bremen
- Unterkreide: Schleswig-Holstein und Hamburg



Untersuchte Einheiten:

- |   |   |   |                               |
|---|---|---|-------------------------------|
|  | Oberkreide (Braunauer Trog - bzw. Wasserburger Senke) |  | Unterkreide (Alb-Stufe)       |
|  | Unterkreide (Alb-Stufe) und Oberkreide                |  | Unterkreide (undifferenziert) |
|  | Unterkreide und Oberkreide (undifferenziert)          |   |                               |

**Abb. 5.8-3:** Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete). Die Kreide-Ablagerungen wurden für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.



Kategorisierung nach:

- Mächtigkeit >20m (z. T. gedeutet) und Tiefe >800m
- Mächtigkeit <20m (z. T. nicht bekannt) und/oder Tiefe <800m

**Abb. 5.8-4:** Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage. Aufgrund der Gesamteinschätzung für die Bundesländer ergibt sich hier ein Sprung in der Kategorisierung an den Landesgrenzen zwischen Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen (s. Kap. 5.8.3). Die Kreide-Ablagerungen wurden für Sachsen-Anhalt im Rahmen des Projektes nicht bearbeitet.

- Unterkreide (Alb): Mecklenburg-Vorpommern
- Unterkreide (Alb) und Oberkreide: Brandenburg, Berlin und Teilgebiete in Sachsen

Eine Bewertung der Kreide-Ablagerungen als potenzielle Barrieregesteine wurde für Sachsen-Anhalt nicht durchgeführt.

Die Abschätzung der Tiefenlage des Kreide-Barrierekomplexes in Niedersachsen erfolgte an der Basis der transgressiven marinen Unterkreide, deren Ablagerungen vorwiegend durch dunkelgraue Tonstein-, Tonmergelstein- und Mergelsteinhorizonte sowie geringmächtige, zwischengeschaltete Sandsteinlagen gekennzeichnet sind (vgl. HOTH et al. 2007). Die Mächtigkeit der Unterkreide im Niedersächsischen Becken beträgt mehr als 2.000 m. In den Ablagerungen wurde kumulativ eine Tonsteinmächtigkeit von einigen 10er-Metern ermittelt (117 Bohrungen), wobei fast immer ein zusammenhängender Tonsteinhorizont mit einer Mächtigkeit von mehr als 20 m vorhanden war (KNOPF 2011). Auf dem Pompeckj-Block ist die Unterkreidemächtigkeit meist geringer und die Ton- und Tonmergelablagerungen des Alb sind vorrangig für die Barrierewirkung von Bedeutung. Das Barrierepotenzial ist hier anhand der Alb-Mächtigkeit gedeutet worden (KNOPF 2011).

Der begrenzende Faktor bei der Ausweisung untersuchungswürdiger Gebiete in Niedersachsen ist das Tiefenkriterium, das vorrangig im nördlichen Teil Niedersachsens erfüllt wird (Abb. 5.8-4).

Auch in Schleswig-Holstein und Hamburg ist die Eignung der Unterkreide-Barriere gebietsweise durch das Tiefenkriterium eingeschränkt. So liegt die Basis des Unterkreide-Barrierekomplexes im Großraum Heide in einer Tiefe von ca. 350 m bis 400 m, im Westholstein-Trog dagegen maximal bei ca. 3.900 m. Die durchschnittliche Mächtigkeit des Unterkreide-Barrierekomplexes beträgt 30 m bis 160 m und erreicht in Schleswig-Holstein maximal 400 m. Der Anteil toniger Sedimente nimmt dabei von Westen nach Osten zu. Erst im Apt kommen flächig verbreitete tonige Sedimente der Unterkreide auf dem Ostholstein-Block vor (HABLE et al. 2011).

Entsprechend dieser geologischen Entwicklung sind auch in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin die tonig-mergeligen Abfolgen des Alb die am weitesten verbreiteten Barrieregesteine der Unterkreide. Dabei erreicht die Alb-Transgression den nordöstlichen Teil von Mecklenburg-Vorpommern erst im Ober-Alb. Die Basis des Barrierekomplexes liegt flächig nur nördlich Berlins sowie südwestlich einer Linie Rostock - Stavenhagen - Neubrandenburg tiefer als 800 m (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010). Die Mächtigkeit des Alb variiert von wenigen Metern im Bereich der Hochgebiete bis zu mehreren 100 Metern in den Randsenken von Salzstrukturen. Im gesamten Verbreitungsgebiet des Alb von Mecklenburg-Vorpommern wurden nur in 11 der ausgewerteten

600 Bohrungen Tonsteinbänke mit einer Mächtigkeit von mehr als 20 m angetroffen. Auch in Brandenburg, Berlin und Sachsen erreichen die untersuchten Tonsteine des Mittel- bis Ober-Alb nicht die geforderte Mächtigkeit von 20 m (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010). Demzufolge konnte für den Kreide-Barrierekomplex in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin und Sachsen kein Gebiet ausgewiesen werden, das den Kriterien des Projektes entspricht (Abb. 5.8-4).

Aus der Darstellung der Gesamteinschätzung ergibt sich ein länderspezifischer Unterschied in der Einschätzung der Bundesländer Schleswig-Holstein und Niedersachsen auf der einen Seite und Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg auf der anderen Seite (Ablagerungen der Kreide wurden in Sachsen-Anhalt nicht bearbeitet). Die lithologisch sehr differenzierte kreidezeitliche Entwicklung in Norddeutschland und die projektspezifische Interpretation der Informationen zu tonigen Barrieregesteinen anhand der Bohrungen führten zu der in Abb. 5.8-4 dargestellten Kategorisierung des Barrierekomplexes Kreide. So wurden entsprechend den Vorgaben in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg Tongesteinshorizonte mit einem höheren Kalkanteil nicht berücksichtigt. Allerdings bedarf die Einschätzung der barrierewirksamen Eigenschaften von tonigen Ablagerungen weiterer Untersuchung, so wie hier im Grenzbereich zwischen den genannten Bundesländern.

#### **5.8.4 Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex (Süddeutschland)**

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit der Kreide wurde für das genannte Bundesland speichergeologisch charakterisiert und nach dem projektspezifischen Kriterium kategorisiert (Abb. 5.8-3, Abb. 5.8-4).

- Oberkreide: Bayern

Sowohl in der Wasserburger Senke als auch im Braunauer Trog wird die Oberkreide (Obercenoman bis Campan) von tonig-mergeligen Sedimenten dominiert. Diese lagenweise auch feinsandigen Tonmergel-Abfolgen erreichen im Südosten der asymmetrisch angelegten Wasserburger Senke Mächtigkeiten von bis zu 570 m, an der Ost-Flanke des Braunauer Trogs (entlang des Donaurandbruchs und des Niederbayerischen Abbruchs) Mächtigkeiten von bis über 1.000 m. Darin eingeschaltet sind kalkige Sandsteine des Oberturon mit einer Mächtigkeit von bis zu 30 m (Großberg-Sandstein), die auf eine Schüttung vom varistischen Grundgebirge in Ostbayern zurückgehen. Ein weiterer, bis zu 50 m mächtiger Sandstein-Horizont im mittleren Coniac ist auf den Braunauer Trog beschränkt (SCHULZ & DIEPOLDER 2010). Beide Sandsteinhorizonte sind bei der Bewertung des Barrierepotenzials zu berücksichtigen.

## 5.9 Tertiär

Mächtige tertiäre Ablagerungen sind im Norddeutschen Becken, im Oberrheingraben und im süddeutschen Molassebecken vorhanden. Im Projekt wurden die tertiären Sedimente vorrangig im süddeutschen Molassebecken und im Oberrheingraben speichergeologisch bearbeitet (FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010, REIN et al. 2011). Die Ergebnisse wurden nicht abschließend länderübergreifend abgestimmt und sind daher in dieser Synthese nicht als Potenzialkarten dargestellt. In Norddeutschland wurden zusammenfassend die geologischen Kenntnisse über die Rupelton-Formation dokumentiert. Als flächig verbreitete, tonige Barriere trennt diese im Untergrund Norddeutschlands Süßwasser- und Salzwasseraquifere (BEBIOLKA et al. 2011, BRANDES & OBST 2010, KNOPF 2011).

### 5.9.1 Ablagerungen des Tertiär im süddeutschen Molassebecken

Die tertiären Sedimente im Gebiet des süddeutschen Molassebeckens sind durch wechselnde Ablagerungsbedingungen (marin, brackisch und limnisch-fluviatil) gekennzeichnet. Es treten grobklastische (Sandsteine, Konglomerate), mächtige feinklastische (Ton- und Siltsteine) sowie untergeordnet karbonatische Sedimentgesteine auf, deren Gesamtmächtigkeit in Richtung Süden auf etwa 5.000 m ansteigt. Aufgrund vorherrschender Ablagerungsbedingungen ist die tertiäre Schichtenfolge lithostratigraphisch gegliedert in: Prämolasse, Untere Meeres-, Untere Brackwasser-, Untere Süßwassermolasse, Obere Meeres-, Obere Brackwasser-, Obere Süßwassermolasse (z. B. SCHWERD et al. 1996, DOPPLER et al. 2005). Die räumliche Charakterisierung der Speicher- und Barrieregesteine nach den projektspezifischen Anforderungen war aufgrund der wechselhaften Ablagerungsbedingungen nur eingeschränkt möglich. Aufgrund der strukturgeologischen Komplexität der untersuchten Gebiete, der stark variierenden Ablagerungsverhältnisse im Molassebecken und der hier für eine Kategorisierung verfügbaren Datengrundlage, wurde in dieser Synthese auf Kartendarstellungen verzichtet. Darstellungen, basierend auf den Mindestanforderungen Tiefenlage und Mächtigkeit, sind in den Endberichten der Länder Baden-Württemberg und Bayern enthalten (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Im Projekt wurden im bayerischen Teil des süddeutschen Molassebeckens (etwa die Ostmolasse) und im baden-württembergischen Teil (etwa die Westmolasse) folgende mögliche Speicher- und Barrierekomplexe des Tertiär untersucht (Tab. 3.2-1, Tab. 3.2-2, FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010) und werden hier zusammenfassend beschrieben:

- Obere Süßwassermolasse (Miozän): Baden-Württemberg und Bayern
- Obere Meeresmolasse (Oberoligozän bis Untermiozän, Burdigalsande): Baden-Württemberg und Bayern

- Untere Süßwassermolasse (Oberoligozän, Chatt- und Aquitan-Schichtfolge): Baden-Württemberg und Bayern
- Untere Meeresmolasse (unteres Unteroligozän, Rupel-Formation, Baustein-Schichten): Baden-Württemberg und Bayern
- Prämolasse-Sedimente (Eozän-Oligozän, Priabon-Basissandstein, Lithothamnienkalk, Ampfinger Sandstein): nur Bayern

Der Priabon-Basissandstein, die Lithothamnienkalk-Ablagerungen sowie der Ampfinger Sandstein sind Teil der tertiären „Prämolasse“-Sedimentation (BUCHHOLZ 1989, DOPPLER et al. 2005). Der Priabon-Basissandstein in der Ostmolasse hat eine maximale Nettomächtigkeit von 8 m und eine Porosität zwischen 8 % und 18 %. Die Lithothamnienkalke weisen im zentralen Verbreitungsgebiet ein ausgeprägtes Porositätsmaximum auf (größer als 25 %), während die überwiegende Zahl der Messwerte zwischen 7 % und 11 % liegt. Der Ampfinger Sandstein erreicht seine höchste Mächtigkeit unmittelbar SW des Landshut-Neuöttinger Hochs. Die Nettomächtigkeit beträgt 10 m bis maximal 30 m und die Porosität 15 % bis 20 % (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Die Latdorf-Fischschiefer (Untere Meeresmolasse, unteres Unteroligozän) gehören zur tiefsten Einheit der Tonmergelabfolge des Rupel, die als regionale Barriere bearbeitet wurde. Die Gesamtmächtigkeit der Ablagerungen des Rupel nimmt in Richtung Alpen stark zu (bis zu 1.400 m), vergleichbare mächtigere Ablagerungen kommen in der Ostmolasse vor (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010). In den überwiegend pelitischen Rupel-Sedimenten treten Sand- und Geröll-Einschaltungen unterschiedlicher Mächtigkeit und lateraler Erstreckung auf. Die bedeutendste Sandeinschaltung des Rupel (nordöstlich von München) wurde von SCHULZ & DIEPOLDER (2010) als Speichergesteinskomplex beschrieben.

