

Fehn, C. & Wirsing, G. (2011): Speicherpotenziale im tieferen Untergrund Baden-Württembergs. – 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: 214-225; Hannover.

Speicherpotenziale im tieferen Untergrund Baden-Württembergs

Storage potential in the deeper subsurface of Baden-Württemberg

Charlotte Fehn, Gunther Wirsing

Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Referat Landeshydrogeologie und -geothermie, Albertstr. 5, D-79104 Freiburg i. Br., Charlotte.Fehn@rpf.bwl.de, Gunther.Wirsing@rpf.bwl.de

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ wurden von den staatlichen geologischen Diensten der Bundesländer unter der Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe nach bundesweit einheitlichen Kriterien Speicherpotenziale regional bewertet.

In Baden-Württemberg konzentrierte sich die Bearbeitung auf das Molassebecken im Alpenvorland und den Oberrheingraben. Auf Grundlage von Tiefen- und Mächtigkeitskriterien zeichnen sich potenzielle Speichermöglichkeiten im Molassebecken bevorzugt in den Bausteinschichten (Untere Meeresmolasse), in der Eisensandstein-Formation (Mitteljura) und der Stubensandstein-Formation (oberer Mittelkeuper) ab. Für den Oberrheingraben ergibt sich Speicherpotenzial hauptsächlich im Tertiär (Niederröders-Formation, Graue Mergel-Formation und Pechelbronner- und Lymnänenmergel-Formation), im Muschelkalk, im Buntsandstein und im Rotliegend/Oberkarbon.

Kartiermethodik und Datengrundlagen erlauben eine erste übersichtsmäßige Darstellung des Speicher- und Barrierepotenzials dieser geologischen Horizonte. Erschwerend für die Beurteilung sind der lithologisch heterogene horizontale und vertikale Aufbau der Komplexe, die Prognose zur Kontinuität der räumlichen Verhältnisse sowie die geologisch-tektonische Komplexität der Teilgebiete. Diese tritt insbesondere im Oberrheingraben in den Vordergrund und wirkt sich auf die Eignungseinschätzung zur dauerhaften Speicherung stark einschränkend aus. Differenziertere Aussagen zur vertikalen und lateralen lithologischen Ausbildung, Verbreitung und Nettomächtigkeit der Speicher- und Barrieregesteine, der abdichtenden Wirkung der Barrieregesteine und strukturbegrenzender Störungen, sowie der Identifikation geeigneter Speicherstrukturen sind nur auf der Grundlage weiterführender Untersuchungen möglich.

Abstract

In the framework of the project „Information system on geological storage formations in Germany - basis for a climate friendly geotechnical and energetic use of the deeper subsurface (Storage Catalogue of Germany)“ coordinated by the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), the geological surveys of the federal states of Germany have developed potential maps on reservoir rock units and barrier rock units, using nationwide uniform criteria.

In Baden-Württemberg, work concentrated on the Molasse Basin and the Upper Rhine Graben. Based on the depth (more than 800 m) and thickness (more than 10 m), in the Molasse Basin potential storage reservoirs become apparent in the so called Bausteinschichten (Untere Meeresmolasse, Tertiary), Eisensandstein-Formation (Middle Jurassic) and Stubensandstein-Formation (Upper Keuper). In the Upper Rhine Graben, storage potential occurs mainly in the Tertiary (Niederröders-Formation, Graue Mergel-Formation and Pechelbronner- and Lymnänenmergel-Formation), in the Muschelkalk, the Buntsandstein and the Rotliegend/Upper Carboniferous.

Mapping methodology and the available data base only allow a general view of distribution of storage potential and cap rock. The assessment is complicated by an inhomogeneous lithologic structure of stratigraphic units, the forecast of their regional continuity and the complexity of the investigated areas in terms of geology and tectonics. The latter applies especially to the Upper Rhine Graben restricting its suitability as storage site. More differentiated conclusions concerning the lithology, the extension and net thickness of storage reservoirs and cap rocks, their sealing capacity as well as the identification of trapping structures can only be achieved by further studies.

Schlüsselworte: Speicher-Kataster Deutschland, Baden-Württemberg, Molassebecken, Oberrheingraben, geologische CO₂-Speicherung, Speichergesteine, Barrieregesteine.

Keywords: Storage Catalogue of Germany, Baden-Württemberg, Molasse Basin, Upper Rhine Graben, geological storage of CO₂, reservoir rocks, barrier rocks.

Einleitung

Unter den Ursachen des anthropogenen Klimawandels spielt das bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in großen Mengen freigesetzte Kohlendioxid (CO₂) eine besondere Rolle. Deshalb werden die Abtrennung des CO₂ aus den Verbrennungsgasen zur Stromerzeugung und Industrieabgasen, der Transport und die dauerhafte Speicherung im Untergrund (Carbon Capture and Storage – CCS) als eine Option zur Reduzierung des Kohlendioxideintrages in die Atmosphäre gesehen. Neben der Entwicklung von Verfahren zur Abtrennung des CO₂ aus den Rauchgasen ist die Suche nach geeigneten Standorten für die dauerhafte geologische Tiefenspeicherung ein wichtiges Glied in der Technologiekette.

Zur bundesweit einheitlichen Bewertung des Untergrundes hinsichtlich seiner Eignung zur Speicherung von Kohlendioxid wurden deshalb im Rahmen des Projektes „Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland)“ von den staatlichen geologischen Diensten der Bundesländer unter der Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe nach einheitlichen Kriterien Karten zur Ausweisung untersuchungswürdiger Gebiete mit Speicher- und Barrierekomplexen erstellt, sogenannte Potenzialkarten.

Ziel war die Erfassung potenzieller Speicherregionen für die Untergrundspeicherung von Gasen in salinaren Aquifere¹ nach bundesweit einheitlichen Kriterien. Unter einem Speicher-/Barrierekomplex wird eine lateral abgrenzbare Einheit innerhalb eines Sedimentationsraums verstanden, welche geologische Horizonte aufweist, die zur Speicherung bzw. Abdichtung geeignet sind. Vom Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9 (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau - RPF/LGRB) wurden als Zielhorizonte für Speicherkomplexe in Baden-Württemberg insbesondere erdöl- und erdgasführende Horizonte sowie tiefe saline Aquifere im Oberrheingraben und im Molassebecken untersucht (RPF/LGRB 2010).

Material und Methodik

Die systematische Erhebung und Abgrenzung von Regionen mit Speicher- bzw. Barriereeigenschaften durch die staatlichen geologischen Dienste erfolgte auf der Grundlage folgender bundesweit einheitlicher Bewertungskriterien (Reinhold & Müller 2011):

Speicherkomplexe

- Gesamtmächtigkeit der untersuchungswürdigen Speichergesteine (Nettomächtigkeit): größer als 10 m
- Tiefenlage: Top tiefer als 800 m unter Geländeoberkante (u. GOK)

Barrierekomplexe

- Mächtigkeit: größer als 20 m
- Tiefenlage: Basis tiefer als 800 m u. GOK

In einem ersten Arbeitsschritt erfolgte die Einengung der zu untersuchenden Gebiete in Baden-Württemberg anhand des Tiefenkriteriums. Hierzu wurden von der Geländeoberfläche (Digitales Höhenmodell) 800 Meter abgezogen und diese neu generierte Fläche mit der Kristalloberfläche verschnitten. Daraus resultierte die Verbreitung der Sedimente des Deckgebirges in der Tiefe von 800 m u. GOK. Die anschließende Sichtung vorhandener Bohrungen mit einer Endteufe über 500 m sowie der räumlichen Verteilung der industrieseismischen Messungen als die wesentlichen Datengrundlagen zeigte, dass die Beurteilung der geologischen Verhältnisse in den relevanten Tiefenbereichen nur für den Oberrheingraben und das Molassebecken (Anteil Baden-Württemberg) möglich ist (Abb. 1 und Abb. 2). Daraus resultierte die Begrenzung auf diese beiden Bearbeitungsgebiete.

