

# CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale in Rheinland-Pfalz

## Bericht

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Autorinnen und Autoren: Dr. Frauke Schäfer  
Dr. Andreas Eberts  
Christian Heinz  
Laura Paskert  
Lucas Moser  
Dr. Tobias Eberlei  
Volker Lorenz

Datum: 27.03.2026

**Zitierung des Berichtes:**

Schäfer, F., Eberts, A., Heinz, C., Paskert, L., Moser, L., Eberlei, T. & Lorenz, V. (2026): CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale in Rheinland-Pfalz. Bericht. – Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP); Mainz.

## 1. Einleitung, Zielsetzung

Mit der Novellierung des Kohlendioxid-Speicherungs-und-Transport-Gesetzes (KSpTG) wurde die bisher nur im Rahmen von Forschungs-, Erprobungs- und Demonstrationszwecken bestehende Möglichkeit für die Umsetzung von CO<sub>2</sub>-Speichervorhaben auch für kommerzielle Anwender geöffnet. Damit richtet sich der Fokus auf die Speicherpotenziale von Gesteinsformationen des geologischen Untergrundes.

Ziel dieses Berichtes ist es daher, den aktuellen Kenntnisstand zum CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial in Rheinland-Pfalz bezogen auf die im Land vorhandenen geologischen Großeinheiten zusammenfassend darzustellen. Die Ausführungen beruhen dabei unter anderem auf den Ergebnissen des Projektes „Speicher-Kataster Deutschland“ (Reinhold et al. 2011, Reinhold & Müller 2011), in dessen Rahmen auch das Speicherpotenzial für CO<sub>2</sub> in Rheinland-Pfalz eingehend bewertet wurde (Haneke et al. 2011, Rein et al. 2011). Seit 2011 neu hinzugekommene Auswertungen zum CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial in Rheinland-Pfalz werden berücksichtigt (z. B. aus dem Projekt „Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“, GeORG Projektteam 2013). Für einige der bisher identifizierten Gesteinseinheiten mit Speicherpotenzial, die flächendeckend auch mit einem Barrieregestein von mindestens 20 m Mächtigkeit überdeckt sind, wird eine erste Speicherkapazitätsabschätzung analog zu Knopf et al. (2010) vorgenommen. Aufgrund der hohen Unsicherheit bei den geologischen Eingangsparametern sowie den noch weitgehend unbekanntem hydrogeologischen Verhältnissen der Formationswässer (Druck und Migrationswege) kann dieser Bericht nur eine erste, rein volumetrisch begründete Einschätzung der möglichen CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale in Rheinland-Pfalz geben. Eine Bewertung nach KSpTG erfolgt ausdrücklich nicht.

## 2. Geologische Großeinheiten in Rheinland-Pfalz

Die folgenden geologischen Großeinheiten werden betrachtet: das Rheinische Schiefergebirge mit Eifel, Hunsrück, Hintertaunus und Westerwald, die Trierer Bucht, die Wittlicher Senke und das Saar-Nahe-Becken, die Pfälzer Mulde sowie der Oberrheingraben und das Mainzer Becken (Abb. 1).

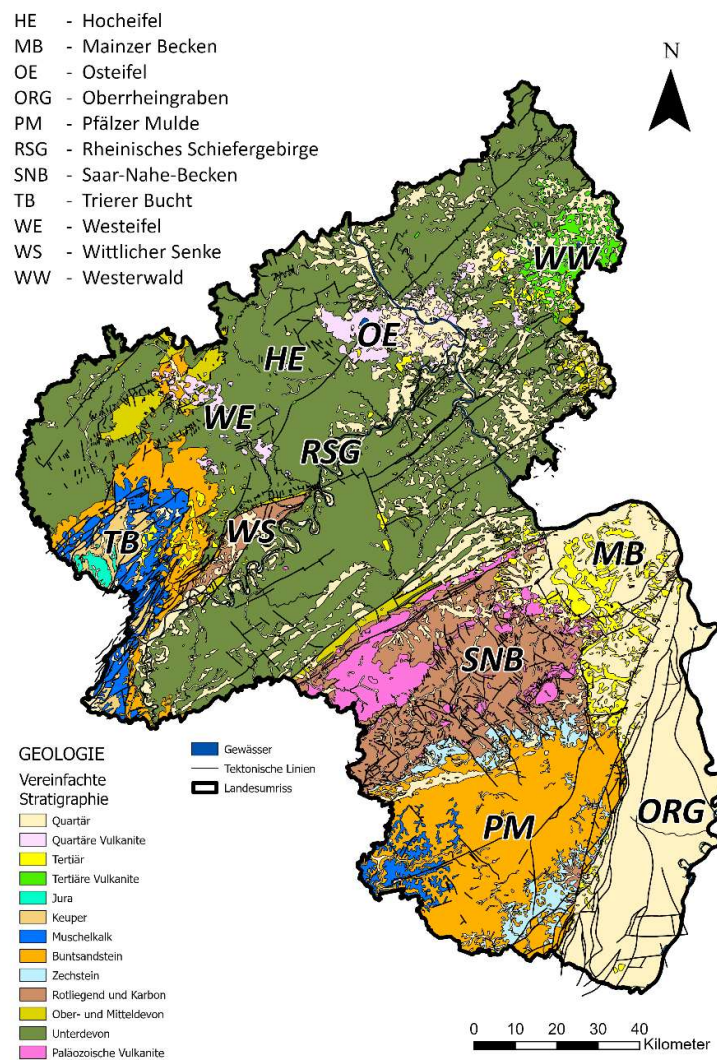


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte (GÜK) von Rheinland-Pfalz inkl. der geologischen Großeinheiten (zusammengefasst aus der GÜK 300 von Rheinland-Pfalz, LGB RLP 2003).

## 2.1. Rheinisches Schiefergebirge

Das Rheinische Schiefergebirge (RSG) wird von nicht oder nur schwach metamorph überprägten Sedimentgesteinen aus dem Zeitalter des Devons aufgebaut. Lokal sind vulkanische Serien oder Kalksteine zwischengeschaltet. Die mehrere 1000 m mächtige Abfolge ist tektonisch stark überprägt und weist einen intensiven Faltenbau auf (LGB RLP 2005). Die mitteldevonischen, karbonatisch dominierten Gesteine der Eifeler Kalkmulden stehen obertägig an und erreichen keine für die Speicherung von CO<sub>2</sub> ausreichenden Tiefen von >800 m u. GOK.

### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Rheinisches Schiefergebirge

#### *Nicht untersuchungswürdig*

(Begründung: intensiv tektonisch und teilweise metamorph überprägt (Rein et al. 2011))

## 2.2. Saar-Nahe-Becken

Die geologische Entwicklung des Saar-Nahe-Beckens wurde seit dem Oberdevon maßgeblich durch die Kollision von Laurussia und Gondwana sowie dazwischen liegender Inselbögen geprägt. Dabei schloss sich der seit dem Unterdevon bestehende Ozean zwischen dem Rhenoherynikum und dem Saxothuringikum bis zum Unterkarbon vollständig. Die Grenze dieser Großstruktureinheiten wird in Rheinland-Pfalz durch die Hunsrück-Taunus-Südrandstörung markiert, in deren Bereich die Gesteine stark tektonisch beansprucht und verschuppt sind (LGB RLP 2005).

Während der variskischen Orogenese kam es infolge von Krustenzerrung zur Bildung zahlreicher intramontaner Becken. In Rheinland-Pfalz sind dies das Saar-Nahe-Becken (SNB) und die Wittlicher Senke (WS). Die Wittlicher Senke wird im Folgenden nicht weiter betrachtet, da dort keine für die Speicherung von CO<sub>2</sub> relevanten Gesteinseinheiten in ausreichender Tiefenlage bekannt sind (Rein et al. 2011).

Das Saar-Nahe-Becken entstand als großes spätvariskisches Becken an der Wende vom Namur zum Westfal im Oberkarbon. Es stellt jedoch nur einen Teil des deutlich größeren, heute weitgehend überdeckten Lothringen-Saar-Nahe-Hessen-Trogas dar (Abb. 2). Die permokarbonische Beckenfüllung erreicht im Zentralbereich

Mächtigkeiten von bis zu etwa 8 km und besteht aus terrestrischen Sedimenten sowie Magmatiten und, untergeordnet, Pyroklastika (LGB RLP 2005).

Im Verlauf der Beckenentwicklung verlagerte sich das Akkumulationszentrum von Südwesten nach Nordosten. Im höheren Rotliegend reichte der Sedimentationsraum zeitweise über die heutigen Beckenränder hinaus (Rein et al. 2011).

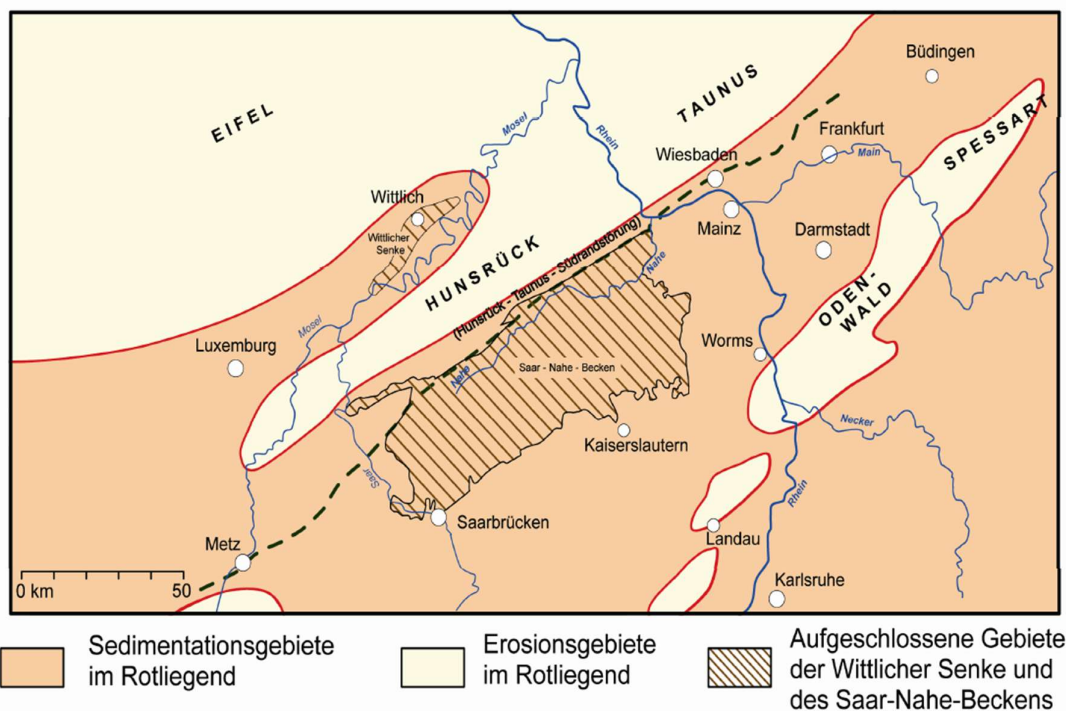


Abb. 2: Gebiet der ehemaligen Maximalverbreitung der Rotliegend-Gesteine in Rheinland-Pfalz und angrenzender Gebiete (LGB RLP 2005).