Im oberen Teil der Unteren Meeresmolasse entwickelte sich in der Westmolasse am Ende des Rupel die aus Südwesten kommende Schüttung der Baustein-Schichten. Dieser Speicherkomplex erfüllt das projektspezifische Tiefen- und Mächtigkeitskriterium im südöstlichen Teil der Westmolasse, in der die Mächtigkeit über 40 m beträgt. Bohrungen mit Porositäts- und Permeabilitätsangaben weisen für diese Einheiten auf günstige Speichereigenschaften hin. Die Porosität liegt zwischen 5 % und 31 %. In Richtung Alpenrand reduziert sich die Porosität durch zunehmende Verfestigung und Porenzementation (FEHN et al. 2010).

Die Ablagerungen des Zeitraums Chatt sind geprägt durch eine marine bis brackische Entwicklung in der Ostmolasse und ein limnisch-fluviatiles Ablagerungsmilieu im Westen (Untere Süßwassermolasse). In der Ostmolasse treten die Chatt-Sande, die eine Porosität von etwa 20 % besitzen, mit stark schwankender Mächtigkeit auf (SCHULZ & DIEPOLDER



2010). Die Untere Süßwassermolasse ist im zentralen Beckenbereich generell durch eine lateral heterogene Wechselfolge von Mergel- und Sandsteinhorizonten aufgebaut und wurde als Barrierekomplex bearbeitet. An der Basis liegt eine über 100 m mächtige Mergelserie mit Gips und Anhydrit (FEHN et al. 2010).

Die Sandsteine des Unteren Aquitan (Untere Süßwassermolasse) sind etwa südlich der Linie Anzing - Mühldorf (BAYStMWIVT 2010) verbreitet. In diesen Sandsteinen treten insgesamt bis etwa 200 m mächtige Sandmergel-Sandsteinhorizonte mit eingeschalteten Tonmergeln auf. Diese besitzen eine Porosität von ca. 20 %. Die Sande verzahnen sich mit fluviatilen Schüttungen, die von Westen antransportiert wurden. Etwa zeitgleich entstand der vollmarine Nantesbuch-Sandstein aus einem von Süden her in den Ablagerungsraum der Ostmolasse einmündenden Schuttfächer. Die Verbreitung der Sandsteine reicht im Westen etwa bis Schongau und im Norden bis in den Raum München. Die Mächtigkeit beträgt maximal 60 m mit Porositätswerten von etwa 20 % (BAYStMWIVT 2010). Im Hangenden folgen lokal begrenzt oft bituminöse Mergel der Aquitan-Fischschiefer (SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Im Zeitraum Eggenburg (Obere Meeresmolasse, Burdigal) wurden im Südostteil des Wasserburger Trops die Burdigal-Sande mit sehr stark variierender Mächtigkeit abgelagert. Die Sande mit zwischengeschalteten Sand- und Tonmergeln („sandiges Burdigal“) und einer Porosität um die 20 % gehen zum Hangenden hin in eine rein tonige bis sandmergelige Abfolge („toniges Burdigal“) über (BAYStMWIVT 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

Die Obere Süßwassermolasse ist ebenfalls durch häufige, laterale und vertikale Fazieswechsel der limnisch-fluviatilen Ablagerungen gekennzeichnet. Aufgrund der lithologischen Heterogenität der Ablagerungen, die teilweise bis zu 1.000 m mächtig sind, ist die Obere Süßwassermolasse nicht als großflächiger Speicher oder Barriere für eine langfristige Untergrundspeicherung großer Fluidmengen geeignet (FEHN et al. 2010, SCHULZ & DIEPOLDER 2010).

### **5.9.2 Ablagerung des Tertiär im Oberrheingraben**

Der Oberrheingraben ist Teil eines bedeutenden europäischen känozoischen Riftsystems. Die durchschnittlich etwa 40 km breite Grabenstruktur zeichnet sich durch eine kleinräumige und komplexe Bruchschollentektonik aus, in der seit dem Mittel-Eozän über 3.000 m marine und terrestrische Sedimente abgelagert wurden (GEYER & GWINNER 1991, ZIEGLER 1992, DERER 2003). Verbreitung, Mächtigkeit und Fazies der känozoischen Sedimente wurden von den klimatischen Bedingungen und der geologischen Entwicklung der Grabenstruktur gesteuert. Eine stratigraphische Synthese der eozänen bis pliozänen Sedimente des Oberrheingrabens wurde von BERGER et al. (2005) erarbeitet.

Die Eignung der geologischen Barrieren für einen langfristigen Rückhalt großer im Untergrund gespeicherter Fluidmengen wird durch die tektonischen Prozesse im Zusammenhang mit der anhaltenden Grabenabsenkung beeinträchtigt. Aufgrund dieser Einschränkung und den hier genutzten Datengrundlagen zur projektspezifischen Kategorisierung wurden in der Synthese keine Potenzialkarten der tertiären Schichten dargestellt. Auf die Landesgebiete bezogene Kartendarstellungen für den Oberrheingraben, basierend auf den Mindestanforderungen Tiefenlage und Mächtigkeit, sind in den Abschlussberichten der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz enthalten (FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, REIN et al. 2011).

Die Ablagerungen der folgenden stratigraphischen Einheit des Tertiärs im Oberrheingraben wurden für die genannten Bundesländer speichergeologisch charakterisiert und nach den projektspezifischen Kriterien zusammenfassend beschrieben (FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, REIN et al. 2011):

- Oberoligozän, Niederröden-Formation: Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz
- Unteroligozän, Graue Schichtenfolge (Graue Mergel): Baden-Württemberg und Hessen
- Eozän bis Unteroligozän, Pechelbronn-Gruppe: Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz

Die Pechelbronn-Gruppe ist im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet. Die Unteren und Oberen Pechelbronn-Schichten sind limnisch-fluviatile Ablagerungen mit einzelnen Sandsteinhorizonten. Die mittleren Pechelbronn-Schichten bestehen dagegen aus Lagen brackischer bis mariner Tonsteine und Tonmergel (GRIMM & HOTTENROTT 2005). Die kumulative Mächtigkeit der sandigen Speichergesteine innerhalb der Pechelbronn-Gruppe liegt bei maximal ca. 30 m und die Porosität bei etwa 20 %, wobei Mächtigkeit und Fazies sehr engräumig variieren (GAUPP & NICKEL 2001, FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, REIN et al. 2011).

Die durch Tonmergelsteine dominierte Graue Schichtenfolge fungiert als geologische Barriere für die Pechelbronn-Gruppe. Zur Grauen Schichtenfolge gehören die stratigraphischen Einheiten Foraminiferenmergel, Fischschiefer, Oberer Rupelton, Meletta-Schichten und Cyrenenmergel. Die ersten drei Einheiten sind vollmarine tonige Beckenablagerungen (GRIMM & HOTTENROTT 2005) und als regionale Barriere potenziell geeignet (FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, REIN et al. 2011). In den Ablagerungen der Meletta-Schichten und des Cyrenenmergel treten mehrere poröse, gut durchlässige Sandsteine auf. Nach MAY & TURKOVIC (2003) beträgt der Anteil dieser Sandsteine in den Cyrenenmergeln etwa 3 % und in den Meletta-Schichten etwa 6 %. Die durchschnittliche Porosität dieser Sandsteine liegt bei etwa 16 % bzw. 20 % (FEHN et al. 2010, REIN et al. 2011).

Im nördlichen Teil des Oberrheingrabens wurde darüber hinaus die Niederröders-Formation in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg bearbeitet. Die Niederröders-Formation umfasst die Corbicula-Schichten, die Cerithien-Schichten sowie die Bunten Niederröders-Schichten an der Basis (FEHN et al. 2010, KÖTT & KRACHT 2010, REIN et al. 2011). In Baden-Württemberg sind nur die Bunten Niederröders-Schichten als potenzielle Speichergesteine von Interesse; die Corbicula- und Cerithien-Schichten bestehen überwiegend aus Lagen von Tonmergel- und Mergelgestein. Die stark schwankende kumulative Mächtigkeit der Sandsteinlagen der Bunten Niederröders-Schichten beträgt durchschnittlich ca. 30 m. Die Porosität liegt zwischen 10 % und etwa 27 % (FEHN et al. 2010).

Differenziertere Aussagen zur vertikalen und lateralen Kontinuität der speichergeologischen Eigenschaften in den tertiären Ablagerungen sind durch detailliertere Untersuchungen künftig möglich. Zusätzliche Grundlagen werden derzeit im Rahmen des Interreg-Projektes Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben (GeORG) erarbeitet.

## 6. Zusammenfassung

Das Gemeinschaftsprojekt der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ wurde im Zeitraum April 2008 bis März 2011 unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. Die Staatlichen Geologischen Dienste der Bundesländer waren über Teilprojekte (s. Anhang) in das Gesamtprojekt eingebunden.

Das Projekt liefert als Ergebnis eine bundesweite, abgestimmte Übersicht untersuchungswürdiger Gebiete mit Speicher- und Barrieregesteinen des tieferen Untergrundes, insbesondere unter dem Nutzungsaspekt der dauerhaften geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub>. Dazu wurden für stratigraphisch definierte Speicher- und Barrierekomplexe bundesweit einheitliche Mindestkriterien (Tiefe und Mächtigkeit) definiert und angewendet. Für die Speicherkomplexe wurde eine kumulative Mindestmächtigkeit der untersuchungswürdigen Speichergesteine von mehr als 10 m sowie eine Tiefenlage (Top) größer als 800 m und für die Barrierekomplexe eine Mächtigkeit der Barrieregesteine von mehr als 20 m sowie eine Mindestdiefe (Basis) von als 800 m gefordert. Auf Basis dieser Kriterien sind bundesweite Potenzialkarten für 18 Speicher- und Barrierekomplexe in den Ablagerungen des oberen Paläozoikum und des Mesozoikum im Maßstab 1:1.000.000 erarbeitet worden. Die Potenzialkarten wurden mit Nachweisdaten über Tiefbohrungen und seismischen Messungen (z. B. Dateneigentümer und Ansprechpartner für weiterführende Informationen) in eine GIS-basierte Kartenanwendung „Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland“ integriert.

Die vorliegende Synthese basiert auf den Abschlussberichten der Teilprojekte. Die Abschlussberichte enthalten regionale Potenzialkarten und weitergehende Informationen über die untersuchten Speicher- und Barrierekomplexe (z. B. Angaben zur Paläogeographie und Faziesverteilung, Speichereigenschaften, struktureologische Beschreibungen sowie Hinweise zur Diagenese der bewerteten Sedimentgesteine).

Die Speicherkomplexe Oberrotliegend und Buntsandstein erfüllen in großen zusammenhängenden Gebieten Norddeutschlands das Tiefen- und Mächtigkeitskriterium. Aufgrund der starken Zementation der klastischen Gesteine des Oberrotliegend sind deren Speichereigenschaften im gesamten Gebiet von Schleswig-Holstein und Hamburg sowie in weiten Teilen Mecklenburg-Vorpommerns und Brandenburgs ungünstig. Gute Speichereigenschaften sind dagegen in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt in den Regionen vorhanden, in denen Erdgas in den klastischen Sedimenten des Oberrotliegend vorkommt. Die Ablagerungen des Buntsandstein wurden in diesem Projekt ebenfalls als untersuchungswürdiger Speicherkomplex in Norddeutschland und im Oberrheingraben

ausgewiesen. Im Norddeutschen Becken besitzen die Sandsteinhorizonte des Mittleren Buntsandstein über weite Gebiete eine ausreichende Mächtigkeit und Tiefenlage. Dabei haben die Sandsteinhorizonte im beckenzentralen Ablagerungsbereich weniger günstige Speichereigenschaften als die Sandsteinhorizonte in geringerer Tiefe im ehemaligen Beckenrandbereich. Beispiele für Regionen mit weniger günstigen Speichereigenschaften sind das zentrale Niedersächsische Becken oder der Glückstadt-Graben in Schleswig-Holstein.

