

# Projektstudie:

## „Speicherkataster Deutschland“

Endbericht zum Teilprojekt

„Potenzialkarten und Charakterisierung von CO<sub>2</sub>-Speicherstrukturen im Land Hessen“

Vertrag Nr. 207-4500046888

		Bearbeitung:	Anne Kött und Dr. Matthias Kracht
Bereich:	Hessen gesamt	Aktenzeichen:	89 01 50 Geophysik und Erdbeben/10/Kr8
Anlagen:	3 Tabellen, 40 Abbildungen	Datum:	31.08. 2010

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Leistungsbeschreibung</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Definitionen</b> .....	<b>6</b>
<b>4 Methodik</b> .....	<b>7</b>
<b>4.1 Datenbasis</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Überregionale geologische Beschreibung</b> .....	<b>8</b>
<b>5.1 Ausschlussgebiete – für die Speicherung von CO<sub>2</sub> ungeeignete Gebiete</b> .....	<b>10</b>
<b>6 Speicher- und Barrierekomplexe in Hessen</b> .....	<b>12</b>
<b>6.1 Speicherkomplex 1: Rotliegend</b> .....	<b>12</b>
6.1.1 Nord- und Osthessen .....	12
6.1.1.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes .....	12
6.1.1.2 Mächtigkeiten .....	16
6.1.1.3 Speicherstrukturen .....	16
6.1.1.4 Porositäten und Permeabilitäten.....	18
6.1.2 Südhessen (Nördlicher Oberrheingraben).....	19
6.1.2.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes .....	19
6.1.2.2 Mächtigkeiten .....	22
6.1.2.3 Speicherstrukturen .....	22
6.1.2.4 Porositäten und Permeabilitäten.....	24
<b>6.2 Barrierekomplex 1: Zechstein z1 – z3T und Tertiäre Abfolgen</b> .....	<b>26</b>
6.2.1 Nord- und Osthessen – Zechstein z1 - z3T und tertiäre Vulkanite .....	26
6.2.2 Südhessen (Nördlicher Oberrheingraben) – Tertiäre Abfolgen .....	29
<b>6.3 Speicherhorizont-2: Zechstein – Leine-Karbonat („Plattendolomit“ z3CA)</b> .....	<b>31</b>
6.3.1. Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes .....	31
6.3.2 Mächtigkeiten .....	33
6.3.3 Speicherstrukturen .....	36
6.3.4 Porositäten und Permeabilitäten .....	37
<b>6.4 Barrierehorizont-2: Zechstein – z3Tr, z4 - z7</b> .....	<b>39</b>
<b>6.5 Speicherhorizont-3: Mittlerer Buntsandstein – Volpriehausen-Folge smV</b> .....	<b>42</b>
6.5.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes .....	42
6.5.2 Mächtigkeiten .....	45
6.5.3 Speicherstrukturen .....	45
6.5.4 Porositäten und Permeabilitäten .....	45
<b>6.6 Barrierehorizont-3: Mittlerer Buntsandstein - Detfurth-Folge smD</b> .....	<b>48</b>
<b>6.7 Speicherkomplex 4: Tertiär – Pechelbronn-Gruppe teo-oIP</b> .....	<b>51</b>
6.7.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes .....	51
6.7.2 Mächtigkeiten .....	52
6.7.3 Speicherstrukturen .....	55
6.7.4 Porositäten und Permeabilitäten .....	57
<b>6.8 Barrierekomplex 4: Tertiäre Abfolgen</b> .....	<b>58</b>
<b>7 Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>59</b>
<b>8 Danksagung</b> .....	<b>61</b>
<b>9 Literatur</b> .....	<b>62</b>

## Zusammenfassung

Im Rahmen des länderübergreifenden, bundesweiten Projekts „Speicherkataster Deutschland“ wurden vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie potenzielle CO<sub>2</sub>-Speicherregionen und –strukturen im tieferen Untergrund Hessens untersucht.

Gebiete, die sich aufgrund der Gesteinseigenschaften und Strukturgeologie nicht für die Speicherung von CO<sub>2</sub> eignen (Ausschlussgebiete) sind gut belegt. Dies trifft v. a. für das kristalline Grundgebirge des Odenwald und Spessart sowie die gefalteten und geschieferten Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges zu.

Als potenziell nutzbare Speichergesteine wurden das Rotliegend im osthessischen Bereich der Saar-Werra-Senke und im Oberrheingraben, das Leine-Karbonat (Zechstein-Folge z3CA) und die Volpriehausen-Wechselfolge (Mittlerer Buntsandstein) in Nord- und Osthessen sowie die tertiäre Pechelbronn-Gruppe im Oberrheingraben untersucht. Im Raum Kassel, im Vogelsberg und der Hohen Rhön ist die Datengrundlage unzureichend.

Die Gesteine des Rotliegend weisen regional eine ausreichende Tiefenlage und kumulative Mächtigkeit auf. Die Porositäten und Permeabilitäten der gemessenen Gesteine der Saar-Werra-Senke sind jedoch viel zu gering, um eine für eine effektive Einspeisung von CO<sub>2</sub> zu ermöglichen. Die Lithologie kann allerdings von Bohrung zu Bohrung stark variieren. Örtlich bessere Speichereigenschaften sind im Oberrheingraben vorhanden. Als einzige Speicherstruktur Hessens mit einem ausreichend großen, aber immer noch sehr geringem Speichervolumen von 0,19 km<sup>3</sup> konnte eine asymmetrische Antiklinalstruktur bei Stockstadt definiert werden. Der überlagernde Rupelton weist hier ausreichende Barriereigenschaften auf.

Der karstartig erweiterte Kluftgrundwasserleiter des Leine-Karbonats ist nur eingeschränkt als Speichergestein geeignet, da die Speichersicherheit aufgrund der lithologischen Eigenschaften der Deckschichten nicht gegeben ist und ausreichend große Antiklinalstrukturen nicht vorhanden sind. Außerdem besteht ein Nutzungskonflikt mit der Versenkung von Salzabwasser der Kaliindustrie.

Die Volpriehausen-Wechselfolge erreicht nur in einem sehr begrenzten Gebiet im Raum Kassel die nötige Tiefenstufe von 800 m unter Geländeoberkante. Ausreichender Schutz ist durch die überlagernden Deckschichten (Kluftgrundwasserleiter!) nicht gegeben.

Die tertiären Pechelbronn-Schichten im Oberrheingraben haben zwar durch ihre Eigenschaft als Erdöl-Muttergestein ihre potenzielle Eignung als CO<sub>2</sub>-Speicher bewiesen, die ausgewiesenen Antiklinalstrukturen weisen jedoch ein zu geringes Speichervolumen auf.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass in Hessen keine ausreichend großen und sicheren Speicherstrukturen vorhanden sind, um eine effektive und nachhaltige Einspeisung von CO<sub>2</sub> zu ermöglichen.

## 1 Einleitung

Das „Speicher-Kataster Deutschland“ ist ein gemeinsames Projekt der Bundesländer und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Es zielt auf die systematische Zusammenstellung von Informationen über unterirdische Speicherregionen. Hierzu wurden Potenzialkarten von Speicher- und Barrieregesteinen sowie detaillierte geologische Charakterisierungen potenzieller Speicherregionen bzw. Speicherstrukturen auf der Basis bestehender Datenbestände erzeugt.

Die bundesweit einheitliche Erfassung und Interpretation von Informationen über Speicher- und Barrieregesteine dient der qualifizierten Beratung von Politik, Öffentlichkeit und Wirtschaft durch die zuständigen Fachbehörden.

Im Rahmen des oben genannten Informationssystems wurde das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) beauftragt, die Speicher- und Barrieregesteine im Gebiet des Landes Hessen zu erfassen und zu bearbeiten (Vertrag Nr. 207-4500046888). Die in diesem Vertrag festgelegten Untersuchungen wurden zwischen dem 01.03.2009 und dem 31.08.2010 durchgeführt.

## 2 Leistungsbeschreibung

Entsprechend der zwischen der BGR und dem HLUG vereinbarten Leistungsbeschreibung (Leistungsbeschreibung zum Vertrag Nr. 207-4500046888) beinhaltet der Untersuchungsauftrag acht Arbeitsschritte (Punkte a bis h), der drei Phasen des Projekts zuzuordnen sind. Einige der Arbeitsschritte wurden während der Projektlaufzeit durch die Projektleitung in ihrem Umfang und ihrer Umsetzung gegenüber der ursprünglichen Leistungsbeschreibung abgeändert bzw. an die Gegebenheiten in Hessen angepasst, da sie nicht generell zu realisieren waren.

### Phase I (Punkte a bis d der Leistungsbeschreibung):

- a) Erstellung von Potenzialkarten von Speichergesteinskomplexen des sedimentären Deckgebirges im Maßstab 1: 1.000.000
- b) Erstellung von Potenzialkarten von Barrieregesteinskomplexen des sedimentären Deckgebirges im Maßstab 1: 1.000.000
- c) Detaillierte kartographische Darstellung potenziell geeigneter Speicher- und Barrieregesteinskomplexe im Maßstab 1: 300.000
- d) Inventarisierung der Strukturen in strukturelle, stratigraphische und lithologische Speicherstrukturen (Erstellung eines Zwischenberichts zu den Punkten a bis d).

Schwerpunkte der ersten Projektphase waren die kartographische Darstellung von Speicher- und Barrieregesteinskomplexen und – wenn möglich – die regionale Abgrenzung von Speicherregionen bzw. Speicherstrukturen, d.h. vorwiegend auf die Fläche bezogene Arbeiten.

Die Arbeitsschritte a bis d waren Gegenstand eines Zwischenberichts, der fristgemäß der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zum 22.12.2009 übergeben wurde. Dieser

Zwischenbericht ist in überarbeiteter Form in den hier vorliegenden Abschlussbericht für das Land Hessen eingegangen.

Phase II (Punkte e und f der Leistungsbeschreibung):

- e) Geologische Charakterisierung und kartographische Darstellung potenzieller Speicherstrukturen
- f) Spezielle Bearbeitung von Schwerpunktoobjekten

In der zweiten Projektphase wurden vom HLUG bestimmte Speicherregionen bzw. Speicherstrukturen ausführlicher bearbeitet. Dabei erfolgte eine standortspezifische geologische Charakterisierung der Speicher- und Barrieregesteine und die Dokumentation bestehender Datengrundlagen.

Phase III (Punkte g und h der Leistungsbeschreibung):

- g) Abschließende Prüfung der erfassten und dargestellten Daten (Qualitätssicherung)
- h) Erstellung eines Berichtes zum Teilprojekt „Potenzialkarten und Charakterisierung von Speicherstrukturen in Hessen“ in analoger und digitaler Form.

Die Projektphase III diente der Nachbereitung von Phasen I und II, der Qualitätssicherung und Dokumentation der Projektarbeiten und der abschließenden Datenbereitstellung für das Projekt „Speicher-Kataster“.

Generell wurden folgende Horizonte bearbeitet (siehe Tab. 1).

Speicher- und Barrierekomplexe		TH	HE	BY	BW	RP	ORG	Grenzen	
Periode/Epoche	Alter/Formation	Speicher-Komplex	Barriere-Komplex	Speicher-Komplex	Barriere-Komplex	Speicher-Komplex	Barriere-Komplex	Speicher-Komplex	Barriere-Komplex
Quartär	Pliozän ca. 1,8								
	Miozän								
	Oligozän								
	Eozän / Paläozän ca. 65								
Kreide	Maasricht								
	Campen								
	Santon								
	Coniac								
	Turon								
	Cenoman								
	Alb								
	Apt								
	Barême								
	Haardenne / Valangin								
Jura	Berrias / Waiden ca. 145								
	Tithon								
	Kimmeridg								
	Oxford								
	Callov								
	Bathon								
	Beac								
	Asien								
	Toarc								
	Friemsdach / Sinemur								
Trias	Hettang ca. 200								
	Rhätkeuper								
	Stammgalkenpfer								
	Oberer Gipskeuper								
	Schilfsandstein								
	Unterer Gipskeuper								
	Leiferdeger								
	Ob. Muschelkalk								
	Mitt. Muschelkalk								
	Unt. Muschelkalk								
Perm	Rot ca. 250								
	Solling-Folge								
	Hardegsen-Folge								
	Dalbuth-Folge								
	Volpreusen-Folge								
	Quickborn-Folge								
	Bernburg-Folge								
	Carlsfeld-Folge								
	Fulda-Folge								
	Frieland-Folge								
Karbon	Zechstein								
	Cher-Folge								
	Alm-Folge								
	Leine-Folge								
	Stallart-Folge								
Rotliegend	Werra-Folge								
	Oberliegend								
Untersliegend									

Tab. 1: Die für das Speicherkataster Deutschland zu untersuchenden Speicher- und Barrierekomplexe in Süddeutschland (rot umrahmt Hessen)

Die Abstimmung mit den an Hessen angrenzenden Bundesländern (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Thüringen, Bayern, Baden-Württemberg) erfolgte im Februar und März 2010, bei der Veranstaltung in Halle Ende April 2010 und abschließend bis Mai 2010. Lediglich mit Rheinland-Pfalz erfolgte bisher kein Abgleich.

### 3 Definitionen

Um eine länderübergreifende Nutzung der Daten im „Speicherkataster Deutschland“ zu ermöglichen, wurden im Vorfeld gemeinsame Auswahlkriterien zur Definition der zu bearbeitenden Speicher- und Barrieregesteine erstellt.

#### Definition Speicherformation

Speicherkomplexe sind lithostratigraphisch definierte Schichtfolgen, in denen mehrere Horizonte mit Speichereigenschaften auftreten, die durch Horizonte ohne Speichereignung getrennt werden.

- Top der Speicherformation mindestens 800 m unter Geländeoberfläche
- Hydrogeologische Einstufung als salinärer Aquifer
- Nutzporosität > 10 %
- Permeabilität > 10 mD
- Nettomächtigkeit > 10 m (Die Nettomächtigkeit ist die Summe der Mächtigkeiten aller Schichtglieder der Speicherformation, die auf Grund ihrer Lithologie eine Speichereignung haben können)
- Strukturelle Begrenzung (Antiklinalen („Spill points“), tektonische Migrationsbarrieren, saline Intrusionen)
- Mindestspeichervolumen 0,1 km<sup>3</sup>

#### Definition Barriereformation

Ein Barrierekomplex besteht aus einem oder mehreren Horizonten von Gesteinen mit Barriereeignung, die durch Gesteinshorizonte ohne Barriereeignung getrennt werden.

- Basis der Barriereformation mindestens 800 m unter Geländeoberfläche
- Hydrogeologische Einstufung als Grundwassernichtleiter (Aquiclude) bzw. Grundwasseringeleiter (Aquitard)
- Lithologie: Grundwassernichtleiter (z.B. Tonstein, Steinsalz, Anhydrit)
- Mindestmächtigkeit 20 m

## 4 Methodik

### 4.1 Datenbasis

Neben zahlreichen Veröffentlichungen zu den verschiedensten geologischen Themenbereichen stehen vor allem die geologischen Karten 1: 25.000 mit Erläuterungen zur Verfügung. Allerdings liegen nur von etwa 1/3 der hessischen Landesfläche neuere Kartierungen (nach 1950) mit ausführlichen Erläuterungen vor. Diese geben aber einen guten Überblick über die Lage und Verbreitung sowie die lithologische Ausprägung der unterschiedlichen Gesteinseinheiten. Hydrogeologische Kartierungen und Untersuchungen zu Durchlässigkeiten (z. B. SCHRIFT & RAMBOW 1984, PRINZ & HOLTZ 1989) geben Hinweise auf die nutzbaren Hohlräume der Einheiten sowie die Lage der Grundwasserleiter.

Die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen aus dem Archiv des HLUG, die in analoger (Bohrkataster) und digitaler Form (Bohrdatenbank Hessen, BDH) vorliegen, lassen Aussagen über die Tiefenlage der für die CO<sub>2</sub>-Einlagerung in Frage kommenden Schichten zu.

Es wurden ca. 10.000 Schichtenverzeichnisse von Bohrungen der Bohrdatenbank Hessen gesichtet und zur Ausarbeitung von Tiefenlinienplänen der für die CO<sub>2</sub>-Speicherung interessanten geologischen Einheiten ausgewertet. Allerdings sind nur etwa 500 Bohrungen tiefer als 500 m und nur knapp 200 davon geben Auskunft über die Gesteine in über 800 m Tiefe; die meisten davon wurden im Bereich des Oberrheingrabens abgeteuft (siehe Abb. 1). Zusätzlich wurden die Informationen zu den Mächtigkeiten der geologischen Einheiten aus den Normalprofilen der Geologischen Karten (GK 25) in die Auswertung der Schichtenverzeichnisse einbezogen. Nach und nach wurden die digitalen Daten durch die zusätzlich im Bohrkataster des HLUG archivierten analogen Schichtenverzeichnisse ergänzt.

Mithilfe des digitalen Höhenmodells wurden die Höhenlagen der Schichtausbisse aller in Frage kommenden geologischen Einheiten aus den geologischen Karten (GK 25) bezogen auf Normalnull [NN] bestimmt. Mit ArcGIS wurden die Schichtausbisse der geologischen Karten mit den vergleichbaren Schichtgrenzen der Bohrprofile verbunden und so die Schichtoberflächen in den Raum interpoliert. Geologische Störungen und dadurch bedingte Versätze der Gesteinsschichten wurden nur in wenigen Fällen berücksichtigt. Je weniger Bohrungen in einer Region vorhanden waren, desto unsicherer war die Berechnung der Schichtoberfläche. Das Raster der Schichtoberfläche, welches auf NN-Werten beruht, wurde wiederum vom digitalen Höhenmodell abgezogen, so dass nun die jeweilige Tiefenlage unter der Geländeoberfläche ermittelt war.

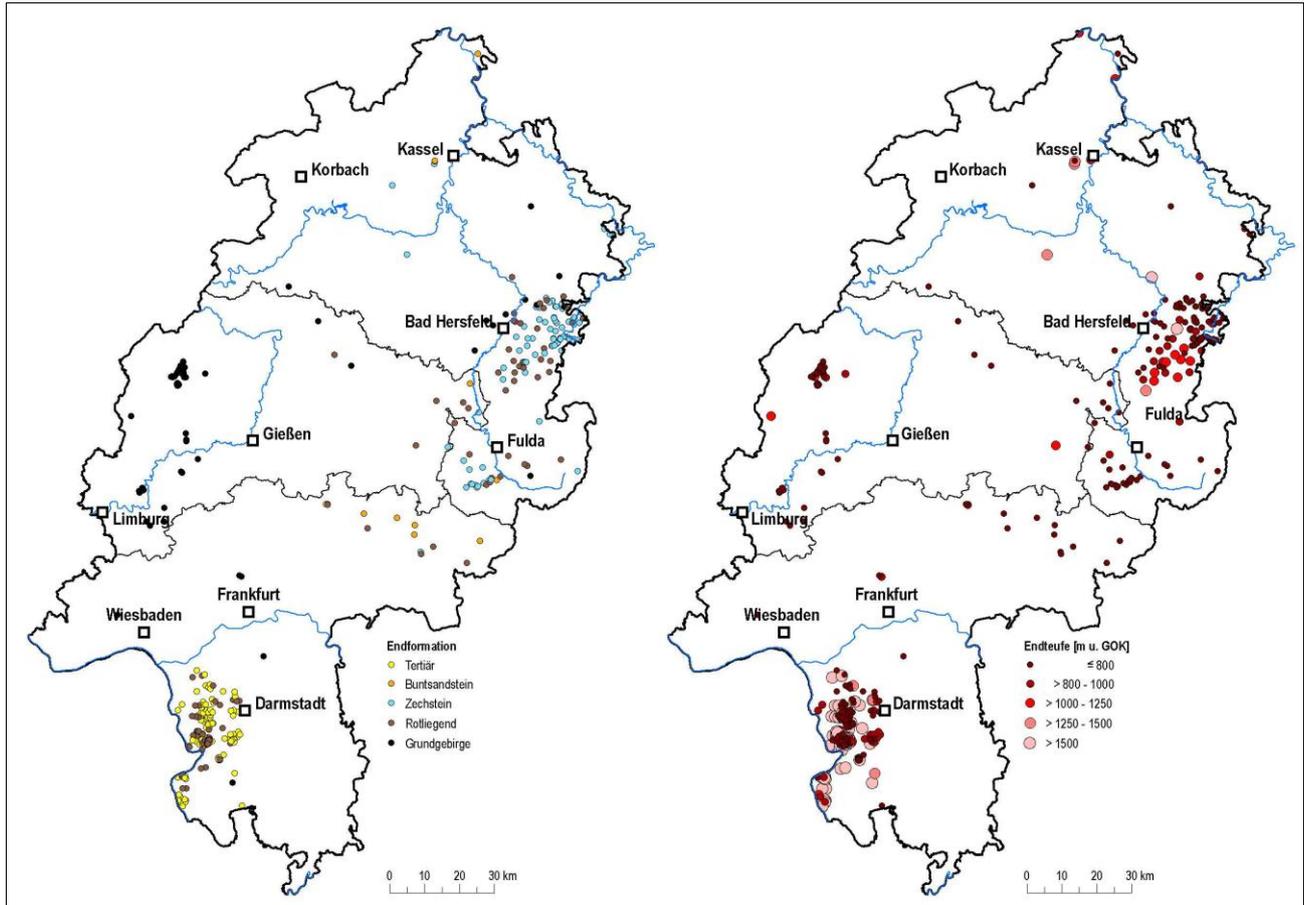


Abb. 1: Bohrungen mit einer Teufe > 500 m aus dem Archiv des HLUG (KÖTT & KRACHT 2009)

## 5 Überregionale geologische Beschreibung

Die Landesfläche von Hessen und ihr geologischer Untergrund sind in geologische Strukturräume untergliedert (siehe Abb. 2). Grundlage dieser Differenzierung sind die stratigraphischen, petrographischen und strukturgeologischen Unterschiede der Gesteinsabfolgen bzw. der geologischen Einheiten zwischen den einzelnen Regionen in Hessen.