Die tektonische Entwicklung des Saar-Nahe-Beckens begann bereits synsedimentär während seiner Entstehung und war zum Ende des Rotliegend weitgehend abgeschlossen. Das Saar-Nahe-Becken bildete sich durch die Reaktivierung älterer, NE–SW streichender Störungszonen im Grenzbereich von Saxothuringikum und Rhenoherynikum. Tektonisch handelt es sich um ein halbgrabenartiges Becken mit einem aktiven Nordwestrand entlang der Hunsrück-Taunus-Südrand-Störung (LGB RLP 2005). Die Absenkung begann im Südwesten und verlagerte sich im Verlauf der Entwicklung nach Nordosten und Osten. Dabei wanderte auch das Beckentiefste nach Norden und Nordosten. Die Beckenentwicklung gliedert sich in eine initiale Riftphase, eine Synriffphase und eine Postriffphase mit thermischer Subsidenz. Die vorhandenen

Verwerfungen spiegeln die synsedimentäre Zerrung des Beckens wider (LGB RLP 2005).

Zahlreiche tektonische Elemente wurden jedoch nach dem Rotliegend erneut reaktiviert, was bis heute nachweisbar ist. Die steile Stellung der Rotliegend-Gesteine am Hunsrücksüdrand entstand vermutlich durch Aufschiebungen während der Kreide und/oder des Alttertiärs. Die Hunsrück-Taunus-Südrand-Störung ist bis heute seismisch aktiv.

Die Schichtenfolge im Saar-Nahe-Becken wird wesentlich durch synsedimentäre Tektonik geprägt. Die ältesten karbonischen Gesteine treten heute im Zentrum des Beckens zutage. Darauf folgen auf beiden Flanken die Gesteine der Glan-Subgruppe, die auch entlang der nordwestlichen Beckenbegrenzung ausstreichen. Gesteine der Nahe-Subgruppe sind im Nordwesten vor allem auf die Nahe-Prims-Mulde beschränkt. Südöstlich des Pfälzer Sattels werden diese Einheiten weitgehend von Zechstein- und Triasablagerungen überdeckt. Weitere Aufschlüsse des höheren Rotliegend finden sich im Nordosten bei Alzey und Nierstein. Eine stratigraphische Besonderheit bildet die Randfazies der Wadern-Konglomerate am Nordwestrand des Beckens (LGB RLP 2005).

#### Speicher- und Barrieregesteine:

Die stratigraphische Abfolge der in Rheinland-Pfalz vorkommenden Rotliegend-Einheiten ist unterteilt in die Glan-Subgruppe und die Nahe-Subgruppe. Die als Speicher- und Barrieregesteine infrage kommenden Formationen liegen vorwiegend in der Glan-Subgruppe. Diese besitzen z. T. auch die geforderte Tiefenlage von mindestens 800 m. Weiterführende Informationen zur permokarbonen Schichtenfolge finden sich bei Rein et al. (2011). Die folgenden Formationen stehen im Zentrum der Betrachtung:

- Meisenheim-Formation: Mächtigkeit etwa 750 - 920 m, Barrieregesteine
- Lauterecken-Formation: Mächtigkeit etwa 50 - 390 m, davon hat das Feist-Konglomerat als potenzielles Speichergestein ca. 35 m Mächtigkeit; der Rest der Formation sind Barrieregesteine
- Quirnbach-Formation: Mächtigkeit etwa 170 - 350 m, Barrieregesteine
- Wahnwegen-Formation: Mächtigkeit etwa 100 - 370 m, Speichergesteine

- Altenglan-Formation: Mächtigkeit etwa 50 - 130 m, Barrieregesteine
- Remigiusberg-Formation, Mächtigkeit etwa 50 - 200 m, Speichergesteine

Beispielhaft ist in Abb. 3 die räumliche Verbreitung der Speichergesteine der Wahnwegen-Formation dargestellt. Hier wird erkennbar, dass die Formation nur in einem Teilbereich ihres Verbreitungsgebietes auch die notwendigen Voraussetzungen wie etwa eine ausreichende Tiefenlage sowie Überdeckungsmächtigkeit der Barrieregesteine besitzt.

Die auf Grund des Gesteinsaufbaus positiv erscheinende Situation wird jedoch durch die tektonische Überprägung der Gesteine stark negativ beeinflusst. Eine Überprüfung/Nachweis dieser Eignung ist darüber hinaus wegen der schlechten Datenlage mit erheblichem Explorationsbedarf verbunden.

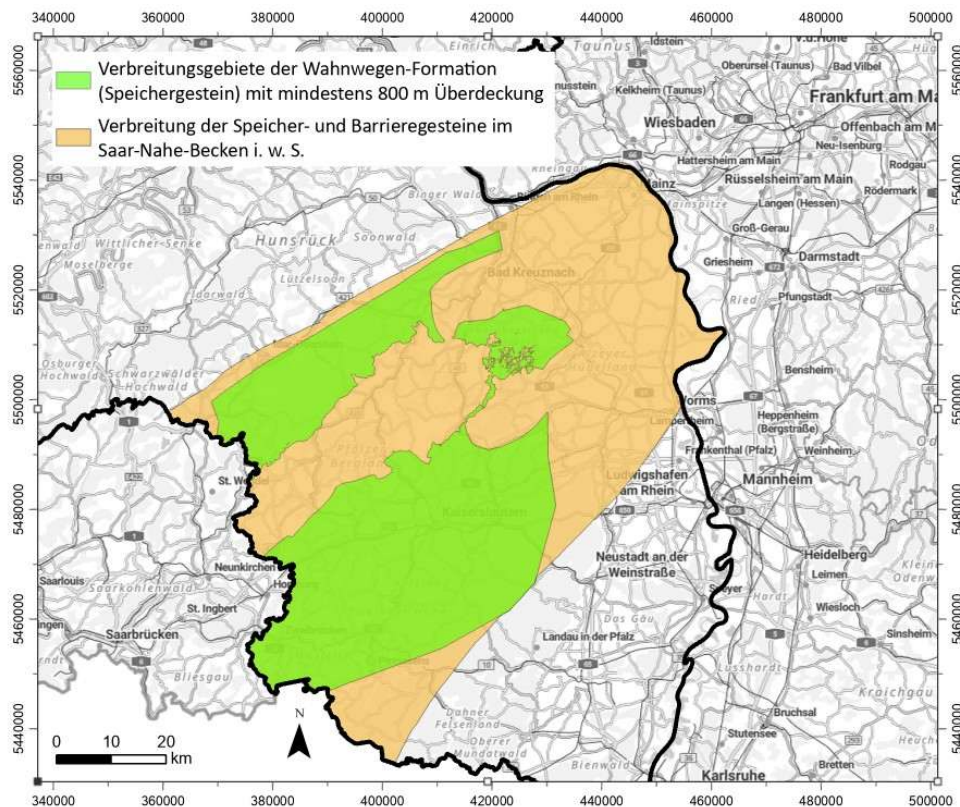


Abb. 3: Gesichertes Verbreitungsgebiet der Speicher- und Barrieregesteine im Saar-Nahe-Becken (orange). Darin ausgehalten ist der Bereich, in dem die Speichergesteine der „Wahnwegen-Formation“ das Kriterium „Mindesttiefe > 800 m“ erfüllt (grün). Nach Haneke et al. (2011), Kartengrundlage: © GeoBasis-DE / BKG 2026 (basemap.de), CC BY 4.0.

Die Nahe-Subgruppe setzt mit dem Beginn eines beckeninternen Vulkanismus in der vulkanischen Synriftphase ein und ist durch aride, fluviatil-alluviale Sedimentation

geprägt (LGB RLP 2005). Die einzigen Formationen, welche hier als Speicher- und Barrieregesteine in Frage kommen könnten sind die Wadern-Formation und die Standenbühl-Formation. Die Wadern-Formation könnte ein Speicherpotenzial in dem von jüngeren Sedimenten überdeckten, nicht untersuchten SE-Gebiet des SNB aufweisen, sofern dort eine ähnliche Ausbildung und Mächtigkeit wie in den bekannten Bereichen vorliegt. Für die Standenbühl-Formation kann auf Grund der Überlagerung der Einheit im SE-Beckengebiet durch mächtige Sedimentfolgen aus Zechstein und Trias für diesen Bereich keine Aussage zu ihrer Ausbildung gemacht werden. Hier könnte sie aber durchaus ein Barrierepotenzial aufweisen. Alle vorliegenden Informationen hierzu sind allerdings sehr vage und erfordern weitreichendere Erkundungsmaßnahmen.

#### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Saar-Nahe-Becken

*untersuchungswürdig*

(Begründung: potenzielle Speicher- und Barrieregesteine in geeigneter Tiefenlage > 800 m vorhanden)

### **2.3. Pfälzer Mulde**

Die oberflächennahe Geologie der Pfälzer Mulde wird überwiegend durch triassische Sedimente des Buntsandstein und, im westlichen Teil, des Muschelkalk aufgebaut. Durch die Verkippung der Schichten nach WNW und die Hebung der Grabenschulter am Oberrheingrabenrand sind im Osten und Norden permische Sedimente aufgeschlossen. Weiter nach Westen werden diese von bis zu 650 m mächtigen triassischen Deckschichten überlagert (LGB RLP 2005, LGB RLP & LfW 2004).