In stratigraphisch jüngeren Speicherkomplexen wie dem Oberen Keuper und dem Unterjura, dem Mitteljura und der Unterkreide ist insbesondere in Norddeutschland die Verbreitung gegenüber den älteren Speicherkomplexen deutlich eingeschränkt. Dies gilt vor allem für die durch die Salinartektonik stark zergliederten Ablagerungsräume in Norddeutschland, in denen die Verbreitung der jüngeren Speicher- und Barriereformationen auf schmale Tröge reduziert ist (z. B. in Schleswig-Holstein). Die Oberfläche der Speicherkomplexe liegt zudem gebietsweise oberhalb von 800 m. Hierdurch verkleinert sich die Fläche der untersuchungswürdigen Gebiete zusätzlich. Die Speichereigenschaften werden in den ausgewiesenen untersuchungswürdigen Gebieten häufig als gut bis sehr gut bezeichnet.

Der Barrierekomplex Zechstein erfüllt im norddeutschen und mitteldeutschen Raum weiträumig die Mindestkriterien und wird als untersuchungswürdig kategorisiert. Ebenso erfüllt der Obere Buntsandstein in Norddeutschland die Mindestkriterien und ist weiträumig als Barriere für den Speicherkomplex Buntsandstein anzusehen. Wie auch bei den Speicherkomplexen werden die untersuchungswürdigen Gebiete der stratigraphisch jüngeren Barrierekomplexe aufgrund von Verbreitungslücken kleiner, folgen aber grundsätzlich dem Verbreitungsmuster der unmittelbar darunter liegenden Speicherkomplexe.

In Süddeutschland – Untersuchungsgebiete waren das Gebiet des Molassebeckens sowie der Oberrheingraben – sind die untersuchungswürdigen Gebiete der Speicherkomplexe im Permokarbon und im Mesozoikum häufig deutlich kleinräumiger als in Norddeutschland und erfüllen die geforderte Mindestmächtigkeit nur knapp. Beispielsweise gilt dies für die Speicherkomplexe des Keuper im Gebiet des Molassebeckens. Als potenzielle Speichergesteine wurden in Süddeutschland zusätzlich geklüftete und kavernöse Karbonatgesteine (z. B. im Malm) erfasst und mögliche Speicher- und Barrierekomplexe des Tertiär untersucht. Eine bundeslandübergreifende Kategorisierung und Kartendarstellung der tertiären Schichtenfolge erfolgte in der Synthese jedoch nicht. Die regionalen Ergebnisse sind in den Abschlussberichten der Teilprojekte dokumentiert.

Die zur Erstellung der Potenzialkarten angewendeten Mindestkriterien für eine dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> sind aus CHADWICK et al. (2008) abgeleitet. Diese Kriterien sind nicht nur auf die CO<sub>2</sub>-Speicherung, sondern auch auf andere Nutzungsoptionen, wie

z. B. die tiefe Geothermie oder die Erdgasspeicherung anwendbar. Das Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland bedient damit ein breites Spektrum an Nutzungsoptionen für die Salzwasser führenden Aquifere des tieferen Untergrundes.

Folgende Aussage soll noch einmal deutlich herausgestellt werden: Das Ergebnis des Projektes ist nicht die Ausweisung konkreter Standorte für eine mögliche Untergrundspeicherung. Auch wenn in einigen Teilprojekten (z. B. Thüringen und Nordrhein-Westfalen) geologische Fallenstrukturen auf Basis der verfügbaren Datengrundlage exemplarisch beschrieben wurden, ersetzen die Ergebnisse jedoch nicht die notwendige Erkundung eines Standortes, um dessen Eignung für eine bestimmte Nutzungsoption überprüfen zu können.

## **7. Grenzen der Studie**

Die vorliegende bundesweite Einschätzung der speichergeologischen Gegebenheiten des tieferen Untergrundes in Deutschland berücksichtigt insbesondere Informationen über die großräumige Verbreitung, Lithologie, gesteinsphysikalische Eigenschaften und Fazies geologischer Schichten. Diese Informationen basieren auf umfangreichen und langjährigen Arbeiten unterschiedlicher Fachdisziplinen der Geologie, Geophysik sowie Lagerstättenkunde. Aus den in diesem Projekt geleisteten geowissenschaftlichen Arbeiten ergeben sich Grenzen bezüglich der Aussagekraft und der Darstellungsmöglichkeiten.

### Allgemeine Aspekte

Es wurden stratigraphische Einheiten zusammengefasst, deren Ablagerungen vorzugsweise Speicher- bzw. Barriereigenschaften besitzen (Speicher- und Barrierekomplexe). Anhand der im Projekt definierten Kriterien (Tiefe und Mächtigkeit) wurden für diese Speicher- und Barrierekomplexe untersuchungswürdige Gebiete in Übersichtskarten ausgewiesen und die Ergebnisse in Berichten und in einem GIS-basierten Informationssystem dokumentiert. Dieses Projekt liefert als Ergebnis jedoch keine konkreten Standorte für die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> oder für andere Nutzungsoptionen der tieferen Aquifere.

Das in dieser Studie angewendete Tiefenkriterium von mindestens 800 m für die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> wurde aus CHADWICK et al. (2008) abgeleitet. Dementsprechend liegt die jeweilige Oberfläche der Speicherkomplexe mindestens 800 m tief. Die potenziellen Speicherhorizonte befinden sich nicht grundsätzlich am Top des Speicherkomplexes und können entsprechend tiefer liegen. Nebenbestandteile im Speichermedium können zudem das Phasen- bzw. Dichteverhalten beeinflussen. Die tatsächlich notwendige Mindestdiefe der Speicherhorizonte für eine effiziente CO<sub>2</sub>-Speicherung muss daher im Rahmen einer genehmigungspflichtigen Erkundung standortspezifisch bestimmt werden.

Auch außerhalb der abgegrenzten Regionen und der stratigraphisch definierten Speicherkomplexe treten nutzbare Speichergesteine auf. Für das „Speicher-Kataster Deutschland“ wurden vor allem überregional relevante Speicher- und Barrierehorizonte untersucht.

Im Projekt wurden insbesondere Salz- und Tongesteinshorizonte mit mindestens 20 m Mächtigkeit als geologische Barrieren kategorisiert (s. auch CHADWICK et al. 2008). Andere Sedimentgesteine weisen ebenfalls Barriereigenschaften auf (z. B. die ungestörten Kalksteinhorizonte des Mittleren Muschelkalk in Süddeutschland oder Tonmergelgesteine), wurden im Projekt aber nur nachrangig berücksichtigt. Die tatsächliche Eignung einer geologischen Barriere kann erst durch eine standortspezifische Erkundung festgestellt werden.

Die für eine weitergehende qualitative und quantitative Bewertung des Speicherpotenzials notwendigen kleinräumigen Analysen der Lithologie einschließlich Porosität, Permeabilität, der Fazies und der geologischen Entwicklung sowie der tektonischen und struktureologischen Verhältnisse auf der Basis detaillierter geophysikalischer Messungen konnten im zeitlichen Rahmen dieses bundesweiten Projektes nicht durchgeführt werden. So sind insbesondere die geologisch-tektonische Komplexität tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte, z. B. im Nahbereich der Salzstöcke oder im tektonisch aktiven Oberrheingraben, aufgrund der Datenlage und des gewählten Bearbeitungsmaßstabes nicht berücksichtigt worden.

Als Bewertungsgrundlage für die Untergrundspeicherung wurden nur geowissenschaftliche Kriterien herangezogen. Das Projekt liefert daher eine rein geowissenschaftlich begründete Ausweisung speichergeologisch untersuchungswürdiger Gebiete in Deutschland. Nutzungskonkurrenzen, raumordnerische Kriterien (z. B. Schutzgebiete oder soziologische Belange) und ökonomische Faktoren wurden nicht berücksichtigt.

#### Datenbasis

Die geologischen Kenntnisse und Daten über Speichergesteine des tieferen Untergrundes sind in Deutschland regional sehr heterogen. Gute bis sehr gute Grundlagen liegen für die Gebiete und Formationen vor, die im Fokus von Rohstoffexplorationsmaßnahmen (z. B. KW-Exploration) standen. Im Vergleich dazu ist der Erkundungsstand über Salzwasser führende Aquifere deutlich niedriger. Barrieregesteine wurden vor allem lokal im Zusammenhang mit der Erkundung und Einrichtung von Erdgasspeichern oder der Versenkung von Restwässern aus dem Kavernenbau untersucht. Eine bundesweite Untersuchung und Bewertung von ausgewählten Tongesteinsformationen erfolgte bisher nur im Rahmen einer BGR-Studie über Tongesteine als potenzielle Wirts- und Barrieregesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle (HOTH et al. 2007).

Im Projekt konnte nur ein Teil der umfangreichen Informationen über den tieferen Untergrund berücksichtigt werden. Es wurden vorwiegend bereits digital verfügbare Datengrundlagen, wie z. B. Bohrungsdatenbanken und digital vorliegende Kartenwerke, ausgewertet, ergänzt durch Literatur und unveröffentlichte Archivberichte. In einigen Teilprojekten war es möglich, bisher nur analog vorliegende Informationen, digital für das Projekt verfügbar zu machen. Insgesamt konnte eine digitale Aufarbeitung der analogen Archivbestände aber nicht für alle geologischen Horizonte gleichermaßen erfolgen. Insbesondere erfordert die qualitative und quantitative Analyse der analog vorliegenden Bohrlochmessungen einen umfangreichen Personal- und Sachmittelaufwand und war daher nicht Bestandteil der Projektarbeiten. Neue Daten wurden im Rahmen dieses Projektes nicht erhoben und auch keine Laborarbeiten durchgeführt.

### Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Projektes wurden auf Basis kleinmaßstäblicher Datengrundlagen erarbeitet und entsprechend in Karten mit einem Bearbeitungsmaßstab 1:1.000.000 zusammengestellt. Für die GIS-basierte Kartenanwendung wurde deshalb eine Darstellungsbegrenzung von maximal 1:250.000 für die Karten festgesetzt. Die Darstellungen der Nachweisdaten besitzen dagegen keine maßstabsgebundene Begrenzung.

Die erarbeiteten Potenzialkarten der Speicher- und Barrierekomplexe geben nicht in jedem Fall die Verbreitung der bearbeiteten stratigraphischen Einheiten wieder. Die Untersuchungsgebiete wurden vielmehr auf Basis verschiedener Kriterien (z. B. die verfügbare Datengrundlage, die Kenntnisse zur Tiefenlage potenziell geeigneter Speicher- und Barrieregesteine oder der regionalen Strukturgeologie) festgelegt und bearbeitet.

In einigen Teilprojekten wurden für Gebiete, in denen das Tiefen- und Mächtigkeitskriterium erfüllt ist, keine anderen Hinweise auf Nichteignung der Speicher- und Barrieregesteine vorliegen, und die Datengrundlage ausreichend ist, strukturgeologische Datensätze mit Isobathen, Isopachen (stratigraphische Mächtigkeiten) und horizontbezogenen Störungslinien im Bearbeitungsmaßstab 1:300.000 erarbeitet. Diese Datensätze konnten im Rahmen des Projektes nicht bundeslandübergreifend qualitätsgeprüft zusammengestellt werden und sind daher nur in den entsprechenden Abschlussberichten der Teilprojekte dokumentiert (Liste der Teilprojekte, s. Anhang).

## **8. Ausblick**

Die Speicher- und Barrierekomplexe wurden hier jeweils unabhängig voneinander nach den genannten Mindestkriterien bewertet und entsprechend untersuchungswürdige Gebiete ausgewiesen. Als zusätzliches Kriterium zur weiterführenden Bewertung des



Speicherpotenzials im tieferen Untergrund (z. B. für die CO<sub>2</sub>-Speicherung), müssen u. a. die untersuchungswürdigen Gebiete der Speicher- und Barrierekomplexe in ihrer räumlichen Konstellation zueinander analysiert werden (z. B. KNOPF 2011).

