

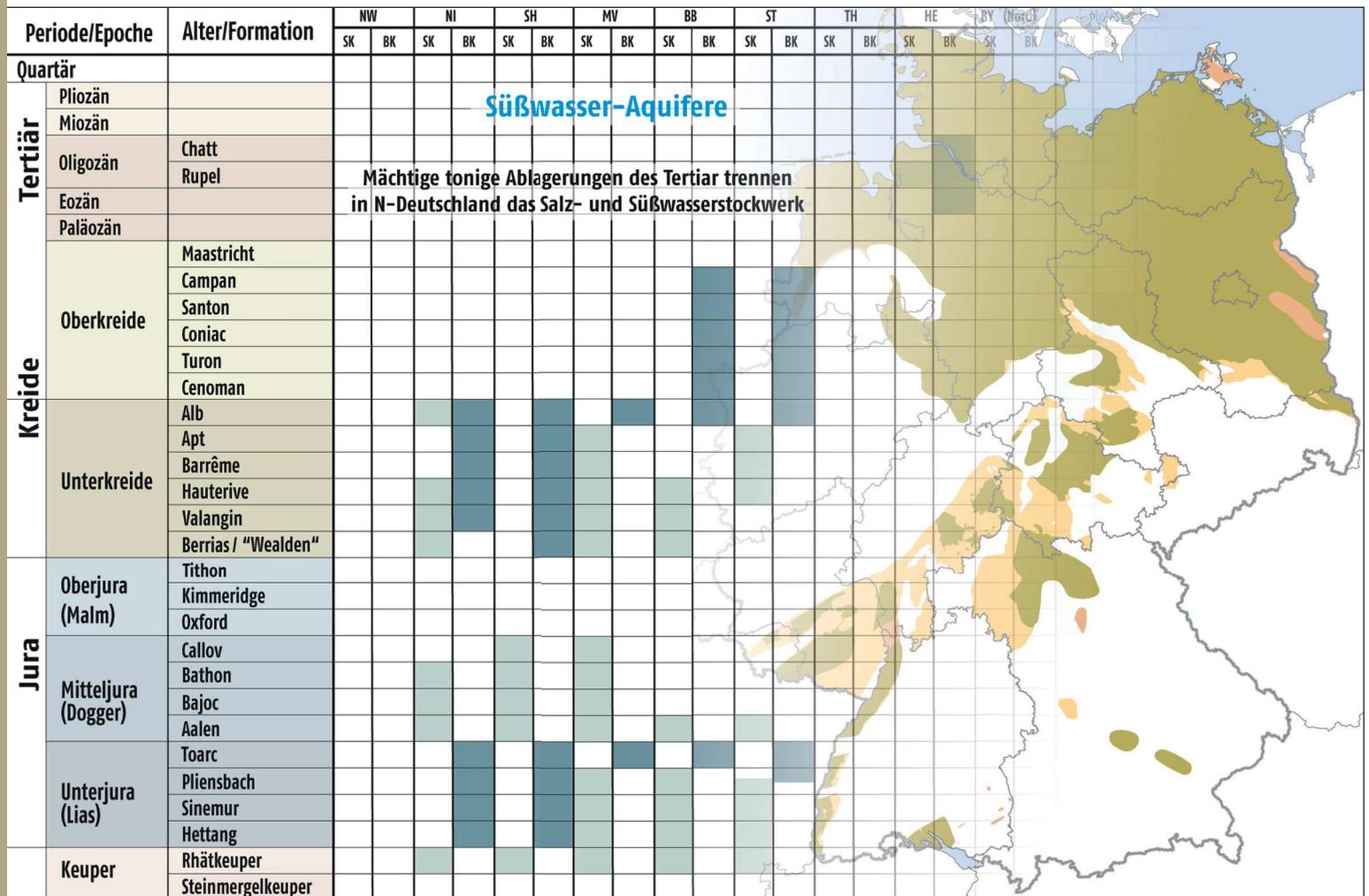
SDGG

Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften

2011 . Heft 74

Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland

Speicher-Kataster Deutschland



ISBN 978-3-510-49222-0



9 783510 492220

Schriftenreihe der
Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften
Heft 74

Christian Müller & Klaus Reinhold (Hrsg.)

**Geologische Charakterisierung
tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte
in Deutschland –
Speicher-Kataster Deutschland**



Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 2011

Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften SDGG
Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften
Schriftleitung: Jan-Michael Lange und Heinz-Gerd Röhling
ISSN 1860-1782

Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 74
Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland –
Speicher-Kataster Deutschland
ISBN ebook (pdf) 978-3-510-49272-5
ISBN 978-3-510-49222-0

Weitere Information zu diesem Titel: www.schweizerbart.de/9783510492220

Titelbild:

Links: Tabelle mit in diesem Projekt vorrangig bearbeiteten stratigraphischen Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten (aus: Reinhold & Müller; dieser Band)

Rechts: Potenzialkarte mit Anwendung der Mindestkriterien zur Tiefenlage und Mächtigkeit für den Speicherkomplex Permokarbon (aus: Reinhold & Müller; dieser Band)

© Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Hannover 2011
Printed in Germany

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller)
Johannesstr. 3 A
70176 Stuttgart, Germany
<http://www.schweizerbart.de>
order@schweizerbart.de

Das Werk einschließlich aller Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Layout: DesignRing Designmanagement GmbH, Halle
Druck: Mecke Druck und Verlag, Duderstadt

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

der unterirdische Speicher- und Wirtschaftsraum in Deutschland ist begrenzt. Neben den heute bereits etablierten Nutzungsoptionen des tieferen Untergrundes, wie z.B. der Erdgasspeicherung, stehen derzeit insbesondere der Ausbau der Tiefen Geothermie und die Einführung der dauerhaften geologischen Speicherung von CO₂ im Fokus. Die heute vorliegenden deutschlandweiten Kenntnisse über den tieferen Untergrund erlauben derzeit jedoch kaum die Ausweisung von Gebieten, welche für die einzelnen Nutzungsoptionen und -ansprüche besonders geeignet erscheinen. Nach dem alten Bergmannsspruch: „Vor der Hacke ist es duster“ gilt es also durch die Aufarbeitung der umfangreichen Datenbestände und die Integration von neuen Erkenntnissen schrittweise weiteres Licht in den tieferen Untergrund zu bringen und damit die notwendige Informationsgrundlage für die zukünftige und nachhaltige Nutzung des tieferen Untergrundes zu schaffen.

Einen Schritt in diese Richtung leistet das Projekt *Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)*. In dem Gemeinschaftsprojekt der staatlichen geologischen Dienste Deutschlands unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurden von April 2008 bis März 2011 Speicher- und Barrieregesteine des tieferen Untergrundes im deutschen Festlandsbereich nach bundesweit einheitlichen Kriterien bearbeitet und untersuchungswürdige Gebiete, insbesondere unter dem Nutzungsaspekt der dauerhaften geologischen Speicherung von CO₂, ausgewiesen.

Die Diskussionen zur nachhaltigen Nutzung des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes werden heute auch in der Öffentlichkeit mit großem Interesse aktiv begleitet. Unsere geowissenschaftlichen Arbeitsergebnisse können aber nur dann einen Beitrag zu die-

ser Diskussion leisten, wenn sie angemessen kommuniziert werden. Dazu werden für das Projekt Speicher-Kataster Deutschland zwei Instrumente eingesetzt. Zum einen sind die Projektergebnisse in Form eines umfangreichen Abschlussberichtes dokumentiert, der im BGR-Archiv eingesehen werden kann. Zum anderen haben wir uns entschieden zusammen mit der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften e. V. (DGG) den vorliegenden Sonderband herauszugeben, um die Ergebnisse einem breiten Fachpublikum, der interessierten Öffentlichkeit und anderen Interessensgruppen zugänglich zu machen. In insgesamt dreizehn Artikeln werden wesentliche Ergebnisse des Projektes zusammengefasst.

Die Vorbereitung und Durchführung dieses Projektes erforderte einen engagierten Einsatz aller an diesem Gemeinschaftsprojekt beteiligten Kolleginnen und Kollegen, denen ich hiermit meinen besonderen Dank aussprechen möchte. Dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und dem Projektträger Jülich (PTJ) möchte ich für die Förderung dieses Projektes im Rahmen der COORETEC-Initiative unter dem Förderkennzeichen 0327765 danken. Zudem wurde dieses Projekt durch Finanzierungsbeiträge der Industrieunternehmen E.ON, EnBW und Vattenfall Europe Mining dankenswerterweise unterstützt. Dem Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG) danke ich für die Unterstützung dieses Projektes durch die Erlaubnis der Nutzung von Fachdaten aus Tiefbohrungen. Die Artikel des vorliegenden Sonderbandes wurden einem fachlichen Begutachtungsverfahren unterzogen. Allen Gutachtern sei auf diesem Wege herzlich gedankt. Die staatlichen geologischen Dienste (SGD) der Bundesländer haben dieses Projekt stets tatkräftig unterstützt. Ohne deren Unterstützung wäre dieses bundesweite Gemeinschaftsprojekt nicht möglich gewesen.

Dr. Christian Müller
(Leiter des Projektes Speicher-Kataster Deutschland)

Grußwort des Präsidenten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Eine nachhaltige Energieversorgung im Einklang mit dem Klimaschutz ist ein vordringliches Anliegen der deutschen Energiepolitik. Der Ausbau der erneuerbaren Energien stellt auch an die Geowissenschaften große Herausforderungen, weil neue Nutzungsoptionen des Untergrundes wie z. B. die Tiefe Geothermie, die Druckluft- oder die Wasserstoffspeicherung zunehmend in den Fokus rücken. Als eine dieser Optionen wird auch die unterirdische Speicherung des Treibhausgases Kohlendioxid erwogen.

Für den tieferen Untergrund sind die Staatlichen Geologischen Dienste der Länder auf ihrem jeweiligen Hoheitsgebiet zuständig. Die sichere, umweltgerechte und effiziente Nutzung des Untergrundes setzt voraus, dass die hierfür geologisch relevanten Daten der Länder zusammengefasst und einheitlich bewertet werden. Mit dem gemeinsamen Projekt der Staatlichen Geologischen Dienste der Länder und der BGR für ein Informationssystem zu Speichergesteinen in Deutschland (Speicher-Kataster Deutschland) ist ein wichtiger Meilenstein für die Erfassung und Bewertung möglicher Speichergesteine geschaffen worden.

Das Speicher-Kataster enthält die umfassendste Darstellung und Charakterisierung geologischer Speicher- und Barrieregesteine im Untergrund, die es für Deutschland gibt. Die in diesem Band vorgestellten Ergebnisse unseres Projektes sind auch ein Beispiel für die fruchtbare Zusammenarbeit zwischen den Geologischen Diensten der Länder und der BGR.

Die Vor- und Nachteile der geologischen Speicherung von CO₂ im tiefen Untergrund werden inzwischen von einer breiteren Öffentlichkeit diskutiert – bedauerlicherweise häufig aufgrund unvollständiger, verzerrter oder verfälschter Sachverhalte. Dieser Band soll eine fundierte Diskussion über das Für und Wider der geologischen CO₂-Speicherung und auch der Nutzung des Untergrundes allgemein ermöglichen und fördern.