Die ältesten Gesteine Hessens sind im Erdaltertum, dem Paläozoikum entstanden. Die paläozoischen Gesteinsschichten sind in Hessen weit verbreitet. Das größte zusammenhängende Gebiet bildet das Rheinische Schiefergebirge, daneben gibt es inmitten der Osthessischen Mesozoischen-Schollen lokale Vorkommen paläozoischer Gesteine, als „Paläozoische Aufbrüche“ bezeichnet, sowie das Odenwald-Kristallin und das Spessart-Kristallin. Diese Strukturräume zeichnen sich dadurch aus, dass die Gesteine noch während des Paläozoikums eine Gebirgsbildungsphase durchlaufen haben. Sie sind daher deformiert, gefaltet, geschiefert und an tektonischen Grenzen gegeneinander versetzt bzw. metamorph überprägt worden.

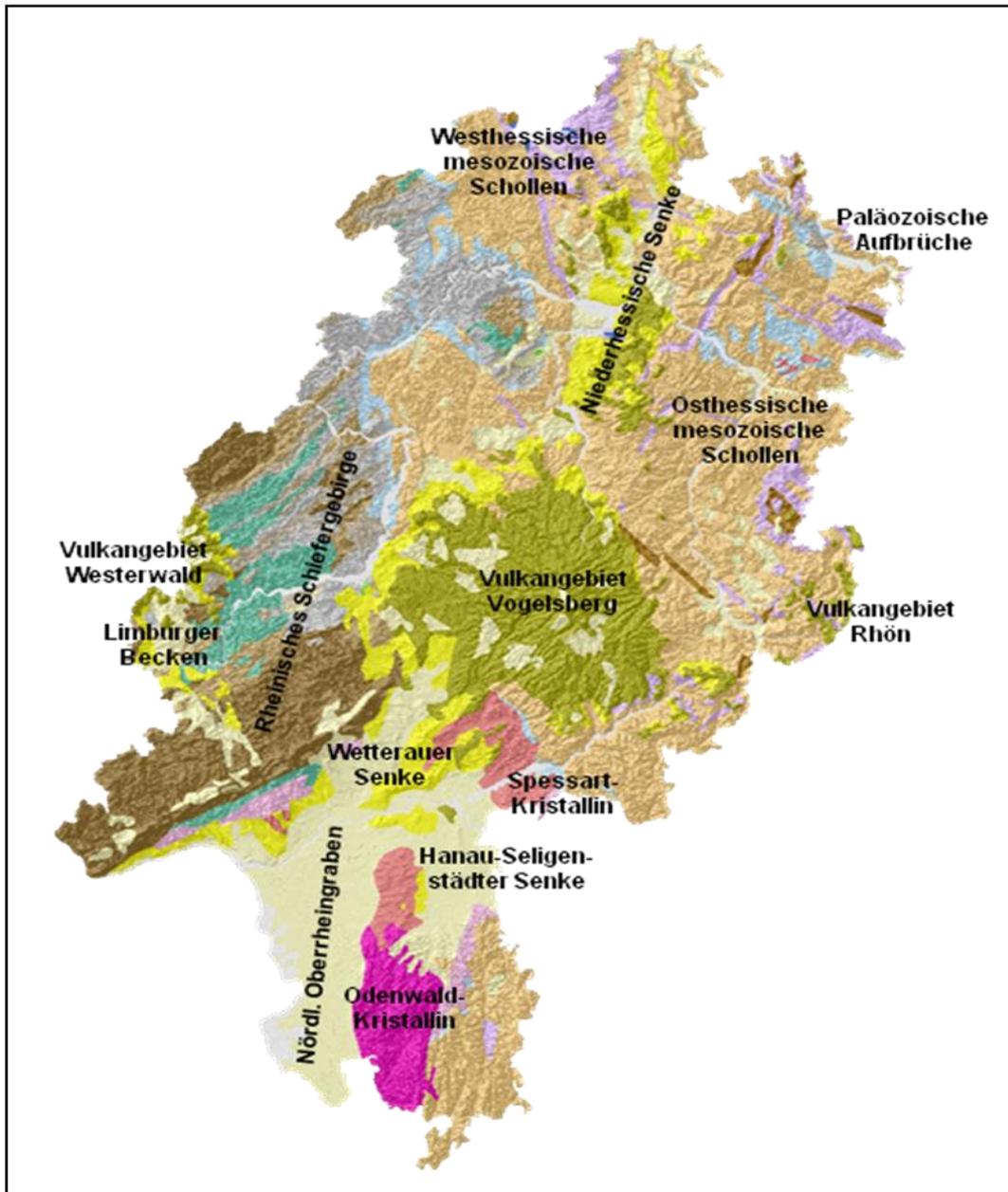


Abb. 2: Geologische Strukturräume von Hessen

Die Sedimentgesteine des Perm, des jüngsten Systems des Paläozoikum, wurden dagegen von keiner Gebirgsbildung erfasst und sind vor allem in den Randbereichen des Rheinischen Schiefergebirges bzw. der Paläozoischen Aufbrüche an der Erdoberfläche verbreitet.

Bis zu einem Drittel der Landesfläche von Hessen wird von Gesteinen aus der Zeit des Mesozoikum (Erdmittelalter) aufgebaut. Vor allem in Nord-, Süd- und Osthessen sind diese Gesteine verbreitet. Das mesozoische Gebirge besteht in Hessen im Wesentlichen aus Sandsteinen und Tonsteinen des Buntsandstein sowie Kalksteinen des Muschelkalk. Die Gesteine des Keuper, des Jura und der Kreide sind in Hessen nur sehr untergeordnet erhalten geblieben und zu einem Großteil in der Erdneuzeit abgetragen worden.

Die jüngsten Gesteinseinheiten des Känozoikum (Erdneuzeit) sind in Hessen großflächig vor allem im Bereich des Nördlichen Oberrheingraben und der Niederhessischen Senke verbreitet. Die Gesteine setzen sich zum einen aus tertiär- und quartärzeitlichen Tonen, Sanden, Kiesen und Kalksteinen zusammen, die als Rohstoffe große Bedeutung für die hessische Steine und Erden-Industrie haben. Zum anderen bilden die tertiären Vulkangesteine das größte zusammenhängende Vulkangebiet Europas, den Vogelsberg. Weiterhin sind tertiärzeitliche vulkanische Gesteine auch in den Vulkangebiet des Westerwaldes, des Habichtswaldes und der Rhön weit verbreitet.

## 5.1 Ausschlussgebiete – für die Speicherung von CO<sub>2</sub> ungeeignete Gebiete

Als potenzielle CO<sub>2</sub>-Speicher können Gesteine ausgeschlossen werden, die kein oder kaum nutzbares Hohlräumvolumen besitzen (Abb. 3, weiße Gebiete).

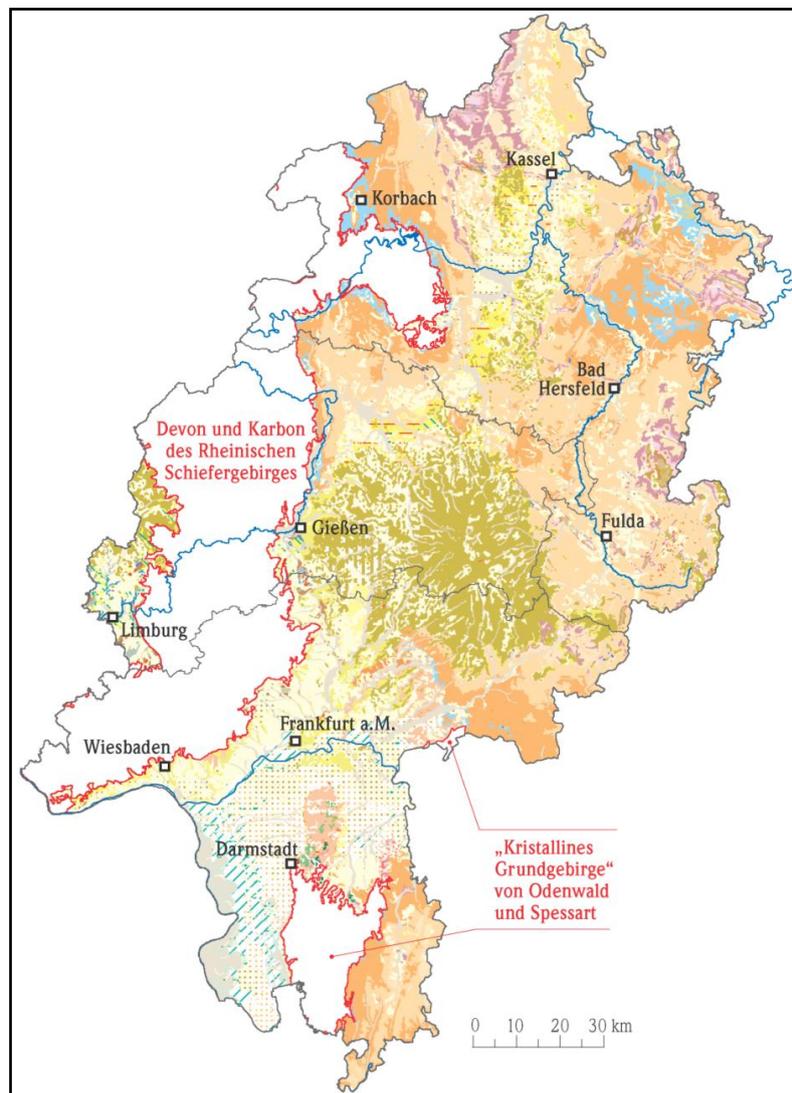


Abb.3: Geologische Übersichtskarte (GÜK 300) mit Ausschlussgebieten (weiß) für CO<sub>2</sub>-Speicherung (KÖTT & KRACHT 2009)

Dazu zählt das Grundgebirge des Odenwald-Kristallin und Spessart-Kristallin, das sich aus metamorphen und magmatischen Gesteinen zusammensetzt. Die Ortho- und Paragneise sowie die Glimmerschiefer des Spessart-Kristallin sind aufgrund ihres hohen Metamorphosegrades, der zu Mineralneubildungen und zur Verheilung bestehender Klüfte führte, ebenso wie die kluftarmen Granite, Granodiorite, Diorite und Gabbros des Odenwald-Kristallin insgesamt nur schlecht wasserwegsam (UDLUFT et al. 1957, DIEDERICH et al. 1991, FRITSCHKE et al. 2003).

Das Rheinische Schiefergebirge besteht aus gefalteten und geschieferten Gesteinen wie Ton-, Kiesel- und Flaserschiefern, Grauwacken, Sandsteinen und Quarziten. Im Lahn-Dill-Bergland kommen zusätzlich noch Kalksteine und Vulkanite, wie Keratophyre, Diabase und Schalsteine vor.

Die paläozoischen Gesteine des Devon und Karbon besitzen i. d. R. kein nutzbares Porenvolumen und sind meist nur schlecht durchlässige Kluftgrundwasserleiter (DIEDERICH et al. 1991, FRITSCHKE et al. 2003). Ausnahmen bilden die stark verkarsteten mitteldevonischen Massenkalk (z. B. bei Limburg, Wetzlar, Adorf), der Taunusquarzit und die Hermeskeilschichten sowie durch junge Dehnungsfugen intensiv gestörte Gebiete, wie z. B. die Idsteiner Senke und das Limburger Becken (STENGEL-RUTKOWSKI 1967, 1979). Aufgrund der starken Überprägung und Deformation der Gesteinsschichten während der paläozoischen Gebirgsbildung ist eine genaue Vorhersage der Lage und Ausdehnung einzelner geologische Einheiten bis in Tiefen größer 800 m nahezu unmöglich. Störungsbahnen, wie Überschiebungen oder Querstörungen (siehe Abb. 4) als auch offene Klüfte begünstigen in diesen stark deformierten Gesteinskomplexen das Entweichen von CO<sub>2</sub>, was sich unter anderem auch durch das Aufsteigen CO<sub>2</sub>-haltiger Mineralwässer im Rheinischen Schiefergebirge und an dessen Rand zeigt.



Abb.4: Gefaltete, geschieferte und überschobene, phyllitische Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges nahe der Hunsrück-Taunus-Südrandstörung

## 6 Speicher- und Barrierekomplexe in Hessen

### 6.1 Speicherkomplex 1: Rotliegend

#### 6.1.1 Nord- und Osthessen

##### 6.1.1.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes

Zur Zeit des Rotliegend befand sich zwischen der Nordost-Südwest verlaufenden Hunsrück-Oberharz-Schwelle im Nordwesten und der parallel dazu verlaufenden Spessart-Rhön-Schwelle im Südosten die Saar-Werra-Senke. In diesen Ablagerungsraum wurde der Abtragungsschutt des variskischen Gebirges eingetragen. Hier finden sich vor allem rote Konglomerate, Sandsteine und Tonsteine. Untergeordnet sind auch Gesteine vulkanischen Ursprungs eingelagert. Schmale, Nordwest-Südost streichende Querschwellen (z. B. Baumbach-Schwelle) unterteilten den Sedimentationsraum im Ober-Perm (KULICK et al. 1984, Abb. 5).

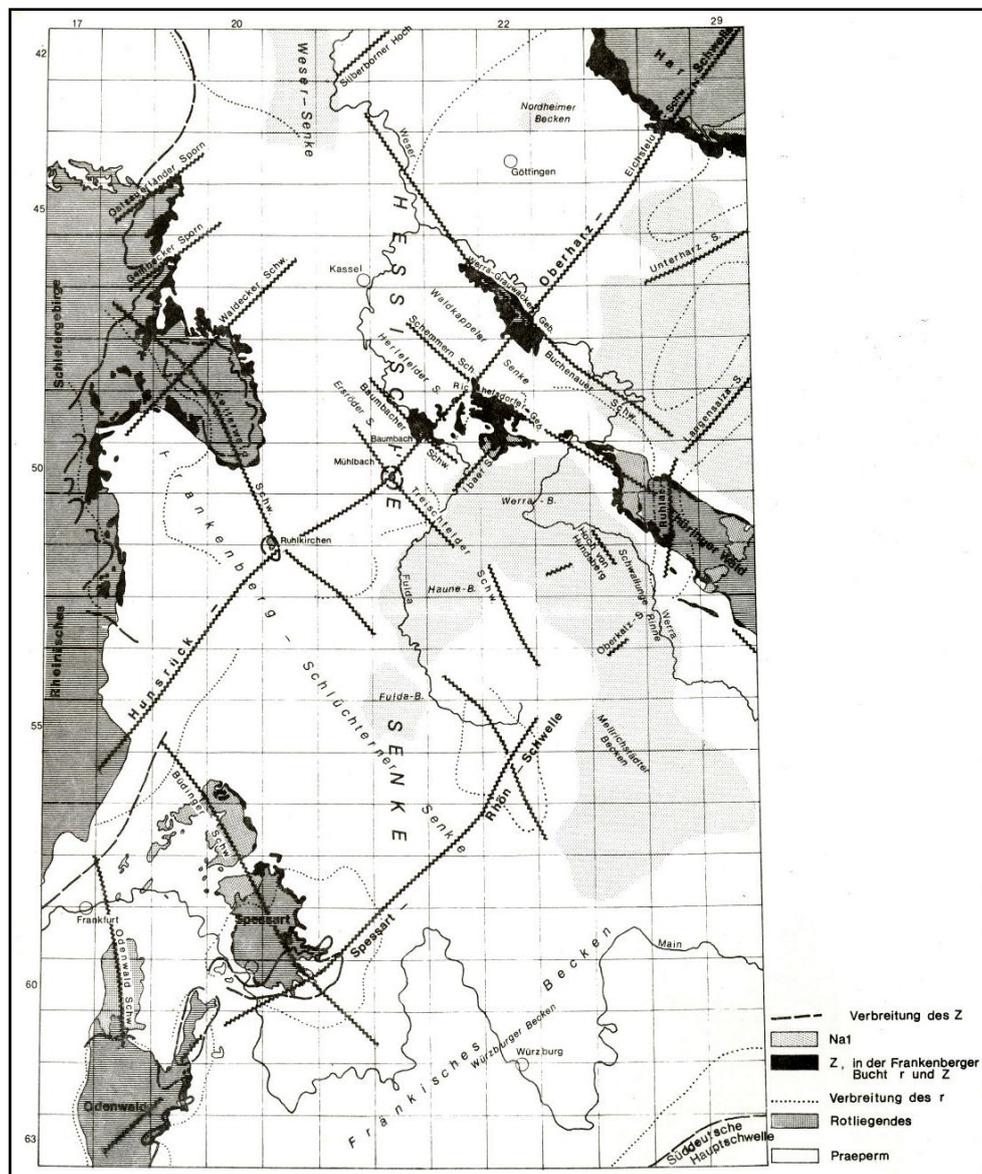


Abb.5: Paläogeographie im Perm (KULICK et al 1984)

Außerhalb der Saar-Werra-Senke sind keine Rotliegend-Gesteine mit größeren Mächtigkeiten bekannt (Abb. 6). In Nord-Hessen konnte lediglich die Bohrung Reinhardswald 1 (Blatt 4423 Oedelsheim) Rotliegend erschließen. Sowohl in mehreren Bohrungen in Nordrhein-Westfalen, als auch in Niedersachsen an der Grenze zu Hessen, wurden Rotliegend-Gesteine der Weser-Senke erbohrt. Wie weit diese jedoch nach Süden hin unter den mesozoischen Deckschichten verbreitet sind, bleibt aufgrund fehlender Tiefbohrungen spekulativ. Nach KÄDING (1987) keilt das Rotliegend relativ rasch in Richtung Hunsrück-Oberharz-Schwelle aus (Abb. 7).