Weiterführende Arbeiten in den untersuchungswürdigen Gebieten der Speicher- und Barrierekomplexe sollten sich vorrangig auf eine Regionalisierung der gesteinspezifischen Eigenschaften und die regionale Strukturgeologie fokussieren. Dazu sind die horizontbezogenen Daten und Messungen aus Bohrungen auszuwerten und zusammen mit strukturgeologischen Kenntnissen in geowissenschaftliche Modelle (z. B. Fazies, Sedimentgenese) zu integrieren und zu bewerten.

Die gegenwärtig von mehreren SGD der Länder entwickelten 3D-Landesmodelle des tieferen Untergrundes unterstützen die komplexe Erfassung und Auswertung regionaler geologischer und geophysikalischer Daten. Diese 3D-Modelle dienen der Visualisierung des aktuellen geowissenschaftlichen Kenntnisstandes und können auf zukünftig erforderliche Untersuchungsschwerpunkte hinweisen, z. B. bei der Beurteilung von Nutzungskonkurrenzen im unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraum.

Das Projekt Speicher-Kataster Deutschland war auf den deutschen Festlandsbereich ausgerichtet. Ergänzend dazu werden im Projekt Geopotenzial Deutsche Nordsee (GPDN, Modul E) seit 2009 Grundlagen über Speicher- und Barrieregesteine des tieferen Untergrundes im deutschen Nordseesektor erarbeitet (s. <http://www.geopotenzial-nordsee.de>).

Oberflächennahe Trinkwasserhorizonte sind ein wichtiges Schutzgut, das bei der Nutzung des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes nicht beeinträchtigt werden darf. Eine Schutzfunktion haben beispielsweise in Norddeutschland die Tongesteine der Rupel-Formation - eine weit verbreitete Barriere zwischen dem oberflächennahen Trinkwasserstockwerk und den tieferen, Salzwasser führenden Aquiferen. Im Projekt COOSKA (GAST & WIRTH 2010) erarbeitet die BGR im Auftrag des Umweltbundesamtes unter anderem Karten über die Verbreitung und Tiefenlage dieses wichtigen Barrierehorizontes für Norddeutschland. Damit entsteht eine wichtige Ergänzung zu den Projektergebnissen des Speicher-Katasters Deutschland.

Speicher- und Barrierehorizonte können sich über Landes- und Bundesgrenzen hinweg erstrecken. CO<sub>2</sub>-Speicherstandorte haben daher gegebenenfalls grenzüberschreitende Auswirkungen, z. B. durch Druckerhöhung in der Speicherformation. Demzufolge sind auch Abstimmungen der speichergeologischen Gegebenheiten über die Bundesgrenzen hinaus notwendig. Zwischen Deutschland und Polen wird bereits von der BGR, dem PGI (Polish Geological Institute) sowie den geologischen Diensten der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen eine Korrelation der relevanten Schichtenfolge im Projekt GEOPOLD vorgenommen (KUHLMANN et al. 2010).

Die Salzwasser führenden Aquifere des tieferen Untergrundes können zur Speicherung (z.B. Erdgas oder CO<sub>2</sub>) oder zur Gewinnung geothermischer Energie genutzt werden. Zur Prüfung von möglichen Nutzungskonkurrenzen zwischen der Tiefen Geothermie und der CO<sub>2</sub>-Speicherung erarbeitet die BGR derzeit gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) einen GEOTHERMIE-ATLAS.

Die in den vorgenannten Projekten erarbeiteten Informationen werden in der BGR mit den Ergebnissen aus dem Projekt Speicher-Kataster Deutschland zusammengeführt und damit die Grundlage für eine verlässlichere Bilanzierung des Potenzials für die Untergrundnutzung laufend erweitert und aktualisiert.

Aufgrund ihrer Zuständigkeit für den tieferen Untergrund sind die Staatlichen Geologischen Dienste der Bundesländer an vielen dieser bundeslandübergreifenden Projekte direkt beteiligt. Die in dem Projekt Speicher-Kataster Deutschland erfolgreich praktizierte Zusammenarbeit zwischen den SGD in Deutschland dient auch für zukünftige bundesweite Projekte als Vorbild.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde auf Grundlage der Richtlinie 2009/31/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die geologische Speicherung von Kohlendioxid von der Bundesregierung ein Gesetzentwurf zur Demonstration und Anwendung der CCS-Technologien in das parlamentarische Verfahren eingebracht. Die Ergebnisse des Projektes Speicher-Kataster Deutschland sind für dessen Umsetzung eine wichtige geowissenschaftliche Grundlage und könnten für die von dem Gesetz vorgesehene Potenzialanalyse ausgebaut werden.

## **Danksagung**

Das Projekt Speicher-Kataster Deutschland wurde unter dem Förderkennzeichen 0327765 aus der COORETEC-Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziert sowie durch Beiträge von Vattenfall, E.ON und EnBW unterstützt.

Dem Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. (WEG) danken wir für die Unterstützung dieser Arbeiten und insbesondere für die Erteilung der Nutzungsrechte für die Bohrungsdaten.

Den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesländer danken wir für die stets gute Zusammenarbeit und Unterstützung dieses Projektes.

## Literaturverzeichnis

- AUST, H. & KREYSING, K. (1978): Geologische und geotechnische Grundlagen zur Tiefenversenkung von flüssigen Abfällen und Abwässern. - Geol. Jb., **C 20**: 1-224; Hannover.
- BACHMANN, G. H. & MÜLLER, M. (1996): Die Entwicklung des Süddeutschen Molassebeckens seit dem Variszikum: Eine Einführung. - Z. geol. Wiss., **24** (1/2): 3-20; Berlin.
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. [Hrsg.] (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland 1:300 000.– Hannover (BGR).
- Baldschuhn, R. & Kockel, F. (1998): Der Untergrund von Hannover und seiner Umgebung. - In: Daniels, C.H.V. & Knoll, J.: Bericht der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover, 140: 5-98; Hannover.
- BARDENHAGEN, N. & BRAUNER, H.-J. (2011): Nachweissystem über Daten von Speicher- und Barrierekomplex-bezogenen Nachweisdatensätzen für das Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- BAYSTMWIVT (2010): Bayerischer Geothermieatlas - 104 S., (2. Aufl.), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; München.
- BEBIOLKA, A., GÖTHEL, M. & HÖDING, T. (2011): Endbericht zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland für die Bundesländer Brandenburg, Berlin und Teilgebiete in Sachsen. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- BERGER, J.P., REICHENBACHER, B., BECKER, D., GRIMM, M., GRIMM, K., PICOT, L., STORNI, A., PIRKENSEER, C. & SCHAEFER, A. (2005): Eocene-Pliocene time scale and stratigraphy of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB). - Int. J. Earth Sc. (Geol. Rundsch.), **94**: 711-731; (Springer-Verlag).
- BEUTLER, G. & SZULC, J. (1999): Die paläogeographische Entwicklung des Germanischen Beckens in der Trias und die Verbindung zur Tethys. - *In*: HAUSCHKE, N. & WILDE, V.: Trias - Eine ganz andere Welt. Mitteleuropa im frühen Erdmittelalter: 71-80; München (Verlag Pfeil).

- BEUTLER, G. & NITSCH, E. (2005): Paläogeographischer Überblick. - *In*: DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION [Hrsg.]: Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 15-30; Frankfurt am Main.
- BEUTLER, G., HAUSCHKE, N. & NITSCH, E. (1999): Faziesentwicklung des Keupers im Germanischen Becken. - *In*: HAUSCHKE, N. & WILDE, V. [Hrsg.]: Trias - Eine ganz andere Welt: 129-174; München (Verlag Pfeil).
- BMWi (2007): Leuchtturm COORETEC - Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen.- 74 S.; Berlin.
- BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland. - Stuttgart (Enke).
- BRAND, E. & HOFFMANN, K. (1963): Stratigraphie und Fazies des nordwestdeutschen Jura und Bildungsbedingungen seiner Erdöllagerstätten. - Erdöl und Kohle, **16**: 437-450.
- BRAND, E. & MÖNNIG, E. (2009): Litho- und Biostratigraphie des Mittel-Jura (Dogger) in Bohrungen Norddeutschlands. - SDGG, **54**: 5-73; Hannover.
- BRANDES, J. (2011): Abschlussbericht zum Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ Mesozoische Speicher- und Barrierekomplexe der Altmark-Fläming-Scholle (Sachsen-Anhalt). - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- BRANDES, J. & OBST, K. (2009): Isobathenkarte für den Aquiferkomplex Mittlerer Buntsandstein in NE-Deutschland. - Geowiss. Beitr., **16** (1/2): 19-28.
- BRANDES, J. & OBST, K. (2010): Abschlussbericht zum Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Mecklenburg-Vorpommern. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- BRASSER, T. & BREWITZ, E. (2002): Anwendbarkeit der Indikatoren „teufenabhängige Mineralisation / Salzgehalt“ für die Erfüllung der allgemeinen Anforderungen „keine oder langsame Grundwasserbewegungen“. - Bericht an den AKEnd, GRS, GRS-A-2956.

- BRAUNER, H.-J., MESSNER, J., SEDLACEK, R. & TRAN VIET, T. (2007): Merkblatt für die Bewertung von Untertage-Gasspeichern (Porenspeicher) - Erforderliche Datenbasis für die geologisch-lagerstättentechnische Prüfung im Rahmen bergrechtlicher Genehmigungsverfahren. - 12 S., Nieders. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover.
- BRÜCKNER, W., MEINKE, O.D., ALTHEN, G.-W., FISCHER, U., SEEGER, J., TOLEIKIS, R. & KNEBEL, G. (1990): Geothermische Ressourcen im N-Teil der DDR (II): Abschlussbericht Blatt Wittenberge; Berlin/Schwerin (GFE GmbH); Berlin.
- BRUMLICH, H., GRIESBACH, H., ROHLEDER, R. & SCHWINGE, H. (1977): Studie: Schadlose Kaliendlaugenversenkung Thüringer Becken (Westteil). - Bericht VEB UGS Mittenwalde (unveröff.): 89 S.; Weimar (Archiv der TLUG).
- BUCHHOLZ, P. (1989): Der Lithothamnienkalk Südostbayerns. - Geol. Bavarica, **93**: 5-97; München.
- CHADWICK, A., ARTS, R., BERNSTONE, C., MAY, F., THIBEAU, S. & ZWEIGEL, P. [Hrsg.] (2008): Best practice for the storage of CO<sub>2</sub> in saline aquifers - Observations and guidelines from the SACS and CO<sub>2</sub>STORE projects. 267 S., British Geological Survey; Keyworth.
- CHRISTENSEN, N.P. & HOLLOWAY, S. (2004): GESTCO – Geological Storage of CO<sub>2</sub> from Combustion of Fossil Fuel. - Summary Report of the GESTCO-Project to the European Commission; Brüssel.
- DERER, C.E. (2003): Tectono-Sedimentary Evolution of the Northern Upper Rhinegraben (Germany) with special regards to the early synrift stage. - Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn.
- DIENER, I., RUSBÜLT, J. & REICH, M. (2004): Unterkreide. - *In*: KATZUNG, G. [Hrsg.]: Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: 164-173; Stuttgart, (E' Schweizerbart).
- DIENER, I., WORMBS, J., RUSITZKA, I., PASTERNAK, G., TOLEIKIS, R., TESSIN, R., TROTTNER, D. & WUNDERLICH, H. (1989): Geothermische Ressourcen im N-Teil der DDR (I) – Blatt Schwerin/Bad Doberan. – ZGI Berlin.
- DIENER, I., WORMBS, J., RUSITZKA, I., PASTERNAK, G. & TOLEIKIS, R. (1990): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II) – Blatt Eberswalde/Bad Freienwalde 1:200.000. - 49 S., Zentr. Geolog. Inst.; (ZGI, unveröff.) Berlin.
- DIENER, I., WORMBS, J., PASTERNAK, G., STOLLBERG, K., TESCH, M., TESSIN, R. & TOLEIKIS, R. (1991): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland – Blatt Magdeburg/Brandenburg. - Bericht UWG GmbH, Zentr. Geolog. Inst.; (ZGI, unveröff.) Berlin.