So wird z. B. oft verkannt, dass im Untergrund große Mengen natürlich gebildeter Gase gespeichert sind. Einen Teil davon fördern wir als Erdgas und nutzen es zur Energieversorgung. Die meisten im Untergrund vorkommenden Gase sind in gelöster Form in Tiefenwässern gebunden, nicht selten als CO₂. Zeugnis davon erhalten wir zum Beispiel durch Vulkanismus. An vielen Stellen der Erde sorgen mächtige Lagen von Barrieregesteinen dafür, dass diese Gase selbst über Millionen von Jahren nicht an die Erdoberfläche



gelangen. Entstehung und Speicherung von CO₂ und anderer Gase im Untergrund sind Vorgänge, die – in unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen – Teil des natürlichen Stoffkreislaufs der Erde sind.

Erfahrungen über das Einpressen von CO₂ in den Untergrund, sowohl zur Stimulierung von Kohlenwasserstoff-Lagerstätten als auch zum Schutz der Atmosphäre, liegen mittlerweile an verschiedensten Standorten weltweit vor. Weitere großmaßstäbliche Carbon-Capture-and-Sequestration (CCS-) Projekte sind in Vorbereitung. Ob die CCS-Technik auch in Deutschland im industriellen Maßstab erprobt werden wird, ist derzeit ungewiss. Das Verbringen größerer Mengen von CO₂ in die Tiefe als Alternative zu ihrer ‚Speicherung‘ in der Atmosphäre ist jedenfalls eine Option, die wir aus Gründen der Verantwortung für das Klima nicht – wie von manchen gefordert – kategorisch ausschließen dürfen.

Allen an der Erstellung des vorliegenden Bandes Beteiligten danke ich für die konstruktive und zielführende Arbeit. Dank gebührt auch allen, die durch ihre Fördermittel das Projekt 'Speicher-Kataster Deutschland' unterstützt haben.

Prof. Dr. H.-J. Kumpel

Grußwort des Präsidenten des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

Ausgehend von der Fragestellung um das Vorhandensein ausreichender Kapazitäten zur dauerhaften und sicheren Speicherung von CO₂ im tiefen Untergrund wurde im Jahre 2008 unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und gemeinsam mit allen geologischen Diensten der Länder das Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ aufgelegt. Das Projekt war rückblickend betrachtet ein erfolgreiches Zusammenwirken des geologischen Dienstes des Landes Brandenburg mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Unter der fachlichen Koordinierung der BGR wurde ein spezielles Themengebiet zielgerichtet bearbeitet. Die in diesem Projekt gewonnenen kooperativen Strukturen des Bundes und der Länder können sicherlich zukünftig für ähnlich gelagerte Fragestellungen der einheitlichen Betrachtung des tiefen Untergrundes in projektbezogenen Vorhaben weiter ausgebaut werden.

Mit dem vorliegenden Speicher-Kataster liegt erstmals für Deutschland ein zwischen den geologischen Diensten der Länder und der BGR abgestimmter einheitlicher Kriterienkatalog vor, der die Betrachtung des tiefen Untergrundes grenzüberschreitend erlaubt. Im Kontext der aktuellen Diskussion um die eingeleitete Energiewende und dem stetigen Fortgang des Ausbaus regenerativer Energien kommt dem hier betrachteten Speicherpotential eine zunehmend größere Bedeutung zu.

Eine der Schlüsselfunktionen im erfolgreichen Umsetzen der Energiewende wird der Speicherung unterschiedlichster Stoffe im tiefen Untergrund zukommen. Die vorliegenden Ausarbeitungen der Länder bieten eine erste Abschätzungsmöglichkeit, die jedoch einer standortspezifischen Betrachtung hinsichtlich Geeignetheit und Sicherheit potentieller Speicherungen weiter bedarf. Die auf den spezifischen Standort und die zu speichernden Materialien bezogene Betrachtung konnte und sollte im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden und ist zukünftig durch die geologischen Landesdienste auf Antragstellung eines Vor-



habenträgers, in enger gutachterlichen Abstimmung mit der BGR, zu erbringen.

Ein weiterer wesentlicher Baustein der durch die Arbeit der BGR und der geologischen Dienste erbracht wurde, ist die Datengrundlage für eine mögliche zukünftige multifunktionale Nutzung des Untergrundes. Nur auf Grundlage einheitlicher und verlässlicher Daten ist eine unterirdische gestaffelte Raumnutzung möglich. Hier liegt eines der wesentlichen zukünftigen Betätigungsfelder der geologischen Dienste unter einheitlicher Regie der BGR.

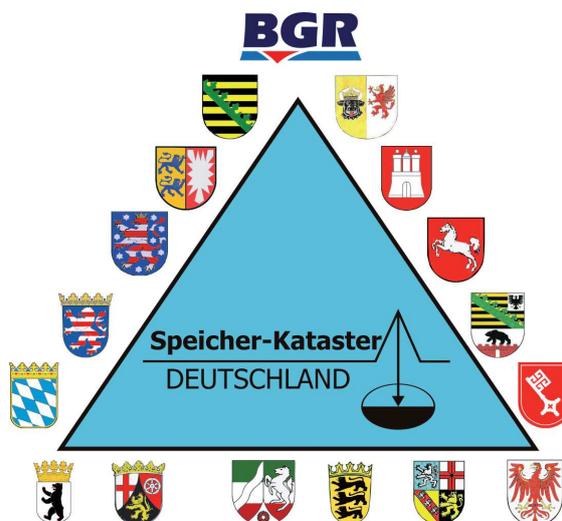
Allen am Projekt Speicher-Kataster Deutschland mitwirkenden geologischen Diensten sowie der BGR sei für die äußerst kollegiale und zielführende Zusammenarbeit an dieser Stelle nochmals gedankt.

Dr. Klaus Freytag

Speicher-Kataster Deutschland – ein gemeinsames Projekt von Bund und Ländern

Das Projekt Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland) wurde als Gemeinschaftsprojekt der Staatlichen Geologischen Dienste in Deutschland initiiert und von 2008 bis 2011 durchgeführt. Die Veröffentlichungen in diesem Sonderband wurden in den Teilprojekten von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern folgender Staatlicher Geologischer Dienste erstellt:

BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
LGRB	Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt -Geologischer Dienst
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
GD NRW	Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
LGB-RLP	Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie – Geologischer Landesdienst



Projektlogo Speicher-Kataster Deutschland

Inhalt

Speicherpotenziale im tieferen Untergrund - Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland Storage potential of the deeper subsurface - Overview and results from the project Storage Catalogue of Germany Klaus Reinhold, Christian Müller	9
Informationssystem Speicher- und Barrieregesteine (Speicher-Kataster-Deutschland) Information system on geological reservoir and barrier rock units (Storage Catalogue of Germany) Cornelia Riesenberg, Nils Bardenhagen, Hans-Jürgen Brauner, Klaus Reinhold	28
Verbreitung und Eigenschaften mesozoischer Sandsteine sowie überlagernder Barrieregesteine in Schleswig-Holstein und Hamburg – Basisinformationen zur energiewirtschaftlichen Nutzung des tieferen Untergrundes Distribution and properties of mesozoic sandstones and barrier rocks in Schleswig-Holstein and Hamburg – Basic informations on possible energetic utilisation of the deeper subsurface Holger Kaufhold, Regina Hable, Thomas Liebsch-Dörschner, Claudia Thomsen, Renate Taugš	38
Geologische Charakterisierung potenzieller Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Mecklenburg-Vorpommern Geological characterization of potential reservoir und barrier rock units in Mecklenburg-Western Pomerania Juliane Brandes, Karsten Obst	61
Speicher- und Barrieregesteine im tiefen Untergrund von Brandenburg und Berlin Reservoir and barrier rocks in the deep underground of Brandenburg and Berlin Anke Bebiolka, Michael Göthel, Thomas Höding.....	82
Tiefe Aquifere in Sachsen-Anhalt und ihr Potenzial für die Untergrundspeicherung Deep aquifers in Sachsen-Anhalt and their potential for the underground storage Klaus Reinhold, Bodo-Carlo Ehling, Juliane Brandes, Martin Schnellenbach	112
Verbreitung und Charakterisierung von tiefliegenden Speicher- und Barrierehorizonten in Niedersachsen und Bremen Distribution and characterization of deep reservoir and barrier horizons in Lower Saxony and Bremen Stefan Knopf.....	127
Geologische Charakterisierung von Speicher- und Barrieregesteinen in Nordrhein-Westfalen Geological characterization of reservoir and barrier rocks in North Rhine-Westphalia Manfred Dölling.....	148
Möglichkeiten der CO ₂ -Speicherung in tiefen Aquiferen Hessens CO ₂ storage potential in deep saline aquifers in the state of Hesse, Germany Anne Kött, Matthias Kracht.....	165
Geologische Charakterisierung der Speicher- und Barrieregesteine im tieferen Untergrund des Freistaats Thüringen (Deutschland) Geological characterisation of reservoir and barrier rocks in the deeper subsurface of the Free State of Thuringia (Germany) Hermann Huckriede, Ina Zander.....	188

Speicherpotenziale im Saarland und in Rheinland-Pfalz Storage potential in the deeper subsurface of Saarland and Rhineland-Palatina Jost Haneke, Bert Rein, Hubert Thum	205
Speicherpotenziale im tieferen Untergrund Baden-Württembergs Storage potential in the deeper subsurface of Baden-Württemberg Charlotte Fehn, Gunther Wirsing	214
Tiefliegende Speicher- und Barrieregesteinskomplexe in Bayern – ein Überblick Deep reservoir and barrier rock units in Bavaria – an overview Gerold W. Diepolder, Uta Schulz	226

Reinhold, K. & Müller, C. (2011): Speicherpotenziale im tieferen Untergrund – Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland. – In: Müller, C. & Reinhold, K. (Hrsg.): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 74: 9-27; Hannover.

Speicherpotenziale im tieferen Untergrund – Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland

Storage potential in the deeper subsurface – Overview and results from the project Storage Catalogue of Germany

Klaus Reinhold¹, Christian Müller²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Wilhelmstraße 25-30, D-13593 Berlin, Klaus.Reinhold@bgr.de

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover, Christian.Mueller@bgr.de

Kurzfassung

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erstellte gemeinsam mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesländer von April 2008 bis März 2011 im Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ eine erste, auf bundesweit einheitlichen Kriterien basierende Charakterisierung von Speicher- und Barrieregesteinen des tieferen Untergrundes. Die Ergebnisse basieren auf der Aufbereitung und Neubewertung bereits bestehender und dem Projekt verfügbar gemachter Daten, Bohrdatenbanken sowie geologischer Kartenwerke. Potenzielle Speicher- und Barrierehorizonte wurden in stratigraphisch definierten Speicher- bzw. Barrierekomplexen zusammengefasst. Auf Grundlage projektspezifisch definierter Kriterien zu Tiefenlage, Mächtigkeit und weiteren speichergeologischen Merkmalen wurden im Projekt Potenzialkarten mit untersuchungswürdigen Gebieten erarbeitet.