Der tiefere Untergrund ist durch Rotliegend-Gesteine aufgebaut (vgl. Kap. 2.2. Saar-Nahe-Becken). Diese erreichen hier Tiefen, die sie für weitere Untersuchungen hinsichtlich ihres Speicher- und Barrierepotenzials interessant machen (Rein et al. 2011).

#### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Pfälzer Mulde

*untersuchungswürdig*

(Begründung: potenzielle Speicher- und Barrieregesteine in geeigneter Tiefenlage > 800 m vorhanden)

## 2.4. Trierer Bucht

Die Trierer Bucht (TB) ist durch mesozoische Sedimentgesteine des Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper und Jura charakterisiert. Die Gesteinseinheiten sind sehr heterogen in ihrer lithologischen Ausprägung und ihrer Mächtigkeit. Die Gesamtmächtigkeit der mesozoischen Sedimente liegt bei über 1000 m im Zentrum und nimmt randlich deutlich ab. Darunter folgt das variszisch deformierte Grundgebirge, das überwiegend aus devonischen Schiefen, Quarziten (vgl. Kapitel 2.1) und, im östlichen Teil in der Wittlicher Senke, aus Sedimenten des Rotliegend (vgl. Kapitel 2.2) besteht (LGB RLP & LUWG 2010, LGB RLP 2005).

Das Gebiet der Trierer Bucht ist tektonisch intensiv zerlegt, mit Störungsversätzen von teils über 250 m. Das Alter des Störungsinventars reicht vom Paläozoikum bis ins Pleistozän, wobei die Störungen unter verschiedenen Spannungsverhältnissen oft mehrfach reaktiviert wurden. Die Schichtlagerung schwankt zwischen subhorizontal und einem Einfallen von bis zu 20° (Dittrich 2014, LGB RLP & LUWG 2010).

### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Trierer Mulde

*Nicht untersuchungswürdig*

(Begründung: intensiv tektonisch zerlegt (Rein et al. 2011))

## 2.5. Oberrheingraben

Der Oberrheingraben (ORG) ist ein in NNE-SSW-Richtung angelegter tektonischer Grabenbruch von etwa 300 km Länge und durchschnittlich 36 km Breite. Nach Norden lässt sich der ORG bis an den Südrand des Taunus verfolgen, im Süden reicht er bis in die Gegend von Basel. Seine Entstehung begann im Eozän vor etwa 50 Millionen Jahren. Stellenweise hat er eine bis über 4000 m mächtige känozoische Sedimentfüllung aufgenommen (GeORG Projektteam 2013).

### Speicher- und Barrieregesteine:

Nach den Ergebnissen von Rein et al. (2011) und dem GeORG-Projekt (GeORG Projektteam 2013) sowie Untersuchungen im baden-württembergischen Teil des ORG (Fehn & Wirsing 2011) können grundsätzlich die folgenden Speicher- und Barrieregesteine ausgewiesen werden (Abb. 4):

- Tertiär
  - Niederrödern-Formation: Mächtigkeit meist bis ca. 400 m, Speicher- und Barrieregesteine
  - „Rupel-Schichten“ nach Rein et al. (2011) (Foraminiferenmergel bis Meletta-Schichten, heute Teil der Froidefontaine-Formation): Mächtigkeit bis ca. 500 m, vorwiegend Barrieregesteine
  - Haguenau-/Pechelbronn-Formation: Gesamtmächtigkeit bis etwa 2000 m, Speicher- und Barrieregesteine (Abb. 5)
- Unterjura und Keuper: Mächtigkeit bis ca. 450 - 550 m, Barrieregesteine
- Oberer Muschelkalk: Mächtigkeit bis ca. 100 m, Kluft-Speichergesteine
- Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk: Mächtigkeit bis ca. 80 - 100 m, Barrieregesteine
- Permotriassische Sandsteine (Buntsandstein und Zechstein): Mächtigkeit bis ca. 550 m, Speichergesteine
- Permokarbon (Rotliegend und Karbon): Mächtigkeit bis ca. 700 m, Speichergesteine

Eine detaillierte Beschreibung der o. g. Speicher- und Barrieregesteine inkl. ihrer flächenhaften Verbreitung findet sich in den Ergebnisdaten des GeORG-Projektes (GeORG Projektteam 2013). Die im baden-württembergischen Teil des ORG als potenzielles Speichergestein ausgewiesene tertiäre Niederrödern-Formation (Fehn & Wirsing 2011) wurde bisher in RLP nicht im Detail betrachtet. Zwar zeigen etliche Erdöllagerstätten in der Niederrödern-Formation, dass es lokal funktionierende Systeme aus Speicher- und Barrieregesteinen in RLP gibt, jedoch ist eine flächig über 20 m mächtige Barriereeinheit (Reinhold & Müller 2011) für sie bislang nicht nachgewiesen.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand haben in erster Linie die tertiäre Haguenau- und Pechelbronn-Formationen und die permotriassischen Sandsteine des Zechstein und Buntsandstein im rheinland-pfälzischen Oberrheingraben Speicherpotenzial in ausreichender Tiefenlage und Mächtigkeit. Aufgrund der variierenden Genese der darin enthaltenen Gesteine (z. B. fluviatil vs. marin) unterscheiden sich diese in der Prognostizierbarkeit ihrer lithologischen Ausbildung und Mächtigkeit im Detail aber doch deutlich voneinander. So ist z. B. aufgrund der geringen Nettomächtigkeit der

Sandsteinlagen in der Pechelbronn-Formation (zwischen 0,3 % und 1,1 % der Gesamtmächtigkeit) von einem vergleichsweise geringen Speicherpotenzial auszugehen (Nägele & Tietze 1981 und RPF & LGRB 2010 in GeORG Projektteam 2013). Differenzierte Aussagen zur Ausbildung, Verbreitung, Mächtigkeit und ggf. abdichtenden Wirkung der im Oberrheingraben verbreiteten Gesteine erfordern daher weitergehende Detailuntersuchungen. In diesen müssen insbesondere auch die komplexen strukturellen und hydrogeologischen Verhältnisse der Oberrheingraben, die bis heute anhaltenden tektonischen Bewegungen, die rezent stattfindende und ggf. induzierte seismische Aktivität sowie weitere Aspekte wie etwa potenzielle Nutzungskonflikte betrachtet werden.

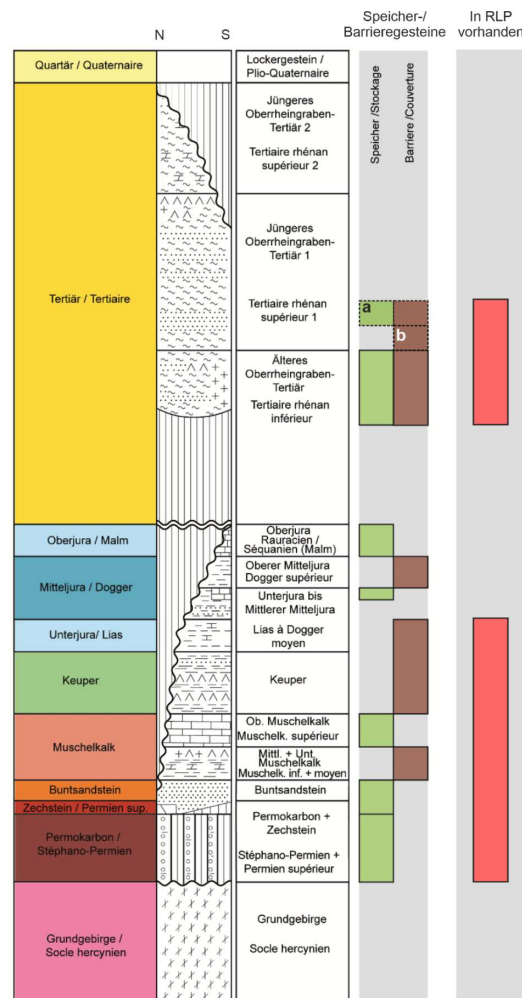


Abb. 4: Schichtenfolge im Oberrheingraben mit den Speicher- und Barrieresteinen (verändert nach GeORG Projektteam 2013). Die im rheinland-pfälzischen Teil des Oberrheingraben vorhandenen Speicher- und Barrieresteine sind gekennzeichnet. **a** Die im baden-württembergischen Teil des ORG als potenzielles Speichergestein ausgewiesene tertiäre Niederröden-Formation (Fehn & Wirsing 2011) wurde für RLP ergänzt. **b** Die „Rupel-Schichten“ werden nach Rein et al. (2011) vorwiegend als Barrierestein eingestuft und wurden ebenfalls ergänzt.