Anschließend wurde die Schichtenfolge der beiden Gebiete hinsichtlich ihrer möglichen Eignung als Speicher- bzw. Barriere beurteilt. Speicher- bzw. Barrierekomplexe wurden als stratigraphische Einheiten definiert, die zur Speicherung bzw. Abdichtung geeignete geologische Horizonte enthalten. Als Speichergesteine kommen primär poröse Gesteine sowie sekundär geklüftete und/oder kavernöse Gesteine (Kluft-/Karstspeicher), als Barrieregesteine Tongesteinsfolgen und Salzgesteine mit einer geringen Gebirgsdurchlässigkeit in Frage. Für die so definierten Komplexe wurden Potenzialkarten im Maßstab 1:1.000.000 sowie detaillierte kartographische Darstellungen zur Verbreitung, Mächtigkeit und Tiefenlage potenziell geeigneter Speicher- und Barrierekomplexe im Maßstab 1:300.000 erarbeitet. Aufgrund der großen Mächtigkeit des Deckgebirges in den beiden untersuchten Sedimentbecken sowie des häufigen vertikalen lithologischen Wechsels in der Gesteinsabfolge ist die Anzahl potenzieller Speicher- und Barrierekomplexe groß (Tab. 1 und Tab. 2).

Die Erstellung der Potenzialkarten für Baden-Württemberg erfolgte schrittweise nach einer einheitlich

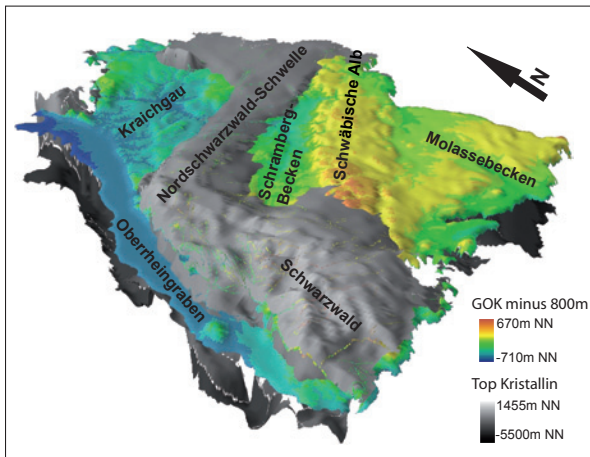


Abb. 1: Lage der Sedimentbecken Oberrheingraben und Molassebecken in Baden-Württemberg. Verschneidung der Kristallinoberfläche mit der um 800 m tiefer gelegten Geländeoberfläche (hellgrau: Verbreitung Kristallin in 800 m u GOK).

Fig. 1: Location of sediment basins: Molasse Basin and Upper Rhine Graben in Baden-Württemberg. Intersection of the basement surface with ground surface, reduced by 800 m (light grey: basement distribution in 800 m below ground level).

strukturierten Vorgehensweise. Dies gewährleistet die Nachvollziehbarkeit der Beurteilung der Speicher- bzw. Barriereigenschaften des Untergrundes. Die Grundlage der Bearbeitung bildeten bis auf wenige Ausnahmen bereits vorhandene flächenhaft vorliegende Informationen (Schichtlagerungs- und Isopachenpläne, GLA/BRGM 1979, GLA 1981, LBEG 2007). Zur Verdichtung der Datenbasis wurden bereichsweise Bohrungen ergänzend herangezogen. In den meisten Fällen lag für einen zu bearbeitenden Speicher- oder Barrierekomplex nur eine Schichtlagerungskarte (Top oder Basis) und/oder eine Mächtigkeitsverteilung (Isopachenkarte) vor. Zur Erarbeitung der weiteren thematischen Karten wurden Isolinien- und Isopachenpläne zu Grids interpoliert. So ließen sich durch GIS-Funktionen weitere Grenzflächen oder Mächtigkeiten berechnen. Durch Klassifizierung der Grids nach den Werten der Bewertungskriterien und anschließender Ableitung von Polygonen wurden die Bereiche mit Speicher- bzw. Barrierepotenzial abgegrenzt. Die Speicher- und Barrierekomplexe wurden hinsichtlich ihrer petrophysikalischen, geochemischen und mineralogischen Eigenschaften charakterisiert.

Die bundesweit einheitliche Vorgehensweise der Definition der Speicher- bzw. Barrierekomplexe als stratigraphische Einheiten hat zur Folge, dass aufgrund des lithologisch heterogenen vertikalen Aufbaus einiger stratigraphischer Einheiten einerseits und Faziesbedingter lateraler lithologischer Wechsel andererseits Speicherkomplexe auch gering durchlässige Schichten bzw. Barrierekomplexe auch durchlässige

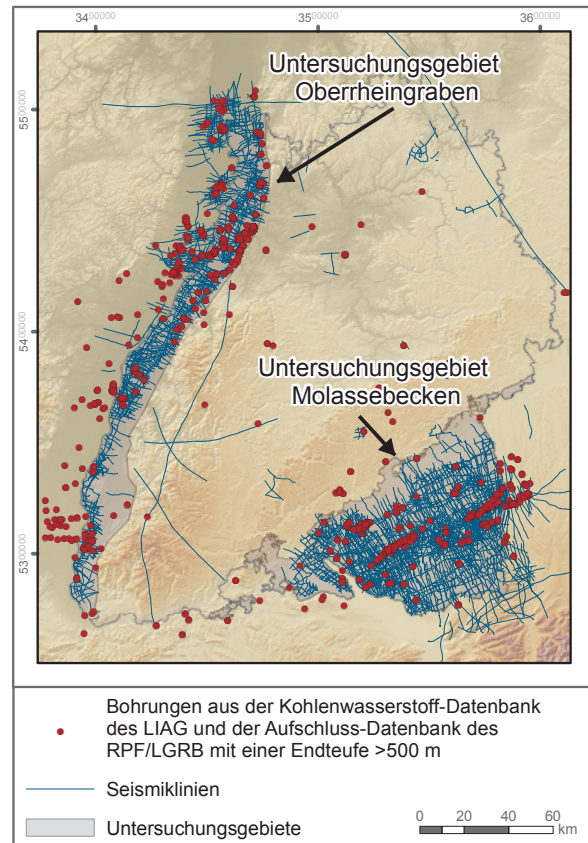


Abb. 2: Datengrundlage: Lage der Bohrungen mit einer Endteufe größer 500 m sowie Abgrenzung der Untersuchungsgebiete Molassebecken und Oberrheingraben (graue Flächen).

Fig. 2: Database: Borehole locations with final depth greater than 500 m and boundary of study areas Molasse Basin and Upper Rhine Graben (grey area in map).

Schichten beinhalten können. Da aufgrund der verfügbaren Datenlage zum Teil mehrere stratigraphische Einheiten zu einem Speicher- bzw. Barrierekomplex zusammengefasst werden mussten, treten derartige heterogene Ausgestaltungen in mehreren der ausgewiesenen Komplexe auf. Dies kommt auch darin zum Ausdruck, dass einige Komplexe sowohl als Speicher-, als auch als Barrierekomplex eingestuft wurden. Damit verbunden ist eine entsprechende Unschärfe bei der Abgrenzung der als Speicher- bzw. Barrierekomplex in Frage kommenden Flächen bzw. bei den komplexbezogenen Mächtigkeits- und Tiefenangaben.

Für eine detaillierte Kartierung von Verbreitung und Mächtigkeit der Speicher- bzw. Barrieregesteine innerhalb der Komplexe („Nettomächtigkeiten“) fehlte zum einen eine ausreichend verfügbare Datengrundlage, zum anderen war sie aus Zeitgründen nicht möglich. Die Nettomächtigkeiten der sandigen Horizonte wurden beispielhaft im Molassebecken für die Speicherkomplexe SK 5 (Eisensandstein-Fm.), SK 6.1 (Rhätkeuper-Fm.) und SK 6.2 (Stubensandstein-Fm.) ausgewertet. Die Datengrundlagen hierfür bilden zum

einen Karten der so genannten Alpenvorlandstudie (LBEG 2007) mit Angaben zur Nettomächtigkeit an den Bohrpunkten, zum anderen die Auswertung der analogen Bohrberichte der KW-Industrie im Bohrchiv des LGRB.

Isolinienpläne und Verbreitungskarten wurden entlang der Landesgrenzen mit den angrenzenden staatlichen geologischen Diensten abgeglichen und harmonisiert.

Ergebnisse

Da sich der Oberrheingraben und das Molassebecken in ihrer geologisch-tektonischen Entwicklung und lithologischen Ausbildung der Gesteinsabfolge deutlich voneinander unterscheiden, weist auch die Schichtenfolge hinsichtlich der Speicher- und Barriereigenschaften eine unterschiedliche Gliederung auf. Die Gebiete wurden deshalb getrennt bearbeitet.