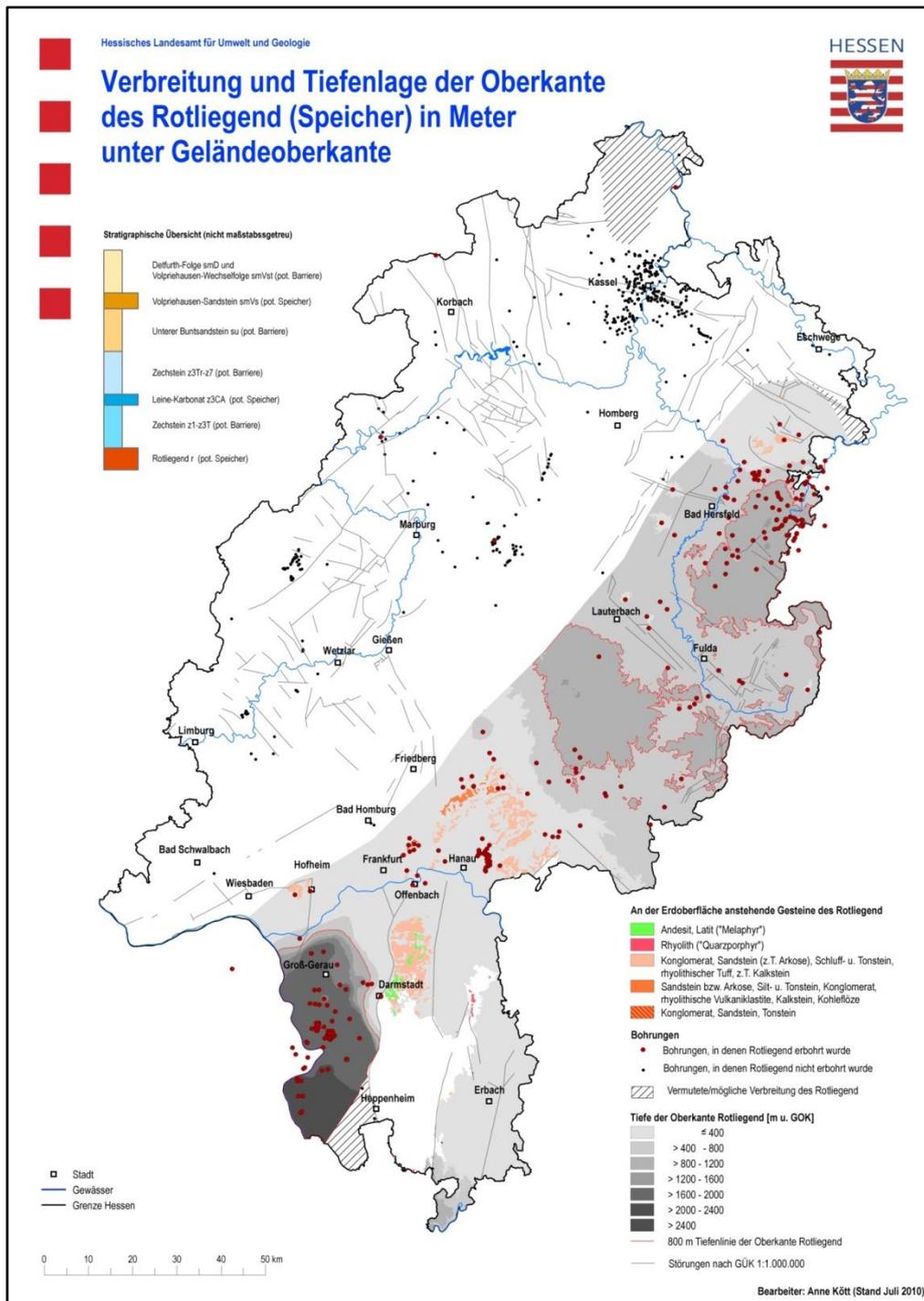


Abb.6: Verbreitung und Tiefenlage des Rotliegend in Hessen

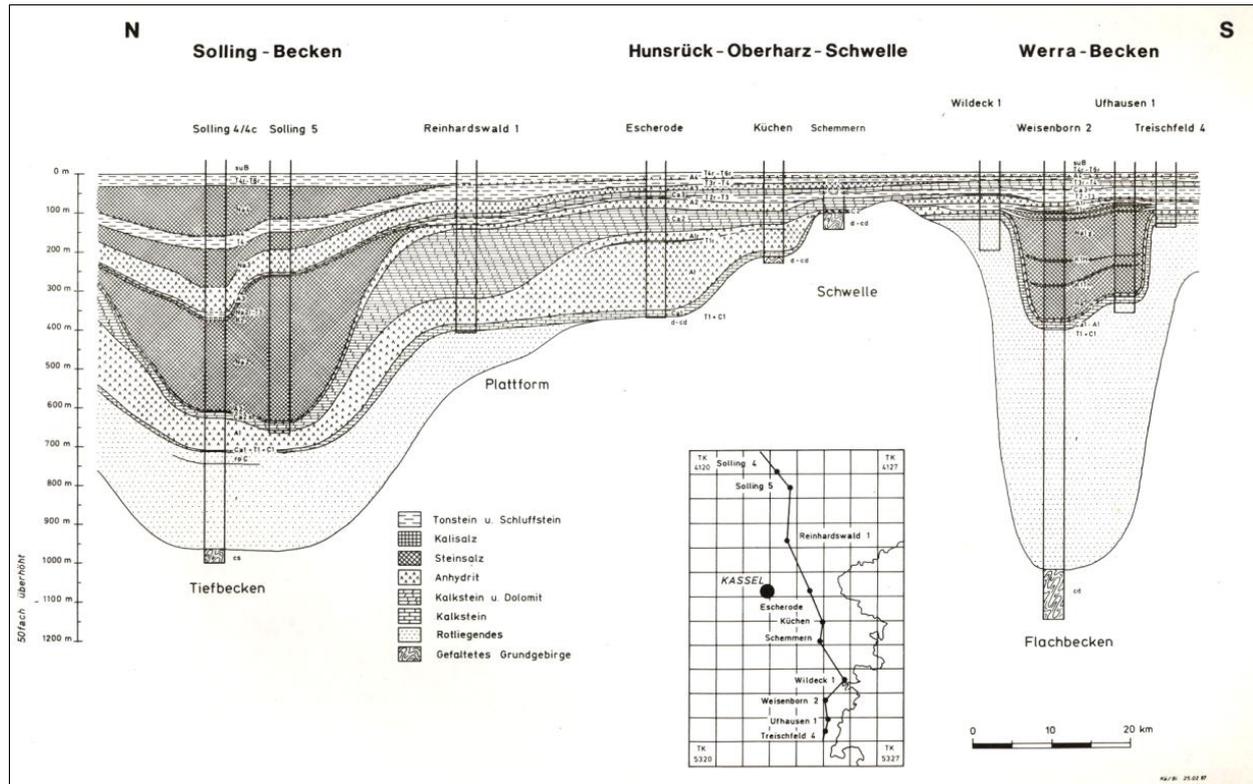


Abb.7: Faziesprofil des Zechsteins zwischen Solling- und Werra-Becken (KÄDING 1987)

Zwischen Odenwald-Kristallin und Taunus (MARELL 1989) bis hin zur Wetterau-Senke (KOWALCZYK 1983) steht das Rotliegend oberflächlich oder oberflächennah an und kommt daher als potenzielles CO<sub>2</sub>-Speichergestein nicht in Frage.

Das Rotliegend besteht im Zentrum der Wetterau-Senke und im Bereich der Osthessischen Buntsandstein-Scholle aus einer Schichtenfolge vorwiegend schlecht sortierter Ton- und Feinsandsteine mit unterschiedlichen Karbonatgehalten. In der Nähe der ehemaligen Liefergebiete dieser Sedimente, den ehemaligen beckeninternen Schwellen sowie am südöstlichen Hang der Hunsrück-Oberharz-Schwelle lassen sich in den Bohrungen auch Grobsandsteine und Konglomerate finden.

Die in Bohrungen unterhalb der Zechsteinbasis anzutreffenden Rotliegend-Gesteine zeigen sehr unterschiedliche Faziesausprägungen an. Die Abhängigkeiten des Ablagerungsraumes zum Liefergebiet entlang der Hunsrück-Oberharz-Schwelle werden dabei deutlich. Mächtige Konglomerate (Abb. 8) verzahnen sich mit Grob-, Mittel- und Feinsandsteinen (Abb. 9) einer Schutt- und Schwemmfächer-Fazies, die wiederum zum Zentrum des Sedimentationsgebietes hin von Silt- bis Tonsteinen einer Playa-Fazies abgelöst werden. Die grobklastischen Sedimente besitzen häufig eine tonige, kiesige oder karbonatische Matrix und erreichen Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis mehreren Metern (MOTZKA & LAEMMLEN 1967, MOTZKA 1968, LAEMMLEN 1975).



*Abb.8: Rotliegend-Konglomerat aus der Bohrung Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a.d. Fulda)*



*Abb.9: Rotliegend-Sandstein, Cornberg (TK 4925 Sontra)*

### 6.1.1.2 Mächtigkeiten

Die gesamte Sedimentabfolge des Rotliegend im Hessischen Becken kann Mächtigkeiten von mehr als 600 m (Bohrung Weisenborn 2, TK 5125 Friedewald, Rotliegend durchteuft; Bohrung Treischfeld 5, TK 5224 Eiterfeld, Rotliegend nicht durchteuft) erreichen (nach KOWALCZYK 1983 sogar ca. 1.000 m). Diese maximalen Mächtigkeiten, die vor allem im Zentrum des damaligen Ablagerungsraumes akkumulierten, reduzieren sich aber kontinuierlich nach Nordwesten gegen die im Rotliegend aktive Hunsrück-Oberharz-Schwelle (FRITSCHKE et al. 2000).

Außerhalb der Saar-Werra-Senke wurden keine Rotliegend-Gesteine größerer Mächtigkeiten abgelagert oder sie wurden vor der anschließenden Zechstein-Transgression wieder abgetragen (KUPFAHL 1981). Bis maximal 90 m mächtige Konglomerate und Sandsteine (Battenberg-Formation, rzBt), die zum überwiegenden Teil dem Rotliegend und geringeren Teil dem Zechstein zugerechnet werden, sind entlang des Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges verbreitet (KULICK 1991, HEGGEMANN 2008).

Aufgrund der geringen Anzahl an Bohrungen, die das Rotliegend durchteufen, sowie deren räumliche Verteilung, wurde auf eine Mächtigkeitskarte verzichtet.

### 6.1.1.3 Speicherstrukturen

Die zur CO<sub>2</sub>-Speicherung nötige Tiefenlage von 800 m unter Geländeoberkante wird für den Rotliegend-Top vor allem im Werra-Fulda-Gebiet in Osthessen erreicht (siehe Abb. 10). Hier liegt die Oberkante zwischen -600 und +100 mNN.

Zwei kleinere Aufwölbungsstrukturen (Antiklinalen), sogenannte „Spill points“, in denen CO<sub>2</sub> in Form einer Falle am seitlichen Aufstieg gehindert werden kann, sind lediglich bei Eiterfeld und Treischfeld (TK 5224 Eiterfeld) vorhanden. Sie nehmen beide jeweils eine Fläche von ca. 4.500.000 m<sup>2</sup> (4,5 km<sup>2</sup>) ein. Die maximalen Mächtigkeiten der Speichergesteine in den Antiklinalstrukturen betragen 70 m (Eiterfeld) bzw. 30 m (Treischfeld). Bei einer Porosität von 2 % (siehe Kapitel 6.1.1.4) ergeben sich Speichervolumina, die weit unter dem festgelegten Mindestwert von 0,1 km<sup>3</sup> liegen.

Lokation	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Speicher-Mächtigkeit [m]	Porosität	Speicher-Volumen [km <sup>3</sup> ]
Eiterfeld	4,5	70	0,02	0,0063
Treischfeld	4,5	30	0,02	0,0027

Im Bereich der Vulkangebiete Vogelsberg und Rhön dürfte das Rotliegend ebenfalls tiefer als 800 m liegen. Allerdings erreicht nur eine Bohrung (Bohrung Herbstein, TK 5422 Herbstein) bei 968 m unter der Geländeoberkante Gesteine des Rotliegend. Die Bohrungen, die bis ins Rotliegend reichen, wurden in dieser Studie über weite Distanzen korreliert, ohne die tektonischen

Gegebenheiten zu berücksichtigen. Gerade im Vulkangebiet Vogelsberg wird aber vermutet, dass die vulkanischen Gesteine auf einem Schollenmosaik aufsitzen (z. B. die Hungen-Schotten-Tiefscholle). Hier werden von EHRENBERG & HICKETHIER (1985) Versatzbeträge von mehreren 10er Metern zwischen den Einzelschollen vermutet. Aufwölbungsstrukturen bzw. durch Störungen begrenzte Horststrukturen konnten nicht modelliert werden, sind aber aufgrund der fehlenden Bohrungen auch nicht auszuschließen.

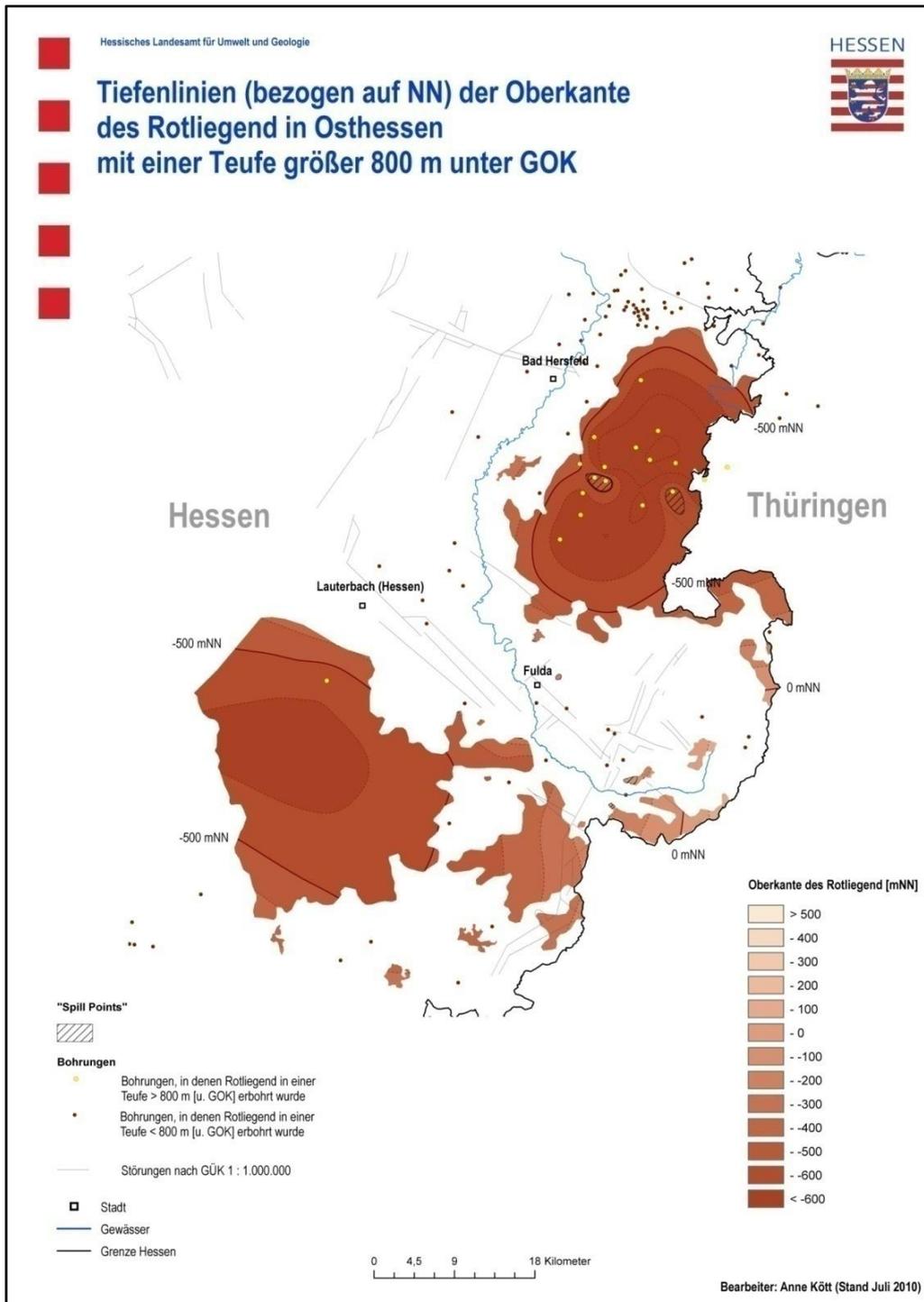


Abb.10: Tiefenlage und Speicherstrukturen des Rotliegend in Osthessen

In Nordhessen wurde das Rotliegend lediglich in der Bohrung Reinhardswald 1 (Blatt 4423 Oedelsheim) in einer Tiefe von 1.016 m unter GOK (-898 mNN) erbohrt. Da hier jedoch die Verbreitung absolut spekulativ bleibt und aufgrund fehlender weiterer Bohrungen auch keine Aufwölbungsstrukturen konstruiert werden können, wurde auf eine Darstellung im Maßstab 1: 300.000 verzichtet.

#### 6.1.1.4 Porositäten und Permeabilitäten

Über Porositäten und Permeabilitäten der Gesteine liegen keine Literaturangaben vor, sie dürften aber aufgrund der feinen Körnung und des hohen Matrixgehaltes eher gering sein. Der Versuch einer Salzabwasserversenkung in Gesteinsschichten des Rotliegend im Bereich Neuhoef wies auf ungünstige Aufnahmefähigkeiten hin. Lediglich die Konglomerat- und Sandsteinschichten ohne tonige Matrix, wie sie z. B. in der Bohrung Reckrod 2 (TK 5224 Eiterfeld) oder in Aufschlüssen des Cornberger Sandsteins (Abb. 11) vorkommen, könnten genügend Porenraum aufweisen, um als CO<sub>2</sub>-Speicher in Frage zu kommen.



Abb. 11: Poröser Rotliegend- Sandstein, Cornberg (TK 4925 Sontra)

Im Rahmen des vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geförderten Projektes „3D-Modellierung der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“ wurden an der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit dem HLUG 10

Bohrungen aus dem Bohrkernlager des HLUG beprobt und zahlreiche Geländepollen genommen, um Gesteinskennwerte zu bestimmen.

Bisher liegen lediglich die Daten zweier Bohrungen (Bohrung Sterbfritz (TK 5623 Schlüchtern) und Bohrung Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a.d. Fulda)) vor, die anderen Messergebnisse stehen noch aus. Aus beiden Bohrungen wurden insgesamt 6 Proben von Tonsteinen, Feinsandsteinen, konglomeratischen Sandsteinen und Konglomeraten genommen. Es wurden Porositäten von lediglich 2 Prozent und Permeabilitäten zwischen 0,04 mD ( $3,9 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2$ ) und 0,3 mD ( $3 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ) gemessen, viel zu gering für eine effektive Einspeisung von CO<sub>2</sub>.

Da jedoch die Lithologien der angetroffenen Rotliegend-Gesteine auf kleine Distanzen häufig von Bohrung zu Bohrung variieren (KULICK et al. 1984), sind keinerlei flächenhafte Rückschlüsse zu ziehen.

<b>Rotliegend (Speicherkomplex 1)</b>	
<b>Verbreitung</b>	Osthessen
<b>Untersuchungswürdige Horizonte</b>	Grobsandsteine und Konglomerate
<b>Tiefenlage</b>	800 – 1140 m unter GOK
<b>Mächtigkeit</b>	z.T. größer 600 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	konglomeratische Mittel- bis Grobsandsteine und Konglomerate, Lithologie variiert von Bohrung zu Bohrung
<b>Aquifereigenschaften</b>	kombinierter Kluft-/Porengrundwasserleiter
<b>Porosität</b>	2 % (konglomeratische Sandsteine Brg. Sterbfritz, (TK 5623 Schlüchtern))
<b>Permeabilität</b>	0,04 bis 0,3 mD (Tonsteine, Feinsandsteine, konglomeratische Sandsteine und Konglomerate der Brg. Sterbfritz, (TK 5623 Schlüchtern) und Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a.d. Fulda))

## 6.1.2 Südhessen (Nördlicher Oberrheingraben)

### 6.1.2.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes

Der Oberrheingraben ist Teil eines mitteleuropäischen Grabensystems, das Europäische Känozoische Grabensystem. Die tektonischen Gräben dieses Systems ziehen sich durch West- und Mitteleuropa. Im Hessischen Teil, dem Nördlichen Oberrheingraben, besteht die Grundgebirgsbasis des Grabens zumeist aus kristallinen und spätpaläozoischen Gesteinseinheiten, die um 2 - 4° nach Süden einfallend liegen (MEIER 1989). Die grabenfüllenden tertiären und quartären Sedimente, die eine Gesamtmächtigkeit von knapp 3.000 m (NW Bürstadt, TK 6316, Tertiärbasis bei 2.815 m unter GOK) erreichen, überlagern demnach von Norden nach

Süden immer jüngere Schichten. Im Nördlichen Oberrheingraben wurde jedoch überwiegend Rotliegend unterhalb der Tertiärbasis erbohrt, lediglich eine Bohrung bei Wolfskehlen (TK 6116 Oppenheim) traf ein ca. 36 m mächtiges Gesteinspaket aus hellen Dolomiten und einer Wechsellagerung aus Tonsteinen und Mergelsteinen an, die wohl dem Zechstein zugerechnet werden können.