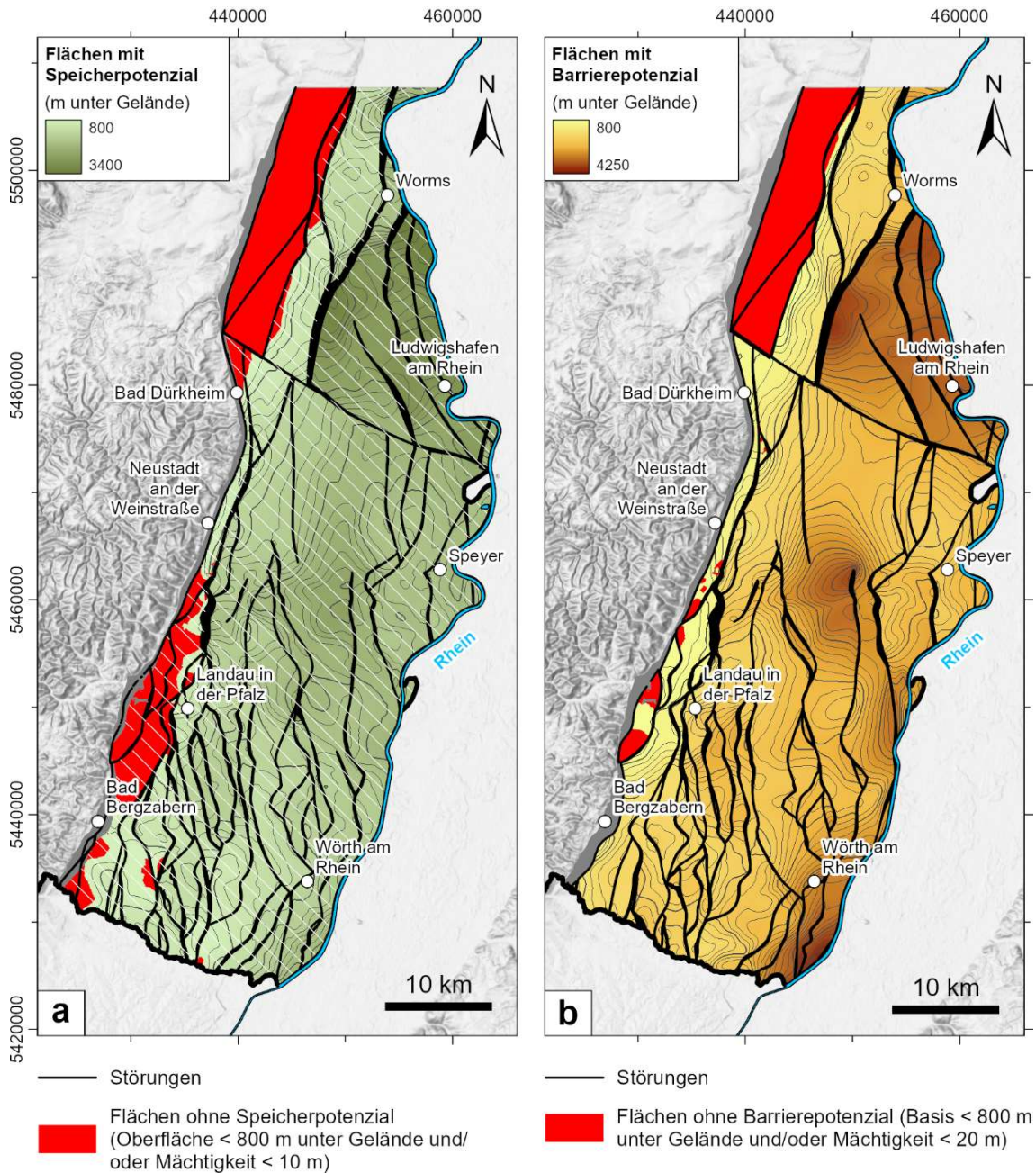


Abb. 5: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisdaten aus dem GeORG-Projekt (GeORG Projektteam 2013).  
**a** Speicherpotenzial (= Oberfläche > 800 m unter Gelände und Mächtigkeit > 10 m) im Älteren Oberrheingraben-Tertiär. In den weiß schraffierten Bereichen sind zudem, je nach lithologischer Ausprägung, Barrieropotenziale vorhanden. **b** Barrieropotenzial (= Basis > 800 m unter Gelände und Mächtigkeit > 20 m) im Älteren Oberrheingraben-Tertiär.

## CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Oberrheingraben

### Untersuchungswürdig

(Begründung: potenzielle Speicher- und Barrieregesteine in geeigneter Tiefenlage > 800 m vorhanden)

## 2.6. Mainzer Becken

Die Entstehung des Mainzer Beckens ist eng an die tektonische Entwicklung des Oberrheingrabens gekoppelt. Das Mainzer Becken stellt dabei eine ab dem späten Oligozän „hängengebliebene“ Randscholle des Oberrheingrabens dar, die von der verstärkten Einsenkung des Grabens selbst abgekoppelt war (LGB RLP 2005). So entwickelte sich ab dem späten Oligozän eine lithologisch abweichende Sedimentabfolge, die durch Karbonatgesteine der sog. Mainz-Gruppe dominiert ist. Diese lagern auf älteren, tonig-mergelig dominierten Gesteinen der sog. Selztal-Gruppe auf. Da das Mainzer Becken weniger tief als der eigentliche Graben eingesunken ist, hat es nur wenige 100 m mächtige Sedimente aufgenommen (LGB RLP 2005).

Der tiefere Untergrund des Mainzer Beckens ist Teil des heute nur im Bereich des Saar-Nahe-Berglands an der Oberfläche zutage tretenden Saar-Nahe-Beckens (vgl. Kap. 2.2). Das Vorhandensein von möglichen Speicher- und Barrieregesteinen im Untergrund des Mainzer Beckens kann somit nicht ausgeschlossen werden, bedarf jedoch weiterer Detailuntersuchungen.

### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Mainzer Becken

#### *Untersuchungswürdig*

(Begründung: potenzielle Speicher- und Barrieregesteine in geeigneter Tiefenlage > 800 m vorhanden)

## 2.7. Känozoische Vulkangebiete der Eifel und des Westerwaldes

Im Norden von Rheinland-Pfalz liegen die känozoischen Vulkangebiete der Eifel und des Westerwaldes. Lithologisch sind diese vorwiegend durch Alkalibasalte und deren Derivate, sowie Phonolithe und Basalte bis Andesite aufgebaut. Im Bereich der quartären Vulkanfelder der West- und Osteifel sind auch häufiger teils unverfestigte pyroklastische Ablagerungen verbreitet. Die Mächtigkeit der känozoischen Vulkanite beträgt in der Regel nur wenige Meter bis 10er Meter. Nur im direkten Bereich von Förderzentren treten lokal erhöhte Mächtigkeiten auf. Bisherige Untersuchungen weisen außerdem darauf hin, dass insbesondere in der Eifel ein erneutes Aufleben der

vulkanischen Tätigkeit nicht ausgeschlossen werden kann (Schreiber & Jentzsch 2021, Bartels et al. 2024).

### CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial Känozoische Vulkangebiete

#### *Nicht untersuchungswürdig*

(Begründung: geringmächtige und räumlich eng begrenzte Gesteinsvorkommen, fehlende Gesteine mit Speicher- bzw. Barrierefunktion, z. T. intensiv tektonisch zerlegt, tektonisch aktiv, vulkanisch teilaktiv)

## 3. CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität

Für die oben (Kap. 2) aufgeführten Speichergesteinseinheiten, die flächendeckend auch eine Barriere aufweisen (und nur für diese!), wird im Folgenden eine erste regionale Einschätzung der Speicherkapazität für CO<sub>2</sub> vorgenommen. Die Rotliegendgesteine des Saar-Nahe-Beckens sind auch unter der Pfälzer Mulde und dem Mainzer Becken vorhanden und werden daher im Folgenden zusammengefasst. Die potenziellen Speichergesteine des Oberen Muschelkalks im Oberrheingraben können hier nicht weiter berücksichtigt werden, weil ihr Speicherpotenzial auf Kluftporosität beruht, die nicht mit der hier angewandten Methode vorhersagbar ist.

Die Speichergesteinseinheiten mit einer regionalen Speicherkapazitätseinschätzung sind:

### Saar-Nahe-Becken, Pfälzer Mulde und Mainzer Becken (Saar-Nahe-Becken i. w. S):

- Feist-Konglomerat innerhalb der Lauterecken-Formation (Unteres Rotliegend)
- Wahnwegen-Formation (Unteres Rotliegend)
- Remigiusberg-Formation (Unteres Rotliegend)

### Oberrheingraben:

- Haguenau- und Pechelbronn-Formation (Mittelozeän – Unteroligozän, Tertiär)
- Permotriassische Sandsteine (Zechstein und Buntsandstein).

### 3.1. Berechnung

Zunächst erfolgt die Berechnung des rein geologischen Speichervolumens  $V$  (m<sup>3</sup>):

$$V = A * M * \theta * N \quad (\text{Formel 1})$$

wobei

$A$  = flächenhafte Ausdehnung des mit Barriere überdeckten Speichergesteins (m<sup>2</sup>);

$M$  = Mächtigkeit der Speicherformation (m);

$\theta$  = Porosität des Speichergesteins (Vol.-Prozent);

$N$  = Anteil der porösen Speichergesteine (mit  $\theta \geq 10$  %) an der Speicherformation (Prozent).

In einem zweiten Schritt wird das mit CO<sub>2</sub> befüllbare Volumen abgeschätzt und in Masse umgerechnet. Hierbei wird wie bei Knopf et al. (2010) pauschal angenommen, dass nur 5 % der geologischen Fläche als Speicher genutzt werden können. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass aufgrund geologischer Heterogenitäten, nicht verdrängbaren Porenwassers und der Drucksteigerung im Aquifer nur ein geringer Anteil des Porenvolumens effektiv durch CO<sub>2</sub> befüllt werden kann. Diese sogenannte Flutungseffizienz (englisch „pore volume efficiency“ oder auch „capacity factor“) kann unterschiedlich berechnet werden und weist eine erhebliche Unsicherheit auf (Dose 2008, Knopf et al. 2010). Für die Speicherkapazität ergibt sich somit (analog zu Knopf et al. 2010):

$$K = A * M * b * \theta * N * \rho * E \quad (\text{Formel 2})$$

wobei

$K$  = CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität (kg; umgerechnet in Mio t);

$A$  = flächenhafte Ausdehnung des mit Barriere überdeckten Speichergesteins (m<sup>2</sup>);

$M$  = Mächtigkeit der Speicherformation (m);

$b$  = nutzbarer Anteil der Speicherfläche (Prozent);

$\theta$  = Porosität des Speichergesteins (Vol.-Prozent);

N = Anteil der porösen Speichergesteine (mit  $\theta \geq 10 \%$ ) an der Speicherformation (Prozent);

$\rho$  = CO<sub>2</sub>-Dichte (kg/m<sup>3</sup>);

E = Flutungseffizienz (Prozent).

Die **flächenhafte Ausdehnung A** der durch Barriere abgedeckten Speicherformationen wurde entweder aus existierenden Karten (Rein et al. 2011, Becker & Schäfer 2020) oder 3D-Modellen (GeORG Projektteam 2013) abgeleitet. Gleiches gilt für die **Mächtigkeit M**, die auch durch direkte Daten aus Bohrungen abgesichert ist (Becker & Schäfer 2020).