In diesem Beitrag erfolgt beispielhaft eine Darstellung der speichergeologischen Kenntnisse und eine regionale Bewertung zum Speicherpotenzial des Rotliegend und zum Barrierepotenzial des Zechstein. Dabei werden regional untersuchungswürdige Speicher- und Barrierehorizonte bundesweit und nachvollziehbar eingegrenzt. Da jedoch verschiedene geologische Faktoren, auch lokal, auf die Eignung der Speicher- und Barrieregesteine Einfluss haben, müssen letztlich standortspezifische Untersuchungen deren Eignung für eine konkrete Untergrundnutzung nachweisen.

Das angewendete Kriterium zur Mindesttiefe bezieht sich auf die dauerhafte geologische CO₂-Speicherung. Dies schließt die Eignung der beschriebenen Speicherhorizonte für andere Nutzungen nicht aus. Zudem treten auch außerhalb der abgegrenzten Regionen und der stratigraphisch definierten Speicherkomplexe nutzbare Speichergesteine auf. Für das „Speicher-Kataster Deutschland“ wurden vor allem überregional relevante Speicher- und Barrierehorizonte untersucht.

Abstract

Within the project Storage Catalogue of Germany, funded from April 2008 until March 2011, the Federal Institute for Geosciences and Natural Resource (BGR) and the state geological surveys developed a first nationwide characterisation of reservoir and barrier rocks in the deeper subsurface based on common criteria. The results are based on the processing and re-evaluation of data, well databases and geological maps already existing or made accessible during the project. Potential reservoir and barrier rocks were grouped to stratigraphically defined reservoir and barrier rock units. Based on depth and thickness criteria defined within this project and additional reservoir geologic information, maps have been compiled which outline areas identified for further investigation.

In this article we exemplarily present a short compilation of reservoir geology and a nationwide compilation of maps on the reservoir potential of Rotliegend rock sand the barrier potential of Zechstein rocks. The results show that regions with potential reservoir and barrier rock units in Germany can be outlined in a comprehensible way. Since different aspects of regional geology affect the qualification of reservoir and barrier rocks, site-specific investigations are necessary for a qualification with respect to a specific use.

The depth-criteria applied in this project refer to the geological storage of CO₂, but other types of use are also possible. In addition to the mapped units, good reservoir rocks also occur outside of the outlined areas. For the project Storage Catalogue of Germany, mainly reservoir and barrier rocks, which are of supra-regional relevance, were investigated.

Schlüsselworte: Untergrundspeicherung; Speicherregionen; Speichergestein; Barrieregestein; Speicherkomplex; Barrierekomplex; speichergeologische Charakterisierung; geologische CO₂-Speicherung

Keywords: underground storage; storage region; reservoir rock; barrier rock; reservoir rock unit; barrier rock unit; reservoir characterization; geological storage of CO₂

1. Der tiefere Untergrund als Speicher- und Wirtschaftsraum

Die Erschließung tiefliegender Aquifere als Speicher- und Wirtschaftsraum ist in Deutschland bereits seit Jahrzehnten Gegenstand geotechnologischer Anwendungen (Abb. 1). Dazu zählt die Tiefversenkung der Kali-Endlaugen im Werra-Kalirevier und die Beseitigung von Prozesswässern der Erdöl/Erdgas-Produktion sowie der chemischen Industrie (bspw. Aust & Kreysing 1978, Krull et al. 1997, Aust et al. 2000). Auch für die Nutzung der hydrothermalen Energie des tieferen Untergrundes aus Aquiferen, aus denen das Wasser gefördert und nach der Energiegewinnung wieder injiziert wird, werden bekannte Verfahren der Untergrundspeicherung angewendet (bspw. Thomas 1994, Stober et al. 2009). Letztlich ist die Untertage-Erdgasspeicherung heutzutage unverzichtbarer Bestandteil der nationalen und internationalen Erdgastransportsysteme. Zur Abdeckung der saisonalen Verbrauchsschwankungen in Deutschland wurden und werden Untertage-Erdgasspeicher in tiefen Aquiferen eingerichtet und genutzt (Abb. 1). Gegenwärtig sind deutschlandweit in tiefen Aquiferen 23 Untertage-Gasspeicher vorhanden, in denen ein Gesamtvolumen an Erdgas von ca. 24 Mrd. m³ (Normkubikmeter) gespeichert ist (LBEG 2011).

Aus diesen und weiteren geotechnologischen Anwendungen resultieren sehr zahlreiche Kenntnisse und Erfahrungen über die Untergrundspeicherung bei den zuständigen Landesbehörden, der Industrie und in Forschungseinrichtungen. Basierend auf den Erfahrungen und der fortschreitenden technologischen Entwicklung gewinnt die Nutzung tiefer Speichergesteine aktuell auch an Bedeutung für eine nachhaltige Energieversorgung in Deutschland.

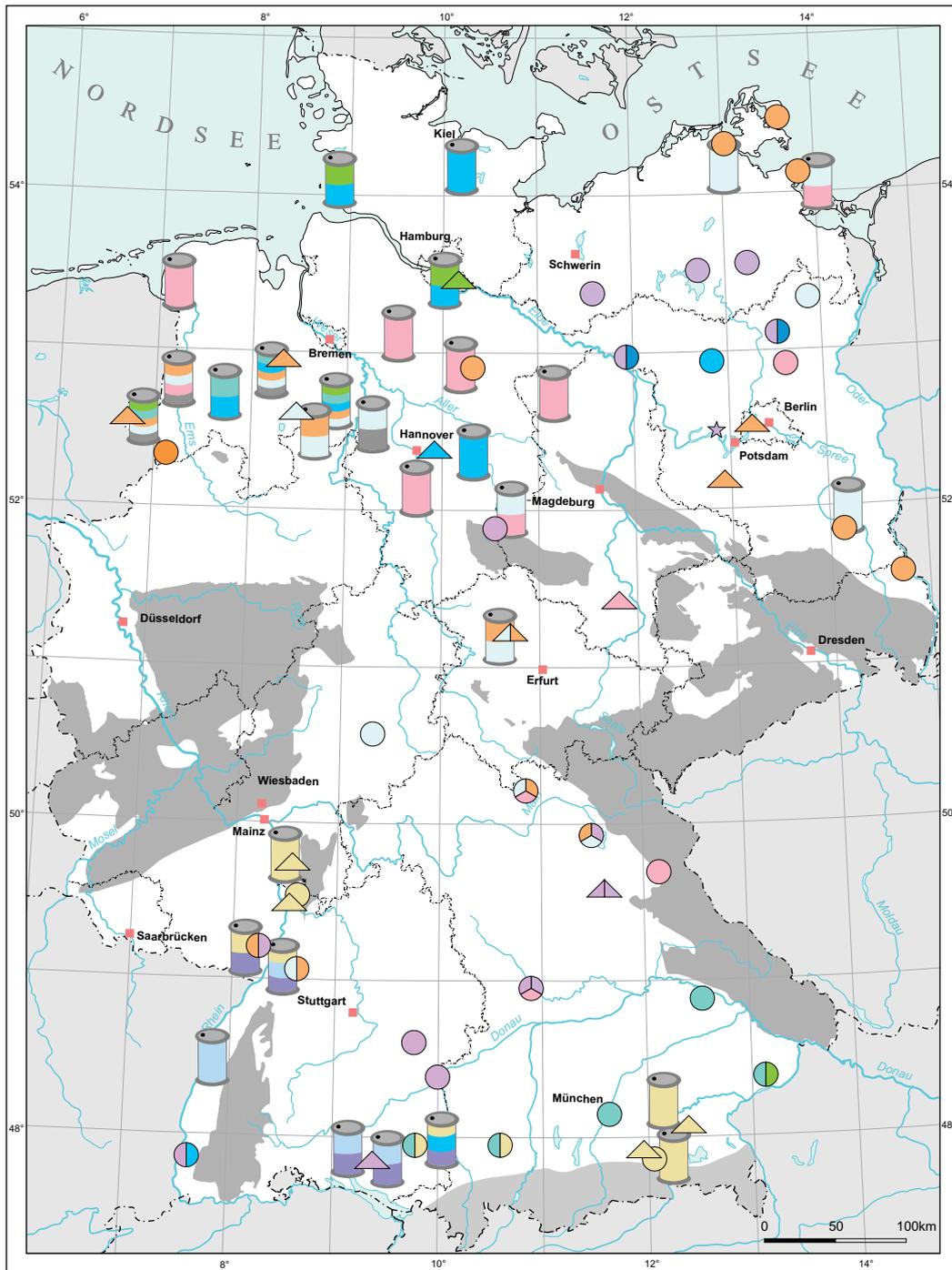
Eine der zukünftig zusätzlichen Nutzungsoptionen ist die dauerhafte geologische Speicherung von Kohlendioxid (CO₂) in den Speichergesteinen des tieferen Untergrundes mit dem Ziel, die Kohlendioxid-Emissionen in die Atmosphäre zu verringern. Um die geologischen Anforderungen für diese Technologie zu konkretisieren, werden seit Anfang der 1990er Jahre weltweit Projekte zur Erfassung und Bewertung der CO₂-Speicherpotenziale im Untergrund durchgeführt. Die ersten quantitativen Abschätzungen für einzelne Regionen in Europa wurden von Holloway et al. (1996) veröffentlicht. Weiterführende Arbeiten, insbesondere zur wissenschaftlichen Begleitung des weltweit ersten Offshore-Demonstrationsvorhabens im norwegischen Nordseesektor (Sleipner), wurden im Rahmen der EU-Projekte SACS und

SACS2 (Holloway et al. 2002) durchgeführt. Es folgten Arbeiten zur Erfassung der CO₂-Speicherpotenziale in einzelnen europäischen Ländern, z. B. im Rahmen der EU-Projekte GESTCO (Christensen & Holloway 2004), CO2STORE (Chadwick et al. 2008) und GeoCapacity (Vangkilde-Pedersen et al. 2009). Neben der volumetrischen Abschätzung von Speicherkapazitäten waren auch die Entwicklung von Monitoringtechnologien und die Erfassung länderspezifischer CO₂-Emissionen Gegenstand vorgenannter EU-Projekte. Im Rahmen der von der Bundesregierung geförderten Programme GEOTECHNOLOGIEN (bspw. Stroink et al. 2009) und COORETEC (BMWi 2007) werden zudem weitere Aspekte (z. B. zur Abscheidetechnologie, zu Wechselwirkungen des CO₂ mit Speicher- und Barrieregesteinen, zu Materialverträglichkeiten, zur numerischen Simulation der CO₂-Ausbreitung im Untergrund) untersucht.

Für Deutschland wurden die möglichen volumetrischen CO₂-Speicherkapazitäten in Salzwasser führenden Aquiferstrukturen¹ auf der Grundlage regionaler Studien abgeschätzt (May et al. 2003, May et al. 2005) und zuletzt 2010 neu berechnet (Knopf et al. 2010). Im Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ wurde in Ergänzung zu den bisherigen, auf die volumetrische Speicherkapazität von Aquiferstrukturen bezogenen Arbeiten, ein Informationssystem zur räumlichen Verbreitung von Speicher- und Barrieregesteinen auf Basis bundesweit einheitlicher Kriterien erstellt.