- DIENER, I., WORMBS, J., PASTERNAK, G., STOLLBERG, K., TESCH, M., TESSIN, R. & TOLEIKIS, R. (1992): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland – Blatt Salzwedel. - Bericht UWG GmbH, Zentr. Geolog. Inst.; (ZGI, unveröff.) Berlin.
- DIEPOLDER, G. & SCHULZ, U. (2011): Tiefliegende Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Bayern – ein Überblick. - SDGG, **74**; Hannover
- DÖLLING, M. & LINDER, B. (2010): Potenzialkarten und Charakterisierung von CO<sub>2</sub>-Speicherstrukturen in Nordrhein-Westfalen. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- DOORNENBAL, J.C. & STEVENSON, A.G [Hrsg.] (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area - Houten (EAGE Publications).
- DOPPLER, G., HEISSIG, K. & REICHENBACHER, B. (2005): Die Gliederung des Tertiärs im süd-deutschen Molassebecken. - Newsl. Stratigr., **41** (1-3): 359-375; Berlin/Stuttgart.
- DRESCHER, J. (1997): Deponiebau. 294 S.; Berlin (Ernst & Sohn).
- DROZDZEWSKI, G. (1988): Die Wurzel der Osning-Überschiebung und der Mechanismus herzynischer Inversionsstörungen in Mitteleuropa. - Geol. Rdsch., **77** (1): 127-141; (Springer).
- DÜRBAUM, H.J., MATTHESS, G. & RAMBOW, D. (1969): Untersuchungen der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandstein in Nordhessen. Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., **97**; 258-274; Wiesbaden.
- ETZOLD, A. & SCHWEIZER, V. (2005): Der Keuper in Baden-Württemberg. - *In*: DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION [Hrsg.]: Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 15-30; Frankfurt am Main.
- FEHN, C., WIRSING, G. & ENGESSER, W. (2010): Speicher-Kataster Deutschland: Erstellung von Potenzialkarten in Baden-Württemberg. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.

- FEIST-BURKHARDT, S., GÖTZ, A.E., SZULC, J., BORKHATARIA, R., GELUK, M., HAAS, J., HORNING, J., JORDAN, P., KEMPF, O., MICHALIK, J., NAWROCKI, J., REINHARDT, L., RICKEN, W., RÖHLING, H.-G., RÜFFER, T., TÖRÖK, Á. & ZÜHLKE, R. (2008): Triassic. - *In*: McCANN, T. [Hrsg.]: The Geology of Central Europe - Volume 2: Mesozoic and Cenozoic: 799-821; London (Geological Society of London).
- FELDRAPPE, H., OBST, K. & WOLFGRAMM, M. (2008): Die mesozoischen Sandsteinaquifere des Norddeutschen Beckens und ihr Potential für die geothermische Nutzung. - Z. geol. Wiss., **36** (4/5): 199-222; Berlin.
- FRANZ, M. (2008): Litho- und Leitflächenstratigraphie, Chronostratigraphie, Zyκλο- und Sequenzstratigraphie des Keupers im östlichen Zentraleuropäischen Becken (Deutschland, Polen) und Dänischen Becken (Dänemark, Schweden). - 197 S., Universität Halle.
- FREUDENBERGER, W. (1996): Gesteinsfolge des Deckgebirges nördlich der Donau und im Molasseuntergrund - Trias. - *In*: Bayerisches Geologisches Landesamt [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, 4. Aufl.; München.
- FRISCH, U. & KOCKEL, F. (2004): Der Bremer Knoten im Strukturnetz Nordwestdeutschlands. - Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie - 379 S., Berichte aus dem FB Geowissenschaften der Universität Bremen, **223**; Bremen.
- GAST, R. (1991): The perennial Rotliegend Saline Lake in NW-Germany. - Geol. Jb., **A 119**: 25-59; Hannover.
- GAST, R., PASTERNAK, G., PISKE, J. & RASCH, H.-J. (1998): Das Rotliegend im Nordostdeutschen Raum: Regionale Übersicht Stratigraphie, Fazies und Diagenese. - Geol. Jb., **A 149**: 59-79; Hannover.
- GAST, S. & WIRTH, H. (2010): Das Projekt COOSKA: Oberflächennahe Schutzgüterim Kontext der geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung, *In*: HOPPE, A., RÖHLING, H. G. & SCHÜTH, C. [Hrsg.]: GeoDarmstadt 2010 – Geowissenschaften sichern Zukunft. - SDGG **68**: 189; Frankfurt am Main/Darmstadt (DGG).
- GAUPP, R. & NICKEL, B. (2001): Die Pechelbronn-Schichten im Raum Eich-Stockstadt (Nördlicher Oberrheingraben, Blatt 6216 Gernsheim). - Geol. Jb. Hessen, **128**: 19-27; Wiesbaden.
- GEBHARDT, U. (1994): Zur Genese der Rotliegend-Salinare in der Norddeutschen Senke (Oberrotliegend II, Perm). - Freiburger Forschungshefte, **C 452**: 3-22; Leipzig.
- GEOLOGISCHER DIENST NORDRH.-WESTF. [Hrsg.] (2003): Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland. - 219 S.; Krefeld.
- GERLING, J.P. (2008): Geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung als Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung. - Bergbau, **10**: 472-475; (RDB e.V.) .

- GEYER, M., NITSCH, E. & SIMON, T. [Hrsg.] (2011): Geologie von Baden-Württemberg. - 5. Auflage; (E' Schweizerbart).
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. [Hrsg.] (1991): Geologie von Baden-Württemberg. - 4. Auflage; Stuttgart (E' Schweizerbart).
- GLA-BW (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg) (1981): Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Mannheim, Anteil Baden-Württemberg. - NÄGELE, R. & TIETZE, R. [Hrsg.], 72 S.; Freiburg im Breisgau (Comission of the European Communities Directorate General for Research, Science and Education; Programme on Geothermal Energy).
- GLA-BW / BRGM (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg / BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières, France) (1979): Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens / synthèse géothermique du Fossé Rhéna Supérieur - TIETZE, R., NEEB, I., WALGENWITZ, F. & MAGET, P. [HRSG.], 100 S.; Freiburg im Breisgau, Strasbourg (Comission of the European Communities Directorate General for Research, Science and Education; Programme on Geothermal Energy).
- V. GOERNE, G., WEINLICH, F.H. & MAY, F. (2010): Anforderungen und Vorschläge zur Erstellung von Leitfäden und Richtlinien für eine dauerhafte und sichere Speicherung von CO<sub>2</sub>. - 251 S., Abschlussbericht; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover.
- GÖTHEL, M. (2006a): Fortschritte bei der Unterscheidung von Aquiferen in der Trias und im Jura von Brandenburg unter spezieller Berücksichtigung der Sequenzstratigraphie. - Brandenburg. Geowiss. Beitr., **13** (1/2): 91-115; Kleinmachnow.
- GÖTHEL, M. (2006b): Geologische Einschätzung zur geothermischen Stromerzeugung am Standort Finowfurt. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg: Bericht -12 S., Kleinmachnow (unveröff.).
- GRIMM, M.C. & HOTTENROTT, M. (2005): Das Tertiär des Oberrheingrabens in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. - Newsl. Stratigr., **41** (1-3): 351-358; Berlin/Stuttgart.
- GROSCHOPF, R. & VILLINGER, E. (2002): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte von Baden-Württemberg 1:1000000. - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg [Hrsg.]; Freiburg i. Br..



- HABLE, R., KAUFHOLD, H., LIEBSCH-DÖRSCHNER, T. & THOMSEN, C. (2011): Endbericht Speicher-Kataster Deutschland für die Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- HÄNEL, R., KLEEFELD, M. & KOPPE, I. (1984): Geothermisches Energiepotenzial. Pilotstudie: Abschätzung der geothermischen Energievorräte an ausgewählten Beispielen in der Bundesrepublik Deutschland (Abschlussbericht). - Niedersächs. Landesamt f. Bodenforschung (NLfB). Im Auftrag der Europäischen Gemeinschaft und des Bundesministeriums für Forschung und Technologie; Hannover (unveröff.).
- HENK, A. (1993): Das Saar-Nahe-Becken, eine geodynamische Beckenanalyse. - *Die Geowissenschaften*, **8**: 268-273.
- HISS, M., MUTTERLOSE, J., NIEBUHR, B. & SCHWERD, K. (2005): Die Kreide in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. - *Newsl. Stratigr.*, **41** (1-3): 287-306; Berlin/Stuttgart.
- HOFFMANN, N., POKORSKI, J., LINDERT, W. & BACHMANN, G.H. (1997): Rotliedend stratigraphy, palaeogeography and facies in the eastern part of the central european basin. *Proceedings of the XIII International Congress on the Carboniferous and Permian*: 75-86; Kraków.
- HOLLOWAY, S., HEEDERIK, J.P., VAN DER MEER, L.G.H., CZERNICHOWSKI-LAURIOL, I., HARRISON, R., LINDBERG, E., SUMMERFIELD, I.R., ROCHELLE, C., SCHWARZKOPF, T., KAASTAD, O. & BERGER, B. (1996): The underground disposal of Carbon Dioxide – Summary Report. - *British Geological Survey Report for JOULE II project CT92-0031*: 21 S.; (British Geological Survey).
- 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. - 118 S.; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- KÄDING, K.-C. (2005): Der Zechstein in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. - *Newsl. Stratigr.*, **41** (1-3): 123-127; Berlin/Stuttgart.
- KÄSTNER, H., SEIDEL, G. & WIEFEL, H. (2003): Regionalgeologische Stellung und Gliederung. - *In*: SEIDEL, G.: *Geologie von Thüringen*: 14-23; Stuttgart (E<sup>4</sup> Schweizerbart).
- KATZUNG, G., DIENER, I. & KÜHN, P. (1992): Temperaturverteilung im Untergrund Ostdeutschlands und für die Nutzung der geothermischen Ressourcen in Betracht kommende Aquifere. - *Braunkohle, Tagebautechnik, Die Braunkohle*, **6**: 27-32.

- KNOPF, S. (2011): Speicher-Kataster Deutschland: Endbericht für Niedersachsen und Bremen. - In: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- KNOPF, S., MAY, F., MÜLLER, C. & GERLING, J.P. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. - Energiewirtschaftliche Tagesfragen, **60** (4): 76-80; (etv).
- KÖTT, A. & KRACHT, M. (2010): Potenzialkarten und Charakterisierungen von CO<sub>2</sub>-Speicherstrukturen im Land Hessen. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- KRULL, P., BANDLOWA, T., FISCHER, M., SCHULZ, P. & STIEWE, H. (1997): Tiefversenkung von Abwässern und flüssigen Abfällen in den östlichen Bundesländern. - 60 S., Abschlussbericht (BMBF-Forschungsvorhaben 02C 0294), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- KUHLMANN, G., FELDMAN-OLSZEWSKA, A., GEISSLER, E., HÖDING, T., MÜLLER, C., OBST, K., TOMASZCZYK, M., PIENKOWSKI, G., GERLING, J.P. (2010): Harmonized transnational geology – a necessity for near border sub-surface CO<sub>2</sub> storage. In: HOPPE, A., RÖHLING, H. G. & SCHÜTH, C. [Hrsg.]: GeoDarmstadt 2010 - Geowissenschaften sichern Zukunft. –SDGG **68**: 341; Frankfurt a. Main & Darmstadt (DGG).
- KULICK, J., LEIFELD, D., MEISL, S., PÖSCHL, W., STELLMACHER, R., STRECKER, G., THEUERJAHR, A.-K. & WOLF, M. (1984): Petrofazielle und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harz-Westrandes. - Geol. Jb. **D 68**: 2-223; Hannover.
- LBEG (2009): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2008 - Niedersächs. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie [Hrsg.]. - 74 S.; Hannover.
- LEPPER, J. & RÖHLING, H.-G. (1998): Buntsandstein. - *In*: BACHMANN, G. H., BEUTLER, G. & LERCHE, I. [Hrsg.]: Excursions of the International Symposium on the Epicontinental Triassic. - Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften. **Reihe B**, Beiheft **6**; Halle/Saale.
- LEPPER, J., RAMBOW, D. & RÖHLING, H.-G. (2005): Der Buntsandstein in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. - Newsl. Stratigr., **41** (1-3): 129-142; Berlin/Stuttgart.