Die **Porosität** der Speichergesteine im Saar-Nahe-Becken (inklusive Pfälzer Mulde und Mainzer Becken) ist in geologischer Speichertiefe (>800 m) so gut wie unbekannt. Aretz et al. (2016) haben Proben aus dem Permokarbon in Aufschlüssen des Saar-Nahe-Beckens, des Spremlinger Horstes, des Wetterau-Beckens und aus Bohrproben im nördlichen Teil des Oberrheingrabens untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Porosität fast aller Sandsteine in Reservoirtiefen von ca. 1000-3000 m gegenüber den Aufschlüssen deutlich reduziert sind. Bei den fluviatilen Sandsteinen, wie sie im Unteren Rotliegend typisch sind, stehen durchschnittlich 15 % Porosität im Aufschluss nur noch etwa 3 % Porosität in Reservoirtiefe gegenüber (Aretz et al. 2016). Die Porositäten der tertiären Speichergesteine im Oberrheingraben (Pechelbronn- und Haguenau-Formation) wurden im Rahmen des GeORG-Projektes mittels 398 Messwerten aus 34 Bohrungen untersucht. Die Ergebnisse liegen im Median bei 15,7 %. Die Werte schwanken hierbei jedoch deutlich zwischen 0,2 und 45,4 %. Hohe Werte entfallen vermutlich auf die konglomeratische Randfazies oder auf stärker geklüftete/gestörte Sandsteinlagen (GeORG Projektteam 2013). Vergleichbar wurden im GeORG-Projekt für den Buntsandstein im Oberrheingraben 330 Messwerte für die Porosität aufgeführt. Der Median liegt bei 9,51 %, die Werte schwanken jedoch ebenfalls deutlich zwischen 1,2 und 24,2 %. Die Ursachen dafür liegen neben der Korngröße ebenfalls an der Klüftigkeit der Sandsteine (GeORG Projektteam 2013). Stratigraphisch zuordnungsbarer Messwerte aus Bohrungen im Oberrheingraben haben für die Abschnitte mit einer nutzbaren Porosität im Buntsandstein durchschnittliche Werte von 10-15 % ergeben. Sandsteine des Zechstein sind

demgegenüber stärker vertont und erreichen meist nur wenige Prozent (z. B. Krause 1988).

Der in der Kohlenwasserstoff-Industrie als „Net/Gross“ bekannte **Faktor N** hängt davon ab, wie das Speichergesteins-Netto definiert wird. Bei Reinhold & Müller (2011) wurde für Speichergesteine ein Mindestkriterium von > 10 % Porosität festgelegt. Aus diesem Grunde wird hier der Faktor N (Net/Gross) auf solche Gesteine bezogen, die dieses Porositäts-Kriterium erfüllen.

Die **CO<sub>2</sub>-Dichte** ist abhängig von Druck und Temperatur (Abb. 6), die im Reservoir wiederum vom geothermischen Gradienten abhängen. Das Saar-Nahe-Becken hat einen recht durchschnittlichen geothermischen Gradienten von etwa 30°C/km (29°C/km nach Hedemann (1976), zitiert in Hertle 2004), während der Oberrheingraben einen sehr hohen geothermischen Gradienten von durchschnittlich 45°C/km aufweist (GeORG Projektteam 2013). Örtlich, zum Beispiel bei Landau, werden nach Storz (2007) sogar 60°C/km und mehr erreicht. Der hohe geothermische Gradient ist für die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> problematisch, weil er die Verdichtung des CO<sub>2</sub> verzögert (Abb. 6). Bei der in Reinhold & Müller (2011) definierten Mindestdiefe von 0,8 km, die auf einem normalen geothermischen Gradienten von 30°C/km basiert, hätte das CO<sub>2</sub> im Oberrheingraben eine Dichte von nur etwas über 200 kg/m<sup>3</sup>. Dies hat negative Auswirkungen auf die Speicherkapazität und die technische Machbarkeit von CO<sub>2</sub>-Speicherprojekten im Oberrheingraben.

Die **Flutungseffizienz** schließlich gibt den Anteil des Porenvolumens an, der vom CO<sub>2</sub> effektiv ausgefüllt werden kann und hängt einerseits von geologischen und hydrogeologischen Bedingungen, andererseits auch von der Injektionsstrategie (technische Auslegung und Anzahl der Injektionsbohrungen, Druckmanagement) ab. Die Flutungseffizienz reicht von 2-5 % für Aquifere mit offenen Druckbedingungen bis hin zu 40 % für ausgeförderte (und damit druckreduzierte) Öl- und Gasfelder in homogenen Sandsteinen (z. B. Dose 2008).

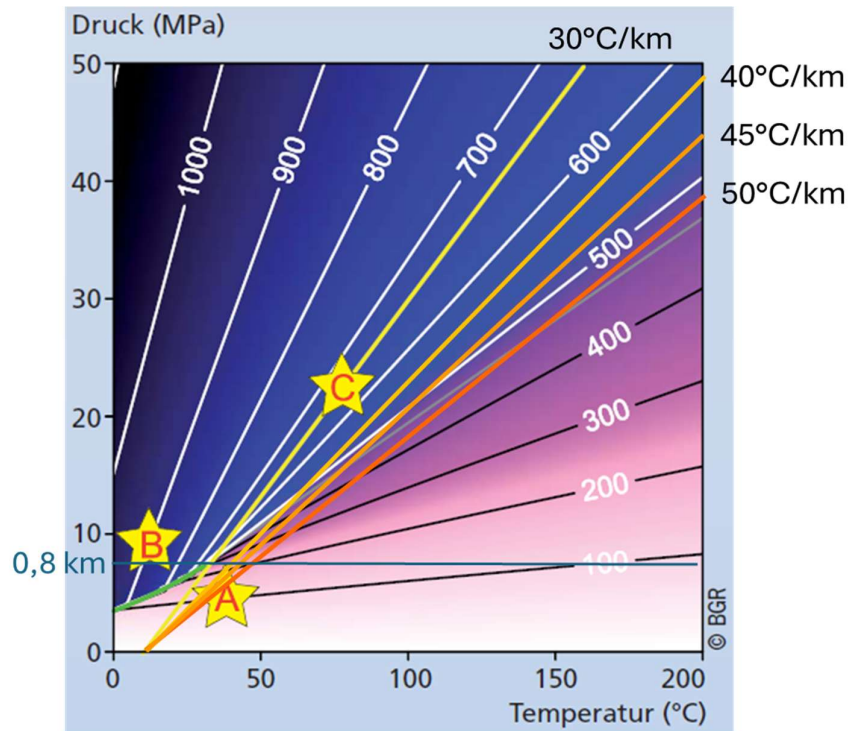


Abb. 6: Dichte von reinem CO<sub>2</sub> (in kg/m<sup>3</sup>) in Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Die gelben und orangenen Linien zeigen verschiedene geothermische Gradienten von 30°C/km (gelb, Beispiel Saar-Nahe-Becken) bis 50°C/km (dunkles orange). Die grüne Kurve ist die Phasengrenze zwischen gasförmigem und flüssigem CO<sub>2</sub>. Die blaue Linie kennzeichnet die Mindest-Speichertiefe nach Reinhold & Müller (2011). Die Sterne zeigen typische Bedingungen in der CCS-Prozesskette: A – Abscheidung, B – Transport, C – geologische Speicherung. Weitere Erläuterungen siehe Text. Abbildung ergänzt aus CO<sub>2</sub>GeoNet (2008).

Alle Parameter weisen eine erhebliche Unsicherheit auf. Tab. 1 zeigt die Spannbreite der Parameter zur Berechnung des geologischen Speichervolumens analog Formel 1. Tab. 2 zeigt die Spannbreite der technischen Parameter, mit der das realistisch befüllbare Volumen und schließlich die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität (Masse) berechnet werden kann (Formel 2). Der „BTE“ in Tab. 1 und Tab. 2 bezeichnet den bestmöglich abgeschätzten geologisch-technischen Durchschnittswert („best technical estimate, BTE), „MIN“ das geologisch-technisch plausible Minimum und „MAX“ das geologisch-technisch plausible Maximum. Als Datengrundlage für die Abschätzung dienten Aretz et al. (2016), Becker & Schäfer (2020), Krause (1988), Rein et al. (2011), GeORG Projektteam (2013), CO<sub>2</sub>GeoNet (2008) sowie Bohrlochmessungen (Bulk-Dichte und Neutronen-Porosität) von ausgewählten Bohrungen aus der Bohr- und Aufschlussdatenbank des LGB (Appenhofen-1, Römerberg-0a und Schwegenheim-1).

Tab. 1: Parameter zur Berechnung des geologischen Porenvolumens (siehe Formel 1). Prozentzahlen sind hier als Anteil (/) angegeben.

Region	Geologische Einheit	A (km <sup>2</sup> )	M (m) MIN	M (m) BTE	M (m) MAX	N (/) MIN	N (/) BTE	N (/) MAX	θ (/) MIN	θ (/) BTE	θ (/) MAX
ORG	Pechelbronn-Fm + Haguenau-Fm (Tertiär)	1700	130	550	2000	0,00	0,01	0,01	0,10	0,16	0,25
ORG	Zechstein + Buntsandstein (Permotrias)	1555	0	400	550	0,05	0,40	0,75	0,10	0,12	0,24
SNB	Feist-Konglomerat (Rotliegend)	2465	10	35	50	0,05	0,30	0,50	0,10	0,11	0,20
SNB	Wahnwegen-Fm (Rotliegend)	2465	100	110	370	0,05	0,10	0,30	0,10	0,11	0,20
SNB	Remigiusberg-Fm (Rotliegend)	2465	50	100	200	0,05	0,20	0,30	0,10	0,11	0,20

Tab. 2: Parameter zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität (siehe Formel 2). Prozentzahlen sind hier als Anteil (/) angegeben.