Molassebecken (Teil Baden-Württemberg)

Das süddeutsche Molassebecken ist Teil der voralpinen Senke, die sich im Tertiär im Zuge der alpinen Orogenese entwickelte. Es enthält eine mächtige tertiäre Sedimentabfolge, die zwischen dem Unteren Oligozän und dem Oberen Miozän abgelagert wurde. Von Nordnordwest nach Südsüdost nimmt die Mächtigkeit der tertiären Beckenfüllung keilförmig zu und erreicht vor dem Alpennordrand mit ungefähr 5000 m ihren Höchstwert. Unter den tertiären Sedimenten folgen Schichten des Jura, Keuper und Muschelkalk. Sedimente der Kreide fehlen im baden-württembergischen Molassebecken. Der Buntsandstein ist nur im nördlichsten Bereich verbreitet. Sedimente des Rotliegend und Oberkarbon kommen nur in kleinen, überwiegend tektonisch begrenzten Teilbecken des Grundgebirges vor, wo hohe Mächtigkeiten erreicht werden können.

Von den ursprünglich zur Bearbeitung vorgesehenen 24 Speicher- und Barrierekomplexen konnten vier aufgrund fehlender oder unzureichender Datengrundlage nicht bearbeitet werden. Es handelt sich dabei um folgende Komplexe: Barrierekomplex BK 8: Lettenkeuper-Formation bis Unterer Mittelkeuper; Speicherkomplex SK 7: Kieselsandstein-Formation; Barrierekomplex BK 7: Obere Bunte Mergel-Formation und Barrierekomplex BK 4: Zementmergel-Formation. Die Wohlgeschichtete Kalk-Formation bis Liegende Bankkalk-Formation (Speicherkomplex SK 4) musste mit der Zementmergel-Formation (BK 4) und der Hangenden Bankkalk- und Zementstein-Formation (SK 3) zusammengefasst werden. Tab. 1 gibt einen Überblick über das Speicher- und Barrierepotenzial der bearbeiteten Speicher- und Barrierekomplexe.

Folgende Speicherkomplexe weisen potenzielle Speicherregionen mit größerem Speicherpotenzial auf (dunkelgrün in Tab. 1):

- Bausteinschichten (SK 2)

Die bis zu 170 m mächtigen Bausteinschichten im oberen Teil der tertiären Unteren Meeresmolasse wurden unter marinen Flachwasserbedingungen als tonig-kalkig gebundene Sandsteine, z. T. mit tonigen Lagen abgelagert. Verfestigung und Poren-Zementation nehmen als Folge der Druckeinwirkung zum Alpenrand hin zu und sind im Südosten des Bearbeitungsgebietes von Bedeutung. Die als Speicherhorizont wirksamen Bausteinschichten im engeren Sinne (oberer Profilabschnitt) werden bis zu 30 m mächtig. Dieser Wert kann in erster Näherung als die Nettomächtigkeit angesehen werden.

Die potenzielle Speicherregion der Bausteinschichten wird von den Cyrenenmergeln und der Unteren Süßwassermolasse als potenzielle Barrierezone (BK 2) überlagert. Über die flächenhaft wirksame, abdichtende Wirkung dieser 500 bis 2500 m mächtigen limnofluviatil bis fluvioterrestrisch abgelagerten Wechselfolge aus bunten Mergeln und Sandsteinen kann wegen ihrer lateralen Heterogenität keine allgemeingültige Aussage gemacht werden. Erdöl-Funde in den Bausteinschichten belegen eine zumindest regional abdichtende Funktion dieser Barrieregesteine.

- Eisensandstein-Formation (SK 5)

Die bis zu 50 m mächtige Eisensandstein-Formation des Unteren Mitteljura wurde unter vollmarin-subtidalen neritischen Bedingungen als vorherrschend sandflaserige und bioturbirte sandige Tonsteine abgelagert, in die tonige und teilweise kalkige Feinsandsteine eingeschaltet sind. Die Sandsteine und Eisenoolithe bilden mehrere Kilometer breite, flache Sandkörper, deren Längsachse etwa NE – SW, parallel zur damaligen, etwa 150 bis 200 Kilometer entfernten Küste orientiert ist. Die Eisensandstein-Formation ist mit Ausnahme eines ca. 10 bis 15 Kilometer breiten Streifens am Nordrand im gesamten Bearbeitungsgebiet in ausreichender Mächtigkeit und Tiefenlage ausgebildet. Die Gesamtmächtigkeit der Eisensandstein-Formation liegt zwischen 10 und 50 m. Die Nettomächtigkeit liegt nur an acht Bohrungen von insgesamt 64 ausgewerteten Bohrungen über 10 m, wobei sich keine größeren Bereiche erhöhter Mächtigkeiten abzeichnen. Der Mittelwert liegt bei 4,7 m.

Die potenzielle Speicherregion der Eisensandstein-Formation wird flächendeckend vom Oberen Mitteljura und dem unteren Oberjura (bj1 bis ox1) als potenzieller Barrierekomplex (BK 5) überlagert. Der bis zu 300 m mächtige Barrierekomplex besteht im mitteljurassischen Abschnitt (Wedelsandstein- bis Ornatenton-Formation) aus dunkelgrauen, oft sandigen Tonsteinen mit Sandstein-, Kalkstein- und Eisenoolithbänken, im unteren Oberjura (Impressamergel)

SK / BK	Stratigraphie	Potenzial vorhanden (Tiefe, Mächtigkeit)	Barriere vorhanden (Tiefe, Mächtigkeit)	Bohrungen im Potenzialbereich	Mächtigkeit/ Nettomächtigkeit	Lithologie / Bemerkung
BK 1	tOS	nur im Südosten und westlich bzw. nördlich von Konstanz	-	4	>1000 m	Sandsteine, Sandmergel, meist siltige Mergel und Tone / Interpolation in der Südost-Ecke (keine Bohrungen), Eignung als Barriere wegen inhomogener lithologischer Ausbildung unsicher
SK 1.1	tOS	nein	nein	0	-	
BK 2	tUC-tUS	Südlich der Linie Biberach - Überlingen	-	174	500-2500 m	Wechselfolge von Mergeln und Sandsteinen mit Gips und Anhydrit
SK 1.2	tUC-tOM	nur in der Südost-Ecke	ja (BK 1)	0	>2000 m	Wechselfolge aus Mergeln, mergeligen Feinsanden, mürben Fein- bis Grobsandsteinen (mit Gips und Anhydrit, tUS) / Interpolation in der Südost-Ecke
SK 2	BSS	vorhanden	ja	82	bis 170 m netto bis 30 m	tonig-kalkig gebundene Sandsteine, z. T. mit tonigen Lagen / nur im Südosten verbreitet
BK 3	Fl, TM	nur in der Südost-Ecke (geringe Verbreitung)	-	4 (außerhalb von BW)	<140 m (unsicher)	feingeschichtete siltige und sandige Mergel / unsicher (geringe Anzahl Bohrungen), geringe Verbreitung
SK 3	ox2-JZS	ja (außer nördlicher Streifen)	ja (BK 2)	130	<600 m	schwäbische Fazies: massige, z.T. gebankte Kalksteine und Dolomite helvetische Fazies: dunkle, mergelarme gebankte Kalke / Grundwasser gering mineralisiert
BK 5	bj1-ox1	Ja (außer nördlicher Streifen)	-	131	<300 m	Mergelsteinen mit dünnen Kalksteinbänken, gering geklüftet (ox1), Tone und Tonmergel mit Sandstein-, Kalkstein- und Eisenoolithbänken (Oberer Mitteljura)
SK 5	al2E	ja (außer nördl. Streifen)	ja (BK 5)	127	bis 50 m netto <15 m	feinsandige dunkle Tonsteine mit Feinsandsteinen
BK 6.1	ju-al1	ja (außer nördl. Streifen)	-	132	<200 m	Tonsteine mit Kalk- und Sandsteinbänken
SK 6.1	koR	nein	ja	33	<20 m netto <10 m	Sandsteine; z. T. sandige Tonsteine, selten Dolomitstein
BK 6.2	km5	ja (außer Streifen im N u. S)	-	120	<45 m	Karbonatische Tonsteine mit größerklastischen Einschaltungen
SK 6.2	km4	z. T. vorhanden	z. T. (BK 6.2)	81	bis 70 m netto <20 m	Sandsteine in Wechsellagerung mit Tonsteinen
SK 8	mo	ja	z. T. (BK 8)	77	bis 70 m	Kalkstein mit dünnen Ton- oder Mergelsteinlagen, Dolomitstein
BK 9	mm+ mu	ja	-	43	meist <100 m	mm: saline Evaporite, dolomitische Mergel, gelbliche Tone, Kalke mu: mittel- bis grobkörnige, leicht konglomeratische Arkosesandsteine / unsichere Datenlage
SK 9.1	mm+ mu	ja	ja	46	meist <75 m	
SK 9.2	s	z. T. (geringe Verbreitung)	ja	0	<20 m	feldspatführende Sandsteine / unsichere Datenlage (keine Bohrungen)
BK 10	rco	ja	-	4	<700 m	Fanglomerate, Arkosen, Tonsteine / unsichere Datenlage
SK 10	rco	ja	ja (BK10)	4	<700 m	