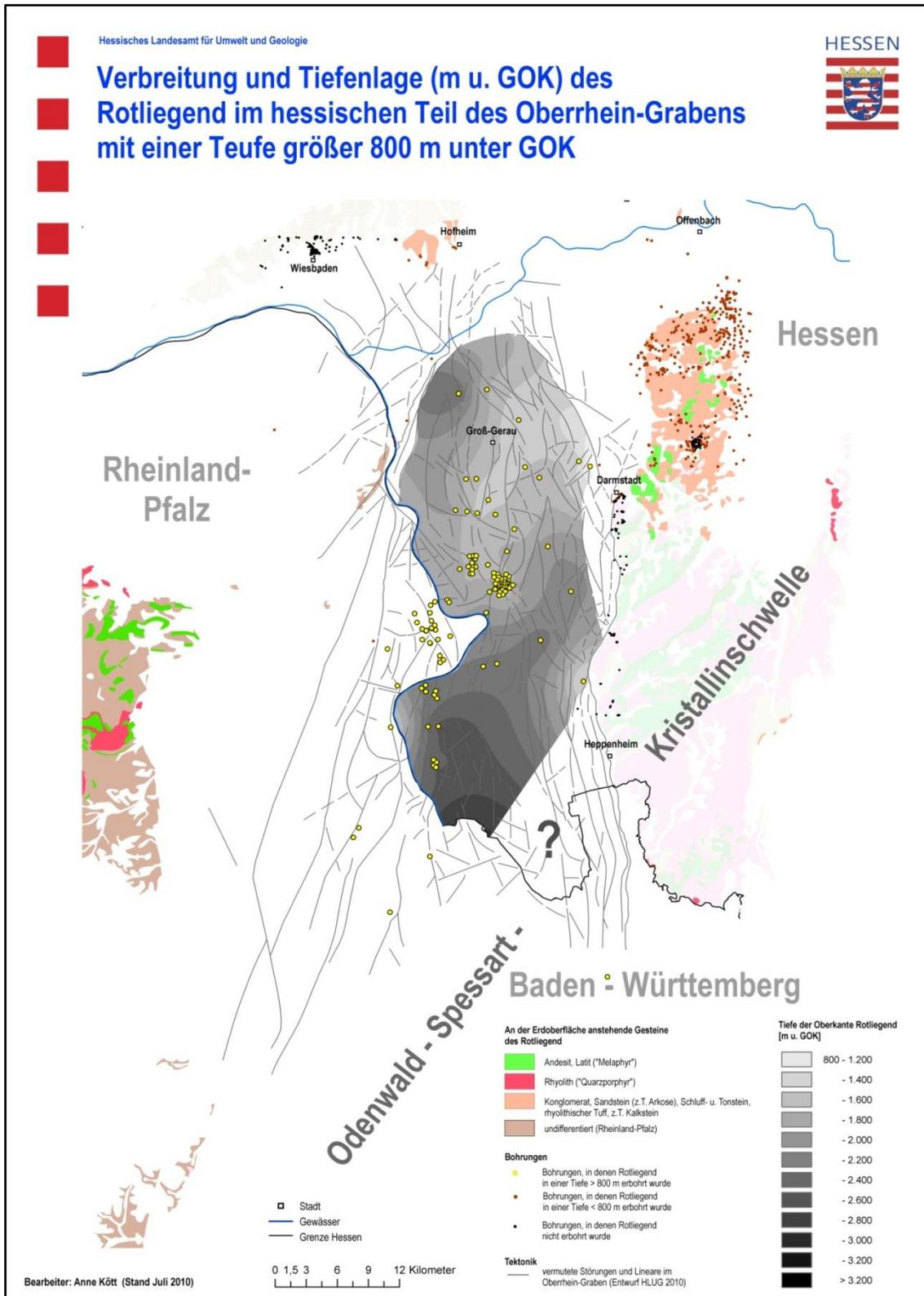


Abb.12 : Verbreitung und Tiefenlage des Rotliegend im Oberrheingraben

Im Nördlichen Oberrheingraben wurden zur Erdöl- und Erdgasexploration zahlreiche Tiefbohrungen abgeteuft, deren Ergebnisse aber zum großen Teil von der Industrie nicht freigegeben sind. Sie sind aber, soweit sie im Archiv des HLUG bzw. in der Kohlenwasserstoff-Datenbank beim LBEG vorhanden waren, in diese Untersuchungen mit eingeflossen (Abb. 12).

Die unterhalb der Tertiärbasis angetroffenen Gesteine des Rotliegend zeigen die großen Faziesunterschiede der Sedimentgesteine. MÜLLER (1996) beschreibt, ausgehend von der Untersuchung der rheinland-pfälzischen Bohrung Gimbsheim 2 (BEB Erdgas und Erdöl GmbH, TK 6216 Gernsheim), eine 184 Meter mächtige Abfolge von mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen und Konglomeraten, die eine schlechte Sortierung und erhöhte Matrixgehalte aufweisen. Unter einem Vulkanitpaket von 203 m Mächtigkeit folgen mehrere Zyklen von Fein- bis Grobsanden und Konglomeraten. In der Bohrung Worms 3 (TK 6316 Worms) befindet sich unter dem Tertiär eine 20 m mächtige Ton- bis Feinsandabfolge, gefolgt von 554 m mächtigen Vulkaniten. Erst in deren Liegendem sind mehrere grobkörnige Sandsteinpakete, die zyklisch in Tonsteine übergehen, aufgeschlossen.

In Stockstadt (TK 6217 Zwingenberg) liegen zwischen einem 131 m mächtigen Tonstein und vulkanischem Gestein in einer Teufe zwischen 1.687 und 1.932 m Grobsandsteine und Grobkonglomerate. Bei Weiterstadt (TK 6117 Darmstadt West) ist in einer Teufe von 1.773 bis 2.170 m eine Wechsellagerung aus Silt- bis Mittelsandsteinen, in die mehrfach Basalte eingeschaltet sind, vorhanden (MARELL 1989). Bei Zwingenberg (TK 6217 Zwingenberg) dominieren tonige, glimmerreiche Sandsteine und tonige Konglomerate sowie Tonsteine und Melaphyre (Abb. 13).

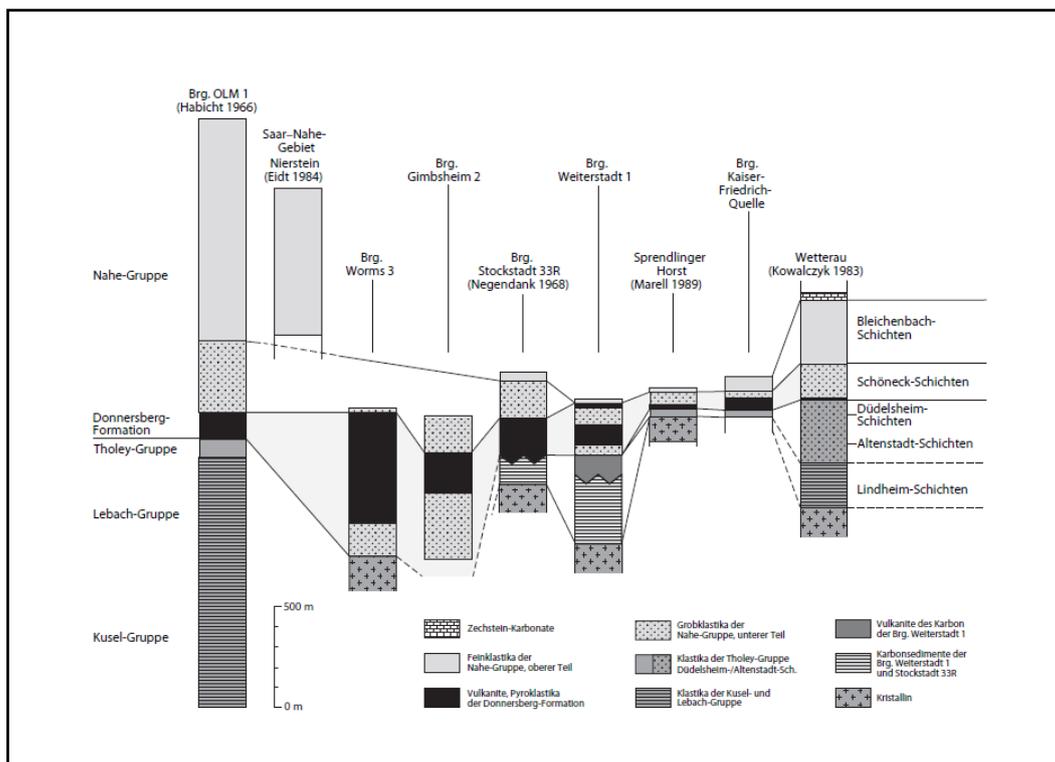


Abb. 13: Bohrungen ins Rotliegend des Oberrheingrabens (MÜLLER (1996) verändert nach MARELL (1986))

Da es sich bei den Rotliegend-Sedimenten um fluviatile Sedimente, Schwemmfächerablagerungen, Schichtflutkörper-Sedimente und Seenablagerungen handelt, sind Fazieswechsel in nur geringer Entfernung leicht möglich. Genaue Vorhersagen über die Lithologie und die detaillierte Verbreitung der einzelnen Sedimentfaziestypen und damit über die Eignung dieser geologischen Einheiten als potenzielles CO<sub>2</sub>-Speichergestein sind für die älteren geologischen Einheiten unterhalb der tertiären Schichten nicht möglich.

#### 6.1.2.2 Mächtigkeiten

Die Region des Nördlichen Oberrheingrabens war während des Perm Teil der Saar-Werra-Senke, die im Norden vom Rhenoherynikum begrenzt wurde und im Süden bis an den südlichen Rand der Mitteldeutschen Kristallzone reichte. In dieses Becken wurden Rotliegend-Sedimente und Vulkanite mit einer Gesamtmächtigkeit von maximal 2.500 m abgelagert. Im hessischen Teil des Oberrheingrabens erreichen lediglich drei Bohrungen das kristalline Grundgebirge der ehemaligen Mitteldeutschen Schwelle. Außerhalb des Grabens ist das Kristallin in Teilen des Odenwalds sowie am Haardtrand (Rheinland-Pfalz) oberflächlich aufgeschlossen. In der Bohrung Weiterstadt 1 (TK 6117 Darmstadt West) wird das Grundgebirge in einer Tiefe von 2.490 m unter GOK (ab 2.170 m unter GOK Gesteine des Karbon), in der Bohrung Stockstadt 33 (TK 6217 Zwingenberg) bei 2.244 m unter GOK und in der Bohrung Worms 3 (TK 6316 Worms) bei 2.167 m unter GOK erreicht. In den drei hessischen Bohrungen wurden Rotliegend-Gesteine mit Mächtigkeiten von 396 m (Weiterstadt 1), 688 m (Stockstadt 33) und 742 m (Worms 3) erbohrt. In den südlichen Landesteilen Hessens ist das Rotliegend nicht bekannt, hier fehlen entsprechende Tiefbohrungen. In der Bohrung WIAG Hessen 5 nahe Bensheim (TK 6317 Bensheim) wurde das Kristallin in einer Teufe von 2.180 m unter GOK angetroffen, ohne jedoch Gesteine der Pechelbronn-Gruppe (Tertiär) und des Rotliegend zu durchteufen.

Nach BOIGK & SCHÖNEICH (1968) sind im Bereich der SW-NE-streichenden (Pfälzer Wald-) Odenwald-Spessart-Kristallinschwelle im Nördlichen Oberrheingraben keine Rotliegend-Gesteine in größerer Mächtigkeit vorhanden, zumindest nicht flächendeckend. Das Geröllspektrum der Rotliegend-Einheiten in den nördlich der Kristallinschwelle befindlichen Ablagerungsräume (Saar-Nahe Becken und Hessische Senke) deuten darauf hin, dass diese Schwellenzone auch zur Zeit des Rotliegend Abtragungsgebiet war (MÜLLER 1996, KOWALCZYK 2001).

Auch im Bereich des Nördlichen Oberrheingrabens wurde aufgrund mangelnder Bohrungen auf eine Mächtigkeitskarte des Rotliegend verzichtet. Bei BOIGK & SCHÖNEICH (1968) ist eine Mächtigkeitskarte dargestellt, die hier wegen unzureichender Datenlage nicht nachvollzogen werden kann.

#### 6.1.2.3 Speicherstrukturen

Die zur CO<sub>2</sub>-Speicherung nötige Tiefenlage von 800 m unter Geländeoberkante wird für die Rotliegend-Oberfläche fast im gesamten Teil des hessischen Oberrheingrabens erreicht. Begrenzt wird das Vorkommen im Nordwesten zum Mainzer Becken hin durch die westliche

Hauptgrabenrandstörung, die etwa zwischen Rüsselsheim und Oppenheim verläuft. Nördlich von Oppenheim, im Bereich des Niersteiner Horstes, stehen Rotliegend-Gesteine an der Oberfläche an. Im Südosten ist die genaue Verbreitung aufgrund fehlender Tiefbohrungen nicht bekannt. Es wird aber vermutet, dass Rotliegend-Gesteine im Bereich der Odenwald-Spessart-Kristallinschwelle nicht mehr flächendeckend vorhanden sind (BOIGK & SCHÖNEICH 1970). Die Ostflanke des Oberrheingrabens wird von staffelartigen Störungen begrenzt. Bis zu welcher Störung die 800 m-Tiefenlinie genau reicht und welche Sprunghöhen an den einzelnen Störungen vorkommen, kann auch hier nur spekuliert werden. Die Oberkante des Rotliegend liegt demnach zwischen -800 (bei Darmstadt) und -3.000 mNN im Süden des hessischen Oberrheingrabens (Abb. 14).

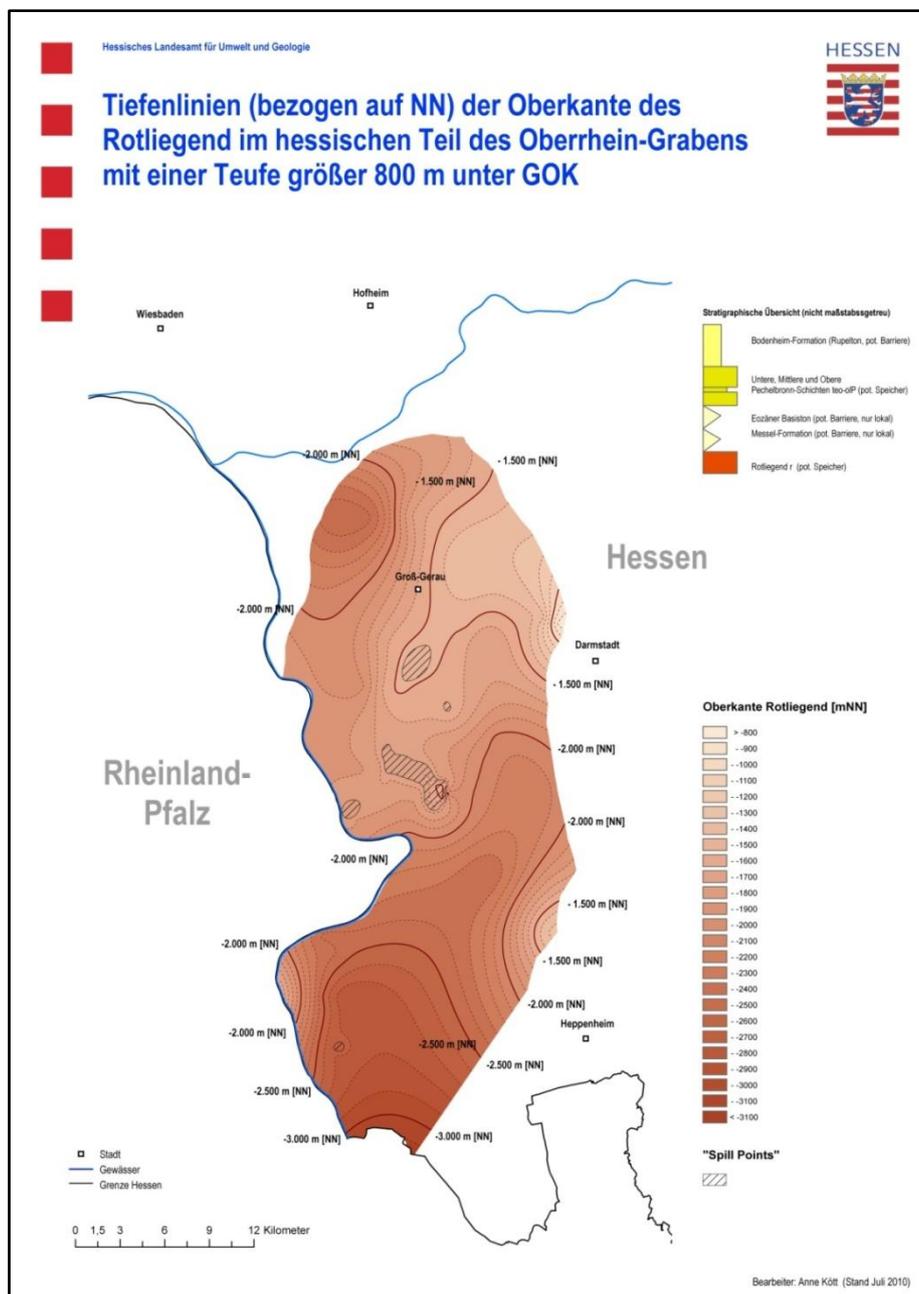


Abb. 14: Tiefenlinien und Speicherstrukturen des Rotliegend im Oberrheingraben

Fünf kleinere Aufwölbungsstrukturen („Spill points“) befinden sich bei Dornheim, Wolfskehlen, Stockstadt; östlich Biebesheim und östlich von Worms. Inwieweit diese jedoch von Störungen begrenzt oder durchschnitten werden, bleibt spekulativ, da es sich hier um reine Rechenwerte ohne Berücksichtigung der nicht genau lokalisierten Störungen handelt. Von den Erdgasspeicherstrukturen in den jungtertiären Sanden in weit geringeren Tiefen (360 bzw. 400 m ü. NN) ist bekannt, dass diese im Raum Stockstadt durch Nord-Süd bzw. Nordwest-Südost orientierte Störungen begrenzt sind. Inwieweit sich diese Störungen bis in das Rotliegende fortsetzen, könnte evtl. mittels Neuauswertung der Seismik genauer untersucht werden.

Lokation	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Speicher- Mächtigkeit [m]	Porosität	Speicher-Volumen [km <sup>3</sup> ]
Dornheim	3,2	30	0,1	0,0096
Wolfskehlen	0,2	10	0,1	0,0004
Stockstadt	7,4	50 – 210 (Mittel 130)	0,2	Max. 0,3108 Mittel 0,1940
Biebesheim	1,2	30	0,1	0,0036
Bürstadt/Worms	0,3	40	0,1	0,0012

Die maximalen Mächtigkeiten der Speichergesteine in den Antiklinalstrukturen betragen zwischen 10 und maximal 210 m. Bei einer Porosität zwischen 10 und 20 % (siehe Kapitel 6.1.2.4) ergeben sich Speichervolumina, die weit unter dem festgelegten Mindestwert von 0,1 km<sup>3</sup> liegen. Lediglich für die asymmetrische Struktur bei Stockstadt, die Mächtigkeiten zwischen 50 und maximal 210 m erreicht, kann von einem Speichervolumen von 0,19 km<sup>3</sup> ausgegangen werden.

#### 6.1.2.4 Porositäten und Permeabilitäten

Es gibt nur wenige Aussagen über die Wasserwegsamkeiten und nutzbaren Hohlraumgehalte der Rotliegend-Gesteine. Die oberflächennah anstehenden Ablagerungen in Odenwald und Wetterau sind Kluftgrundwasserleiter (DIEDERICH et al. 1991), deren Klüfte häufig wieder durch das tonige Bindemittel der Sedimente verschlossen sind. Es ist wahrscheinlich, dass dies auch für die Gebiete gilt, in denen das Rotliegend von tertiären und quartären Porenwasserführenden Sedimenten bedeckt ist. FRITSCHÉ et al. (2003) klassifizieren die Rotliegend-Gesteine des Spremlinger Horsts als Kluftgrundwasserleiter mit geringen bis sehr geringen Durchlässigkeiten, wobei die Klüfte untereinander wenig vernetzt sind.