Eine systematische und kontinuierliche Erfassung von Informationen über Speicher- und Barrierehorizonte des tieferen Untergrundes dient auch der Bewertung möglicher Nutzungskonkurrenzen. Dies und die angestrebte großtechnische Einführung der CCS²-Technologie verstärken das Interesse an der Verfügbarkeit von speichergeologisch relevanten Informationen. Dementsprechend wurden im Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ auch Nachweisdaten über Tiefbohrungen und geophysikalische Messungen verfügbar gemacht, die einen Überblick über bestehende Fachdaten für künftige Erkundungsarbeiten zur Nutzung tiefer Aquifere als Speicherraum ermöglichen (Riesenberg et al. 2011; in diesem Band).

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 Lagerstätten-gesetz sind die Untersuchungsergebnisse den zuständigen Landesbehörden mitzuteilen. Die Staatlichen Geologischen Dienste (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.



anstehendes magmatisches und metamorphes sowie gefaltetes sedimentäres Grundgebirge (z.T. unter känozoischer Bedeckung)
 Alpen

Nutzung tiefliegender Porenspeicher

- KW-Felder
- Geothermische Nutzung
- Untertage-Erdgasspeicherung
- CO₂-Speicher Ketzin

Stratigraphische Zuordnung der Nutzhorizonte

- | | |
|------------|-------------------------|
| Tertiär | Trias |
| Kreide | Keuper |
| Jura | Muschelkalk |
| Oberjura | Mittlerer Buntsandstein |
| Mitteljura | |
| Unterjura | |

Perm / Karbon

- Zechstein
- Rotliegend
- Karbon

Abb. 1: Geotechnische Nutzung tiefer Aquifere in Deutschland (nach Förster et al. 2006, LBEG 2009, Schulz 2009).
Fig. 1: Geotechnical use of deep aquifers in Germany (after to Förster et al. 2006, LBEG 2009, Schulz 2009).

Die Zusammenarbeit der SGD im Gemeinschaftsprojekt „Speicher-Kataster Deutschland“ – unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) – ermöglichte die bundesweite Nutzung der speichergeologisch relevanten Informationen. Dabei haben die SGD der Länder in Teilprojekten jeweils das in ihren Zuständigkeitsbereich fallende Bundesland bearbeitet. Abweichend davon wurden nach Absprache 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 durch die 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.

Beginnend mit Aspekten zur Genese und zu Eigenschaften von Speicher- und Barrieregesteinen werden im Folgenden die petrologischen und gesteinsphysikalischen Voraussetzungen für die Untergrundspeicherung diskutiert. Diese führen, zusammen mit den verfügbaren regionalgeologischen Datengrundlagen, zur Darstellung der in diesem Projekt gewählten Methode einer länderübergreifenden und horizontbezogenen Charakterisierung von Speicher- und Barrieregesteinen. Anschließend werden beispielhaft die erarbeiteten Projektergebnisse zum Rotliegend und Zechstein zusammenfassend dargestellt.

2. Geologische Voraussetzungen zur Untergrundspeicherung

Aus den langjährigen Erfahrungen mit der Nutzung tiefer Aquifere im Rahmen genehmigungspflichtiger Industrieprojekte (Abb. 1) wurden zwei grundlegende geologische und geotechnische Anforderungen an unterirdische Speicher abgeleitet (bspw. Aust & Kreysing 1978, Drescher 1997, Krull et al. 1997, Brauner et al. 2007, Chadwick et al. 2008):

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

2.1 Genese und Eigenschaften potenzieller Porenspeicher

Die Eigenschaften eines Speichergesteins sind insbesondere durch seine Mächtigkeit, seine Verbreitung und seine nutzbare Porosität und Permeabilität bestimmt. Neben einigen klüftig-kavernösen Karbonaten wurden im Projekt vorrangig poröse bis klüftig-poröse Sandsteine als potenzielle Speichergesteine erfasst.

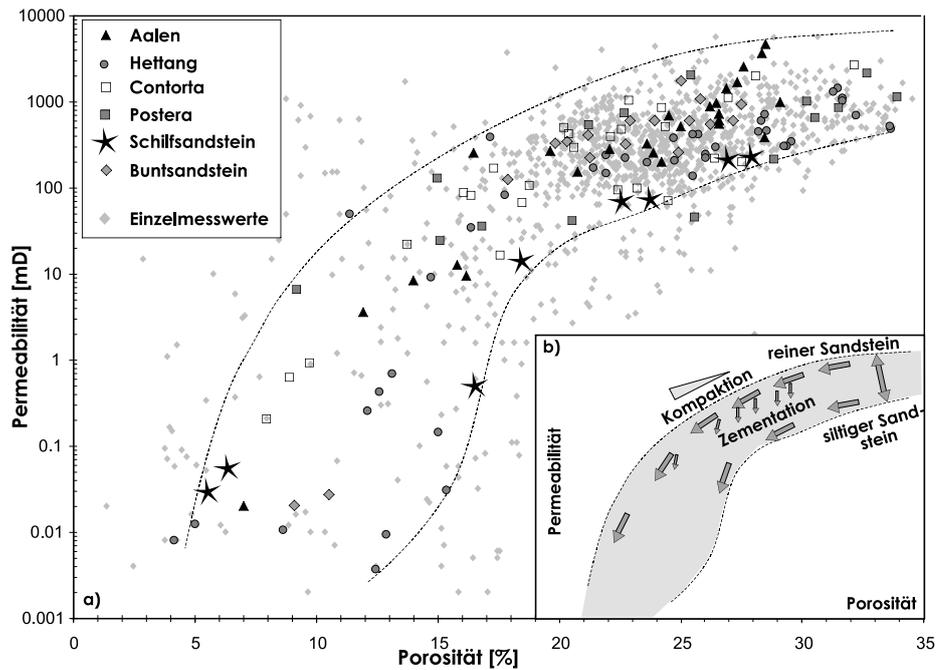
Bei Sandsteinen besteht grundsätzlich ein Zusammenhang zwischen Porosität und Permeabilität (Abb. 2). Dies wurde z. B. von Bartels et al. (1998) für die Sandsteine in Norddeutschland analysiert. Beide Parameter hängen ursprünglich insbesondere von der Korngrößenverteilung, aber auch von der Korngröße und der Kornform ab. Sandsteine mit einer hohen kompositionellen Reife besitzen anfänglich ein maximales Porenvolumen und werden als primäre Speichergesteine bezeichnet. Die kompositionelle Reife ist durch die Ablagerungsbedingungen bestimmt (Füchtbauer & Müller 1977). Die Kenntnisse über regionale Ablagerungsbedingungen unterstützen daher die Einschätzungen der speichergeologischen Eigenschaften und sind folgerichtig Bestandteil der Erläuterungen von Karten des Projektes.

Im Verlauf der geologischen Entwicklung wird die ursprünglich vorhandene Porosität und Permeabilität der abgelagerten Sande durch diagenetische Prozesse verändert und das Lockersediment in ein Festgestein umgewandelt. In Abhängigkeit vom Überlagerungsdruck führt Kompaktion zu einer zunehmenden Verdichtung (bspw. Roll 1974). Durch die mechanische Verdichtung und die Bildung von sogenannten Anwachs säumen an den Korngrenzen wird der Porenraum der Sandsteine verringert. Dies bewirkt eine generelle Abnahme der nutzbaren Porosität mit zunehmender Tiefe (Abb. 3). Analog dazu kann es, in Abhängigkeit von den petrophysikalisch-petrochemischen Bedingungen und den chemischen Eigenschaften der Porenwässer, zur Zementation des Porenraums kommen.

Die chemische Charakteristik von Tiefenwässern gibt so zusätzlich Hinweise auf die geologische Entwicklung der Aquifere. Die Hydrochemie der Sandsteinhorizonte wird neben den diagenetischen Prozessen auch durch die syngenetischen Bildungsbedingungen sowie von möglichen Ablaugungsprozessen und Infiltrationen beeinflusst. Hinweise auf die Integrität geologischer Barrieren und die hydrodynamische Bedeutung von Störungszonen können anhand der regionalen hydrochemischen Eigenschaften potenzieller Speicherhorizonte abgeleitet werden. Stagnierende, nicht am hydrologischen Kreislauf teilnehmende Tiefenwässer besitzen eine höhere Konzentration an gelösten Salzen als vergleichbare „ausgesüßte“ Tiefenwässer, die infolge vertikaler und/oder lateraler

Abb. 2: a) Zusammenhang zwischen Permeabilität und Porosität mesozoischer Sandsteine des Norddeutschen Beckens; b) schematische Darstellung des Einflusses der geologischen Entwicklung auf Speichereigenschaften (Quelle: Wolfgramm et al. 2008).

Fig. 2: a) Relationship between permeability and porosity of Mesozoic sandstones of the North German Basin; b) schematic illustration of the influence of the geological evolution on reservoir properties (source: Wolfgramm et al. 2008).



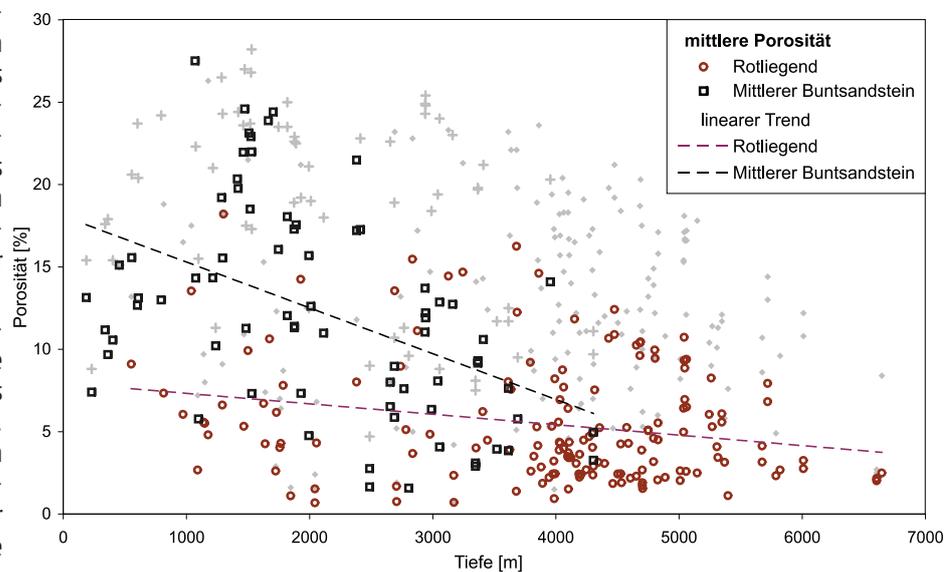
Infiltrationen gering mineralisierter Grundwässer entstanden sind. Überregionale Arbeiten zur Genese der Tiefenwässer in Deutschland wurden z. B. von Hölting (1970), Müller & Papendieck (1975), Müller & Nebel (1976), Thomas (1994) und Wolfgramm (2002) erstellt. Danach kann der überwiegende Teil der präkänozoischen Tiefenwässer in Norddeutschland heute als stagnierend angesehen werden, wobei eine Abhängigkeit des Salzgehaltes von der Teufe besteht. Am Rand des Norddeutschen Beckens können dagegen Abweichungen auftreten. Mit stagnierenden Verhältnissen ist das regionale Vorkommen von genetisch einheitlichen hydrodynamischen Stockwerken verbunden, zwischen denen der Fluidaustausch durch Barrierehorizonte stark eingeschränkt ist. Im Projekt wurden Angaben zur Hydrochemie von Horizonten

erfasst. Eine Regionalisierung der hydrochemischen Verhältnisse wurde im Projekt nicht realisiert.