Tab. 1: Überblick über das Speicher- und Barrierepotenzial der im Molassebecken bearbeiteten Speicher- und Barrierekomplexe. Rot: kein Speicher-/Barrierepotenzial. Grün: Speicher-/Barrierepotenzial vermutet (hellgrün: erfüllt Mindestanforderungen, dunkelgrün: größeres Speicherpotenzial vermutet), grau: Barrierekomplexe, blauer Rahmen: Grundwasser gering mineralisiert. Erläuterung der stratigraphischen Kürzel siehe Anmerkungen am Textende.

Tab. 1: Overview of reservoir rock units and barrier rock units in the Molasse Basin (based on considered units). Red: no storage potential, green: storage potential/ cap rock potential assumed (light green: minimum requirement fulfilled, dark green: probably higher storage potential), grey: cap rocks, blue box: Groundwater with low mineralisation. Explanation of stratigraphic codes see annotations at the end of the text.

aus gebankten mergeligen Kalksteinen. Die Barrierehorizonte werden von den Tonen und Tonmergeln der oberen Mitteljura-Schichten gebildet.

- Stubensandstein-Formation (SK 6.2)

Die im Durchschnitt 10 bis 30 m mächtige, unter marinen bis terrestrisch-aquatischen Bedingungen abgelagerte Stubensandstein-Formation wird aus einer Wechsellagerung von tonigen Mittelsandsteinen mit Ton- und Sandsteinen aufgebaut. Die meist rinnen- und linsenförmigen Sandsteine sind Erdöl und Erdgas führend. Die Stubensandstein-Formation ist im gesamten Bearbeitungsgebiet verbreitet, aufgrund geringerer Mächtigkeiten im Westen und Südwesten liegt die potenzielle Speicherregion überwiegend im Osten des Bearbeitungsgebiets (Abb. 3). Die Gesamtmächtigkeit erreicht an der Grenze zu Bayern bei Ulm knapp 70 m. Es werden Nettomächtigkeiten von über 20 m erreicht, der Medianwert dagegen beträgt 5,9 m.

Die potenzielle Speicherregion der Stubensandstein-Formation wird bis auf den südlichsten Bereich von der potenziellen Barriereregion der Knollenmergel-Formation (BK 6.2) überlagert (Abb. 3). Sie besteht aus einformig ausgebildeten violettrotten karbonatischen Tonsteinen mit Einschaltungen von Sandstein, stellenweise konkretionärem Kalkstein und Kieselgestein und erreicht Mächtigkeiten bis 45 m. Nach Süden nimmt die Mächtigkeit ab. Dort ist die Knollenmergel-Formation als Barrierestein zu geringmächtig.

- Oberer Muschelkalk (Trigonodus-Dolomit) (SK 8)

Der bis zu 70 m mächtige, unter marinen Bedingungen abgelagerte Obere Muschelkalk besteht aus Kalkstein mit dünnen Tonstein- oder Mergelsteinlagen und Dolomitstein. Als Aquifer und Kohlenwasserstoffspeicher fungiert insbesondere der Trigonodusdolomit, ein geklüfteter, kavernöser Dolomitstein, dessen Anteil am Profil des Oberen Muschelkalks von ca. 25 % im

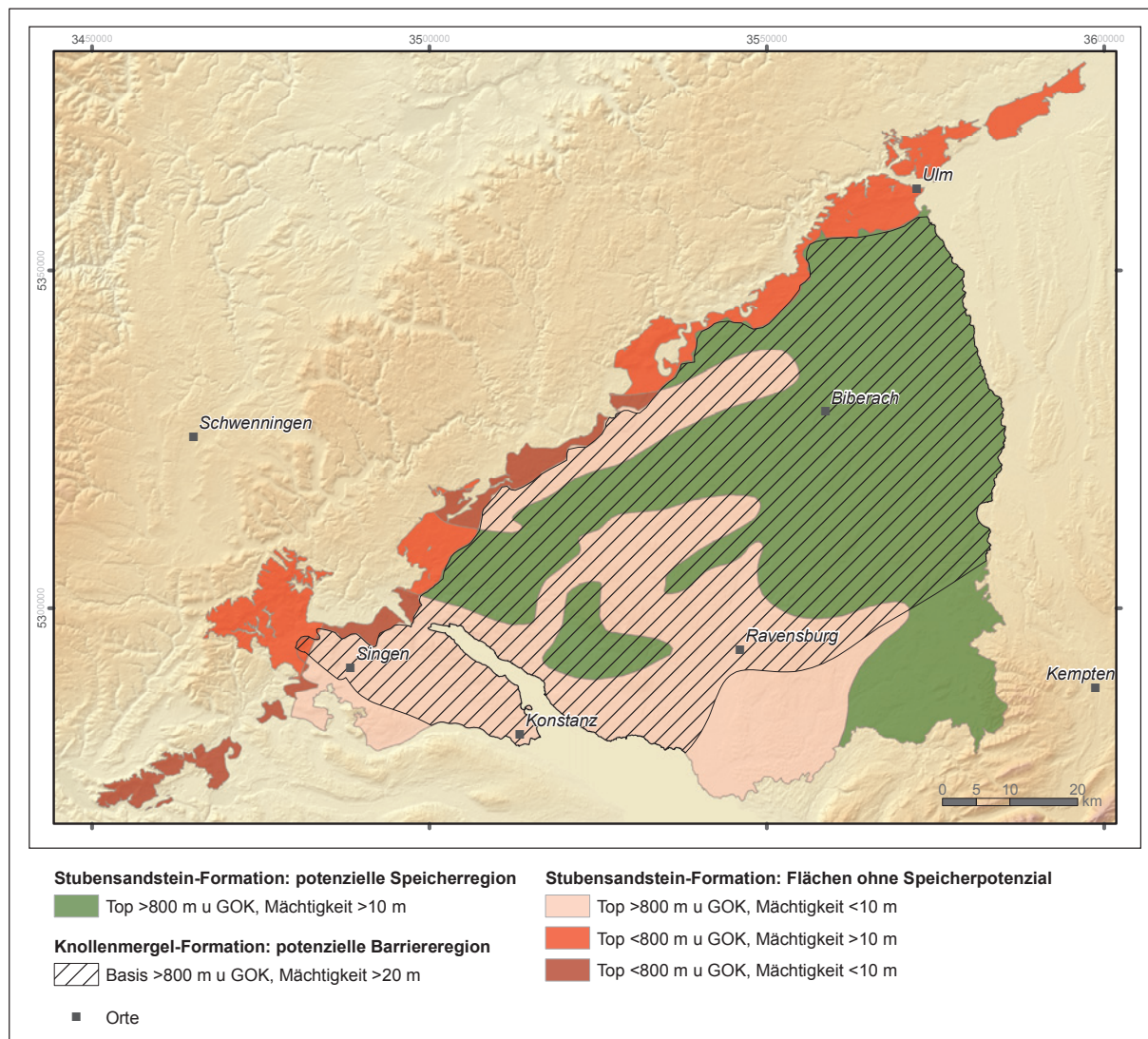


Abb. 3: Potenzielle Speicherregion in der Stubensandstein-Formation und potenzielle Barriereregion (Knollenmergel-Formation).
Fig. 3: Potential storage areas in the Stubensandstein-Formation (Upper Triassic) (green) and potential locations of impermeable cap rock (hachures) (Knollenmergel-Formation, Upper Triassic), red: no storage potential.

Norden und Westen der Region auf nahezu 100 % im Südosten zunimmt. Die effektive Mächtigkeit beträgt etwa 30 m.

Der Trigonodus-Dolomit wird von der Gipskeuper-Formation als Barrierekomplex (BK 8) überlagert. Aufgrund fehlender Datengrundlage können keine Aussagen zu dessen Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit gemacht werden.