Einige Angaben über Porositäten der Rotliegend-Gesteine im Oberrheingraben liegen aus der Kohlenwasserstoff-Exploration vor. In 13 Bohrungen wurden Porositäten zwischen 0,3 und 25 % gemessen. Die mittleren Porositätswerte liegen generell unter 10%. Lediglich in Bohrungen bei

Stockstadt (TK 6217 Zwingenberg) bzw. Eich (TK 6216 Gernsheim, Rheinland-Pfalz) liegen die Mittelwerte bei 20% bzw. 11%.

Die Permeabilitäten reichen von 0,001 ( $1 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ ) bis 560 mD ( $5,5 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ), wobei nur eine Bohrung bei Stockstadt (TK 6217 Zwingenberg) Mittelwerte von 270 mD ( $2,7 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ) erreicht, alle anderen liegen bei unter 1 mD ( $9,9 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ).

BÄR (2008) untersuchte im Rahmen einer geothermischen Potenzialstudie analoge Rotliegend-Gesteine aus Aufschlüssen der TK 5918 Neu Isenburg und 6018 Langen. Die hier mittels Gasdruck-Minipermeameter ermittelten Werte an Grobsandsteinen und Konglomeraten der Langen-Formation erreichen Permeabilitäten über 10.000 mD ( $9,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ ). Zusätzlich wurden noch weitere repräsentative Proben aus Bohrungen des Bohrkernlagers des HLUG von TK 5916 Hochheim und 5821 Bieber gemessen. Silt- bis Sandsteine der Nierstein-Formation ergaben Permeabilitäten bis 25 mD (ca.  $2,5 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ), Feinsandsteine und Fanglomerate der Lindheim- und Altstadt-Formationen Werte bis zu 66 mD (ca.  $6,5 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ). Im Rahmen des vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geförderten Projektes „3D-Modellierung der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“ werden für das Rotliegend im Oberrheingraben Spannweiten für die Gesteinspermeabilitäten (ohne Klüfte) von  $1 \cdot 10^{-16}$  bis ca.  $5 \cdot 10^{-11}$  angegeben, für die Gebirgspermeabilitäten (einschließlich Klüften) bis zu eine Zehnerpotenz höhere Werte, nämlich  $2 \cdot 10^{-15}$  bis  $8 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ , die aus der Auswertung von Pumpversuchen in Rotliegend-Gesteinen (meist oberflächennah) aus Rheinland-Pfalz und Hessen resultieren.

<b>Rotliegend (Speicherkomplex 1)</b>	
<b>Verbreitung</b>	Nördlicher Oberrheingraben
<b>Untersuchungswürdige Horizonte</b>	Grobsandsteine und Konglomerate
<b>Tiefenlage</b>	800m bis > 3.100 m unter GOK
<b>Mächtigkeit</b>	Basis nur selten durchteuft, Gesamtmächtigkeit bis über 700 m, einzelne Speicherhorizonte 185 – 250 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	mittel- bis grobkörnige Sandsteine und Konglomerate, sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung
<b>Aquifereigenschaften</b>	Kluftgrundwasserleiter, silikatische Beschaffenheit, Gesamthärte aufgrund Karbonatgehalt meist ziemlich hart (12-18°d), örtlich hohe Mineralisation
<b>Porosität</b>	$\emptyset < 10\%$ , maximal 25%
<b>Permeabilität</b>	$\emptyset < 1 \text{ mD}$ , maximal bis 560 mD

## 6.2 Barrierekomplex 1: Zechstein z1 – z3T und Tertiäre Abfolgen

### 6.2.1 Nord- und Osthessen – Zechstein z1 - z3T und tertiäre Vulkanite

Überlagert wird das Rotliegend in Nord- und Osthessen von tonig-mergeligen, karbonatischen, sulfatischen und salinaren Sedimenten (Abb. 15) des Zechstein. Die Sedimente der Werra-Formation (z1-Folge), der Staßfurt-Formation (z2-Folge) und des Leine-Tons der Leine-Formation (z3-Folge) bis an die Unterkante des Leine-Karbonates (z3CA), bilden einen geologischen Barrierehorizont, sie können Mächtigkeiten über 500 m erreichen (Bohrung Reckrod 1, TK 5224 Eiterfeld). Oberhalb der definierten potenziellen Speicherregionen des Rotliegend in Osthessen besitzt dieser Horizont überall Mächtigkeiten deutlich über den geforderten 20 m, meist ist er > 100 m mächtig (Abb. 16). Das darüber liegende Leine-Karbonat der Leine Formation (z3CA) ist als potenzielles Speichergestein zu werten und wird erneut von einem mächtigen Paket von Barrierschichten überlagert. Dies sind die Sedimentabfolgen beginnend mit dem Oberen Leine-Ton (z3Tr) über die Aller-Formation (z4-Folge), die Ohre-Formation (z5-Folge), die Friesland-Formation (z6-Folge) und die Fulda-Formation (z7-Folge).

Die Gesteine des Zechstein weisen starke Faziesdifferenzierungen auf (BECKER 2002). So sind z. B. die salinaren Sedimente nur im Untergrund der Osthessischen Buntsandstein-Scholle im Ablagerungsraum des Zechsteinzeitlichen Werra-Fulda-Beckens anzutreffen. Daher sind großräumige Aussagen über die Eignung des Zechstein als Deckgestein aufgrund seiner unterschiedlichen lithologischen Ausprägung schwierig und nur lokal zu treffen. In Regionen salinärer Ausprägung könnte sich der Zechstein aufgrund der Fließeingenschaften des Salzes recht gut als Barrieregestein eignen. Allerdings durchschlagen häufig Basaltgänge, an denen CO<sub>2</sub> leicht aufsteigen kann, die Schichten des Zechstein. Sie haben stellenweise zu einer Imprägnierung des Zechstein-Salinars mit CO<sub>2</sub> geführt. Örtlich wurden Salzwasseraufstiege aus dem Rotliegend bis in das Kaliflöz Thüringen in Gruben des Zechstein-Salinars festgestellt (FRITSCH, mündl. Mittl.).



Abb. 15: Steißfurt-Ton (z2T), Bohrung Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a.d. Fulda)

Permeabilitätsmessungen an Gesteinen der Werra- und Steißfurt-Formation aus den Bohrungen Borken (TK 4921 Borken), Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a.d. Fulda) und Sterbfritz (TK 5623 Schlüchtern) weisen Werte deutlich unter 15 mD ( $1,5 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ) auf. Lediglich die Messungen an Karbonaten der Werra-Formation (z1CA) der Bohrung Borken (TK 4921 Borken) ergaben Werte über 100 mD ( $9,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ).

Die Eignung der vulkanischen Gesteine des Vogelsberges als Deckgestein ist eher zweifelhaft (Kluftgrundwasserleiter mit geringen bis sehr hohen Durchlässigkeiten!). Zwar sind die den Basalten immer wieder zwischengelagerten Tuffe häufig tonig verwittert und besitzen geringe bis äußerst geringe Durchlässigkeiten (FRITSCHKE et al. 2002), sie sind allerdings nur lokal verbreitet und räumlich eng begrenzt. Die Basalte hingegen können, wie u. a. die Forschungsbohrung Ulrichstein zeigte, bis in Tiefen von 660 m noch engständig und offen geklüftet sein. Die für den Vogelsberg typischen schwebenden Grundwasserstockwerke (LEBMAN et al. 1998, 2001) weisen auf komplexe Lagerungsverhältnisse hin. In der Bohrung Herbstein (TK 5422 Herbstein) liegen dem Rotliegend allerdings noch knapp 100 m Gesteine des Zechstein und gut 300 m Gesteine des Unteren Buntsandstein auf, die sich als Barriere eignen könnten.

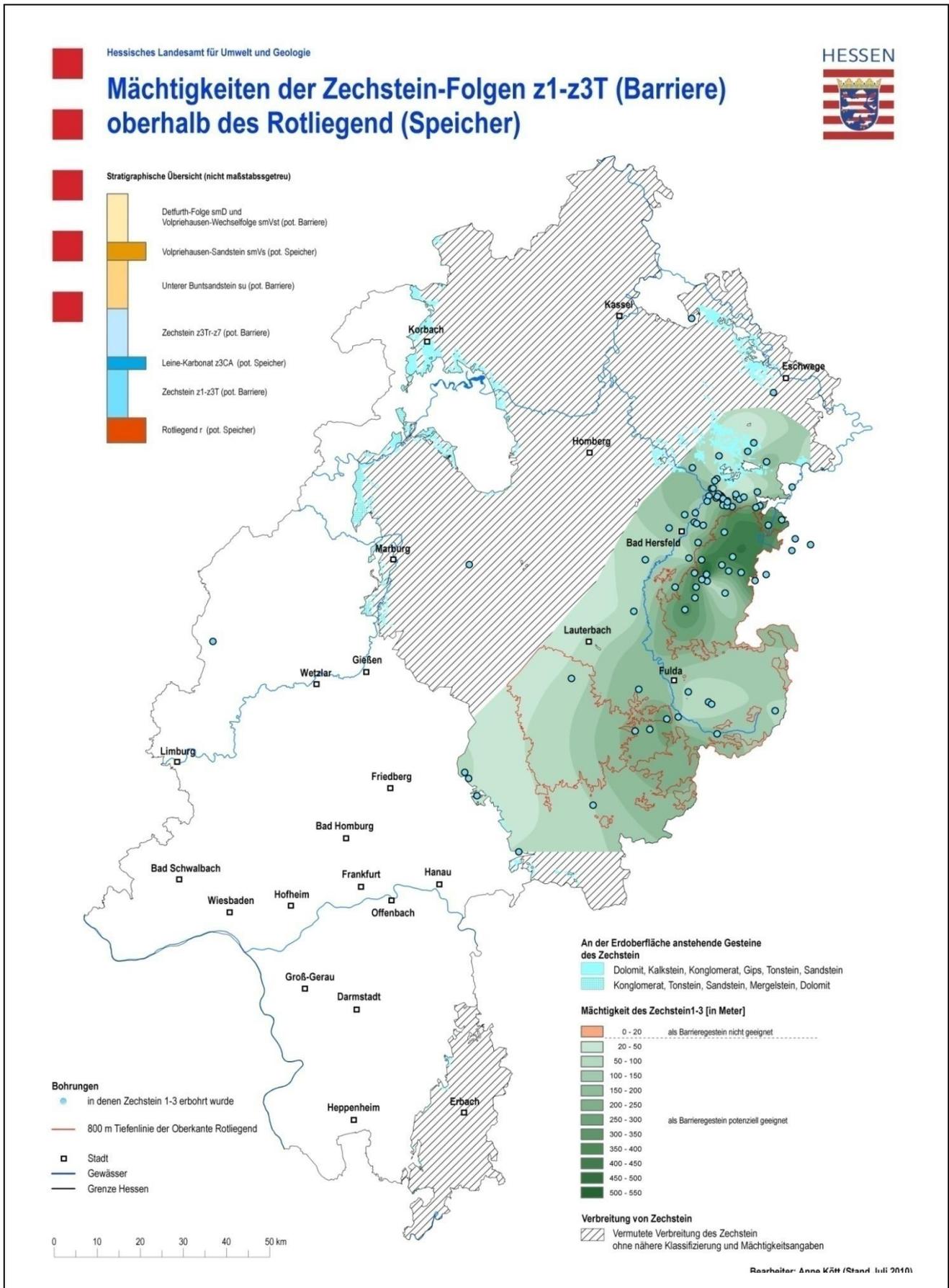


Abb. 16: Mächtigkeit des Barrierekomplexes Zechstein-Folgen z1-z3T oberhalb des Rotliegend

Barrierekomplex 1	Zechstein-Folgen (z1-z3)	Tertiäre Vulkanite
<b>Verbreitung</b>	Nord- und Osthessen	Niederhessische Senke, Rhön, Vogelsberg
<b>Mächtigkeit (Komplex)</b>	über den potenziellen Speicherregionen des Rotliegend meist > 100 m, maximal sogar > 500 m	meist sehr lokale Vorkommen; im Vogelsberg weiträumige Verbreitung (rd. 2.300 km <sup>2</sup> ) und Mächtigkeiten bis über 660 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	(mergelige) Tonsteine, Anhydrite, Salze, Kalksteine, Feinsandsteine, sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung	Vulkanische Gesteinsabfolge aus überwiegend mächtigen Basalten mit geringen bis sehr hohen Durchlässigkeiten, zwischengelagerten Tuffen mit geringen bis äußerst geringen Durchlässigkeiten
<b>Porosität</b>	Keine Angaben	
<b>Permeabilität</b>	meist deutlich unter 15 mD	

### 6.2.2 Südhessen (Nördlicher Oberrheingraben) – Tertäre Abfolgen

Die ältesten tertiären Ablagerungen im nördlichen Oberrheingraben bilden die sehr isoliert vorkommenden fluviatilen Sande und organischen Tonsteine (Schwarzpelite) der eozänen Messel-Formation (Abb. 17). Lediglich in der Bohrung Stockstadt 5 (TK 6217 Zwingenberg) angetroffen, erreichen sie dort eine Mächtigkeit von knapp 64 m. Die Sedimente des eozänen Basistons (DOEBL 1967) sind ebenfalls nicht flächendeckend zu finden. Die Tone und Siltsteine dieser Einheit überlagern diskordant das Rotliegend. Obwohl sie nur lokal verbreitet sind (in nur 2 Bohrungen sicher nachgewiesen), können sie Mächtigkeiten bis zu 150 m erreichen, meist jedoch unter 20 m. Die flächenhaft verbreitete tertiäre Abfolge beginnt dagegen mit der Pechelbronn-Gruppe, die aus mehreren Abfolgen von 3 bis 10 m mächtigen, meist schlecht sortierten Mittel- bis Grobsand- und Konglomeratlagen sowie Kalkfeinsandsteinen und Quarzsandsteinen besteht, die durch feinklastische Lagen (Ton- bis Siltsteine, Mergel) getrennt werden (GAUPP & NICKEL 2001, RADTKE & MARTINI 2007). Die Pechelbronn-Gruppe besitzt allerdings recht gute Speicherhorizonte.

Im Hangenden folgen Schichten von schiefrigen, bituminösen (Rupelton) und feinsandigen (*Meletta*-Schichten und Cyrenenmergel) Ton- und Tonmergelsteinen sowie Tonmergel- und Mergelsteinen, die Einlagerungen von fein- bis mittelkörnigen kalkhaltigen Sandsteinen (Bunte Niederrödener Schichten), dolomitischen Kalksteinbänken (Cerithienschichten) oder bituminöse Lagen und Salinarfolgen (*Corbicula*-Schichten) enthalten können. Diese Gesteine können lokal als Speichergesteine für Erdöl dienen (z. B. in Landau, ANDRES & SCHAD 1959).

Allein die 50-100 m mächtigen Ton- und Tonmergelsteine des Rupelton (Bodenheim-Formation) dürfte ausreichende Barriereigenschaften besitzen, um sowohl die Rotliegend-Gesteine als auch die Pechelbronn-Gruppe (siehe dort) ausreichend abzudecken. Das Vorkommen von Erdöl in den Pechelbronn-Schichten belegt die potenzielle Dichtigkeit der Abdeckgesteine.

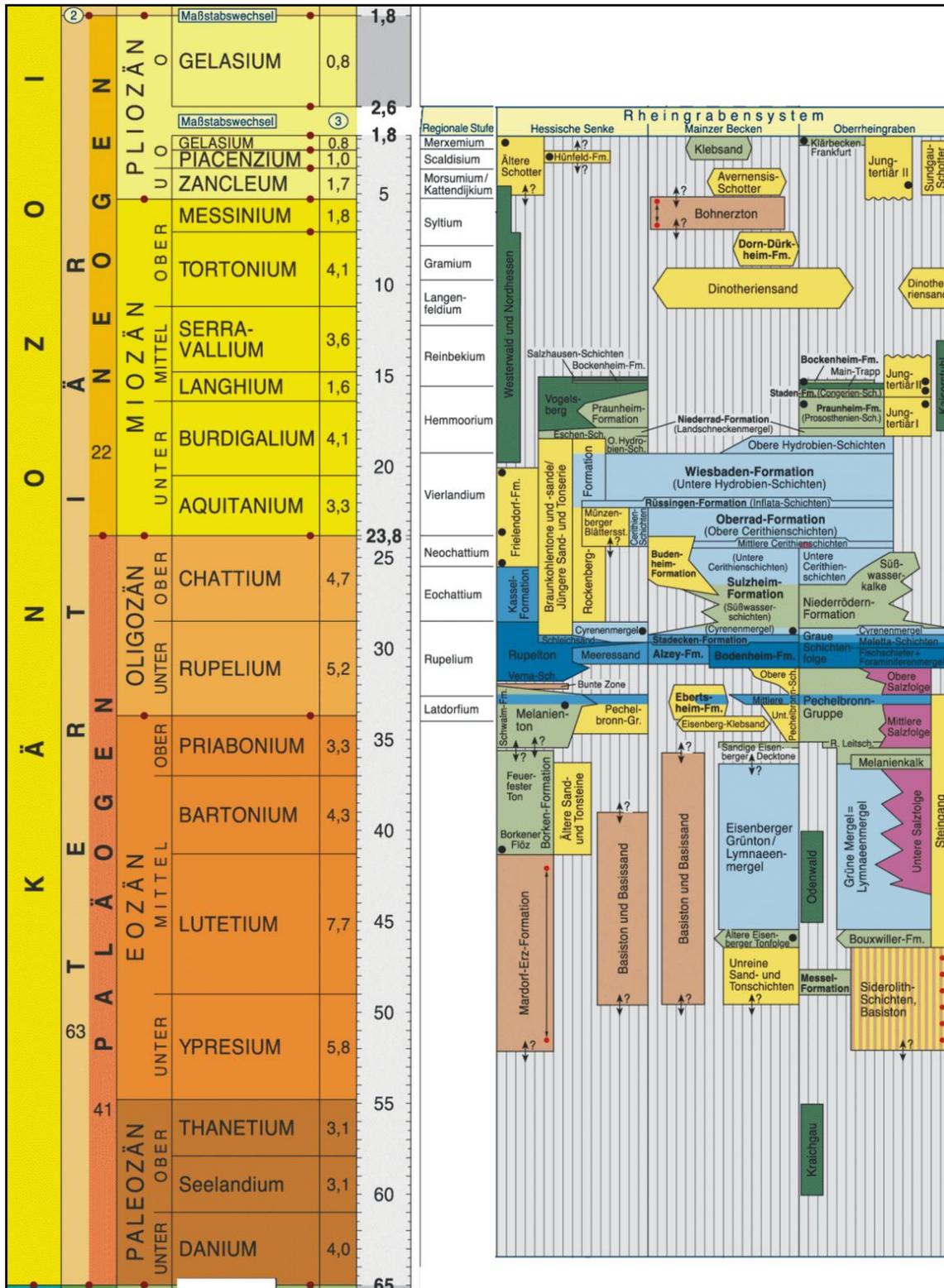


Abb. 17: Ausschnitt aus der Stratigraphischen Tabelle Deutschland 2002

<b>Barrierekomplex 1</b>	<b>Messel-Formation, Eozäner Basiston, Rupelton (Bodenheim-Formation)</b>
<b>Verbreitung</b>	Nördlicher Oberrheingraben
<b>Mächtigkeit (Komplex)</b>	0 - > 500 m, davon Rupelton 50 - 100 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	Ton- und Siltsteine, Sandsteinlagen, sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung
<b>Aquifereigenschaften</b>	geringe Durchlässigkeit (Aquiclude)
<b>Porosität</b>	Keine Angaben
<b>Permeabilität</b>	Keine Angaben

### 6.3 Speicherhorizont-2: Zechstein – Leine-Karbonat („Plattendolomit“ z3CA)

#### 6.3.1. Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes

Der Zechstein ist der jüngere Teil des Perm und spiegelt den Zeitraum von ca. 257 bis 251 Millionen Jahren vor heute wieder. Das Hessische Zechstein-Becken hatte als Randmeer Verbindung zum Mitteleuropäischen Zechsteinbecken, das in ein Nördliches und ein Südliches Mitteleuropäisches-Becken gegliedert gewesen war. Während des Zechstein konnte das Meer auf Grund von Meeresspiegelschwankungen immer wieder bis weit in die Kontinentalbecken vorstoßen. Bislang sind sieben Meeresvorstöße bekannt (z1 – z7-Folgen). Auch das Hessische Becken wurde mehrfach von marinen Transgressionen erfasst. Die anschließende Verdunstung in Verbindung mit einem Meeresrückzug führten zur Bildung von Eindampfungszyklen und damit von mächtigen Karbonat-, Anhydrit- und Steinsalzabfolgen, die mehrfach in der Ausscheidung von Kalisalzen gipfelten. Nur die z1-Folge ist im Hessischen Zechstein-Becken, im Bereich des Werra-Fulda-Beckens als vollständiger Salinarzyklus ausgebildet. Alle weiteren Zechstein-Folgen sind nur noch unvollständig ausgebildet. Die Folgen z5 bis z7 werden nur durch klastische Sedimentabfolgen von Sand-, Silt- und Tonsteinen abgebildet. Zu den Beckenrändern im Südwesten und Westen des Hessischen Zechstein-Beckens hat sich eine klastische Randfazies ausgebildet, die durch Konglomerate, Sandsteine und Tonsteine gekennzeichnet ist.