Bei der Untergrundspeicherung werden die physikalischen und chemischen Bedingungen im Speicherhorizont verändert. So wird z. B. durch die Injektion unter hohem Druck der initiale Lagerstättendruck überwunden und es kommt zur Verdrängung und Kompression des Formationsfluids sowie zur Kompression der Speichergesteinsmatrix. Für die unterirdische Speicherung von bspw. 3 Mio. t CO₂ wird ein Hohlraumvolumen von ca. 5 Mio. m³ benötigt (bei angenommener Dichte des CO₂ von 600 kg/m³). Daher muss bei der angestrebten dauerhaften CO₂-Speicherung der Aquifer außerhalb der Fallenstruktur lateral weit verbreitet sein, damit eine Aufnahme des aus der Speicherstruktur verdrängten Formationswassers erfolgen kann.

Abb. 3: Tiefenlage und Porosität von Speichergesteinen des Oberrotliegend und des Mittleren Buntsandstein außerhalb der KW-Felder. Datenquelle: KW-Datenbank des LBEG. Graue Signaturen stellen die Maximalwerte für Rotliegend (Punkte) und Mittlerer Buntsandstein (Kreuze) dar.

Fig. 3: Depth and porosity of Rotliegend and Middle Buntsandstein reservoir rocks outside of hydrocarbon fields. Source: LBEGs hydrocarbon database. Gray signatures represent maximum values for Rotliegend (points) and Middle Buntsandstein (crosses).



Für die Speicherung können bevorzugt hydraulisch semi-offene³ Aquiferspeicher genutzt werden, wobei das Verhältnis der Speichermenge zur Menge des vorhandenen Formationswassers zu berücksichtigen ist. Hydraulisch geschlossene Aquiferspeicher sind durch impermeable Gesteinsschichten oder durch Störungssysteme, an denen keine Wegsamkeiten vorhanden sind, allseitig abgeschlossen. Die Aufnahmefähigkeit geschlossener Aquiferspeicher ist geringer als bei semi-offenen Aquifertypen (Schäfer et al. 2010).

Die sehr komplexen Verknüpfungsmöglichkeiten diagenetischer Prozesse führen zu vertikal und lateral sehr unterschiedlichen Speichergesteinseigenschaften. In den Berichten der Teilprojekte sind Angaben über geologische Prozesse, die zur regionalen Differenzierung der Speichereigenschaften führten, dokumentiert (s. weitere Artikel in diesem Band). Für die Bewertung einer sicheren, langfristigen Speicherung im Untergrund sind zusätzlich Kenntnisse über die Eigenschaften der Barrierehorizonte erforderlich (bspw. Brauner et al. 2007).

2.2 Genese und Eigenschaften potenzieller Barrieregesteine

Die geologische Barriere dient der sicheren, langfristigen Abdichtung der tiefer liegenden Speichergesteine. Die Barrierewirkung von Gesteinsschichten wird durch petrophysikalische, petrochemische und strukturelle Merkmale bestimmt. Insbesondere Salz- und Tongesteine besitzen gute Barriereigenschaften, die durch eine sehr geringe Durchlässigkeit und ein günstiges Bruch- und Deformationsverhalten bestimmt sind (bspw. Warren 2006, Hoth et al. 2007).

Aufgrund des höheren kapillaren Schwellendrucks ermöglichen Salz- und Tongesteine eine Erhöhung des Speicherdrucks im Reservoir über den initialen hydrostatischen Druck. Ein Fluidfluss durch den Barrierehorizont erfolgt erst, wenn der hydraulische Potenzialunterschied zwischen dem Speicherhorizont und der abdichtenden geologischen Barriere über dem kapillaren Schwellendruck der Barrieregesteine liegt. Der kapillare Schwellendruck der Barrieregesteine korreliert dabei mit der Permeabilität ungestörter Horizonte. Massives, homogenes Steinsalz besitzt eine sehr geringe Permeabilität und entsprechend hohe Werte für den Schwellendruck (bspw. Liedtke & Shao 1998, Warren 2006). Auch bei Tongesteinen korrelieren Schwellendruck und Permeabilität, wobei die Permeabilität sehr feinklastischer Gesteine umgekehrt proportional zu deren Tonanteil ist (bspw. Hildenbrand & Krooss 2003, Hoth et al. 2007).

Weitere wichtige Voraussetzung für die regional abdichtende Funktion der geologischen Barriere ist die ausreichende laterale Kontinuität ihrer barrierewirksamen Eigenschaften. Die Entstehung relativ homogener

und über größere Distanzen aushaltender Ton- bzw. Salzablagerungen erfolgen bevorzugt unter marinen und randmarinen Bedingungen. Barrierehorizonte mit einer großen Mächtigkeit reduzieren zudem die Möglichkeit der hydraulischen Vernetzungen durchlässiger Horizonte über Störungen mit geringem Versatz (Ingram & Urai 1999).

Unterschiede in den Barriereigenschaften der verschiedenen Salz- sowie Tongesteine sind durch die ursprüngliche Sedimentfazies und dem Grad der Diagenese, vor allem abhängig von Druck und Temperatur, verursacht.

Bei den Salzgesteinen kommt es mit zunehmendem Druck und Temperatur zu Rekristallisation und Lösungsmetamorphosen, die zu einem regellosen, polykristallinen Salzkörper führen. Salzgestein, insbesondere das Steinsalz, besitzt eine hohe Wärmeleitfähigkeit, viskoplastische Eigenschaften und ist lithostatisch isotrop. Der nahezu isotrope Spannungszustand im Gestein begünstigt einen höheren Widerstand gegen Rissbildung im Gestein (bspw. Schoenherr et al. 2007). Durch die viskoplastische Eigenschaft werden Klüfte und Spalten im Gebirge geschlossen, was die Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilität reduziert. Steigender Gebirgsdruck und Wassergehalt sowie steigende Temperaturen begünstigen das viskose Deformationsverhalten der Salzgesteine, welches auch von den Korngrößen und der mineralogischen Zusammensetzung beeinflusst wird (bspw. Warren 2006, Urai et al. 2008, Schulze 2009). Insgesamt verhalten sich Salzgesteine im Vergleich zu Nebengesteinen extrem inkompetent, was häufig zu einer Entkopplung des strukturgeologischen Inventars der sub- und suprasalinaren Stockwerke führt (Kossov 2001, Röckel & Lempp 2003).

Es ist festzuhalten, dass saline Gesteine günstige Eigenschaften aufweisen, die die Integrität der geologischen Barriere für einen großen Wertebereich von Druck- und Temperaturbedingungen im Untergrund gewährleisten können. Daher sind diese insbesondere zur Abdichtung von Untergrundspeichern geeignet.

Tongesteine sind durch ihre geringe Korngröße und durch die verschiedenen Anteile an Tonmineralen (z. B. Kaolinite, Illite, Montmorillonite/Smektite, Chlorite, Vermiculite) charakterisiert. Sie können weitere Minerale (z. B. Quarz, Karbonate) sowie organischen Kohlenstoff in unterschiedlichen Anteilen enthalten. Die mineralogische Zusammensetzung hängt dabei von den Gesteinen und Verwitterungsbedingungen im Abtragungsgebiet sowie den Ablagerungsbedingungen ab, wobei generell mit der Entfernung des Ablagerungsortes zum Erosionsgebiet der Anteil an Tonmineralen zunimmt (Füchtbauer & Müller 1977). Verglichen mit Salzgesteinen reagieren Tongesteine stärker auf Änderungen der Druck- und Temperatur-

bedingungen. Diese führen zu Veränderungen der strukturellen, mineralogischen, chemischen und petrophysikalischen Eigenschaften von Tongesteinen.

Die Integrität einer Tongesteinsbarriere im Untergrund wird wesentlich von der Festigkeit des Tonsteins bestimmt, die das plastische Verformungsverhalten – somit den Fortbestand der Abdichtung während der geologischen Entwicklung eines Tonsteinhorizontes – beeinflusst (Ingram & Urai 1999). Unterschiede in der Festigkeit sind von der Kompaktion, dem Wassergehalt und der Korngrößenverteilung abhängig. Ein hoher Anteil an Tonmineralien begünstigt die Plastizität eines Tongesteins. Der Einfluss von stofflichen Beimengungen wie Karbonat auf die Gesteinseigenschaften von Tongesteinen ist dagegen unterschiedlich. So nimmt die Festigkeit vom Opalinuston (Mont Terri) mit zunehmendem Karbonatgehalt ab, dagegen steigt diese beim Callov-Oxfordian Tonstein mit zunehmendem Karbonatgehalt an (Schulze 2009). Zu beachten ist auch, dass Tongesteine aufgrund der Struktur der Schichtsilikate eine ausgeprägte Gefüge-Anisotropie aufweisen. So reagiert ein Tonstein in Abhängigkeit von der Richtung der hydraulischen Beanspruchung unterschiedlich (Schulze 2009).

Für eine regionalgeologische Einschätzung der barrierewirksamen Eigenschaften von Tongesteinen haben Osipov et al. (2004) anhand der Abdichtung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten durch marine Tonsteine folgende empirische Zusammenhänge erarbeitet:

- Tone, die nahe der Küste abgelagert worden sind, besitzen einen geringeren Anteil an Tonmineralen als Ablagerungen der tieferen Meeresbereiche.
- Homogene und sehr feinkörnige Tonablagerungen des tieferen Meeresbereiches erreichen schon ab Versenkungstiefen von etwa 400 m bis 600 m ein gutes Isolationspotenzial für Kohlenwasserstoffe. Tonablagerungen der Küstenregion oder des flachen Schelfs erreichen dagegen ein gutes Isolationspotenzial erst bei einer Versenkung von über 1200 m.
- Mit einsetzender Diagenese bleiben die günstigen Barriereigenschaften der Tonsteine grundsätzlich erhalten. Für Tonablagerungen des flacheren Schelfs und der Küstenregion gilt dies bis zu Versenkungstiefen von ca. 2000 m. Homogene und sehr feinkörnige Tonablagerungen des tieferen Meeresbereiches können dagegen die barrierewirksamen Eigenschaften bis Tiefen von etwa 5000 m bis 6000 m erhalten.
- Bei stark fortgeschrittener Diagenese tendieren einige Tonsteine (abhängig von der Fazies und dem Schichtsilikatanteil) zur Bildung von Mikrorissen und Mikroklüften.