- MADER, D. (1982): Genese des mitteleuropäischen Buntsandsteins - Entwicklungsgeschichte einer kontinentalen Rotformation. - *Naturwissenschaften*, **69**: 311-325; (Springer).
- MAY, F., BRUNE, S., GERLING, J.P. & KRULL, P. (2003): Möglichkeiten zur untertägigen Speicherung von CO<sub>2</sub> in Deutschland – eine Bestandsaufnahme. - *Geotechnik*, **26** (3): 162-172.
- MAY, F., KRULL, P. & GERLING, J.P. (2004): CO<sub>2</sub> Storage Scenarios in North Germany. GESTCO Project Case Studies. - 48 S. Bericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; (unveröff.) Hannover.
- MAY, F. & TURKOVIC, R. (2003): Minderung von Treibhausgas- Emissionen durch CO<sub>2</sub>-Speicherung in tiefen Aquiferen. - *Z. angew. Geol.* **1/03**: 65-72; Berlin.
- MAY, F., MÜLLER, C. & BERNSTONE, C. (2005): How much CO<sub>2</sub> can be stored in deep saline aquifers in Germany? - *VGB PowerTech*, **6**: 32-37; Essen.
- MAY, F., BRUNE, S., GERLING, J.P. & KRULL, P. (2003): Möglichkeiten zur untertägigen Speicherung von CO<sub>2</sub> in Deutschland – eine Bestandsaufnahme. – *Geotechnik*, **26** (3): 162-172 (VGE Verlag)
- MEYER, R.K.F. & SCHMIDT-KAHLER, H. (1989): Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm). - *Geol. Jb. A*, **115**: 77; Hannover.
- MÖNNIG, E. (2005): Der Jura von Norddeutschland in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. - *Newsl. Stratigr.*, **41** (1-3): 253-261; Berlin/Stuttgart.
- MUTTERLOSE, J. & BORNEMANN, A. (2000): Distribution and facies patterns of Lower Cretaceous sediments in northern Germany; a review. - *Cretaceous research*, **21** (6): 733-759; Amsterdam (Elsevier).
- NITSCH, E. (2005): Der Keuper in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002: Formationen und Folgen. - *Newsl. Stratigr.*, **41** (1-3): 159-171; Berlin/Stuttgart.
- NITSCH, E. & ZEDLER, H. (2009): Oberkarbon und Perm in Baden-Württemberg. - Beiträge zur Lithostratigraphie in Baden-Württemberg. LGRB-Informationen, **22**. Regierungspräsidium Freiburg - Abt. 9 - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB); Freiburg im Breisgau.
- OSIPOV, V.I., SOKOLOV, V.N. & EREMEEV, V.V. (2004): Clay Seals of Oil and Gas Deposits; Lisse/Abingdon/Exton/Tokio (Balkema Publishers).
- PERYT, T.M., GELUK, M. C., MATHIESEN, A., PAUL, J. & SMITH, K. (2010): Zechstein. - *In*: DOORNENBAL, J.C. & STEVENSON, A.G: Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. - Houten; (EAGE Publications).

- PETZKA, M., RUSBÜLT, J. & REICH, M. (2004): Jura. – *In*: KATZUNG, G. [Hrsg.]: Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: 151-163; Stuttgart (E. Schweizerbart).
- PLEIN, E. (1993): Bemerkungen zum Ablauf der paläogeographischen Entwicklung im Stefan und Rotliegend des Norddeutschen Beckens. - Geol. Jb., **A 131**: 99-116; Hannover.
- PLEIN, E. (1999): Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe in der Trias des Germanischen Beckens. - *In*: HAUSCHKE, N. & WILDE, V. [Hrsg.]: Trias – Eine ganz andere Welt: 507-518; München (Verlag Pfeil).
- PRATSCHKO, S. (1972): Studie Abwasserversenkung Thüringen. - 140 S., VEB UGS Stendal; (unveröff.) Gotha (Archiv der TLUG).
- PRATSCHKO, S. (1975): Permeabilität und Hydrodynamik im Mittleren Buntsandstein des nördlichen Thüringer Beckens. - 14 S., VEB UGS Mittenwalde; Gotha (unveröff., Archiv der TLUG).
- PUFF, P. & RADZINSKI, K.-H. (1980): Ergebnisse und Probleme stratigraphischer Untersuchungen im mittleren Buntsandstein der DDR. - Z. geol. Wiss., **8**: 965-983; Berlin.
- RADZINSKI, K.-H. (2008): Buntsandstein. - *In*: BACHMANN, G. H., EHLING, B.-C., EICHNER, R. & SCHWAB, M. [Hrsg.]: Geologie von Sachsen-Anhalt: 180-201; Stuttgart (E. Schweizerbart).
- RAPPSILBER, I. (2003): Struktur und Entwicklung des nördlichen Saale-Beckens (Sachsen-Anhalt): Geophysik und Geologie. - 120 S., Universität Halle-Wittenberg; Halle.
- REIN, B., HANEKE, J. & WEIDENFELLER, M. (2011): Speicher-Kataster für Deutschland - Endbericht für das Gebiet der Bundesländer Rheinland-Pfalz und Saarland. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.]: Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- REINHOLD, K., KRULL, P. & KOCKEL, F. (2008): Salzstrukturen Norddeutschlands (1: 500.000). - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- REINHOLD, K., EHLING, B.-C., BRANDES, J. & SCHNELLENBACH, M. (2011): Tiefe Aquifere in Sachsen-Anhalt und ihr Potenzial für die Untergrundspeicherung. - SDGG, **74**; Hannover.
- RIESENBERG, C., BARDENHAGEN, N., BRAUNER, H.-J. & REINHOLD, K. (2011): Informationssystem Speicher- und Barrieregesteine für den Standort Deutschland (Speicher-Kataster). - SDGG, **74**; Hannover.

- RUPF, I. & NITSCH, E. (2008): Das geologische Landesmodell von Baden-Württemberg – Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse. LGRB-Informationen, **21**: 82 S.; Freiburg im Breisgau (Regierungspräsidium Freiburg - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau).
- RUSITZKA, D. (1969): Keuper. – *In*: Forschungsinstitut für die Erkundung und Förderung von Erdöl-Erdgas [Hrsg.]: Tektonik und Erdöl-Erdgas-Höflichkeit des Nordteils der DDR - Erläuterungen zu den lithologisch-paläogeographischen Karten für den N-Teil der DDR im Maßstab 1:500.000 und 1:200.000: 63-75; Gommern (unveröff.).
- SCHÄFER, F., WALTER, L., CLASS, H. & MÜLLER, C. (2010): Regionale Druckentwicklung bei der Injektion von CO<sub>2</sub> in saline Aquifere - 59 S., Studie, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/Universität Stuttgart; Hannover/Stuttgart.
- SHECK, M. (1997): Dreidimensionale Strukturmodellierung des Nordostdeutschen Beckens unter Einbeziehung von Krustenmodellen - 126 S., Freie Universität Berlin, STR97/10; (GFZ-Potsdam).
- SCHULZ, R. [Hrsg.] (2009): Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland. - 114 S., Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG); Hannover.
- SCHULZ, R., BEUTLER, G., RÖHLING, H.-G., WERNER, K.-H., ROCKEL, W., BECKER, U., KABUS, F., KELLNER, T., LENZ, G. & SCHNEIDER, H. (1994): Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland – 162 S.; Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (LBEG); Hannover (unveröff.).
- SCHULZ, R. & RÖHLING, H.-G. (2000): Geothermische Ressourcen in Nordwestdeutschland. - Z. angew. Geol., **46** (3): 122-129; Stuttgart (E' Schweizerbart).
- SCHULZ, U. & DIEPOLDER, G. (2010): Erstellung von Potenzialkarten und Charakterisierungen von Speicherstrukturen im Freistaat Bayern. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- SCHWERD, K., DOPPLER, G. & UUNGER, H.J. (1996): Gesteinsfolgen des Molassebeckens und der inneralpinen Tertiärbecken. – *In*: Bayerisches Geologisches Landesamt [Hrsg.]: Erläuterung zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000; München.
- STROINK, L., GERLING, J.P., KÜHN, M. & SCHILLING, F.R. [Hrsg.] (2009): Die dauerhafte geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> in Deutschland - Aktuelle Forschungsergebnisse und Perspektiven.- GEOTECHNOLOGIEN - Science Report, **14**; Potsdam.

- THOMSEN, C. (2004): Geothermische Nutzhorizonte in Schleswig-Holstein. – Geothermie in Schleswig-Holstein: 27-36; Flintbek (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein).
- VANGKILDE-PEDERSEN, T., KIRK, K., SMITH, N., MAURAND, N., WOJCICKI, A., NEELE, F., HENDRIKS, C., LE NINDRE, Y.-M. & ANTHONSEN, K.L. (2009): EU GeoCapacity – Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide. - Geological Survey of Denmark and Greenland, D42 GeoCapacity Final Report, Project no. SES6-518318.
- WARREN, J.K. (2006): Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbon; Berlin/Heidelberg (Springer).
- ZANDER, I. & HUCKRIEDE, H. (2010): Erstellung von Potenzialkarten und Charakterisierung von Speicherstrukturen in Thüringen für den Aufbau eines Informationssystems Speicher-Kataster für Deutschland. - *In*: MÜLLER, C. & REINHOLD, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). - Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover.
- ZIEGLER, P.A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. - SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM Maatschappi [Hrsg.]; Amsterdam (Elsevier).
- ZIEGLER, P.A. (1992): European Cenozoic rift system. - Tectonophysics, **208**: 91-111; Amsterdam (Elsevier).

**Internetseiten** (Stand 25.05.2011):

GEORG: Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben. - Internetseite: [http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/eu\\_georg](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/eu_georg)

GEOthermie-ATLAS: Geothermie-Atlas zur Darstellung möglicher Nutzungskonkurrenzen zwischen CCS und Tiefer Geothermie. - Internetseite: <http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/Projekte/Laufend/Nur-Deutsch/Geothermie-Atlas.html>

GPDN: Geopotential Deutsche Nordsee. - Internetseite: <http://www.geopotenzial-nordsee.de>

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE: <http://www.bgr.bund.de>.

Abbildungsverzeichnis	Seite
<b>Abb. 3.2-1:</b> Regionale Schwerpunkte der Untersuchungen in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	11
<b>Abb. 4.1-1:</b> Übersicht über die Geodateninfrastruktur im Speicher-Kataster Deutschland.	18
<b>Abb. 4.2-1:</b> Lage der Salzstrukturen in Norddeutschland (Festland). Die Abkürzungen kennzeichnen die in Kapitel 5 genannten Salzstrukturen.	21
<b>Abb. 4.3-1:</b> GIS-basierte Kartenanwendung am Beispiel Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex in den untersuchten Einheiten - Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage (Topographie © BKG).	22
<b>Abb. 5.1-1:</b> Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	26
<b>Abb. 5.1-2:</b> Ablagerungen des Permokarbon als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	27
<b>Abb. 5.1-3:</b> Ablagerungen des Rotliegend als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	30
<b>Abb. 5.1-4:</b> Ablagerungen des Rotliegend als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	31
<b>Abb. 5.2-1:</b> Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	34
<b>Abb. 5.2-2:</b> Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	35
<b>Abb. 5.2-3:</b> Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	36
<b>Abb. 5.2-4:</b> Ablagerungen des Zechstein als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	37
<b>Abb. 5.3-1:</b> Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	42

---

<b>Abb. 5.3-2:</b> Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	43
<b>Abb. 5.3-3:</b> Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	46
<b>Abb. 5.3-4:</b> Ablagerungen des Buntsandstein als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	47
<b>Abb. 5.4-1:</b> Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Unterer und Mittlerer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	50
<b>Abb. 5.4-2:</b> Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Unterer und Mittlerer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	51
<b>Abb. 5.4-3:</b> Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Oberer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	52
<b>Abb. 5.4-4:</b> Ablagerungen des Muschelkalk (Muschelkalk undifferenziert, Oberer Muschelkalk) als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	53
<b>Abb. 5.4-5:</b> Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	56
<b>Abb. 5.4-6:</b> Ablagerungen des Muschelkalk als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	57
<b>Abb. 5.5-1:</b> Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	60
<b>Abb. 5.5-2:</b> Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	61
<b>Abb. 5.5-3:</b> Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	62
<b>Abb. 5.5-4:</b> Ablagerungen des Mittleren Keuper als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	63