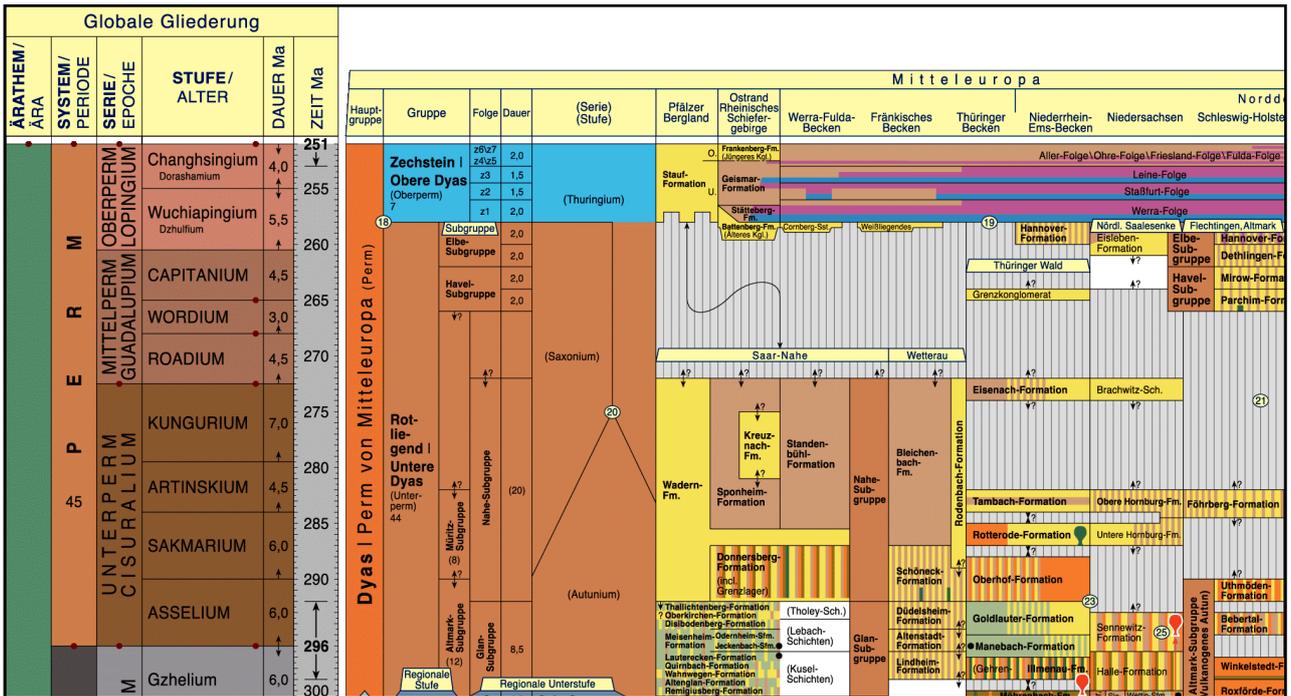


Abb. 18.: Ausschnitt aus der Stratigraphischen Tabelle Deutschland 2002

Von den Gesteinen des Zechstein (Abb. 18) weist das zur z3-Folge (Leine-Formation) gehörende Leine-Karbonat („Plattendolomit“, z3CA) die größten Wasserwegsamkeiten auf (DEUBEL 1954). In der Werra-Meißner-Fazies handelt es sich um plattige bis bankige Karbonate, die z.T. grobkavernös und zerbrochen sind (Abb. 19).



Abb. 19: Leine-Karbonat (Bohrung Borken, TK 4921 Borken)

Oft sind sie allerdings auch zu „zuckerkörnigem“ Dolomit umkristallisiert (BECKER & KULICK 1999). MÖLLER (1985) unterteilt das Leine-Karbonat im Hessischen Zechstein-Becken in eine dolomitische Basisfolge und eine fossilführende calcitische Serie, die überlagert werden von pelitisch-karbonatischen Wechselfolgen. Das Leine-Karbonat ist im gesamten Hessischen Zechstein-Becken bis in die Randgebiete weit verbreitet. Je nach seiner Entstehung in unterschiedlichen Flachwasserbereichen weist es fazielle Änderungen auf, wobei im Werra-Fulda-Becken eine generelle Zunahme des tonig-mergeligen Anteils nach Süden festzustellen ist (MÖLLER 1985). Abhängig von der Höhenlage auf den Haupt- und Querswellen setzte die Sedimentation des Karbonates früher oder später oder gar nicht ein (BECKER & KULICK 1999). Bedingt durch die Subrosion von Salzen und Sulfaten im Liegenden zeigt das Leine-Karbonat mehr oder weniger starke Störungen im Schichtverband, Verstellungen bis hin zu Schichtauflösungen (Subrosionsbrekzien).

### 6.3.2 Mächtigkeiten

Im nördlichen Bereich des Verbreitungsgebietes schwanken die Mächtigkeiten des Leine-Karbonates im Allgemeinen zwischen 10 und 40 m. Nur nördlich der Edertalsperre im Bereich um Waldeck (TK 4720 Waldeck) wird die zur CO<sub>2</sub>-Verpressung nötige Mächtigkeit von 10 m unterschritten. Das Vorkommen des Leine-Karbonates im Norden Hessens (Abb. 20, gestrichelter Bereich) ist nicht genau bekannt. So wurde in der Bohrung Reinhardswald 1 (Blatt 4423 Oedelsheim) Leine-Karbonat immerhin in einer Mächtigkeit von 5 m angetroffen, in den Tiefbohrungen Karlshafen I bis III (TK 4322 Karlshafen) hingegen gar nicht.

Im Werra-Fulda-Becken trennen mehrere Nordwest-Südost verlaufende Schwellen das Hauptbecken in mehrere Teilbecken (KULICK et al. 1984). Das Leine-Karbonat besteht hier aus plattigen Kalksteinen mit einzelnen Dolomitbänken im tiefsten und höchsten Bereich sowie 2-3 m mächtigen Sandflaserschichten (LAEMMLEN 1975) und erreicht in der Regel Mächtigkeiten zwischen 9 und 30 m, kann aber lokal auch völlig fehlen. Auf Blatt 5324 Hünfeld geht das Leine-Karbonat in südwestlicher Richtung allmählich in eine überwiegend tonig-mergelig ausgebildete Fazies mit nur noch geringmächtigen Dolomitlagen über (DEUBEL 1954, MÖLLER 1985). Die größte Mächtigkeit erreicht das Leine-Karbonat mit über 56 m auf Blatt 5125 Friedewald.

Südlich einer Linie Jesberg – Alsfeld – Schlitz – Fulda – Hilders ist die Mächtigkeit des Leine-Karbonates mit wenigen Ausnahmen bei Stadtallendorf, Herbstein und Ditzges kleiner als 10 m (Abb. 21).

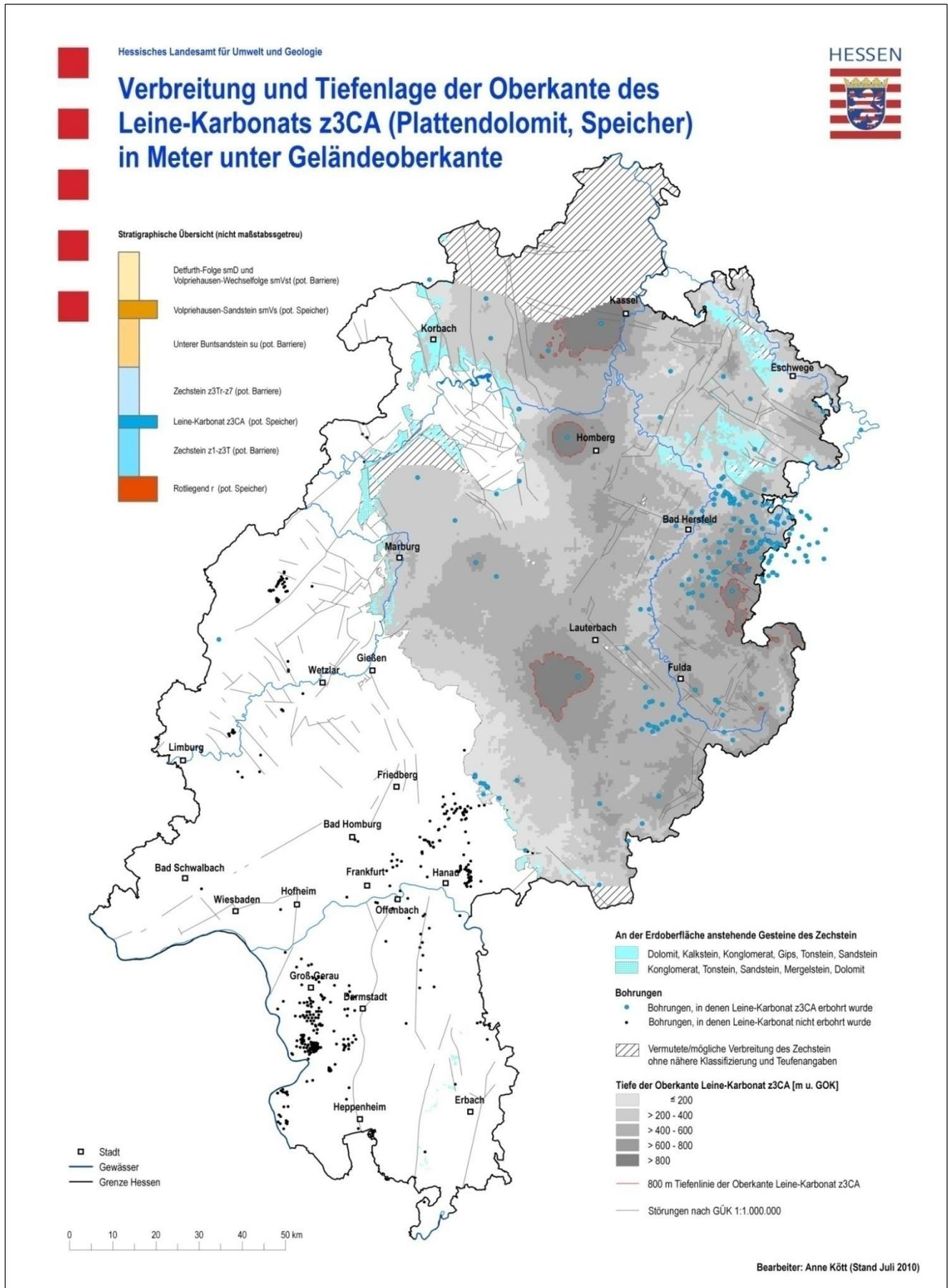


Abb.20 : Verbreitung und Tiefenlage des Leine-Karbonats in Hessen

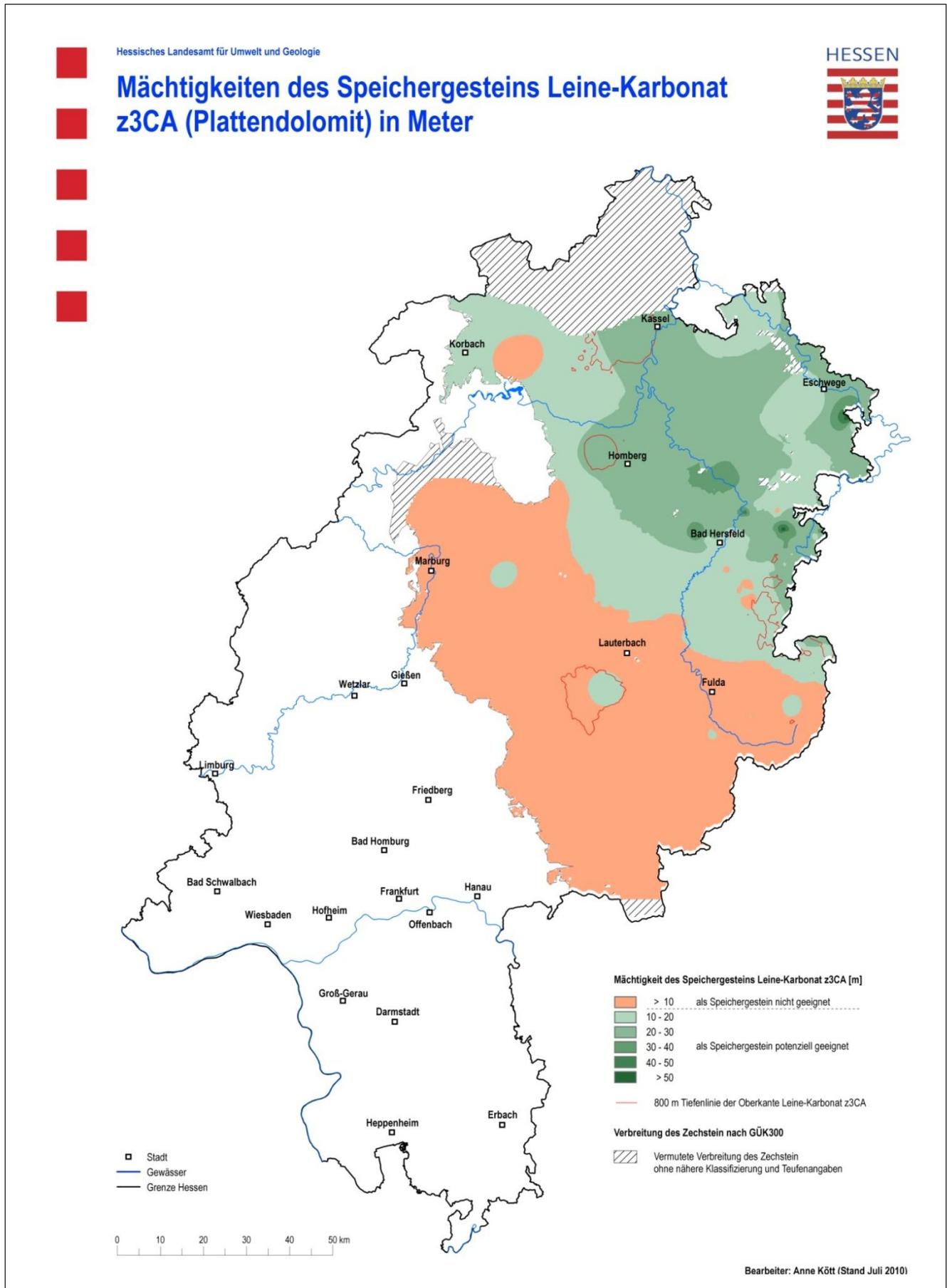


Abb. 21: Mächtigkeit des Leine-Karbonats in Hessen

### 6.3.3 Speicherstrukturen

Im Raum Kassel wurde das Leine-Karbonat lediglich in 2 Bohrungen (Wilhelmshöhe I und II, TK 4622 Kassel-West) in der erforderlichen Tiefe von > 800 m angetroffen (1.295 bzw. 1.273 m u. GOK). In der Bohrung Borken (TK 4921 Borken) westlich von Homberg wurde in einer Tiefe von 1.085 m unter GOK eine ca. 30 m mächtige Abfolge des Leine-Karbonats erbohrt. Die übrigen Bohrungen wurden vor Erreichen des Zechsteins eingestellt. Daher ist die 800 m-Tiefenlinie der Oberkante Leine-Karbonat ein rein rechnerischer Wert, der aus der aus weniger tiefen Bohrungen berechneten Höhenlage und dem digitalen Höhenmodell ohne Berücksichtigung von Störungen und Schollen konstruiert wurde (Abb. 22 a und b).

Bereiche mit Antiklinalstrukturen konnten aufgrund der wenigen Bohrungen nicht ausgehalten werden.

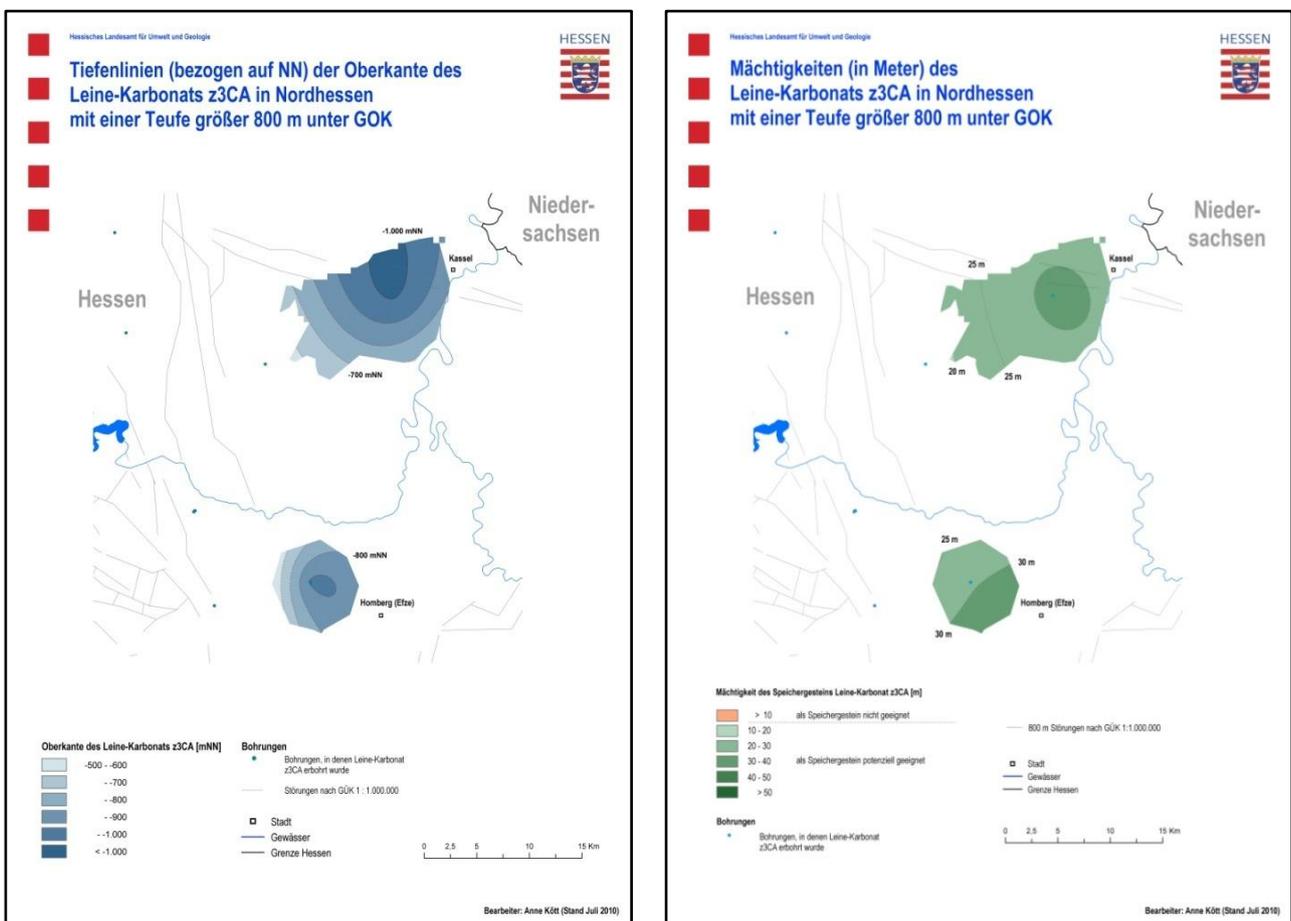


Abb. 22 a und b: Tiefenlage und Mächtigkeit der potenziellen Speicherregion des Leine-Karbonats in Nordhessen

In Osthessen wurde das Leine-Karbonat v. a. zwischen Eiterfeld – Rasdorf – Hühnfeld, bei Tann sowie im Hohen Vogelsberg zwischen Ulrichstein – Herbstein und Grebenhain in der nötigen Tiefe von > 800 m u. GOK erreicht. Hier sind keine Antiklinalstrukturen vorhanden (Abb. 23 a und b).