Insgesamt sind die unterschiedlichen petrophysikalischen Eigenschaften von Salz- und Tongesteinen bei

der Einschätzung der Barriere zu beachten. Die durch Druck- und Temperaturänderungen verursachten unterschiedlichen Reaktionen der Gesteine sind im Wesentlichen durch die geologische Entwicklung einer Region bestimmt. Für die Einschätzung der regionalen Eignung von Barrierehorizonten zur Abdichtung von Speichergesteinen im Liegenden sind Bewertungen der primären Sedimentfazies, der regionalen Diagenese und der strukturellen Entwicklung notwendig. So muss letztlich immer eine standortbezogene Erkundung den Nachweis der speichergeologischen und sicherheitstechnischen Eignung erbringen.

3. Methode zur Ausweisung untersuchungswürdiger Gebiete

Mit dem Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ wurde eine Methode erarbeitet und angewendet, die schrittweise zur Eingrenzung von speichergeologisch untersuchungswürdigen Gebieten führt. Anhand des regionalgeologischen Kenntnisstandes und unter Berücksichtigung der verfügbaren Informationen wurden einzelne geologische Einheiten systematisch bearbeitet, um so eine bundesweit einheitliche Übersicht der Speichermöglichkeiten im tieferen Untergrund zu erhalten. Standortkonkrete Aussagen, insbesondere für die dauerhafte Speicherung von CO₂, sind damit grundsätzlich aber nicht möglich. Für standortspezifische Aussagen müssen die lokalen geologischen Verhältnisse detailliert analysiert werden.

3.1 Datengrundlagen

Für die bundesweite Charakterisierung und Abgrenzung von Regionen mit potenziellen Speicher- und Barrieregesteinen wurden vorrangig bereits digital vorliegende Daten verwendet. Die Einbeziehung nicht digital vorliegender Informationen (Karten, Bohrkarten, Berichte, Publikationen) erfolgte in den Teilprojekten in unterschiedlichem Umfang (siehe dazu weitere Artikel in diesem Band).

Die speichergeologische Bearbeitung wurde, neben den verfügbaren zeitlichen und personellen Ressourcen, ganz wesentlich durch die vorliegende Dateninfrastruktur der Projektpartner mitbestimmt. Diese wurde durch digital aufbereitete geologische und geophysikalische Kartenwerke wie der Geotektonische Atlas von Nordwestdeutschland (Baldschuhn et al. 1996, Baldschuhn et al. 2001), Horizontkarten aus dem in der BGR in Arbeit befindlichen Geotektonischen Atlas von Norddeutschland (Kontakt: Holger.Wirth@bgr.de) und aus der „BGR-Tonstudie“ (Hoth et al. 2007) von Seiten der BGR ergänzt. Zusätzlich konnten Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „Aufbau eines Geothermischen Informationssystems für Deutschland“ (GeotIS 12/2009, Feldrapp et al.

2008, Schulz 2009, Stober et al. 2009) genutzt werden. Im Teilprojekt „Nachweissystem“ entwickelte das Niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) einen Algorithmus, der projektspezifische Abfragen zur Mächtigkeit und zu den vorhandenen Porositäts- und Permeabilitätswerten im digitalen Datenbestand der KW-Datenbank ermöglichte (s. Riesenberg et al. 2011; in diesem Band). Zudem wurden bereits sehr umfangreiche Informationen über die lithologischen Merkmale von Schichtenfolgen des tieferen Untergrundes von der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK) für einzelne stratigraphische Einheiten publiziert.

Die gegenwärtig bei mehreren geologischen Landesämtern in Arbeit befindlichen 3D-Landesmodelle des tieferen Untergrundes unterstützten die komplexe Erfassung und Auswertung regionaler geologischer Daten. So wurden in einigen Teilprojekten horizontspezifische Informationen bereitgestellt und gleichzeitig die Aktualität und Konsistenz der verwendeten Daten gesichert (Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen).

Der regional unterschiedliche geologische Erkundungsgrad in den Bundesländern lässt derzeit eine bundesweit ausschließlich lithologisch orientierte Bewertung für die meisten Speicher- oder Barrierehorizonte in einem zeitlich befristeten Projekt nicht zu.

Unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten und des geologischen Kenntnisstandes wurden in den Bundesländern Untersuchungsgebiete festgelegt (s. Riesenberg et al. 2011; in diesem Band). In diesen Untersuchungsgebieten erfolgte die Bewertung einzelner Speicher- und Barrierekomplexe, die anhand stratigraphischer Grenzen definiert wurden. Das Projekt liefert als Ergebnis eine bundesweite, abgestimmte Übersicht untersuchungswürdiger Gebiete mit Speicher- und Barrieregesteinen des tieferen Untergrundes gesondert für einzelne stratigraphische Einheiten vom Oberkarbon bis ins Tertiär.

3.2 Speicher und Barrierekomplexe

Unter den Begriffen Speicher- und Barrieregesteinskomplex (kurz Speicher- und Barrierekomplex) sind Formationen oder Gesteinsschichten zusammengefasst, die jeweils eine vertikal und lateral abgrenzbare Einheit innerhalb eines Sedimentationsraumes bilden. Der 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 ausgewiesen (s.u.) und in Karten dargestellt, den so genannten Potenzialkarten (Bearbeitungsmaßstab 1 : 1.000.000).

Top und Basis der Speicher- und Barrierekomplexe wurden anhand stratigraphische Grenzen festgelegt. Diese Festlegung auf charakteristische Leithorizonte ermöglicht die Vereinheitlichung innerhalb des Projektes auf länderübergreifende Gesteinskomplexe (Tab. 1a & 1b). Anhand von Eigenschaften der stratigraphischen Horizonte wurden im Übersichtsmaßstab 1 : 1.000.000 untersuchungswürdige Gebiete abgegrenzt. Die weitere Erfassung von strukturgeologischen Merkmalen sowie der räumlichen und lithologischen Variabilität der Speicher- und Barrieregesteine erfolgte in den so abgegrenzten Gebieten im Bearbeitungsmaßstab 1 : 300.000.

Kriterien zur Übersichtskartierung von Speicherkomplexen

Die Kategorisierung der Speicherkomplexe erfolgte anhand der Parameter Tiefenlage und Mächtigkeit. Ziel war eine Kategorisierung aufgrund von Mindestanforderungen innerhalb der Untersuchungsgebiete. Folgende Kriterien wurden aus Chadwick et al. (2008) abgeleitet:

- Mächtigkeit: Gesamtmächtigkeit der untersuchungswürdigen Speichergesteine in den jeweiligen Speicherkomplexen > 10 m (Nettomächtigkeit⁴);
- Tiefenlage: Top des Speicherkomplexes > 800 m unter Geländeoberfläche.

Entsprechend dem Ziel einer bundesweiten Übersichtskartierung wurde bei der Erfassung der Speichergesteinsmächtigkeit primär die lithostratigraphische Einstufung der potenziellen Formation berücksichtigt. Die Kenntnisse über den lithologischen Aufbau einer Formation ermöglichen eine Abschätzung der Mächtigkeit der potenziell geeigneten Speichergesteine. In einzelnen Teilprojekten konnte diese Abschätzung teilweise, durch die Auswertung der in der KW-Datenbank im LBEG digital vorhandenen Ergebnisse von Kernuntersuchungen und der verfügbaren Aufschlussakten sowie anhand von Publikationen, bestätigt werden.

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

- Porosität⁵: Speichergesteine mit Porositäten > 10 %;
- Permeabilität: Speichergesteine mit Durchlässigkeiten > 10 mD.

Eine weitergehende Differenzierung der speicher-geologischen Kennwerte (Porosität > 20 % und Permeabilität > 300 mD) erfolgte, sofern die Daten dies ermöglichten. Die Datengrundlage war für eine Regionalisierung der speicher-geologischen Parameter Porosität und Permeabilität in der Regel nicht ausreichend.

Kriterien zur Übersichtskartierung von Barrierekomplexen

Analog zu den Speicherkomplexen wurden potenzielle Barrierekomplexe im Maßstab 1 : 1.000.000 kategorisiert. Die potenzielle Eignung der Barrierekomplexe zur Abdichtung der tiefer liegenden Horizonte wird hier durch das Vorkommen von Tongestein oder Salzgestein bestimmt. Die Verbreitung von Salz- und Tongesteinen wurde nach Mindestkriterien zur Tiefenlage und Mächtigkeit bewertet. Folgende Kriterien wurden dazu aus Chadwick et al. (2008) abgeleitet:

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

Die so ausgewiesenen Barrierekomplexe können tiefer liegende potenzielle Speicherhorizonte gegen höhere Horizonte vertikal und lateral hydrodynamisch isolieren. Bei der ausschließlich lithologischen Charakterisierung sind jedoch Störungzonen nicht berücksichtigt. Mit dem Kriterium der Mindestmächtigkeit von 20 m und den Eigenschaften von Salz- und Tongestein sind grundsätzlich Voraussetzungen gegeben, die zur Abdichtung regional vorhandener Bruchstörungen führen können. Die Forderung der Mindestmächtigkeit berücksichtigt zusätzlich die Abdichtung von den meist nur anhand von Bohrungen bekannten und mittels geophysikalischer Methoden schwer erfassbaren Störungen mit Versatzbeträgen von weniger als 10 m. Bei den verwendeten Datengrundlagen ist einschränkend zu beachten, dass Mächtigkeiten von 20 m nur anhand der Bohrungen sicher bestimmt werden konnten.

Struktur-geologische Karten und Fallenstrukturen

Weitergehende struktur-geologische Informationen zu den Speicher- und Barrierekomplexen wurden – bei Erfüllung der o.g. Kriterien – im Maßstab 1 : 300.000 erarbeitet. Dies erfolgte durch die Erstellung von Isolinkarten zur Tiefenlage und Mächtigkeit der Gesteinskomplexe und der generalisierten Darstellung von Störungen. Eine differenziertere Bewertung des vorhandenen Strukturinventars und der speicher- bzw. barriere-wirksamen Horizonte innerhalb der abgegrenzten Gebiete erfolgte in den einzelnen Teilprojekten (s. weitere Artikel in diesem Band).

Voraussetzungen für die Nutzung der Speicher-geologie als Untergrundspeicher sind sowohl das Vorhandensein von abdichtenden Barrieregesteinen im Hangenden als auch von geeigneten Fallenstrukturen, die ein Entweichen gespeicherter Stoffe verhindern. In einigen Teilprojekten wurden Fallenstrukturen erfasst, sofern diese ein Mindestvolumen von 0,1 km³ 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 km³ einer Speicherkapazität von 12 Mio. Tonnen CO₂ (bei einer angenommenen Speichereffizienz von 20 % und einer angenommenen CO₂-Dichte von 600 kg/m³). Die exemplarisch durchgeführten Charakterisierungen von Fallenstrukturen (z. B. in Thüringen und Nordrhein-Westfalen) verdeutlichen, dass die im Projekt verfügbaren regionalen Informationen eine weitergehende speicher-geologische Bewertung nur eingeschränkt zulassen.