---

<b>Abb. 5.5-5:</b> Ablagerungen des Unteren bis Mittleren Keuper (Gipskeuper) als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheit im Teilprojekt (Untersuchungsgebiet).	64
<b>Abb. 5.6-1:</b> Ablagerungen des oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	68
<b>Abb. 5.6-2:</b> Ablagerungen des oberen Keuper und des Unterjura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	69
<b>Abb. 5.6-3:</b> Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	72
<b>Abb. 5.6-4:</b> Ablagerungen des Unterjura und des unteren Mitteljura als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	73
<b>Abb. 5.7-1:</b> Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	78
<b>Abb. 5.7-2:</b> Ablagerungen des Mitteljura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	79
<b>Abb. 5.7-3:</b> Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	82
<b>Abb. 5.7-4:</b> Ablagerungen des Mitteljura und des Oberjura als potenzieller Barrierekomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	83
<b>Abb. 5.7-5:</b> Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	84
<b>Abb. 5.7-6:</b> Ablagerungen des Oberjura als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	85
<b>Abb. 5.8-1:</b> Ablagerungen der Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex. Darstellung der stratigraphischen Einheiten in den Teilprojekten (Untersuchungsgebiete).	88
<b>Abb. 5.8-2:</b> Ablagerungen der Unterkreide und der unteren Oberkreide als potenzieller Speicherkomplex. Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage.	89

- Abb. 5.8-3:** Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex.  
Darstellung der untersuchten stratigraphischen Einheiten in den  
Teilprojekten (Untersuchungsgebiete). 92
- Abb. 5.8-4:** Ablagerungen der Kreide als potenzieller Barrierekomplex.  
Kategorisierung nach Mächtigkeit und Tiefenlage. 93

---

Tabellenverzeichnis	Seite
<b>Tab. 3.2-1:</b> Bearbeitete stratigraphische Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten (NW = Nordrhein-Westfalen, NI = Niedersachsen inkl. Bremen, SH = Schleswig-Holstein inkl. Hamburg, MV = Mecklenburg-Vorpommern, BB = Brandenburg, inkl. Berlin und ausgewählte Regionen in Sachsen, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen, HE = Hessen).	14
<b>Tab. 3.2-2:</b> Bearbeitete stratigraphische Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten (BY = Bayern, ORG = Oberrheingraben (Teiluntersuchungsgebiet in Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz), RP /SL = Rheinland-Pfalz / Saarland, Molassebecken (Teiluntersuchungsgebiet in Baden-Württemberg und Bayern)).	15

## Glossar

Dieses Glossar definiert eine Auswahl von Fachbegriffen, Abkürzungen und Akronymen, die in dieser Synthese verwendet werden.

<b>Abweichdaten</b>	KW-Bohrungen werden oft aus verschiedenen Gründen von der vertikalen Richtung abgelenkt. Abweichdaten ermöglichen eine geometrische Bestimmung des Bohrpfad im Untergrund.
<b>alluvial</b>	durch Flüsse transportiert und abgelagert
<b>äolisch</b>	durch Wind transportiert und abgelagert
<b>Aquifer</b>	Grundwasser leitendes (poröses, klüftiges und/oder verkarstetes) Gestein
<b>Aquiferstruktur</b>	→ Aquifer innerhalb einer strukturellen → Falle
<b>Arkose</b>	Sandstein mit einem Feldspat-Anteil von über 25 %
<b>arid</b>	klimatische Bedingung, bei der die Verdunstungsrate höher ist als die Niederschlagsrate
<b>Barrenzone</b>	spezieller → Fazies-Raum flacher Küsten, meist strandparallele submarine Sedimentschwelle
<b>Barrieregestein</b>	Sedimentgestein, das quasi undurchlässig für Flüssigkeiten und Gase aller Art ist, z. B. Ton- und Salzgesteine (s. Tab. 3.2-1)
<b>Barrierehorizont</b>	vertikal abgegrenzte Einheit eines → Barrieregesteins
<b>Barrierekomplex</b>	eine oder mehrere → Formationen mit → Barrieregesteinen, die eine vertikal und lateral abgrenzbare Einheit innerhalb eines → Sedimentbeckens bilden
<b>Becken</b>	→ Sedimentbecken
<b>Beckenfazies</b>	→ Fazies im Zentrum eines → Sedimentbeckens mit meist feinklastischen (tonigen) → Sedimenten und → Evaporiten
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
<b>BK</b>	→ Barrierekomplex
<b>boreal</b>	Bereich oder Zeit kalten Klimas
<b>brackisch</b>	in Brackwasser gebildet oder abgelagert
<b>Cornbrash-Fazies</b>	eine Folge sandiger Sedimente im Mitteljura

---

<b>CCS</b>	Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ); englisch: Carbon (Dioxide) Capture and Storage
<b>deltaisch</b>	in einem Flussdelta gebildet oder abgelagert
<b>Diagenese</b>	Prozess der chemischen und physikalischen Umwandlung vom Zeitpunkt der Sedimentation bis zum niedrigsten Grad der Metamorphose (z. B. Umwandlung eines Lockergesteins zu Festgestein)
<b>Diapir</b>	→ Salzstock
<b>Diskordanz</b>	eine Diskontinuität in der Abfolge der Sedimentschichten
<b>Dolomit</b>	Gestein, das im Wesentlichen aus Kalziummagnesiumkarbonat besteht
<b>distal</b>	Bezeichnung in der Sedimentologie für „Liefergebietsfern“
<b>Erosion</b>	Abtragung von Fest- und Lockergesteinen
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute
<b>Evaporit</b>	durch Eindampfung wässriger Lösungen entstandenes → Sediment (z. B. Steinsalz, Anhydrit)
<b>Fachdaten</b>	Fachdaten liefern diskrete (Mess-) Informationen, wie z. B. geologische Profile, Daten der Bohrlochmessungen, Porositäts- sowie Permeabilitätsmesswerte, und sind vertraulich zu behandeln. Fachdaten sind in der Regel Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse, deren Einsichtnahme und Nutzung die Zustimmung des Dateneigentümers voraussetzen
<b>Falle, Fallenstruktur</b>	geologische Struktur, die ein laterales und vertikales Entweichen von Formationsfluiden verhindert; z. B. in Form einer Aufwölbung der geologischen Schichten
<b>Fazies</b>	Merkmale von Sedimenten, die durch die Ablagerungsbedingungen verursacht werden und dadurch Rückschlüsse auf die → Paläogeographie des Ablagerungsraums zulassen (z. B. → marine oder → fluviatile Fazies)
<b>Fluid</b>	flüssige oder gasförmige Phase, z. B. Wasser oder Erdgas
<b>fluviatil</b>	→ alluvial
<b>Formation</b>	zusammenhängender Gesteinsverband oder Schichtenfolge mit charakteristischen lithologischen Merkmalen (z. B. Detfurth-Formation)

---

<b>Formationswasser</b>	(auch: Lagerstättenwasser) Tiefes Grundwasser, das → Poren und → Klüfte eines Gesteins ausfüllt
<b>GIS</b>	Geographisches Informationssystem
<b>Glacis</b>	Fluss-Terrasse
<b>Glaukonit</b>	dunkelgrünes, in flachmarinen Ablagerungsräumen gebildetes Mineral
<b>GOK</b>	Geländeoberkante
<b>Graben</b>	durch Dehnung entstandene Struktur, bei der eine → Scholle zwischen zwei mehr oder weniger parallelen → Störungen eingesunken ist (z. B. Oberrheingraben, Glückstadt-Graben)
<b>Grundgebirge</b>	Gesteine (oft verfaltet) im → Liegenden der → Sedimentbecken, in Hochlagen auch an der Erdoberfläche anstehend
<b>Halit</b>	Steinsalz
<b>halokinetisch</b>	mit Salzbewegungen verknüpfte Vorgänge
<b>hangend, Hangendes</b>	alle Gesteinsschichten oberhalb eines bestimmten Referenzhorizonts oder einer → Störung
<b>Intramontanbecken</b>	kontinentales → Sedimentbecken innerhalb eines Gebirges
<b>Isobathe</b>	Linie gleicher Tiefenlage
<b>Isopache</b>	Linie gleicher Mächtigkeit
<b>Karst</b>	Verwitterungsform in Kalkstein mit Bildung von offenen → Klüften, Höhlen und → Kavernen durch Lösungsprozesse
<b>Kaverne</b>	größerer unterirdischer Hohlraum, entweder natürlichen Ursprungs (z. B. durch → Verkarstung) oder künstlich geschaffen
<b>klastisches Sediment</b>	durch physikalische Abtragung (Zerkleinerung) anderer Gesteine entstandenes Sediment; je nach Korngröße spricht man von grobklastischen (→ Konglomerat, Kies, Sand) oder feinklastischen Sedimenten (Ton, → Schluff, → Silt)
<b>Kluft</b>	offene oder geschlossene Fuge im Gesteinsverband, an der keine Bewegung stattgefunden hat (im Gegensatz zur → Störung)
<b>Kluftspeicher</b>	→ Speichergestein, dessen Speichervolumen an → Klüfte und → Kavernen gebunden ist (meist Karbonate)
<b>Konglomerat</b>	grobkörniges, verfestigtes, → klastisches Sediment aus gut gerundeten Geröllen (Kies)

---

<b>Konkretion</b>	kugelig-knolliger Körper im Gestein, der durch Ausfällung aus zirkulierenden Lösungen rund um einen Kristallisationskeim entsteht (z. B. Feuerstein, Lößkindel, Toneisenstein)
<b>KW</b>	chemische Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff (kurz: Kohlenwasserstoff)
<b>KW-DB</b>	Kohlenwasserstoff-Bohrungsdatenbank
<b>liegend, Liegendes</b>	alle Gesteinsschichten unterhalb eines bestimmten Referenzhorizonts oder einer → Störung
<b>limnisch</b>	in Süßwasserseen gebildet oder abgelagert
<b>Lithologie</b>	mineralische Zusammensetzung und Struktur eines Gesteins
<b>Lithostratigraphie</b>	→ stratigraphische Einstufung eines Gesteins mit Hilfe seiner → Lithologie
<b>litoral</b>	im Küstenbereich gebildet oder abgelagert
<b>Malmaquifer</b>	wichtiger, Süßwasser führender → Aquifer des Oberjura in Bayern und Baden-Württemberg
<b>marin</b>	im Meer gebildet oder abgelagert
<b>Massiv, Masse</b>	in Hochlagen anstehendes → Grundgebirge, das als Liefergebiet für → Sedimente fungiert (z. B. Rheinisches Massiv, Böhmisches Masse)
<b>Mergel</b>	Mischgestein aus Kalk und Ton
<b>Mesozoikum</b>	Erdmittelalter (Trias, Jura, Kreide)
<b>Mitteldeutsche Kristallinzone</b>	Teil des → Variszischen Orogens in Deutschland
<b>Molasse</b>	terrigen Sedimentfüllungen von Vorlandbecken vor Gebirgen (z. B. Alpen) oder von intramontanen Becken
<b>Nachweisdaten</b>	Nachweisdaten informieren beispielsweise über die Lage von Bohrungen, über Messungen oder den Eigentümer. Diese Daten werden auch als Stamm- oder Kopfdaten bezeichnet und sind frei verfügbare Informationen
<b>Nettomächtigkeit</b>	Summe der Mächtigkeiten einzelner Schichten (z. B. potenzieller → Speicherhorizonte innerhalb eines → Speicherkomplexes)
<b>Oolith</b>	aus Ooiden (mm-große Körner aus konzentrisch um ein Fremdeilchen angelagerte Schalen) zusammengesetztes Gestein, meist karbonatisch