Weitere, weniger bedeutende potenzielle Speicherregionen sind im Oberjura, im Unteren Muschelkalk sowie lokal im Buntsandstein und im Rotliegend-/Oberkarbon vorhanden.

Der Speicherkomplex Oberjura (ox2 bis Top Oberjura; Wohlgeschichtete Kalk-Fm. bis Zementmergel-Fm.) (SK 3) erfüllt zwar die Kriterien Mindestmächtigkeit und Tiefenlage, das Grundwasser in dem hoch durchlässigen Karst-/Kluftgrundwasserleiter ist jedoch gering mineralisiert, so dass der Komplex für eine Nutzung zu Speichierzwecken definitionsgemäß ausscheidet. Das Grundwasser wird im Molassebecken im Verbreitungsgebiet der hoch durchlässigen Schwäbischen Fazies als Thermalwasser genutzt.

Im Speicherkomplex Mittlerer und Unterer Muschelkalk (SK 9.1) bildet der Untere Muschelkalk den Speicher, der Mittlere Muschelkalk die Barriere. Da die verwendeten Kartengrundlagen eine Untergliederung in Unteren und Mittleren Muschelkalk nicht zuließen, wurden sie in eine Einheit zusammengefasst. Aufgrund der schlechten Datenlage sind die Angaben zur Verbreitung, Tiefenlage und Mächtigkeit sehr unsicher.

Der Buntsandstein (SK 9.2) verfügt aufgrund seiner geringen Verbreitung und Mächtigkeit im Untersuchungsgebiet lediglich in einem kleinen Teilgebiet am Nordwestrand über Speicherpotenzial. Aufgrund der geringen Größe der inselartigen Vorkommen kommen die für den Buntsandstein abgegrenzten Flächen als Speicherregionen nicht in Frage.

Das Rotliegend und Oberkarbon (SK 10, BK 10) wurde in einer Bohrung (Dingelsdorf 1) mit hoher Mächtigkeit angetroffen. Aufgrund der wenigen Bohrungen, die das Rotliegend und Oberkarbon erreichen bzw. durchteufen, sind die Angaben zur Verbreitung und Mächtigkeitsverteilung unsicher. Am ehesten ist in der östlichen Fortsetzung des Nordschweizer Permokarbon-Beckens Speicherpotenzial zu erwarten.

Oberrheingraben (Teil Baden-Württemberg)

Der ca. 40 Kilometer breite und 400 Kilometer lange Oberrheingraben bildet den zentralen Teil der Mittelmeer-Mjösen-Zone, einer Großstruktur, die aus mehreren Gräben besteht (u.a. Niederrheinische Bucht, hessisches Grabensystem, Oberrheingraben, Bressegraben, Rhonegraben) und sich über eine Länge

von ca. 1100 Kilometern von der Nordsee bis zum Mittelmeer erstreckt. Dieses „Europäische kanozoische Rift-System“ („ECRIS“, Ziegler 1992, Dèzes et al. 2004) steht in enger Beziehung zur Kollision zwischen der Europäischen und der Afrikanischen Platte und entwickelte sich entlang alter Strukturen, die bereits im variskischen Unterbau Mitteleuropas angelegt waren (Hüttner 1991, Schuhmacher 2002).

Von den ursprünglich zur Bearbeitung vorgesehenen 16 Speicher- und Barrierekomplexen konnten vier aufgrund fehlender oder unzureichender Datengrundlage nicht bearbeitet werden (vgl. Tab. 2). Es handelt sich dabei um folgende Komplexe: Barrierekomplex BK5 oberer Abschnitt: Murchisonae-Oolith-Formation und Wedelsandstein-Formation; Barrierekomplex BK 5 unterer Abschnitt: Bunte Mergel-Formation bis Unterjura; Speicherkomplex SK 5: Schilfsandstein-Formation; Barrierekomplex BK 6: Gipskeuper-Formation. Tab. 2 gibt einen Überblick über das Speicher- und Barrierepotenzial der bearbeiteten Speicher- und Barrierekomplexe.

Die Speicher- und Barrierekomplexe liegen im Grabeninnern im Allgemeinen tief genug unter der Geländeoberfläche um das Kriterium „Tiefenlage“ zu erfüllen. Im Bereich der Karlsruher Schwelle wird das Kristallin bereits in Tiefen um die 1000 m u. GOK angetroffen. Dort liegen die Sedimente der Niederrödern-Formation und der Grauen Mergel-Formation in zu geringer Tiefe. Die tertiären Speicher- und Barrierekomplexe konnten aufgrund der Datenlage nur im nördlichen Teil des untersuchten Gebiets bearbeitet werden. Angaben zu den stratigraphisch älteren Speicher- und Barrierekomplexen Muschelkalk, Buntsandstein und Rotliegend sind aufgrund der schlechten Datengrundlage sehr unsicher.

Folgende Speicherkomplexe weisen regional potenziell größeres Speicherpotenzial auf (dunkelgrün in Tab. 2):

Tertiäre Schichten: Aufgrund der Datenlage konnten die tertiären Schichten nur für den Bereich nördlich von Karlsruhe bearbeitet werden. Der geologische Kenntnisstand für den Raum südlich von Karlsruhe lässt auch für dieses Gebiet Speicherpotenziale im Tertiär vermuten, die verfügbare Datengrundlage ist jedoch für die regionale Erfassung unzureichend. Für die bearbeiteten tertiären Speicherkomplexe konnten, abgesehen von einem kleinen Bereich bei Karlsruhe, potenzielle Speicherregionen bestimmt werden. Die jeweilige Barriere wird von geringdurchlässigen Horizonten innerhalb der tertiären Komplexe gebildet.

- Niederrödern-Formation (SK 1 / BK 1)

Die bis zu 1300 m mächtige, unter überwiegend limnischen Bedingungen mit kurzzeitigen marinen Einflüssen abgelagerte Niederrödern-Formation setzt sich aus

SK/ BK	Strati- graphie	Potenzial vorhanden (Tiefe, Mächtigkeit)	Barriere vorhanden (Tiefe, Mächtigkeit)	Bohrungen im Potenzial- bereich	Mächtigkeit/ Nettomächtig- keit	Lithologie / Bemerkung
BK 1	tNS	ja, außer Raum Karlsruhe	-	48	150-400 m	Tonmergel, Kalkmergel, Dolomitsteine, Kalksteine und Sandsteine, Anhydrit führende, bisweilen dolomitische Tonmergel / Datengrundlage erlaubte Bearbeitung nur nördlich von Karlsruhe
SK 1	tNS	ja, außer Raum Karlsruhe	unklar (BK 1)	36	150-400 m netto <30 m	
BK 2	tGS	ja, außer Raum Karlsruhe	-	54	CY: 100-250 m ME: 100-400 m FF: 10-40 m FS: 10-40 m	graue bis dunkelgraue Tonmergelsteine mit eingeschalteten Sandsteinlagen / Datengrundlage erlaubte Bearbeitung nur nördlich von Karlsruhe
SK 2	tGS	ja, außer Raum Karlsruhe	ja (BK 2)	47	bis 500 m Sandsteinlagen: in CY: 2-10 m in ME: 1-23 m	
BK 3	tPE, tLM	ja	-	58	tPE: 600-800 m tLM: <500 m	Tonmergelsteine mit sandigen Einschaltungen, Dolomit-/Anhydrit-Bänken und Steinsalzlagen / Datengrundlage erlaubte Bearbeitung nur nördlich von Karlsruhe
SK 3	tPE, tLM	ja	ja (BK 3)	51	tPE: 600-800 m netto <5 m tLM: <500 m	
SK 4	bjHR	nur kleinräumig: westl. Offenburg und westl. Freiburg	unklar (BK 4, Ornatenton-Fm, nicht bear- beitet, da unzureichende Datengrundlage)	6	nördl.: 10-50 m südl.: 40-80 m	Kalksteine, Kalkmergelsteine, und Kalkoolithe, nach Norden in Tonmergel- bis Mergelstein übergehend/ nur südlich von Rheinau verbreitet
BK 5.1	a11	unklar, z. T. zu flach	-	52	k. A.	schwach feinsandige Tonsteine / keine Datengrundlage für Mächtigkeitsangaben
SK 6	m	z. T. vorhanden	unsicher für mu: evtl. mm für mo: z. T. BK 5.1	8	160-210 m	Kalksteine, Tonsteine, Sulfatgesteine und Dolomit- steine / unsichere Datenlage
BK 7	m	z. T. vorhanden	-	8	160-210 m	überwiegend Sandsteine / unsichere Datenlage
SK 7	s	ja	ja (BK 7)	5	<500 m	Konglomerate, Arkosen, Fanglomerate und Tonsteine / unsichere Datenlage
SK 8	rco	ja	ja (BK 7)	7	bis >1000 m	

Tab. 2: Überblick über das Speicher- und Barrierepotenzial im Oberrhineingraben. Rot: kein Speicher-/Barrierepotenzial. Grün: Speicher-/Barrierepotenzial vermutet (hellgrün: erfüllt Mindestanforderungen, dunkelgrün: größeres Speicherpotenzial vermutet), grau: Barrierekomplexe. Erläuterung der stratigraphischen Kürzel siehe Anmerkungen am Textende.