4. Übersicht zum Speicherpotenzial des Rotliegend

Im Projekt gehörten die ältesten, bundesweit bewerteten Sedimente zum Speicherkomplex Permokarbon, von dem insbesondere die Rotliegend-Sedimente hier behandelt werden. In Norddeutschland wurden die Oberrotliegend-Sedimente in einer etwa ESE-WNW streichenden Beckenstruktur, dem heutigen Norddeutschen Becken, abgelagert (Abb. 4). Südlich dieser Beckenstruktur werden Sedimente großer Mächtigkeit in mehreren intramontanen Becken akkumuliert. Diese permokarbonen Becken reichen von Südwestdeutschland (Saar-Nahe-Becken) bis in den mitteldeutschen Raum (Saale-Becken; bspw. Rappsilber 2003). Weiter südlich folgt das Kraichgau-Becken (Fränkisches Becken) und das Schramberg-Becken mit oberkarbonischen bis unterpermischen Ablagerungen (Nitsch & Zedler 2009). Im Gegensatz zu den hier genannten Sedimentbecken sind die Becken mit oberkarbonischen bis unterpermischen Ablagerungen im Untergrund des alpinen Molassebeckens von Deutschland relativ kleinräumig (bspw. Bachmann & Müller 1996).

In Norddeutschland begann im Oberrotliegend II (Havel- und Elbe-Subgruppe) die Hauptabsenkung des Norddeutschen Beckens. Aus vorher lokal gegliederten Ablagerungsräumen entwickelte sich ein zusammenhängender, ESE-WNW streichender Sedimentationsraum mit zunehmend uniformen Schichtenfolgen, die über weite Bereiche des Beckens zu verfolgen sind. Die Oberrotliegend-Schichtenfolge (insbesondere Oberrotliegend II) wurde in Norddeutschland speicher-geologisch untersucht (s. weitere Beiträge in diesem Band), da diese durch klastische Sedimente

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	SK	BK			
Quartär																					
Tertiär	Pliozän																				
	Miozän																				
	Oligozän	Chatt																			
		Rupel																			
	Eozän																				
Paläozän																					
Kreide			Süßwasser-Aquifere																		
			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																			
	Untejura (Lias)	Toarc																			
		Pliensbach																			
		Sinemur																			
Hettang																					
Trias	Keuper	O Rhätkeuper																			
		Steinmergelkeuper																			
		M Oberer Gipskeuper																			
		Schilfsandstein																			
		Unterer Gipskeuper																			
	U Lettenkeuper																				
	Muschelkalk	Ob. Muschelkalk																			
		Mittl. Muschelkalk																			
		Unt. Muschelkalk																			
	Buntsandstein	O Röt																			
		M Solling-Formation																			
		Hardegsen-Formation																			
		Detfurth-Formation																			
U Volpriehausen-Frm.																					
Quickborn-Formation																					
Zechstein	Bernburg-Formation																				
	U Calvörde-Formation																				
Perm	Zechstein	Fulda-Formation																			
		Friesland-Formation																			
		Ohre-Formation																			
		Aller-Formation																			
		Leine-Formation																			
		Stäsfurt-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

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									
	Untejura (Lias)	Aalen									
		Toarc									
		Pliensbach									
		Sinemur									
Trias	Keuper	Hettang									
		Oberkeuper									
		Feuerletten / Knollenmergel									
		Sandsteinkeuper									
		Gipskeuper									
	Muschelkalk	Unterkeuper									
		Ob. Muschelkalk									
		Mittl. Muschelkalk									
	Buntsandstein	O	Unt. Muschelkalk								
			Röt								
			Solling-Formation								
		M	Hardegsen-Formation								
			Defurth-Formation								
Volpriehausen-Frm.											
Quickborn-Formation											
U		Bernburg-Formation									
		Calvörde-Formation									
Perm	Zechstein	Fulda-Formation									
		Friesland-Formation									
		Ohre-Formation									
		Aller-Formation									
		Leine-Formation									
		Staufurt-Formation									
		Werra-Formation									
		Rotliegend / Karbon									

Erläuterung:

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

Tab. 1a + b:
In diesem Projekt vorrangig bearbeitete stratigraphische Einheiten mit Speicher- und Barrierehorizonten.

Tab. 1a + b:
Stratigraphic units with reservoir and barrier horizons, which were primarily analysed in this project.

und nur wenige Vulkanite charakterisiert ist, entgegen dem Unterrotliegend mit vorrangig vulkanischen Ablagerungen (Plein 1995, Menning & Hendrich 2005).

Im norddeutschen Sedimentationsraum lagen die Ablagerungszentren im sedimentären Rotliegend in folgenden Gebieten: Havel-Müritz-Senke (Mächtigkeit >1900 m), West-Mecklenburg (Mächtigkeit >2200 m) sowie die Unterelberegion (Mächtigkeit >1500 m) und die innere Deutsche Bucht (Plein 1993, Hoffmann et al. 1997, Hoth et al. 1997, Baldschuhn & Kockel 1998, Lokhorst 1998). Gesteuert wurde die Entstehung der zyklischen Schichtenfolgen des Oberrotliegend durch tektonische Impulse (bspw. Hoffmann 1990, Gebhardt et al. 1991) und/oder klimatische Schwankungen (bspw. Gast 1991). Nur sporadisch und sehr kurzzeitig wurden im Oberrotliegend marine Sedimente abgelagert (Legler 2006).

In Richtung Beckenzentrum verzahnen sich die fluvial gebildeten Sandsteine zunehmend mit den dortigen Playa-Sedimenten (Plein 1993, Hoffmann et al. 1997). Playa-Sedimente sind meist feinkörnig und sehr tonreich und im Gebiet des Rotliegend-Salzsees durch zahlreich eingeschaltete Steinsalzhorizonte gekennzeichnet. Die Verbreitung der jüngsten Salinarschichten im Rotliegend reicht vom britisch-niederländischen Beckenteil bis zur Müritz und in die Altmark (Gast 1991, Gebhardt 1994, Baldschuhn & Kockel 1998, Gast et al. 1998). Im Süden von Niedersachsen und in der östlichen Altmark (Sachsen-Anhalt) wurde die Verbreitung fluvial und äolisch entstandener Sedimente durch ein System von etwa N-S ausgerichteten Gräben beeinflusst (Gast 1988, Stollhofen et al. 2008). Zudem befinden sich etwa W-E streichende Grabensysteme im östlichen Brandenburg und östlich der Altmark (Tuchener Graben und Büste-Graben; Hoffmann et al. 1989).

Anhand der vorherrschenden Sedimentationsbedingungen unterscheiden Stollhofen et al. (2008) für das sedimentäre Rotliegend in Norddeutschland vier dominierende Faziesassoziation

- fluviale Bildungen (z.B. Wadi-Sedimente, Alluvialfächer),
- äolische Bildungen (Dünensande),
- limnische Bildungen (Playa-Sedimente) und
- Sabkha-Ablagerungen.

Aufgrund der Lithologie und der Diagenese sind die Playa-Sedimente (einschließlich der Sabkha-Ablagerungen) nach derzeitigem Kenntnisstand in weiträumigen Gebieten des zentralen Norddeutschen Beckens nicht als Porenspeicher geeignet (s. weitere Beiträge in diesem Band).

Primär poröse Speichergesteine konzentrieren sich auf die Serien limnisch-fluvialer und äolischer Ge-

nese. Durch die vorherrschende Sedimentzufuhr aus Süden stellt der gesamte Beckensüdrand ein bedeutendes, zusammenhängendes Gebiet primärer Speichergesteinsentwicklung dar. Dies ist auch durch die KW-Lagerstätten zwischen Ems und Elbe belegt (vgl. Abb. 1 und Abb. 4). So treten Erdgaslagerstätten z. B. in den Strandsanden der Dethlingen-Formation und der Hannover-Formation sowie in den äolisch entstandenen Schneverdingen- und Büste-Sandstein der Parchim-Formation auf (Hoth et al. 1997, Baldschuhn & Kockel 1998). Auch in der östlichen Altmark sind Sandsteinhorizonte der Parchim-Formation und der Mirow-Formation mit guter Speicherqualität bekannt. Im Subherzyn besitzt der Flechtinger Bausandstein im Bereich der Rotliegend Beber-Senke (Abb. 4) günstigere Speichereigenschaften als andere Oberrotliegend-Folgen dieser Region (s. Reinhold et al. 2011; in diesem Band).

Grobkörnige und konglomeratische Sedimente wurden auch im Osten des Norddeutschen Beckens sowie im Raum Rügen abgelagert. Allerdings sind die möglichen Speichergesteine auf Rügen zu geringmächtig und ohne ausreichende laterale Kontinuität. In Ostbrandenburg konnten dagegen untersuchungswürdige Regionen für die Ablagerungen des Oberrotliegend erfasst werden (s. Bebiolka et al. 2011; in diesem Band).

Für die süddeutschen Intramontanbecken dokumentieren sedimentologische Untersuchungen wiederholt eine grobe Randfazies aus Schuttfächern, die beckenwärts in alluviale Arkosesande eines ariden Glacis und tonige Playa-Sedimente übergeht. Den Beckenrand bildeten in den meisten Fällen synsedimentär aktive Störungszonen, an denen die Reliefunterschiede zwischen Abtragungs- und Sedimentationsgebieten ständig erneuert wurden. Die Sedimente setzten teilweise unmittelbar an der Randstörung ein und können dort bereits mehrere hundert Meter mächtig werden (Lemcke 1961, Haunschild & Jerz 1981, Kettel & Herzog 1988, Bader & Bram 2001, Nitsch & Zedler 2009).

Rotliegend-Ablagerungen mit günstigen Speichereigenschaften, kombiniert mit Mächtigkeiten der Speichergesteine von größer als 10 m und einer Tiefenlage von mehr als 800 m (Abb. 4), befinden sich auch in Thüringen (Mühlhäuser-Becken und zentraler Saale-Trog). Zudem besitzt die Wahnwegen-Formation im Saar-Nahe-Becken günstigere Speichereigenschaften als die anderen Sedimentfolgen dieser Region (s. weitere Beiträge in diesem Band).