Region	Geologische Einheit	b (/)	E (/) MIN	E (/) BTE	E (/) MAX	ρ (kg/m <sup>3</sup> ) MIN	ρ (kg/m <sup>3</sup> ) BTE	ρ (kg/m <sup>3</sup> ) MAX
ORG	Pechelbronn-Fm + Haguenau-Fm (Tertiär)	0,05	0,05	0,10	0,20	200	350	500
ORG	Zechstein + Buntsandstein (Permotrias)	0,05	0,05	0,10	0,20	200	400	600
SNB	Feist-Konglomerat (Rotliegend)	0,05	0,05	0,10	0,20	500	600	700
SNB	Wahnwegen-Fm (Rotliegend)	0,05	0,05	0,10	0,20	500	600	700
SNB	Remigiusberg-Fm (Rotliegend)	0,05	0,05	0,10	0,20	500	600	700

Da alle in Formel 1 und 2 verwendeten physikalischen Parameter mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, wurde gemäß dem Ansatz von Knopf et al. (2010) eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt, um die Auswirkungen dieser Unsicherheiten auf die berechnete Speicherkapazität quantitativ zu erfassen.

Für jeden Parameter wurde eine Dreiecksverteilung als Modell der Unsicherheit angenommen, wobei die Spitze des Dreiecks der bestmöglich abgeschätzte geologisch-technische Durchschnittswert („best technical estimate“, BTE) ist, während die untere und obere Grenze jeweils das geologisch-technisch plausible Minimum und Maximum darstellen (siehe Tab. 1 und Tab. 2). Aus jeder Verteilung wurden 10 000 000 zufällige Stichproben gezogen und miteinander gemäß Formel 2 multipliziert, sodass insgesamt 10 000 000 unabhängige Simulationen der Speicherkapazität durchgeführt wurden.

Das Ergebnis der Simulation wird als Wahrscheinlichkeitsverteilung der Speicherkapazität für jede Formation dargestellt. Basierend auf dieser Verteilung werden die Speicherkapazitäten mit einer Wahrscheinlichkeit (P) von jeweils 90 %, 50 % und 10 % angegeben (P90, P50 und P10; Abb. 7 – 11). Der P90-Wert bedeutet, dass 90 % aller möglichen Ergebnisse über diesem Wert liegen und gilt deshalb als konservativer Fall (vgl. BVEG & DGMK 2024, Rose 2001). Der P50-Wert bedeutet, dass 50 % aller möglichen Ergebnisse über diesem Wert liegen und gilt deshalb als Basis-Fall (vgl. BVEG & DGMK 2024, Rose 2001). Der P10-Wert bedeutet, dass nur

10 % aller möglichen Ergebnisse noch über diesem Wert liegen und gilt deshalb als optimistischer Fall (vgl. BVEG & DGMK 2024, Rose 2001).

Wahrscheinlichkeitsverteilung für Pechelbronn-Fm + Haguenu-Fm

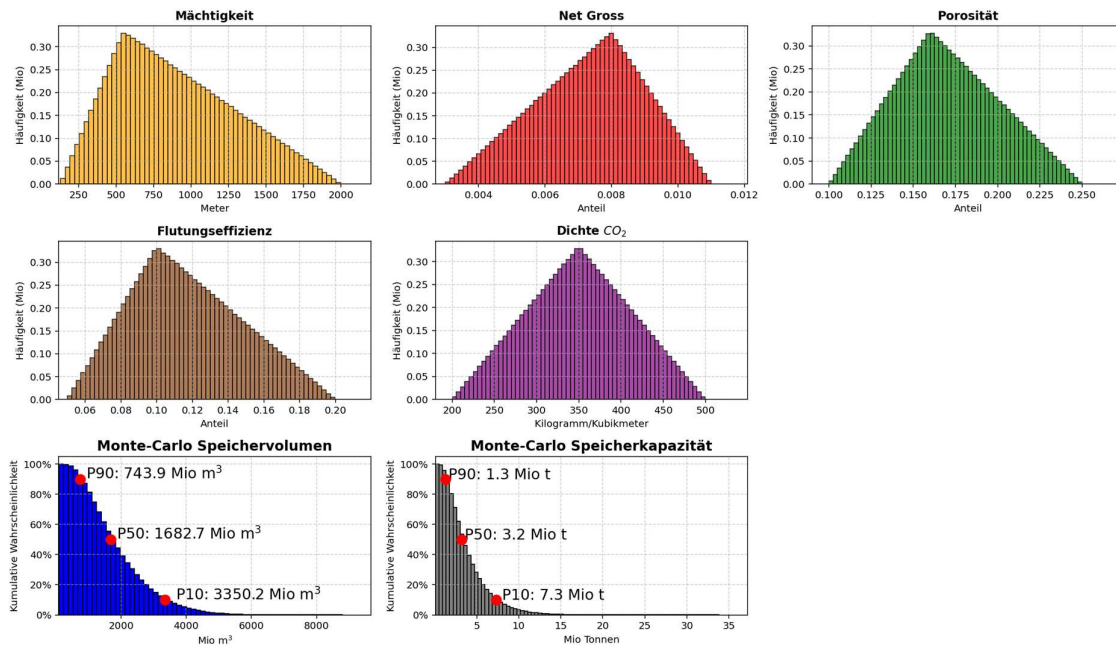


Abb. 7: Eingangsparameter (obere und mittlere Reihe) und Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation (untere Reihe) für die Pechelbronn- und Haguenu-Formationen im Oberrheingraben. Erläuterungen zu P90, P50 und P10 siehe Text.

Wahrscheinlichkeitsverteilung für permotriassische Sandsteine

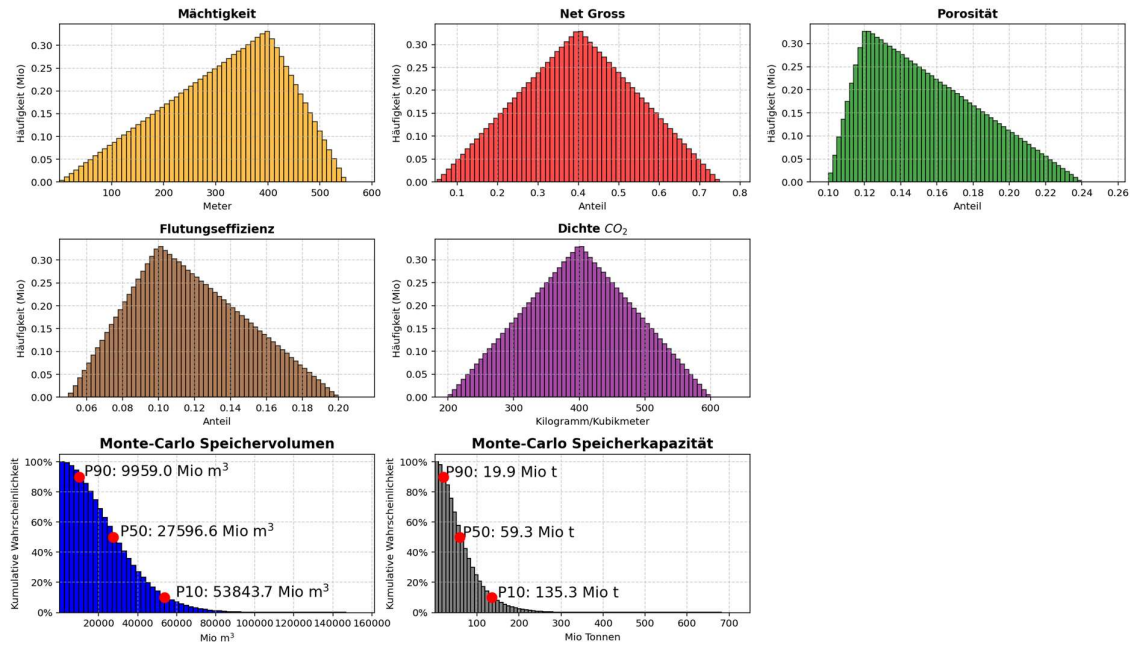


Abb. 8: Eingangsparameter (obere und mittlere Reihe) und Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation (untere Reihe) für die **permotriassischen Sandsteine** (Buntsandstein und Zechstein) im Oberrheingraben. Erläuterungen zu P90, P50 und P10 siehe Text.

Wahrscheinlichkeitsverteilung für Feist-Konglomerat (Lauterecken-Fm)

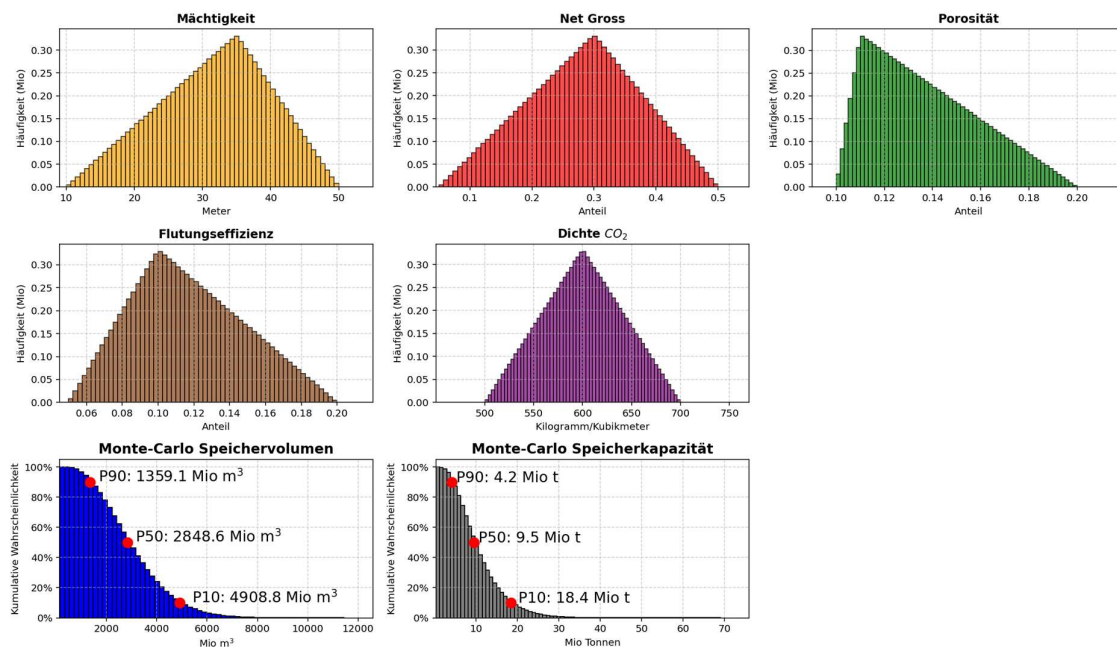


Abb. 9: Eingangsparameter (obere und mittlere Reihe) und Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation (untere Reihe) für das **Feist-Konglomerat** im Saar-Nahe-Becken (i. w. S.). Erläuterungen zu P90, P50 und P10 siehe Text.