---

<b>Orogen</b>	lang gestreckter Gebirgsgürtel, durch die Kollision von tektonischen Platten entstanden (z. B. Alpen)
<b>Paläogeographie</b>	Rekonstruktion der ehemaligen Verteilung von geographischen und ozeanographischen Geländeformen (z. B. Gebirge, Ebenen, Küsten, Tiefsee, Schelfmeere) im Verlauf der geologischen Zeiträume
<b>Paläozoikum</b>	Erdaltertum (Kambrium bis Perm)
<b>paralisch</b>	→ Fazies von Sedimenten, die im Küsten- oder Deltabereich unter abwechselnd kontinentalen (vorrangig → limnisch-fluviatil) und → marinen Bedingungen abgelagert wurden
<b>Pelit</b>	feinklastisches → Sediment (Ton-, → Silt- und → Schluffstein)
<b>Permeabilität</b>	Maß für die hydraulische Durchlässigkeit eines Gesteins (1 Millidarcy [mD]= $0,987 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ )
<b>Playa</b>	Salztonenebene; Gebiet trockenfallender Binnenseen
<b>Pore</b>	mikroskopisch kleiner Hohlraum im Gestein; in → Sedimenten der Zwischenraum zwischen den gesteinsbildenden Mineralkörnern
<b>Porenspeicher</b>	→ Speichergestein, dessen Speichervolumen an → Poren gebunden ist (meist Sandsteine)
<b>Porosität</b>	Anteil der → Poren eines Gesteins am Gesamtgesteinsvolumen in Prozent [%]
<b>Randfazies</b>	→ Fazies am Rande eines → Sedimentbeckens oder Ablagerungsraums, die im Gegensatz zum Beckenzentrum (→ Beckenfazies) gröbere → klastische Ablagerungen aufweist
<b>Randsenke, -trog</b>	durch Salzabwanderung im Untergrund lokal entstandene und durch Sedimentation kompensierte → Senke in unmittelbarer Nachbarschaft zu → Salzkissen und → Salzstöcken
<b>Regression</b>	Rückzug des Meeres durch relative Absenkung des Meeresspiegels
<b>rezent</b>	der geologischen Gegenwart zugehörig
<b>Rogenstein</b>	→ Oolith
<b>salinar</b>	salzhaltig; 1. bei Lösungen: durch Auflösung von Salzgestein; 2. bei sedimentären Schichtenfolgen: durch das Auftreten von Salzgesteinshorizonten
<b>Salinar</b>	aus → Evaporiten bestehende geologische → Formation



---

<b>Salinarstruktur</b>	→ Salzstruktur
<b>Salzstruktur</b>	Salzkörper im geologischen Untergrund, bei dem die salinare Schichtenfolge von der primären horizontalen Lagerung abweicht
<b>Salzkissen</b>	durch Salzakkumulation entstandene, kissenförmig aufgewölbte → Salzstruktur, deren → hangende Deckschichten mit aufgewölbt, aber erhalten geblieben sind
<b>Salzstock</b>	(auch: Diapir) → aufragende Salzstruktur, die die → hangenden Deckschichten durchbrochen und deformiert hat
<b>Schill</b>	Anhäufung von vollständigen oder zerbrochenen Schalen → mariner Organismen
<b>Schluff</b>	→ Silt
<b>Scholle</b>	durch → Störungen oder → geologische Strukturen begrenzte tektonische Einheit
<b>Schwelle</b>	Hochgebiet innerhalb eines → Sedimentbeckens; grenzt Teilbecken voneinander ab
<b>Sediment</b>	Gesteinstyp, der durch Abtragung, Transport und Wiederablagerung entstanden ist (→ klastisch oder chemisch)
<b>Sedimentation</b>	Prozess der Ablagerung von → Sedimenten
<b>Sedimentbecken</b>	geologische Senkenstruktur, in der → Sedimente abgelagert werden (z. B. Norddeutsches Becken)
<b>Seismik</b>	Geophysikalische Messmethode zur Erkundung des Untergrundes mittels Schallwellen
<b>Senke</b>	→ Sedimentbecken; oft auch für Teilbereiche eines Sedimentbeckens mit höheren Mächtigkeiten gebraucht
<b>SGD</b>	Staatliche Geologische Dienste
<b>Shapefile</b>	Dateiformat eines Geographischen Informationssystems (→ ESRI)
<b>silikatisch</b>	quarzreich (oder SiO <sub>2</sub> -reich)
<b>siliziklastisch</b>	→ klastisch und im Wesentlichen aus Quarz bestehend (Sandstein)
<b>Silt</b>	→ Korngröße zwischen Sand und Ton

---

<b>SK</b>	→ Speicherkomplex
<b>Sole</b>	hochkonzentrierte Salzlösung mit einem Salzgehalt von > 100 g/l
<b>Speichereffizienz</b>	(voraussichtlicher) Anteil des mit CO <sub>2</sub> befüllbaren Porenraums am Gesamtporenvolumen einer → Speicherstruktur oder auch eines gesamten → Speicherkomplexes
<b>Speichergestein</b>	Gestein, das einen hohen Anteil an → Poren oder → Klüften besitzt und damit grundsätzlich Gase und Flüssigkeiten aufnehmen und weiterleiten kann (→ Aquifer)
<b>Speicherhorizont</b>	vertikal abgegrenzte Einheit eines → Speichergesteins
<b>Speicherkapazität</b>	Quantifizierbares Fassungsvermögen einer definierten räumlichen Einheit, z. B. einer bestimmten → Speicherstruktur oder eines bestimmten → Sedimentbeckens, in Bezug auf die zu speichernden Gase und Flüssigkeiten.
<b>Speicherkomplex</b>	eine oder mehrere → Formationen mit → Speichergesteinen, die eine vertikal und lateral abgrenzbare Einheit innerhalb eines → Sedimentbeckens bilden (Anmerkung: diese Definition unterscheidet sich von der Verwendung des Begriffs in der europäischen CCS-Richtlinie 2009/31/EG, Art. 3: „die Speicherstätte und die umliegenden geologischen Gegebenheiten, die die allgemeine Speicherintegrität beeinflussen können“ (d. h. sekundäre Rückhalteformationen))
<b>Speicherpotenzial</b>	Grundsätzliche Fähigkeit von Gesteinen im tieferen Untergrund, Gase und Flüssigkeiten aufzunehmen und langfristig zu speichern. Wird im Wesentlichen von den gesteinspezifischen Eigenschaften → Porosität und → Permeabilität sowie der Mächtigkeit, Tiefenlage und Verbreitung der → Speicherhorizonte bestimmt.
<b>Speicherstruktur</b>	→ Fallenstruktur, die einen oder mehrere → Speicherhorizonte enthält
<b>Störung</b>	Trennfläche im Gesteinsverband, an der laterale oder vertikale Bewegungen stattgefunden haben (im Gegensatz zur → Kluft)
<b>Stratigraphie</b>	Ordnung geologischer Einheiten (Gesteine und → Formationen) nach ihrer zeitlichen Bildungsfolge
<b>Streichen</b>	1. Schnittspur einer geologischen Fläche (z. B. einer → Störung) mit der Horizontalen; 2. Projektion eines geologischen Linears (z. B. einer Beckenachse) in die Horizontale

---

<b>Subrosion</b>	unterirdische Lösungsverwitterung von Gesteinen, meist → Evaporiten
<b>Subsidenz</b>	Absenkung
<b>synsedimentär</b>	gleichzeitig mit der → Sedimentation
<b>tektonisch</b>	durch Bewegungen der Erdkruste entstanden
<b>terrestrisch</b>	an Land abgelagerte → Sedimente
<b>terrigen</b>	an Land entstandene → Sedimente, die sich aus Gesteinsbruchstücken zusammensetzen und durch physikalische Prozesse transportiert und abgelagert wurden (→ klastisches Sediment).
<b>Tethys</b>	ehemaliger äquatorialer Ozean; Ablagerungsraum der Sedimente des Jura und der Kreide in Süddeutschland
<b>Tiefbohrung</b>	Bohrung mit einer Endtiefe von > 500 m
<b>Transgression</b>	Vorrücken des Meeres in Festlandgebiete durch relativen Anstieg des Meeresspiegels
<b>Trog</b>	→ Senke
<b>Untergrundporenspeicher</b>	als Untertage-Gasspeicher genutzte ehemalige Erdöl-Erdgaslagerstätte oder Aquifer
<b>Untersuchungsgebiet</b>	Region, die im Rahmen des Projekts untersucht wurde
<b>untersuchungswürdige Region (Gebiet)</b>	Region (Gebiet), in dem die angewandten Kriterien erfüllt sind und deren Eignung weiterführend zu prüfen ist
<b>Variszisches Orogen</b>	→ paläozoisches → Orogen, das große Teile des → Grundgebirges von Mitteleuropa bildet und in Deutschland vor allem im Rheinischen und Thüringischen Schiefergebirge, Erzgebirge und Schwarzwald zu Tage tritt (s. auch → Grundgebirge → Massiv, Masse)
<b>Verkarstung</b>	Bildung von offenen → Klüften, Höhlen und → Kavernen durch Lösungsprozesse in Kalkstein
<b>Verwerfung</b>	→ Störung
<b>Zement</b>	mineralisches Bindemittel zwischen den Sandsteinkörnern eines → Porenspeichers, das den Porenraum teilweise bis vollständig ausfüllt

Informationssystem Speichergesteine  
für den Standort Deutschland  
- Synthese -

Anhang

## **Anhang: Liste der Teilprojekte**

### **Baden-Württemberg**

FEHN, C., WIRSING, G. & ENGESSER, W. (2010): Speicher-Kataster Deutschland: Erstellung von Potenzialkarten in Baden-Württemberg. - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau; Freiburg i. Br.

### **Bayern**

SCHULZ, U. & DIEPOLDER, G. (2010): Erstellung von Potenzialkarten und Charakterisierungen von Speicherstrukturen im Freistaat Bayern. - Bayerisches Landesamt für Umwelt; München.

### **Brandenburg, Berlin und Sachsen**

BEBIOLKA, A., GÖTHEL, M. & HÖDING, T. (2011): Endbericht zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland für die Bundesländer Brandenburg, Berlin und Teilgebiete in Sachsen. - Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe; Cottbus.

### **Hessen**

KÖTT, A. & KRACHT, M. (2010): Potenzialkarten und Charakterisierungen von CO<sub>2</sub>-Speicherstrukturen im Land Hessen. - Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Wiesbaden.

### **Mecklenburg-Vorpommern**

BRANDES, J. & OBST, K. (2010): Abschlussbericht zum Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Mecklenburg-Vorpommern. - Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie; Güstrow.

### **Niedersachsen und Bremen**

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

### **Nordrhein-Westfalen**

DÖLLING, M. & LINDER B. (2010): Potenzialkarten und Charakterisierung von CO<sub>2</sub>-Speicherstrukturen in Nordrhein-Westfalen. – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen; Krefeld.

**Rheinland-Pfalz und Saarland**

REIN, B., HANEKE, J. & WEIDENFELLER, M. (2011): Speicher-Kataster für Deutschland – Endbericht für das Gebiet der Bundesländer Rheinland-Pfalz und Saarland. - Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.

**Sachsen-Anhalt**

BRANDES, J. (2011): Abschlussbericht zum Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ Mesozoische Speicher- und Barrierekomplexe der Altmark-Fläming-Scholle (Sachsen-Anhalt); Güstrow.

REINHOLD, K., EHLING, B.-C., BRANDES, J. & SCHNELLENBACH, M. (2011): Tiefe Aquifere in Sachsen-Anhalt und ihr Potenzial für die Untergrundspeicherung. - SDGG, 74.

**Schleswig-Holstein und Hamburg (SH & HH)**

HABLE, R., KAUFHOLD, H., LIEBSCH-DÖRSCHNER, T. & THOMSEN, C. (2011): Endbericht Speicher-Kataster Deutschland für die Bundesländer Hamburg und Schleswig-Holstein. - Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein; Flintbek.

**Thüringen**

ZANDER, I. & HUCKRIEDE, H. (2010): Erstellung von Potenzialkarten und Charakterisierung von Speicherstrukturen in Thüringen für den Aufbau eines Informationssystems Speicher-Kataster für Deutschland. - Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie; Weimar.

**Nachweissystem**

BARDENHAGEN, N. & BRAUNER, H.-J. (2011): Nachweissystem über Daten von Speicher- und Barrierekomplex-bezogenen Nachweisdatensätzen für das Informationssystem Speicher-Kataster Deutschland. - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.