Tab. 2: Overview of the potential of storage reservoirs and cap rocks in the Upper Rhine Graben. Red: no storage potential, green: storage potential, light green: minimum requirement fulfilled, dark green: probably higher storage potential, grey: cap rocks. Explanation of stratigraphic codes see annotations at the end of the text.

Tonmergeln, Kalkmergeln, Dolomitstein, Kalksteinen und Sandsteinen zusammen. Sandsteinlagen in den Bunten Niederröderner Schichten, die eine effektive Mächtigkeit von 30 m erreichen können, bilden Speicherhorizonte. Als Barriere wirken gelegentlich Anhydrit führende, bisweilen dolomitische Tonmergel.

- Graue Mergel-Formation (SK 2 / BK 2)

Die unter brackisch-limnischen Bedingungen abgelagerte Graue Mergel-Formation ist eine eintönige Abfolge von grauen bis dunkelgrauen Tonmergelsteinen mit eingeschalteten Sandsteinlagen. Sie erreichen eine effektive Mächtigkeit von 2 bis 10 m (Cyrenenmergel) bzw. von 1,4 bis 23 m (Melettaschichten). Nur in den geringmächtigen dunkelgrauen Fischechiefern treten keine Sandlagen auf. Als Barriere wirken überwiegend die Tonmergelsteine der Cyrenenmergel und Melettaschichten.

- Pechelbronn- und Lymnäenmergel-Formation (SK 3 / BK 3)

Die unter brackisch-marinen bis limnisch-salinaren Bedingungen abgelagerte Pechelbronn- und Lymnäenmergel-Formation besteht aus Tonmergelsteinen mit sandigen Einschaltungen, Dolomit-, Anhydrit-Bänken und insbesondere im Süden Steinsalzlagen. Sie erreicht Mächtigkeiten bis 1300 m. Die effektiven Mächtigkeiten der als Speicher wirkenden Sandlagen in der Pechelbronn-Formation liegen bei 1 bis 5,2 m. Aufgrund der geringen Nettomächtigkeit der Sandlagen ist in der Pechelbronn-Formation von einem geringen Speicherpotenzial auszugehen. Als Barriere wirken die Tonmergelsteine mit Anhydrit- und Steinsalzlagen.

- Muschelkalk (SK 6 / BK 7)

Der Muschelkalk erreicht im Oberrheingraben Mächtigkeiten von 160 m bis 210 m. Die marin-salinare Abfolge besteht aus Kalksteinen, Tonsteinen, Sulfatgesteinen und Dolomitsteinen. Als Speichergestein wirken hauptsächlich der Obere Muschelkalk und die Obere Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks. Der kavernöse dolomitische Zellenkalk des Trigonodus-Dolomit (Rottweil-Formation) im Dach des Oberen Muschelkalks bildet den bedeutendsten Speicherhorizont. Die ursprünglich 50 m mächtige, aus Gips, Anhydrit und Salz bestehende Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks ist heute großenteils ausgelaugt und besteht überwiegend aus Tonsteinen und Sulfatgestein. Sie bildet ein Barrieregestein. Der Grundwasser führende, aus Kalksteinen, Dolomitsteinen und Tonsteinen aufgebaute Untere Muschelkalk hat Speichereigenschaften, die deutlich weniger ausgeprägt sind als im Oberen Muschelkalk. Der Speicher-/Barrierekomplex Muschelkalk ist mit Ausnahme eines sich nach Süden bis in die Freiburger Bucht allmählich verbreiternden Streifens entlang der Grabenrandverwerfung und klei-

nerer Bereiche entlang des Rheins zwischen Offenburg und Freiburg im gesamten Verbreitungsgebiet als Speicherregion ausgebildet.

Die potenzielle Barriere für den (Oberen) Muschelkalk wird von Keuper-Schichten (Gipskeuper-Formation) gebildet (BK 6). Dieser Barrierekomplex konnte aufgrund fehlender Datengrundlage nicht bearbeitet werden.

- Buntsandstein (SK 7)

Die bis zu 500 m mächtigen überwiegend unter festländischen fluviatilen Bedingungen entstandenen Sedimente des Buntsandsteins bestehen fast ausschließlich aus klastischen Sedimenten, unter denen die Sandsteine überwiegen. Sie sind im gesamten Oberrheingraben verbreitet, schwanken jedoch in der Mächtigkeit von 150 m bis über 450 m in Abhängigkeit der Gliederung in Schwellen und Senken. Die Datengrundlage ist aufgrund der geringen Anzahl von neun Bohrungen, die den Buntsandstein durchteuften, sehr unsicher.

Der Speicherkomplex Buntsandstein ist mit Ausnahme eines sich nach Süden bis in die Freiburger Bucht allmählich verbreiternden Streifens entlang der Grabenrandverwerfung und eines kleineren Bereichs entlang des Rheins südwestlich von Offenburg im gesamten Verbreitungsgebiet als Speicherregion mit Speicherpotenzial ausgebildet (vgl. Abbildung 4).

Die Rötton-Formation im Oberen Buntsandstein weist in toniger Ausbildung zu geringe Mächtigkeiten auf und erfüllt daher nicht die projektspezifischen Kriterien als Barrierehorizont. Somit wird der Speicherkomplex Buntsandstein direkt von dem ebenfalls überwiegend als Speicherkomplex wirkenden Unteren Muschelkalk überlagert.

Die potenzielle Barriere wird vom (Mittleren) Muschelkalk (BK 7) gebildet. Auch hier ist die Datenlage unsicher.

- Rotliegend und Oberkarbon (SK 8)

Die im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets bis knapp 1000 m mächtigen terrestrischen Sedimente des Rotliegend und des Oberkarbon bestehen aus Konglomeraten, Arkosen, Fanglomeraten und Tonsteinen. Sie sind in weiten Teilen des Oberrheingrabens verbreitet, unterbrochen von den Ausfällen an der Odenwald-Spessart-, der Nordschwarzwald- und der Zentralschwarzwald-Schwelle. Die Verbreitung ist u. a. an der Grenze zu Hessen aufgrund fehlender Bohrungen in diesem Gebiet sehr unsicher.

Die potenzielle Speicherregion deckt sich bis auf schmale Bereiche entlang der östlichen Hauptgrabenrandverwerfung mit der Verbreitung des Speicherkomplexes. Die Datenlage ist aufgrund der geringen Anzahl Bohrungen, die die Schichten durchteuften (6 Bohrungen im Grabeninnern) generell sehr unsicher.