Wahrscheinlichkeitsverteilung für Wahnwegen-Fm

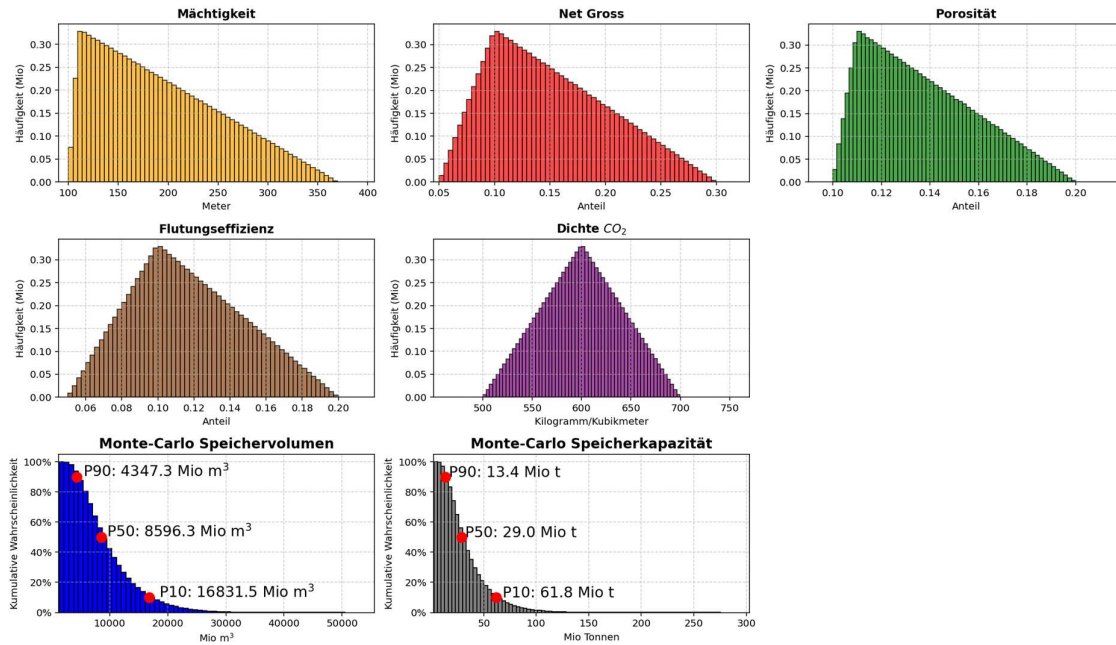


Abb. 10: Eingangsparmeter (obere und mittlere Reihe) und Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation (untere Reihe) für die Wahnwegen-Formation im Saar-Nahe-Becken (i. w. S.). Erläuterungen zu P90, P50 und P10 siehe Text.

Wahrscheinlichkeitsverteilung für Remigiusberg-Fm

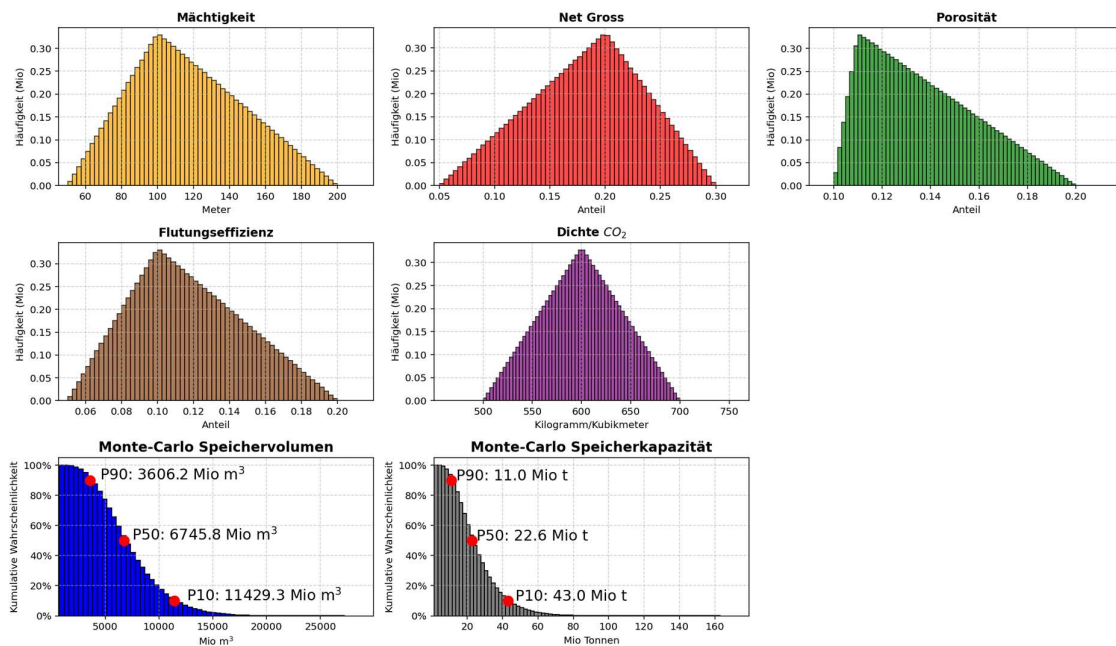


Abb. 11: Eingangsparmeter (obere und mittlere Reihe) und Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation (untere Reihe) für die Remigiusberg-Formation im Saar-Nahe-Becken (i. w. S.). Erläuterungen zu P90, P50 und P10 siehe Text.

### 3.2. Ergebnisse

Zusammengefasst ergibt sich im Basis-Fall (P50) eine CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität von 62,5 Mio t für den Oberrheingraben (ORG in Tab. 3) und 61,1 Mio t für das Rotliegend im Saar-Nahe-Becken i.w.S. (SNB in Tab. 3). Im konservativen P90-Fall wären es 21,2 bzw. 28,6 Mio t. Im optimistischen P10-Fall könnten es bis zu 142,6 Mio t im Oberrheingraben und 122,2 Mio t im Saar-Nahe-Becken (i. w. S.) sein. Zusätzlich werden in Tab. 3 die Durchschnittswerte (MEAN) für alle Formationen und in Summe für beide Sedimentationsräume angegeben.

Tab. 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung (P90, P50, P10) der Speicherkapazitäten (K) für CO<sub>2</sub> für den Oberrheingraben (ORG) und das Saar-Nahe-Becken i. w. S. (SNB).

Region	Geologische Einheit	K P90 (Mio t)	K P50 (Mio t)	K P10 (Mio t)	K MEAN (Mio t)
ORG	Pechelbronn-Fm + Hagenau-Fm (Tertiär)	1,3	3,2	7,3	3,9
ORG	Zechstein + Buntsandstein (Permotrias)	19,9	59,3	135,3	70,5
<b>ORG</b>	<b>Summe ORG</b>	<b>21,2</b>	<b>62,5</b>	<b>142,6</b>	<b>74,4</b>
SNB	Feist-Konglomerat (Rotliegend)	4,2	9,5	18,4	10,6
SNB	Wahnwegen-Fm (Rotliegend)	13,4	29,0	61,8	34,2
SNB	Remigiusberg-Fm (Rotliegend)	11,0	22,6	43,0	25,2
<b>SNB</b>	<b>Summe SNB</b>	<b>28,6</b>	<b>61,1</b>	<b>123,2</b>	<b>70,0</b>

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass die tertiären Formationen im Oberrheingraben nur geringe Speicherkapazitäten haben. Dies liegt zum einen an der geringen Nettomächtigkeit der tertiären Speicherhorizonte, zum anderen an der sehr geringen Dichte des CO<sub>2</sub> in Speichertiefen >800 m. Dieses wiederum ist auf den hohen geothermischen Gradienten im Oberrheingraben zurückzuführen (Abb. 6). Die permotriassischen Sandsteine des Oberrheingrabens schneiden gegenüber dem Tertiär deutlich besser ab. Nach den bisher vorliegenden Daten sind die Sandsteine des Zechstein im Vergleich zu denen des Buntsandstein deutlich stärker vertont und haben entsprechend deutlich schlechtere Porositäten. Für den Oberrheingraben ist außerdem zu erwarten, dass die aktive Tektonik und natürliche Seismizität erhöhte Anforderungen an das Druckmanagement von CO<sub>2</sub>-Speichern stellen und damit die maximale Speicherkapazität einschränken würden.

Die Rotliegend-Gesteine des Saar-Nahe Beckens, des Pfälzer Waldes und des Mainzer Beckens haben ein realistisches Potenzial für die CO<sub>2</sub>-Speicherung, aber es besteht eine hohe Unsicherheit bezüglich der Datenlage. Es besteht deswegen noch erheblicher Explorationsbedarf.

## 4. Zusammenfassung und Diskussion

In Kapitel 2 wurden die geologischen Großeinheiten in Rheinland-Pfalz kurz charakterisiert und in Hinblick auf ihr CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial als „untersuchungswürdig“ oder „nicht untersuchungswürdig“ eingestuft (Tab. 4). In Kapitel 3 wurde eine erste, grobe Speicherkapazitätseinschätzung von den in Kapitel 2 identifizierten potenziellen Speichergesteinen, die nachweislich auch eine flächendeckende Barriere aufweisen, vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass das CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial des Oberrheingrabens durch seinen sehr hohen geothermischen Gradienten eingeschränkt wird. Dies hat nicht in erster Linie mit dem Porenvolumen zu tun, das an sich ein gutes Potenzial hat (Tab. 3), sondern mit den Eigenschaften des CO<sub>2</sub> unter erhöhten Temperaturbedingungen (Abb. 6). Deswegen und wegen der heute noch aktiven Tektonik wird der Oberrheingraben hier als „bedingt untersuchungswürdig“ eingestuft (Tab. 4).