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

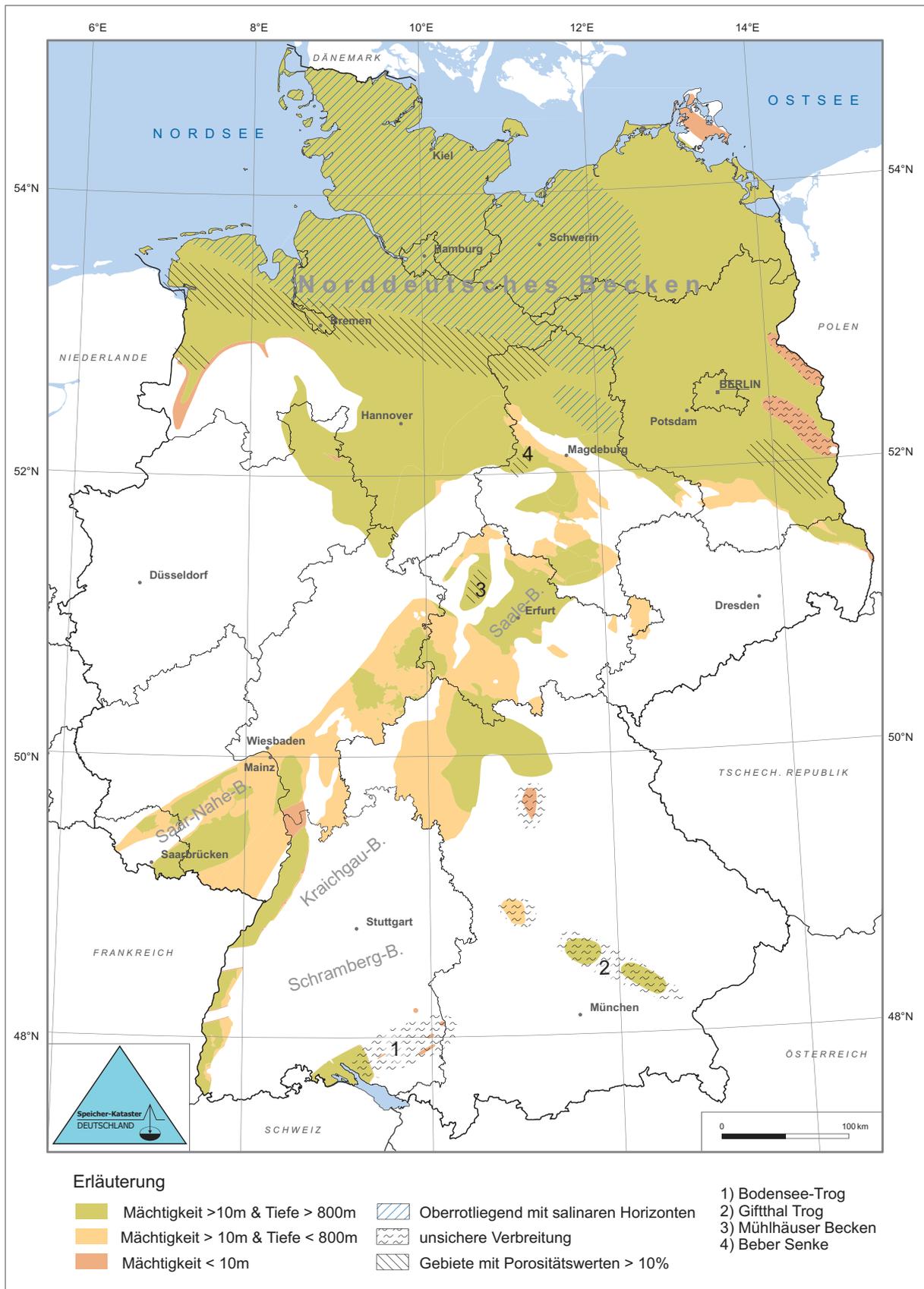


Abb. 4: Anwendung der Mindestkriterien zur Tiefenlage und Mächtigkeit für den Speicherkomplex Permokarbon in den Untersuchungsgebieten (Norddeutschland Oberrotliegend; Süddeutschland Rotliegend undifferenziert).

Fig. 4: Application of depth and thickness criteria for the reservoir rock unit Permokarbon in investigated areas (North Germany Upper Rotliegend; South Germany Rotliegend undifferentiated).

Oberkarbon des Bodensee-Trogs (östliche Fortsetzung des Nordschweizer Permokarbondrogs) zu erwarten (Abb. 4).

5. Übersicht zum Barrierepotenzial des Zechstein

Die Formationen des Zechstein sind vorwiegend als marine Sedimente und mit mächtigen Salzablagerungen ausgebildet und wurden als weit verbreitete geologische Barriere oberhalb der potenziellen Speichergesteine des Rotliegend im Projekt untersucht.

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 (Abb. 5). 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 (Käding 2005). Eine grobklastische Randfazies ist großflächig im Südwesten der Verbreitung des Zechstein, am östlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges und am Rand des Thüringischen Schiefergebirges entwickelt (Rupf & Nitsch 2008; weitere Beiträge in diesem Band).

Wie im Kapitel 2 erläutert, sind es vor allem Steinsalzlager mit größerer Mächtigkeit, aber auch Tonsteinschichten und ungeklüftete Anhydritbänke, die die sehr gute Eignung der Zechstein-Ablagerungen als geologische Barriere begründen (Abb. 5). 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). Die weitere regionale Differenzierung der heutigen Verbreitung und Mächtigkeit des Zechsteinsalzes erfolgte durch tektonische und halokinetische Prozesse sowie durch regionale Subrosions- und Erosionsprozesse.

Zusammenfassend dargestellt treten im gesamten Norddeutschen Becken sowie im Thüringer Becken und im Werra-Fulda-Becken bis zum Main reichend, größere Steinsalzmächtigkeiten auf. Weiterhin kommen mehrere Tonschichten mit Mächtigkeiten von einigen Metern vor, die zusätzlich eine hydraulische Barriere bilden. Die Basis des Barrierekomplexes Zechstein liegt weitverbreitet in Tiefen größer als 800 m unter Gelände (Abb. 5). Belege für die sehr gute hydraulische Barrierewirkung der Zechstein-Ablagerungen insgesamt sind die KW-Lagerstätten des Rotliegend sowie des Zechstein (Abb. 1). Dies weist darauf hin, dass die im vorigen Kapitel beschriebenen untersuchungswürdigen Speicherregionen des Rotliegend im Verbreitungsgebiet großer Zechstein-Salzmächtigkeiten regional nach oben abgedichtet sind (Abb. 5). Somit ist eine generelle Voraussetzung gegeben, um weitere speichergeologische Anforderungen an mögliche Speicher- und Barrieregesteine zu prüfen.

6. Fazit

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das Gemeinschaftsprojekt von Bund und Ländern „Speicher-Kataster Deutschland“, die verfügbaren und eingesetzten Daten sowie die Eigenschaften und die Genese potenzieller Speicher- und Barrieregesteine (Sandsteine bzw. Ton- und Salzgesteine). Exemplarisch wurden die Ergebnisse zum Speicherpotenzial des Rotliegend und zum Barrierepotenzial des Zechstein dargestellt. Weitere Speicher- und Barrierekomplexe wurden entsprechend aufbereitet (s. weitere Beiträge in diesem Band) und sind in einem Informationssystem (Riesenberg et al. 2011; in diesem Band) allgemein verfügbar.

Die Erfassung der speichergeologischen Verhältnisse des Untergrundes erfolgte in den Teilprojekten der Länder auf der Grundlage gemeinsam abgestimmter, projektspezifischer Kriterien. Insbesondere wurden dabei allgemeine Anforderungen an eine dauerhafte CO₂-Speicherung berücksichtigt. Diese ausgewiesenen Gebiete sind grundsätzlich auch für andere Nutzungsoptionen untersuchungswürdig. Zudem gibt es Speichergesteine auch außerhalb der abgegrenzten Gebiete, die jedoch meist nicht für eine dauerhafte CO₂-Speicherung untersuchungswürdig sind. So wurden einzelne Gebiete nicht bearbeitet, weil es dort keine ausreichende Datengrundlage gab (bspw. Kraichgau

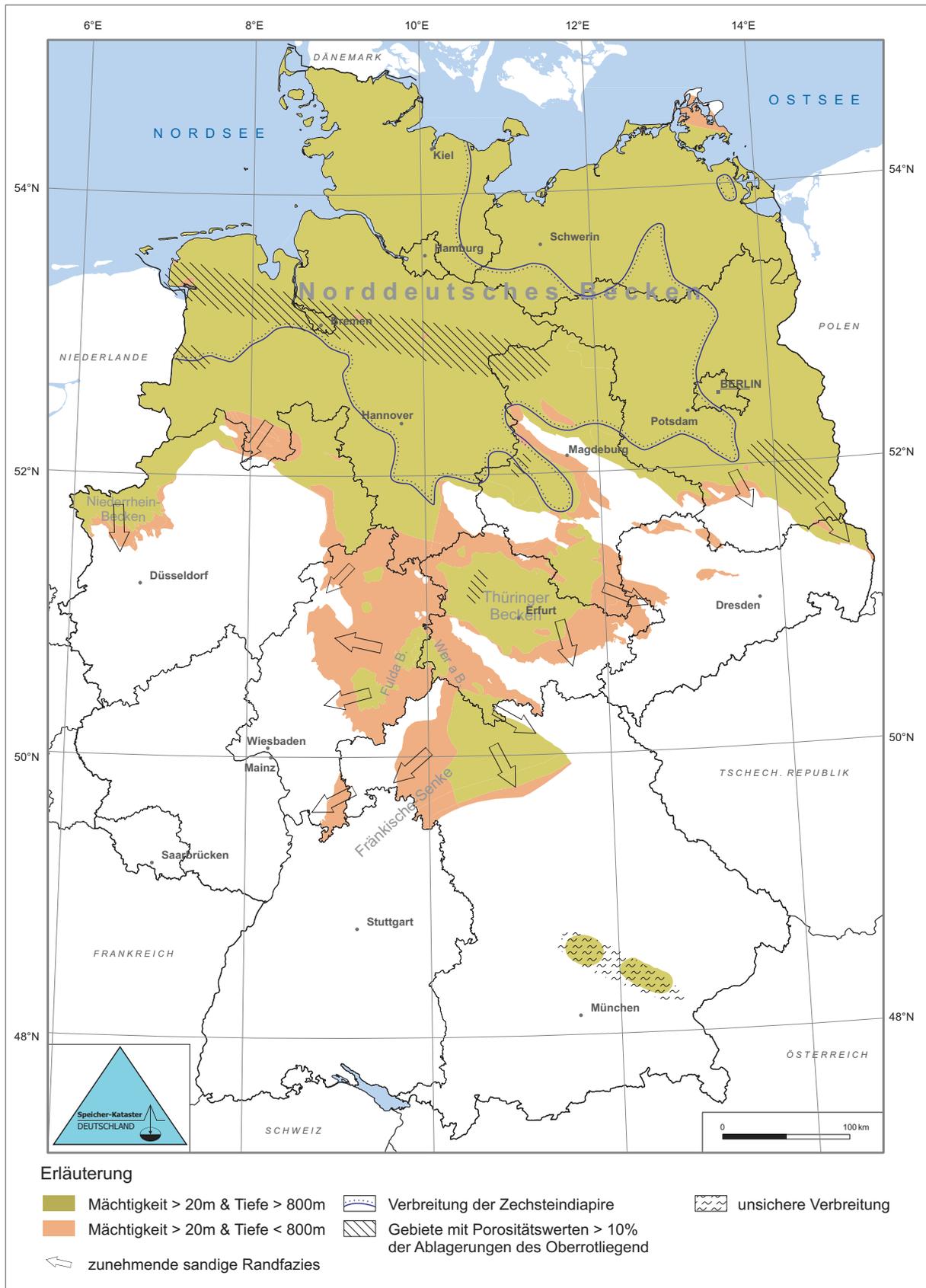


Abb. 5: Anwendung der Mindestkriterien zur Tiefenlage und Mächtigkeit für den Barrieregesteinskomplex Zechstein in den Untersuchungsgebieten.

Fig. 5: Application of depth and thickness criteria for the barrier rock unit Zechstein in investigated areas.