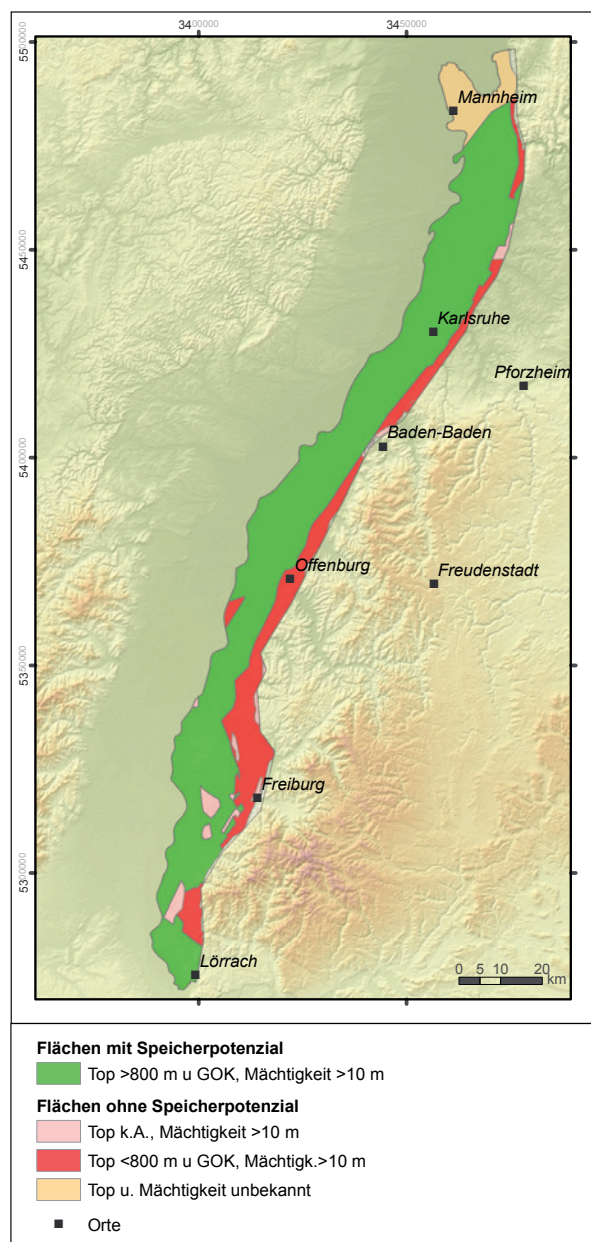


Abb. 4: Potenzielle Speicherregion im Buntsandstein (Oberrheingraben).

Fig. 4: Potential storage areas in the Buntsandstein in the Upper Rhine Graben (green), red: no storage potential, orange: unknown storage potential.

Der Speicherkomplex Rotliegend und Oberkarbon wird von den Speicherkomplexen Buntsandstein (SK7) und Muschelkalk (SK 6) überlagert. Den gemeinsamen Barrierekomplex bildet der (Mittlere) Muschelkalk (BK 7). Er fehlt lediglich in kleinen Bereichen am östlichen Grabenrand.

Weniger bedeutende potenzielle Speicherregionen sind in der Haupttrogenstein-Formation (SK 4) vorhanden. Die bis zu 80 m mächtige, unter marinen Bedingungen abgelagerte Haupttrogenstein-Formation ist als poten-

zielles Speichergestein nur im südlichen Oberrheingraben vertreten und setzt sich aus Kalksteinen, Kalkoolithen und Kalkmergelsteinen zusammen. Große Bereiche des Verbreitungsgebietes weisen wegen zu geringer Tiefenlage kein Speicherpotenzial auf, nur westlich von Freiburg und westlich von Offenburg befinden sich kleinere potenzielle Speicherregionen. Im Raum Offenburg geht die Haupttrogenstein-Formation nach Norden in eine von Tonmergeln und Mergelsteinen dominierte Fazies über. Damit ist eine Verringerung des Speicherpotenzials zu erwarten. Aufgrund der geringen Größe der regional begrenzten Vorkommen kommen die für den Haupttrogenstein abgegrenzten Flächen als Speicherregionen vermutlich nicht in Frage. Die potenziellen Speicherregionen der Haupttrogenstein-Formation werden vom Barrierekomplex der aus dunklen Tonmergelsteinen mit wenigen eisenoolithischen Kalksteinbänken bestehenden Ornatenton-Formation (BK 4) überlagert. Er konnte aufgrund fehlender Datengrundlagen jedoch nicht bearbeitet werden.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die angewandte Kartiermethodik sowie die ausgewerteten Datengrundlagen erlauben eine erste übersichtsmäßige Darstellung des Speicher- und Barrierepotenzials der Gesteine im Untergrund der beiden Teilgebiete Oberrheingraben und Molassebecken. Das Ergebnis sind kleinmaßstäbliche Übersichtskarten von Regionen, in denen die Komplexe nach derzeitigem Kenntnisstand die Vorgaben hinsichtlich lithologischer Ausprägung, Tiefenlage und Mächtigkeit prinzipiell erfüllen und die für weitere Betrachtungen in Frage kommen. Differenziertere Aussagen zur vertikalen und lateralen lithologischen Ausbildung der Komplexe, zur Verbreitung und Nettomächtigkeit der Speicher- und Barrieregesteine, zur abdichtenden Wirkung der Barrieregesteine sowie zur Identifikation geeigneter Speicherstrukturen sind nur auf der Grundlage weiterführender Untersuchungen möglich. Hierfür bildet im Teilgebiet Oberrheingraben die länderübergreifende und harmonisierte Überarbeitung der Tiefengeologie und die Erstellung eines 3D-Untergrundmodells die Grundlage. Es wird derzeit im Rahmen des Interreg-Projektes „Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben – GeORG“ durch französische, schweizer und deutsche Partner unter Federführung des Regierungspräsidiums Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau erstellt.

Die Speicher- und Barrieregesteine unterscheiden sich aufgrund ihrer Genese in der räumlichen Kontinuität. Fluvial abgelagerte Gesteine wie z.B. die Sedimente der tertiären Unteren Süßwassermolasse sind durch einen horizontal und vertikal kleinräumigen Wechsel von rinnen- bzw. linsenförmigen Sandlagen und to-

nigen Zwischenlagen gekennzeichnet. Dies erschwert die Prognostizierbarkeit der lithologischen Verhältnisse, die nur mit einem verhältnismäßig hohen Untersuchungsaufwand erkundet werden können. Dagegen ist die Prognostizierbarkeit der lithologischen Ausbildung marin abgelagerter Einheiten besser.

Eine weitere Ungenauigkeit liegt in der verfügbaren Datengrundlage und in der Kartiermethodik begründet. Die Bearbeitung der Geometrien und Eigenschaften der Speicher- und Barrierekomplexe stützt sich projektspezifisch im Wesentlichen auf vorhandene Kartenwerke, die bereichsweise erforderlichenfalls durch Informationen aus Bohrungen ergänzt wurden. Bei den Grundlagen, die für die Bearbeitungsgebiete möglichst flächendeckend vorhanden sein sollten, handelte es sich vielfach um Übersichtsdarstellungen. Da nicht alle erforderlichen Grenzflächen vorlagen, mussten zahlreiche Tiefenlinienpläne bzw. Mächtigkeitskarten über GIS-Funktionen durch Ableitung aus dem vorhandenen Bestand erzeugt werden. Bei dieser Vorgehensweise besteht die Möglichkeit, dass Ungenauigkeiten aus den zugrunde gelegten Karten in die abgeleiteten Karten übertragen werden.

Aufgrund der Datenlage und des vorgegebenen Zielmaßstabs konnte die geologisch-tektonische Komplexität der Teilgebiete keine adäquate Berücksichtigung finden. Dies kommt z.B. im Molassebecken darin zum Ausdruck, dass zum Teil auf Schichtlagerungskarten zurückgegriffen werden musste, die ohne Berücksichtigung von Störungen erstellt wurden. Bei der Abgrenzung der Speicher- und Barriereeregionen spielen die Störungen und ihre Versatzbeträge jedoch in den Bearbeitungsmaßstäben für die abschließenden Aussagen keine Rolle. Der Übersichtscharakter der Bearbeitung gilt insbesondere auch für den durch einen komplexen Bruchschollenbau gekennzeichneten Oberrheingraben. Dort sind in den zugrunde gelegten Karten nur die größeren Störungen dargestellt.

Eine Abgrenzung von Speicherstrukturen ist deshalb auf der Grundlage der erarbeiteten Karten nicht möglich. Die bekannten Kohlenwasserstoffvorkommen in beiden Becken sind immer an tektonische Fallen gebunden, entweder an Störungen oder an Antiklinalstrukturen. Über die abdichtende Funktion der Störungen können keine generellen Aussagen gemacht werden. Hinweise auf Wegsamkeiten entlang von Störungen im Molassebecken geben erhöhte Bodengaswerte, die entlang der Hauptverwerfung der Pfullendorf-Struktur gemessen wurden (Kronmüller 1987, Blank 1980). Im Oberrheingraben war die abdichtende Wirkung an Störungen oft zu gering, so dass nur geringe Kohlenwasserstoffmengen in den als Fallen wirkenden Strukturen verblieben. Die häufigen Funde von kleinen Mengen von Kohlenwasserstoffen in Bohrkernen im Muschelkalk der Vorbergzone und in

den vulkanischen Gesteinen des Kaiserstuhls sind ein Beleg für Durchlässigkeiten entlang von Störungen in den tektonisch stark beanspruchten Gesteinen (RPF/LGRB 2006). Auch bei verbesserter Datengrundlage bleiben Unsicherheiten bei der Prognose von Speicherstrukturen und der Abschätzung des verfügbaren Speichervolumens. Sie schlagen sich wiederum in der Prognose von Auswirkungen etwaiger Injektionen nieder. Eine Quantifizierung der Speicherkapazitäten, wie sie für den Oberrheingraben und das südwestdeutsche Molassebecken von May & Turkovic (2003) sowie von Knopf et al. (2010) durchgeführt wurde, kann daher nur als grobe Abschätzung gesehen werden.