Tab. 4: Übersicht über die geologischen Räume in Rheinland-Pfalz und ihr CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial.

Nr.	Geologischer Raum	CO <sub>2</sub> -Speicherpotenzial	Bemerkung
1	Rheinisches Schiefergebirge (RSG)	nicht untersuchungswürdig	Tektono-metamorphe Überprägung
2	Saar-Nahe-Becken (SNB)	<b>untersuchungswürdig</b>	kaum Daten
3	Pfälzer Mulde (PM)	<b>untersuchungswürdig</b>	kaum Daten
4	Trierer Bucht (TB)	nicht untersuchungswürdig	tektonische Zerlegung, mangelnde Tiefe
5	Oberrheingraben (ORG)	<b>bedingt untersuchungswürdig</b>	Hoher geothermischer Gradient, tektonisch aktiv
6	Mainzer Becken (MB)	<b>untersuchungswürdig</b>	kaum Daten
7	Känozoische Vulkangebiete	nicht untersuchungswürdig	Fehlende Speichergesteine, tektonisch u. vulkanisch aktiv

Neben den hier betrachteten geologischen Kriterien hängt die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität zusätzlich in hohem Umfang von den Druckverhältnissen im Reservoir sowie technischen Parametern (z. B. der Injektionsstrategie) und gesetzlichen Vorgaben (z. B. erlaubte Maximaldrücke, Nutzungsprioritäten) ab. Letztere sind grundsätzlich steuerbar. Es ist deswegen auch nicht möglich, direkt von vorhandenen Erdöllagerstätten oder Erdgasspeichern im Teilgebiet Oberrheingraben auf CO<sub>2</sub>-Speicherkapazitäten zu schließen. Zwar zeigen diese, dass der geologische

Untergrund im Oberrheingraben grundsätzlich in der Lage ist, Fluide auf lange Zeit sicher im Untergrund zu halten. Allerdings kann die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität einer ehemaligen Lagerstätte nicht direkt aus der Menge des geförderten Erdöls abgeleitet werden. Das liegt einerseits am jeweils speziellen hydrogeologischen und geomechanischen Zustand der ausgeförderten Lagerstätte und des umgebenden Aquifers, andererseits an der technischen Auslegung und Lokation der CO<sub>2</sub>-Injektionsbohrung(en). Die Speicherkapazität kann deutlich höher sein als die entnommene Kohlenwasserstoffmenge, wenn es eine gute Aquiferanbindung gibt und man außerhalb der eigentlichen Fallenstruktur injizieren kann. Andererseits wäre sie deutlich geringer, wenn dichte Störungen sowohl eine gleichmäßige Ausbreitung des CO<sub>2</sub> in der Lagerstätte als auch einen Druckausgleich mit dem umgebenden Aquifer verhindern. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass der Druckanstieg durch die CO<sub>2</sub>-Injektion keine vorhandenen Störungen reaktiviert.

Nach derzeitigem Kenntnisstand haben die Rotliegend-Sandsteine im Untergrund des Saar-Nahe-Beckens, der Pfälzer Mulde und des Mainzer Beckens das beste Potenzial für eine erfolgreiche CO<sub>2</sub>-Speicherung im tieferen Untergrund. Sie haben wahrscheinlich eine Speicherkapazität von etwa 60-70 Mio t CO<sub>2</sub> (Tab. 3). Bei konservativer Betrachtung (Wahrscheinlichkeit von 90 %) wäre mit einer CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität von mindestens 29 Mio t und im optimistischen Fall (Wahrscheinlichkeit von 10 %) von bis zu 122 Mio t zu rechnen. Aufgrund der spärlichen Datenlage besteht hier aber noch erheblicher Explorationsbedarf.

## 5. Literatur

- Aretz, A., Bär, K., Götz, A. E. & Sass, I. (2016): Outcrop analogue study of Permocarboniferous geothermal sandstone reservoir formations (northern Upper Rhine Graben, Germany): impact of mineral content, depositional environment and diagenesis on petrophysical properties. – *Geol. Rundsch.*, **105** (5): 1431–1452. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1263-2>.
- Bartels, A., Rummel, L., Sitnikova, M. A. & May, F. (2024): Standortauswahl. Entwicklung von Indikatoren zukünftig zu erwartender vulkanischer Aktivität in Deutschland. Bewertung des Potentials für das Auftreten einer zukünftigen magmatischen Aktivität in Deutschland für eine sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Abschlussbericht. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Hannover. <https://doi.org/10.25928/tgt3-6308>.
- Becker, A. & Schäfer, A. (2020): Isopach maps of Rotliegend Formations in the Saar-Nahe Basin (Carboniferous-Permian, SW Germany). – *Erdöl Erdgas Kohle*, **136** (2): 28–34. <https://doi.org/10.19225/200204>.
- Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e. V. (BVEG) & Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für nachhaltige Energieträger, Mobilität und Kohlenstoffkreisläufe e. V. (DGMK) (2024): Leitfaden: Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefengeothermischen Projekten. Stand 12/2024, 21 S.; Hannover.
- CO<sub>2</sub>GeoNet (2009): Geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung – was ist das eigentlich?, 19 S. – Europ. Exzellenznetzwerk CO<sub>2</sub>GeoNet; Brüssel.
- Dittrich, D. (2014): Schertektonik im mesozoischen Deckgebirge der südöstlichen Trier-Luxemburger Bucht – Teil IV. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **42**: 27–98. <https://doi.org/10.23689/FIDGEO-5447>.
- Dose, T. (2008): A consistent approach to CO<sub>2</sub> storage capacity estimation for deep saline formations. – DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagungsbericht 2008-1, Fachbereich Aufsuchung und Gewinnung, Celle, 10./11. April 2008.

- Fehn, C. & Wirsing, G. (2011): Speicherpotenziale im tieferen Untergrund Baden-Württembergs. Storage potential in the deeper subsurface of Baden-Württemberg. – In: Reinhold, K. & Müller, C. (Hrsg.): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland. Speicher-Kataster Deutschland: 214–225. – Schr.-R. dt. Ges. für Geowiss., **74**; Stuttgart (Schweizerbart Science Publishers).  
<https://doi.org/10.1127/sdgg/74/2011/214>.
- GeORG Projektteam (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben. Fachlich-technischer Abschlussbericht des INTERREG-Projekts GeORG, Teil 1-4. [www.geopotenziale.eu](http://www.geopotenziale.eu).
- Haneke, J., Rein, B. & Thum, H. (2011): Speicherpotenziale im Saarland und in Rheinland-Pfalz. Storage potential in the deeper subsurface of Saarland and Rhineland-Palatina. – In: Reinhold, K. & Müller, C. (Hrsg.): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland. Speicher-Kataster Deutschland: 205–213. – Schr.-R. dt. Ges. für Geowiss., **74**; Stuttgart (Schweizerbart Science Publishers).  
<https://doi.org/10.1127/sdgg/74/2011/205>.
- Hedemann, H. A. (1976): Die Gebirgstemperaturen in der Bohrung Saar 1 und ihre Beziehungen zum geologischen Bau. – Geologisches Jahrbuch (A 27): 433–454.
- Hertle, M. (2004): Numerische Simulation der geologischen Entwicklungsgeschichte des permokarbonen Saar-Nahe-Beckens. Dissertation, 166 S.; Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen; Aachen.
- Knopf, S., May, F., Müller, C. & Gerling, J. P. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. – Energiewirtschaftliche Tagesfragen, **60** (4): 76–80.
- Krause, T. (1988): Geologische Untersuchung des Buntsandsteins im Raum Landau (Pfalz) anhand von Bohrungen und Geländeaufschlüssen. Unveröff. Diplomarbeit, 109 S.; Technische Universität Clausthal; Clausthal.

- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP) (2003):  
Geologische Übersichtskarte von Rheinland-Pfalz 1 : 300 000 (GÜK 300);  
Mainz.
- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP) (2005): Geologie  
von Rheinland-Pfalz, 400 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP) & Landesamt für  
Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)  
(2010): Hydrogeologische Kartierung Bitburg-Trier, 134 S.; Mainz.
- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB RLP) & Landesamt für  
Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (LW) (2004): Hydrogeologische Kartierung  
Kaiserslautern, 96 S.; Mainz.
- Nägele, R. & Tietze, R. (1981): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens  
zwischen Karlsruhe und Mannheim (Anteil Baden-Württemberg), 72 S. –  
Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Freiburg i. Br.
- Regierungspräsidium Freiburg (RPF) & Landesamt für Geologie, Rohstoffe und  
Bergbau (LGRB) (2010): Endbericht Projekt Speicher-Kataster. Unveröff.,  
118 S.
- Rein, B., Haneke, J. & Weidenfeller, M. (2011): Speicherkataster Deutschland.  
Endbericht für das Gebiet der Bundesländer Rheinland-Pfalz und Saarland.  
Unveröff., 60 S. – Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB  
RLP); Mainz.
- Reinhold, K. & Müller, C. (2011): Geologische Charakterisierung tiefliegender  
Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland. Speicher-Kataster  
Deutschland. – Schr.-R. dt. Ges. für Geowiss., **74**; Stuttgart (Schweizerbart  
Science Publishers).
- Reinhold, K., Müller, C. & Riesenberger, C. (2011): Informationssystem  
Speichergesteine für den Standort Deutschland. Synthese, 135 S. –  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Berlin/Hannover.

- 
- Rose, P. R. (2001): Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures. – AAPG Methods in Exploration Series, **12**, 178 S. (American Association of Petroleum Geologists). <https://doi.org/10.1306/Mth12792>.
- Schreiber, U. & Jentzsch, G. (2021): Vulkanische Gefährdung in Deutschland. Bewertung möglicher vulkanischer Aktivitäten der nächsten 1 Million Jahre in Deutschland inklusive Festlegung der Gebiete mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit in diesem Zeitraum. BGE-Vergabenummer: SEVGV3T-19-04-OI, 132 S.
- Storz, R. (2007): Tiefe Geothermie in Rheinland-Pfalz. – Mainzer geowiss. Mitt., **35**: 135–158. <https://doi.org/10.23689/figeo-5425>.