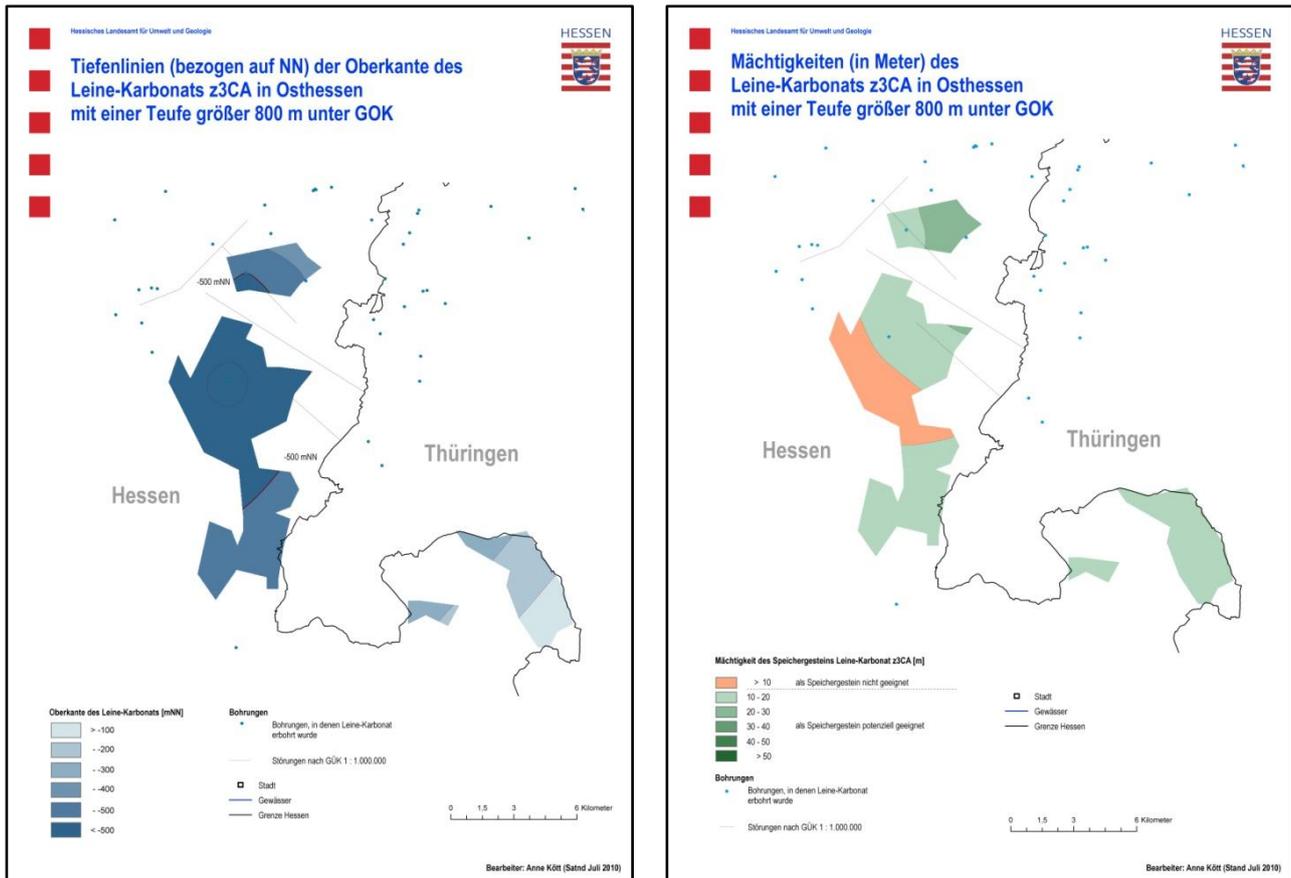


Abb. 23 a und b: Tiefenlage und Mächtigkeit der potenziellen Speicherregion des Leine-Karbonats in Osthessen

### 6.3.4 Porositäten und Permeabilitäten

Das Leine-Karbonat besitzt meist aufgrund der dichten kristallinen Struktur keine große primäre Gesteinsdurchlässigkeit. Durch starke tektonische und salinartektonische Beanspruchung ist er jedoch häufig engständig geklüftet bzw. kleinstückig zerbrochen (Abb. 24). Dort, wo sich zwischen Bad Hersfeld, Thüringer Wald und südlich des Fuldaer Grabens im Untergrund Salzlagerstätten befinden, sind die bruchtektonische Erscheinungen durch das Salz weniger stark ausgeprägt (FRITSCHKE et al. 2003). Sehr hohe Wasserwegsamkeiten werden in Salzauslaugungsgebieten, besonders am Rand von Subrosionssenken und am Salzhang erreicht, wo das Gestein durch die Beanspruchung zerbrochen ist (MOTZKA 1968).

Die Fugen erweiterten sich durch den Angriff aggressiver Wässer. Ein verzweigtes Netz schlottenartiger Hohlräume entstand, welches das Volumen der primären Trennfugensysteme um ein Mehrfaches übersteigt. DEUBEL (1954) nimmt bis zu 10 % des Gesteinsvolumens als karstartig erweitertes Kluftvolumen an, wobei die Verkarstung mit größerer Tiefe abnimmt. Hohlräume entstanden zudem durch Lösung oder Umbildung von Sulfaten. Ebenso werden mit Zunahme an tonigen Gesteinen der Hohlraumgehalt und die Wasserwegsamkeiten deutlich geringer (DEUBEL 1954).



Abb. 24: Stark geklüftetes Leine-Karbonat im Raum Sontra (TK 4925)

Das Grundwasser des Leine-Karbonates kann im Gebiet um Bebra und um den Salzhang des Werra-Salinars (Bad Hersfeld, Ronshausen) natürliche Gesamtlösungsinhalte von 10.000 mg/l und höher aufweisen (SKOWRONEK et al. 1999, FRITSCHKE et al. 2000).

Gesteine des Karbonates der Bohrungen Sterbfritz (TK 5623 Schlüchtern) und Borken (TK 4921 Borken) weisen Permeabilitäten von lediglich 0,3 ( $3 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ ) bis 7 mD ( $6,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ ) auf.

<b>Leine-Karbonat (Speicherkomplex 2)</b>	
<b>Verbreitung</b>	Nord- und Osthessen
<b>Untersuchungswürdige Horizonte</b>	grobkavernöse Dolomitbänke
<b>Tiefenlage</b>	800 – 1.300 m u. GOK
<b>Mächtigkeit</b>	bis 56 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	Karbonat, z. T. zerbrochen, grobkavernös, z. T. plattige Kalksteine, einzelne Dolomitbänkchen und Sandflaserschichten, Übergang nach SW in tonig-mergelige Fazies
<b>Aquifereigenschaften</b>	karstartig erweiterter Kluftgrundwasserleiter, Beschaffenheit silikatisch und karbonatisch, Gesamthärten von 20-22°d (hart), Konzentration örtlich > 1.000 mg/kg
<b>Porosität</b>	bis ca. 10 % (Gebirgsporosität)
<b>Permeabilität</b>	0,3 bis 7 mD (Gesteinspermeabilität)

## 6.4 Barrierehorizont-2: Zechstein – z3Tr, z4 - z7

Überlagert wird das Leine-Karbonat von Tonstein-Feinsandstein-(Anhydrit-)Wechselfolgen (z3An, z3Na, z3Tr, Z4 – z7 (Abb. 25), die bis zur Grenze des Buntsandstein Mächtigkeiten bis 100 m erreichen können (HUG 2004). Oberhalb der definierten potenziellen Speicherregionen des Leine-Karbonats besitzt der Zechstein fast überall Mächtigkeiten über 20 m, selten jedoch über 60 m (Abb. 26).

Dass in einigen Bereichen das Leine-Karbonat als artesisch gespannter Kluft-Karst-Grundwasserleiter ausgebildet ist, weist auf die Dichtigkeit der überlagernden Schichten in diesen Bereichen hin. Diese Gesteine haben aufgrund der tonig-schluffig-feinsandigen Ausbildung (KÄDING 2000, HUG 2004) in der Regel recht gute Barriereigenschaften. Durch das Quellvermögen der z.T. entfestigten Tonsteine können Klüfte und Risse geschlossen werden. In Bereichen bereits erfolgter Salzablagung am äußeren Salzhangrand und in irregulären Subrosionssenken ist das Deckgebirge als Residualbreccie ausgebildet und stellt einen Grundwassernichtleiter dar (FRITSCHKE et al. 2003). Allerdings sind in der Regel gerade an der aktiven Ablagungsfront (innerer Salzhangbereich) und im Bereich irregulärer Auslaugungssenken die Durchlässigkeiten durch Zerrüttung des Deckgebirges stark erhöht. Diffuse Austritte mit erheblichen Salzwasseranteilen in die Werra und in den quartären Grundwasserleitern des Werratal sowie erhebliche Salz(ab)wasseraufstiege in das Buntsandstein-Deckgebirge als Folge der Versenkung von Salzabwässern im Leine-Karbonat zeigen, dass die überlagernden Deckschichten stellenweise (v. a. an Störungen, Basaltgängen, Salzhang) sehr durchlässig sind (KoSaAB 1994, SKOWRONEK et al. 1999). Eine konkurrierende Nutzung ist durch die seit 1924/1925 durchgeführte Versenkung salinärer Wässer (Salzabwasser aus der Kaliproduktion) im Leine-Karbonat des Werra-Kali-Gebietes gegeben

Die in den Bohrungen Borken (TK 4921 Borken), Rohrbach (TK 5024 Rotenburg a. d. Fulda) und Sterbfritz (TK 5623 Schlüchtern) gemessenen Gesteine der Zechstein-Folgen z3Tr-z7 ergaben fast ausschließlich Werte unter 10 mD ( $9,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ ). Eine Ausnahme stellt sowohl ein Sandstein der Ohre-Folge mit einer Porosität von 17 % und einer (Gesteins-) Permeabilität über 100 mD ( $9,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ) sowie ein Sandstein der Aller-Folge mit einer Porosität von 15% und einer Permeabilität von 24 mD ( $2,4 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ ) dar, beide aus der Bohrung Sterbfritz.



Abb. 25: Tonig-siltig-feinsandige Wechselfolgen im Übergangsbereich Zechstein – Buntsandstein (Bohrung Gelnhaar, TK 5620 Ortenberg)

<b>Barrierekomplex 2</b>	<b>Zechstein z3An, z3Na, z3Tr, z4 - z7</b>
<b>Verbreitung</b>	Nord- und Osthessen
<b>Mächtigkeit</b>	>20 – 100 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	(mergelige) Tonsteine, Anhydrite, (Fein-) Sandsteine, Kalksteine
<b>Porosität</b>	keine Angaben
<b>Permeabilität</b>	meist deutlich unter 10 mD

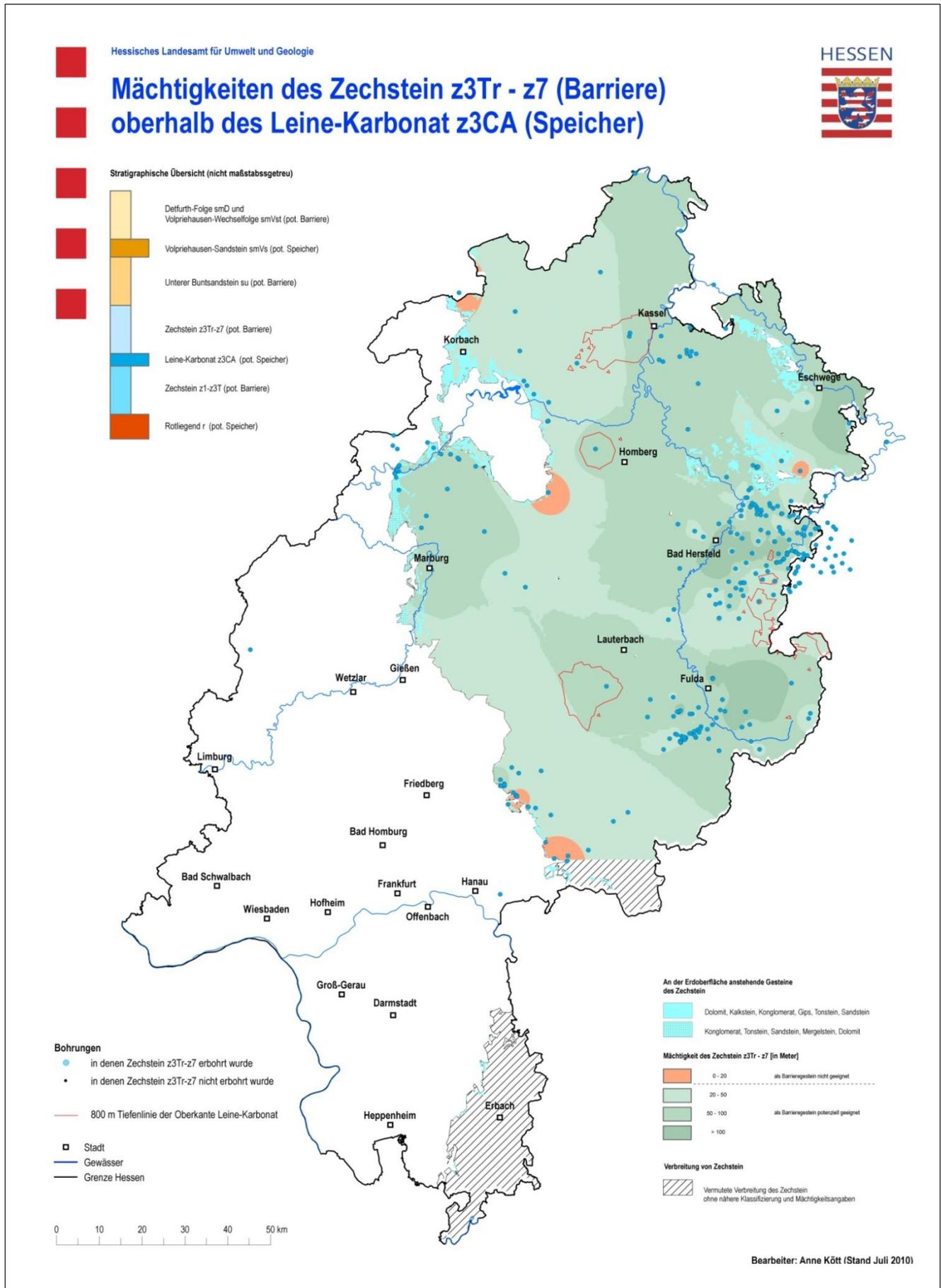


Abb. 26: Mächtigkeit des Barrierekomplexes Zechstein-Folgen z3Tr – z7 oberhalb des Leine-Karbonats

## 6.5 Speicherhorizont-3: Mittlerer Buntsandstein – Volpriehausen-Folge smV

### 6.5.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes

Der Buntsandstein ist die untere lithostratigraphische Einheit der Germanischen Trias, die das Erdmittelalter (Mesozoikum) einleitet (Abb. 27). Die Untergrenze ist in der Hessischen Senke mit dem Einsetzen der Calvörde-Folge, im Spessart und Odenwald mit dem Heigenbrücken-Sandstein festgelegt. Nach der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland (2002) entspricht er geochronologisch dem Zeitraum von ca. 251–243 Mio. Jahren vor heute. Er wird in drei Untergruppen gegliedert: Oberer (Röt-Formation), Mittlerer (Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling-Formation) und Unterer Buntsandstein (Calvörde- und Bernburg-Formation). Letzterer tritt in der Regel als Kluffgrundwasserleiter mit mäßigen bis geringen Durchlässigkeiten auf.

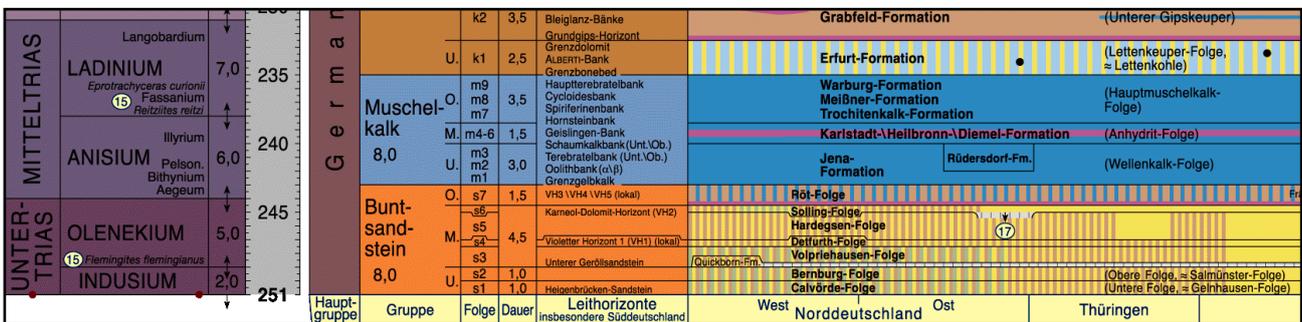


Abb. 27: Ausschnitt aus der Stratigraphischen Tabelle Deutschland 2002

Die rhythmische Abfolge von mittel- bis grobkörnigen Sandsteinhorizonten (Abb. 28) und tonig-schluffig-sandigen Wechselfolgen des Mittleren Buntsandstein bedingt mehrere, aber vor allem in Folge der saxonischen Bruchtektonik meist nicht voneinander hydraulisch getrennte Grundwasserstockwerke.