Konkurrierende Nutzungen

Neben dem Norddeutschen Becken gehören der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken im Hinblick auf hydrogeothermale Nutzungen zu den wichtigsten Regionen in Deutschland (RPF/LGRB 2008). Im Oberrheingraben wird geothermisches Potenzial zur Wärme- und Stromgewinnung im Oberen Muschelkalk und im Buntsandstein gesehen. Im Süden kommen der Haupttrogenstein, im Norden sandige Einschaltungen im Tertiär hinzu (GLA/BRGM 1979, GLA 1981, fesa 2005). Im baden-württembergischen Teil des Molassebeckens kommen der Oberjura sowie der Muschelkalk als geothermische Nutzhorizonte in Frage (Bertleff et al. 1988). Derzeit erfolgt eine Nutzung der tiefen Geothermie im Oberrheingraben in Bruchsal aus dem Mittleren Buntsandstein und dem Perm.

Für die balneologische Thermalwassernutzung und zur Mineralwassererschließung im Oberrheingraben ist der Obere Muschelkalk der wichtigste Grundwasserleiter. Im Molassebecken sind dies der Oberjura und die tertiäre Obere Meeresmolasse (GLA/BRGM 1979, GLA 1981, RPF/LGRB 2008). Daneben können im Oberrheingraben der Buntsandstein und der Haupttrogenstein (Südteil) sowie sandige Einschaltungen im Tertiär (Nordteil) entsprechende Grundwässer führen.

Erdöl- bzw. Erdgasgewinnung erfolgen im baden-württembergischen Teil des Oberrheingrabens und Molassebeckens derzeit nicht. Nach der intensiven Explorationstätigkeit im Oberrheingraben im Wesentlichen im Zeitraum von 1950 bis 1992 lebten seit 2003 die Aufsuchungsbemühungen - oft in Kombination mit Sole und Erdwärme - wieder auf. So wird seit dem Jahr 2006 in der Region zwischen Ichenheim und Goldscheuer westlich von Offenburg ein fast 60 km² großes Gebiet intensiv untersucht (RPF/LGRB 2006).

Erdgasspeicherung wird im Molassebecken im Feld Fronhofen (Speichergestein: Trigonodus-Dolomit, Oberer Muschelkalk), im Oberrheingraben bei Sandhausen (Speichergestein: Basissande des Jungtertiär I, Obermiozän) betrieben.

Danksagung

Die Autoren danken dem Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. (WEG) für die Bereitstellung von Daten aus der Kohlenwasserstoff-Exploration. Diese Arbeiten wurden gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327765. Wir danken Frau Dr. F. Schäfer und den Herren K. Reinhold und Dr. C. Müller für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Schriftenverzeichnis

- Bertleff, B., Joachim, H., Kozirowski, G., Leiber, J., Ohmert, W., Prestel, R., Stober, I., Strayle, G., Villinger, E. & Werner, J. (1988): Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 30, 27-116; Freiburg.
- Blank, A. (1980): Bodengasuntersuchungen im Bereich der Erdölstruktur Schwabmünchen (Reg.-Bez. Schwaben). – Dipl.-Arb. Uni. Tübingen, 47 S.; Tübingen [unveröff.].
- Dèzes, P., Schmidt, S.M. & Ziegler, P.A. (2004): Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. – *Tectonophysics*, 389, 1-33; Amsterdam.
- fesa e.V., Solar Info Center (Hrsg.) (2005): Geothermie am Oberrhein, Leitfaden und Marktführer für eine zukunftsfähige Energieform. – 72 S.; Freiburg.
- GLA/BRGM (1979): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg / Bureau de Recherches Géologiques et Minières [Hrsg.]: Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens / synthèse géothermique du Fossé Rhénan Supérieur [Bearbeiter: Tietze, R., Neeb, I., Walgenwitz, F. & Maget, P.]. – Commission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy, 100 S.; Freiburg i. Br. & Strasbourg (GLA Baden-Württemberg und Service Géologique Regional Alsace).
- GLA (1981): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg [Hrsg.]: Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Mannheim, Anteil Baden-Württemberg [Bearbeiter: Nägele, R. & Tietze, R.]. – Commission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy, 72 S.; Freiburg i. Br. (GLA Baden-Württemberg).
- Hüttner, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Ein Überblick mit historischer Rückschau. – *Geol. Jb.*, E 48: 17-42; Hannover.
- Knopf, S., May, F., Müller, Ch. & Gerling, J.P. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO₂-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. – *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 60, Jg. Heft 4, 76-80; Essen.
- Kronmüller, K. (1987): Sedimentologie der Bausteinschichten und der Unteren Cyrenenschichten im westlichen Molassebecken Süddeutschlands (Oberoligozän). – *Clausth. Geowiss. Diss.*, 25: 177 S.; Clausthal-Zellerfeld.
- LBEG (2007): Bei der Erforschung der Kohlenwasserstoff-Potenziale Süddeutschlands gewonnene Erkenntnisse über den tieferen Untergrund. Eine erdölgeologische Spurensicherung. Teil 1: Alpen und Alpenvorland. – Ber. LBEG; Hannover [unveröff.].
- May, F. & Turkovic, R. (2003): Minderung von Treibhausgas-Emissionen durch CO₂-Speicherung in tiefen Aquiferen. – *Z. Angew. Geol.*, 1/2003: 65-72; Hannover.
- 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. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, Heft 74: 9-27; Hannover.
- RPF/LGRB - Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2006): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006. (Bearbeiter: Werner, W., Kimmig, B., Liedtke, M., Kesten, D., Kleinschnitz, M., Brasse, A. & Trapp, C.). – LGRB-Informationen, 18: 202 S.; Freiburg i. Br.
- RPF/LGRB - Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2008): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg (Bearbeiter: Plum, H., Ondreka, J. & Armbruster, V.). – LGRB-Informationen, 20: 106 S.; Freiburg i. Br.
- RPF/LGRB - Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2010): Endbericht Projekt Speicher-Kataster (Bearbeiter: Wirsing, G., Fehn, C. & Engesser, W.). – Unveröffentlichter Bericht, 118 S.; Freiburg i. Br.
- Schuhmacher, M. E. (2002): Upper Rhine Graben: Role of preexisting structures during rift evolution. – *Tectonics*, vol. 21, 1: 6-13; Amsterdam.
- Ziegler, P. A. (1992): European Cenozoic rift system. – *Tectonophysics*, 208: 91-111; Amsterdam.

Anmerkungen/Annotations

Erläuterung Stratigraphiekürzel Tabelle 1 / annotation stratigraphic code table 1: tOS: Oberer Süßwassermolasse, tBM: Brackwassermolasse, tUS: Untere Süßwassermolasse, tUC: Untere Cyrenenschichten; BSS: Bausteinschichten, FI: Fischschiefer, TM: Tonmergelschichten, jZS: Zementstein-Fm., ox2: Wohlgeschichtete Kalk-Fm., ox1: Impressamergel-Fm., bj1: Wedelsandstein-Fm., al2: Eisensandstein-Fm., all: Opalinuston-Fm., koR: Rhätkeuper-Fm., km5: Knollenmergel-Fm., km4: Stubensandstein-Fm., mo: Oberer Muschelkalk, mm: Mittlerer Muschelkalk, mu: Unterer Muschelkalk, s: Buntsandstein, rco: Rotliegend und Oberkarbon.

Erläuterung Stratigraphiekürzel Tabelle 2 / annotation stratigraphic code table 2: tNS: Niederröden-Fm., tGS: Graue Mergel-Fm., tPE/tLM: Pechelbronn- und Lymnänenmergel-Fm., bjHR: Hauptrogenstein-Fm., all: Opalinuston-Fm., m: Muschelkalk, s: Buntsandstein, rco: Rotliegend und Oberkarbon).

Anmerkung

¹ Salinärer Aquifer: Synonym für „salzwasserführender Aquifer“