Abb. 28: Volpriehausen Sandstein, ehemaliger Steinbruch nördlich Sachsenhausen (TK 4720 Waldeck)

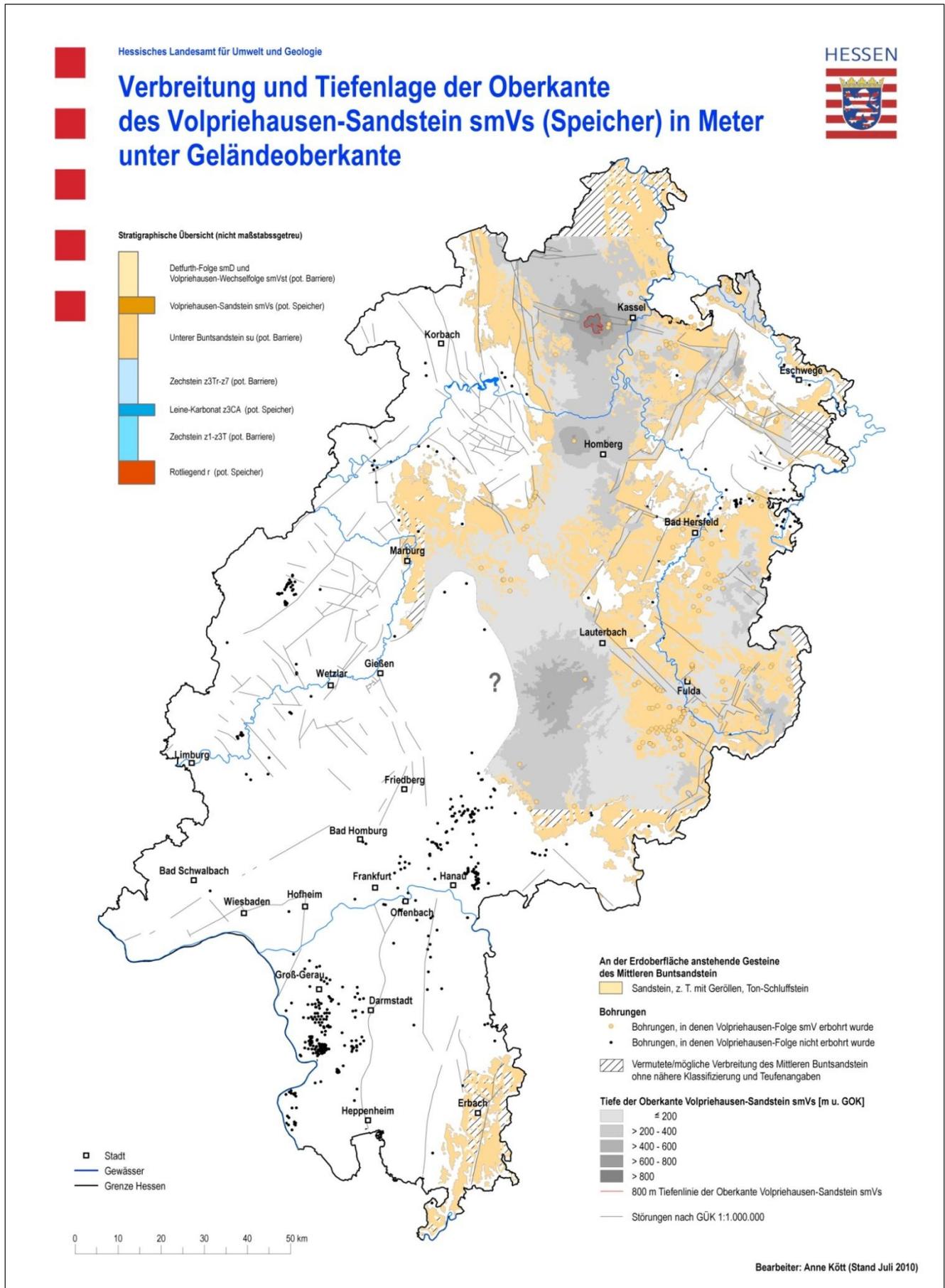


Abb.29: Verbreitung und Tiefenlage des Volpriehausen-Sandsteins in Hessen

Die als potenzielle CO<sub>2</sub>-Speicher nötige Tiefenstufe von > 800 m u. GOK wird nur im Raum Kassel erreicht (Abb. 29). An der Basis des Mittleren Buntsandstein, direkt dem feinkörnigeren Unteren Buntsandstein aufliegend, befindet sich in 2 Tiefbohrungen (Abb. 30) ein 20-25 m mächtiges, oft relativ bindemittelarmes und absandendes Grobsandsteinpaket, der Volpriehausen-Sandstein (smVs). Nach DÜRBAUM et al. (1969) können im smVs allerdings auch alle Übergänge bis zum dichten Sandstein auftreten.

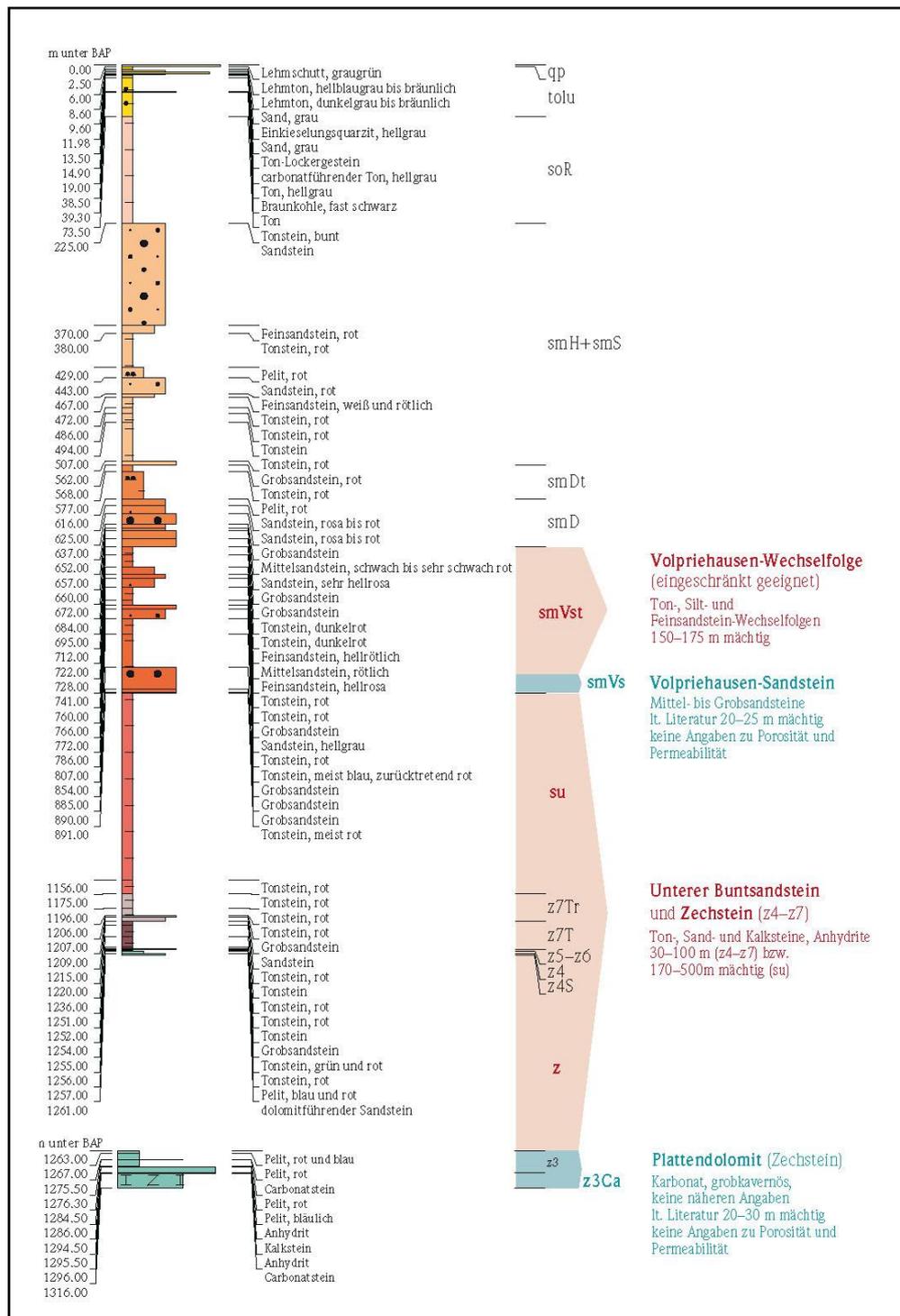


Abb.30: Bohrung Kassel-Wilhelmshöhe (TK 4622 Kassel-West)

### 6.5.2 Mächtigkeiten

Fast im gesamten Verbreitungsgebiet der Volpriehausen-Folge sind Gesamtmächtigkeiten von 20 bis über 50 m zu verzeichnen (Abb. 31), die maximale Mächtigkeit kann bis zu 175 m betragen. Der grobkörnige Basis-Sandstein weist Mächtigkeiten bis zu 25 m auf. Die kumulativen Sandsteinmächtigkeiten sind überall >10 m.

### 6.5.3 Speicherstrukturen

Die für eine CO<sub>2</sub>-Einspeisung nötige Tiefenstufe von > 800 m u. GOK wird nur im Raum Kassel in 2 Tiefbohrungen erreicht. Die Ausdehnung dieser Tiefenstufe ist so gering, dass auf eine genauere Charakterisierung im Maßstab 1: 300.000 verzichtet wurde.

### 6.5.4 Porositäten und Permeabilitäten

Der Volpriehausen-Sandstein ist, wie der unterlagernde Untere Buntsandstein, ebenfalls ein Kluft-Grundwasserleiter, da das Kluftvolumen des bruchtektonisch überprägten Gebirges das Gesteins-Porenvolumen bei weitem übersteigt. Nach dem hydrogeologischen Kartenwerk von Hessen 1: 300.000 (DIEDERICH et al. 1991) ist die Porendurchlässigkeit der Sandsteine für die Grundwasserbewegung insgesamt nur von untergeordneter Bedeutung.

Nach FRITSCHÉ et al. (2003) sind mäßige Durchlässigkeiten zu verzeichnen, örtlich an tektonischen Zonen (Störungen, Grabenrandstörungen, Schollen, bei beginnender Salzablaugung im Untergrund) treten aber auch erhöhte Wasserwegsamkeiten und mittlere Durchlässigkeiten auf.

Im Rahmen des Projektes „3D-Modellierung der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“ wurden an mittel- bis grobkörnigen Gesteinen des Mittleren Buntsandstein aus Aufschlüssen in Nordhessen Porositäten von 4-18 % und Permeabilitäten bis über 3.000 mD ( $3 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup> bzw.  $k_F$ -Wert =  $3 \cdot 10^{-5}$  m/s) gemessen. Grobkörnige Sandsteine des smVs der Bohrung Sterbfritz (TK 5623 Schlüchtern) wiesen Porositäten bis zu 12% und Permeabilitäten bis über 700 mD ( $6,9 \cdot 10^{-13}$  m<sup>2</sup>) auf (Abb. 32).

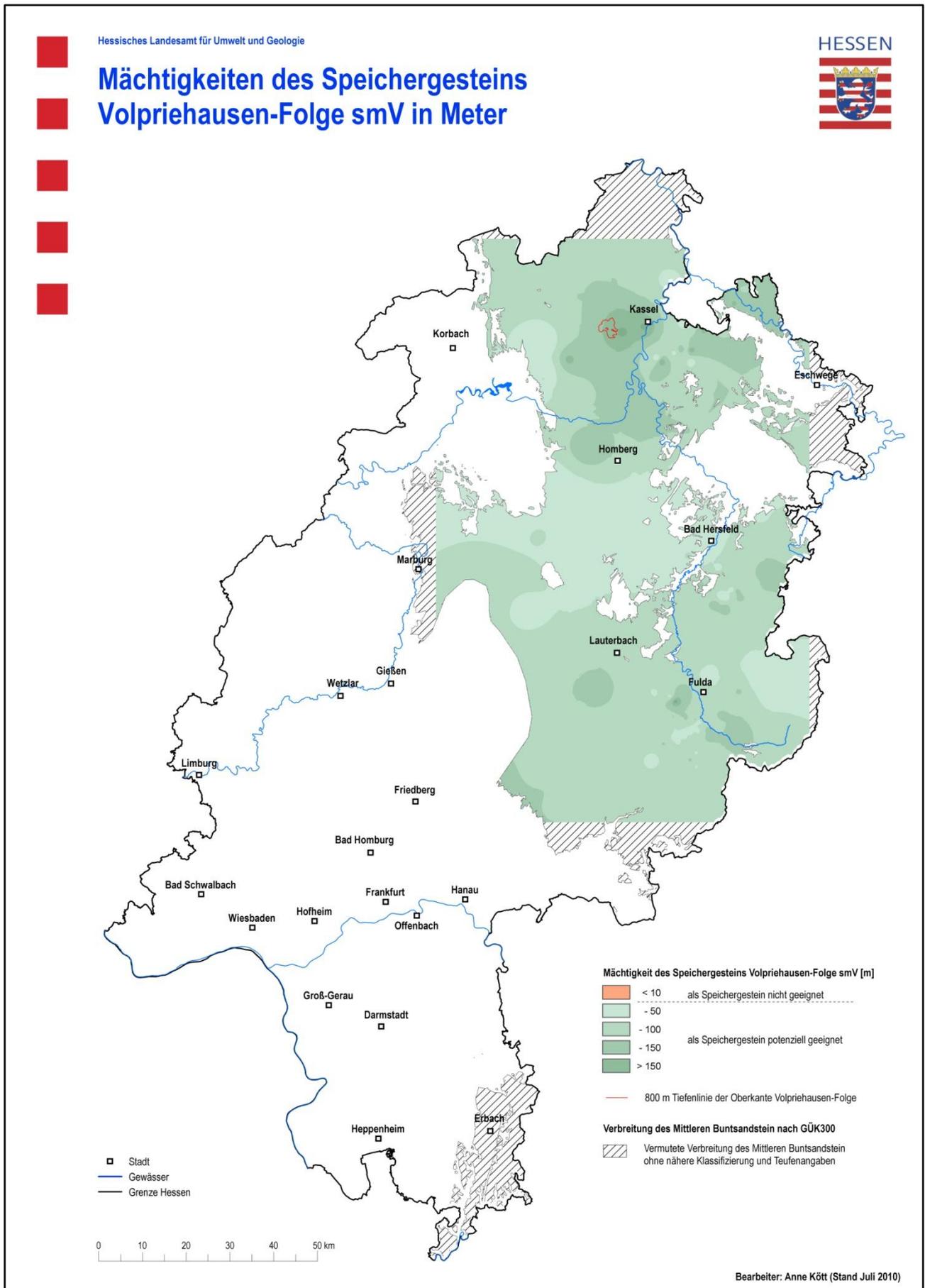


Abb.31: Mächtigkeiten der Volpriehausen-Wechselfolge



Abb. 32: Mittel- bis grobkörniger Volpriehausen-Sandstein (Bohrung Sterbfritz TK 5623 Schlüchtern)

<b>Volpriehausen-Wechselfolge (Speicherkomplex 3)</b>	
<b>Verbreitung</b>	Nord- und Osthessen
<b>Untersuchungswürdige Horizonte</b>	Volpriehausen-Sandstein
<b>Tiefenlage</b>	max. 815 m bzw. 885 m (2 Bohrungen), sonst < 800 m
<b>Mächtigkeit (Komplex)</b>	150 – 175 m
<b>Mächtigkeit (Speicher)</b>	20 – 25 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	(Mittel- bis) Grobsandsteine
<b>Aquifereigenschaften</b>	Kluftgrundwasserleiter, Beschaffenheit sehr unterschiedlich, wenn Einfluss aus unterlagerndem Zechstein und überlagerndem Röt, Gesamthärte 5-6 °d (weich), z.T. hohe Kohlensäuregehalte (Aggressivität), keine erhöhte Mineralisation
<b>Porosität</b>	lokal bis 18 % möglich
<b>Permeabilität</b>	bis > 3.000 mD

## 6.6 Barrierehorizont-3: Mittlerer Buntsandstein - Detfurth-Folge smD

Überdeckt wird der Volpriehausen-Basissandstein von der 150 - 175 m mächtigen, wasserundurchlässigeren Ton-, Silt- und Feinsandstein-Folgen der Volpriehausen-Wechselfolge (Abb. 33), die aber aufgrund der Klüftung und der allgemein intensiven Tektonik im Verbreitungsgebiet nur eingeschränkt als abdichtende Deckschicht geeignet erscheinen.



Abb. 33: Pelitische Volpriehausen-Wechselfolge, (Bohrung Sterbfritz, TK 5623 Schlüchtern)

Die Detfurth-Folge wird – wie die Volpriehausen-Folge – in den grobsandig entwickelten basalen Detfurth-Sandstein (Abb. 34) und die darüber folgende, sandig-tonige Wechselfolge (Abb. 35) gegliedert. Die gesamte Abfolge kann Mächtigkeiten bis zu > 100 m erreichen (Abb. 36). Am Top ist in einigen Bereichen ein 15 – 60 m mächtiges Tonpaket ausgebildet, der Detfurth-Ton. Ob die Abfolge als abdichtende Deckschicht geeignet ist, ist allerdings aufgrund der Gesteinsdurchlässigkeit und Klüftigkeit ebenfalls fraglich. Gleiches gilt für die überlagernden Hardegsen-Folge und den Solling-Sandstein. Die Gesamtheit der Schichten des Mittleren Buntsandstein dienen als Kluft- (und untergeordnet Porengrundwasserleiter) und werden weitläufig von den feinkörnigen, grundwasserhemmenden Schichten des Oberen Buntsandstein mit teilweiser hoher Gipsführung (Röt) abgedeckt, der eine wirksame hydraulische Barriere darstellt, wenn er genügende Mächtigkeit aufweist (z.B. in der niederhessischen Senke).

Durch Basaltschlote können lokal hydraulische Verbindungen zwischen unterschiedlichen Grundwasserstockwerken geschaffen werden.



Abb. 34: Detfurth-Sandstein, Sandgrube W Bühle, TK 4620 Arolsen



Abb.35: Detfurth-Wechselfolge (Bohrung Sterbfritz, TK 5623 Schlüchtern)

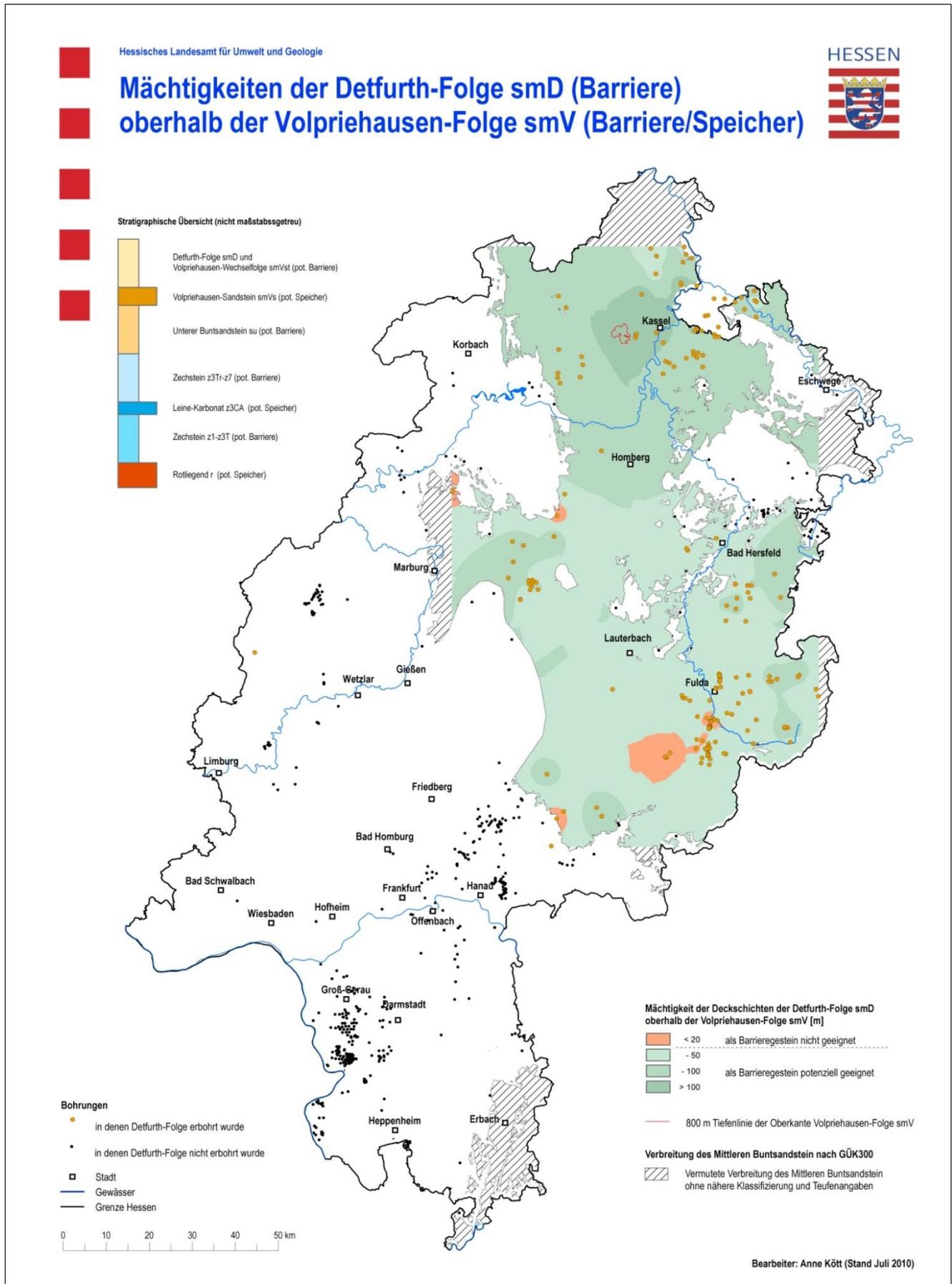


Abb. 36: Mächtigkeit des Barrierekomplexes der Detfurth-Folge in Hessen oberhalb der Volpriehausen-Wechselfolge

<b>Barrierekomplex 3</b>	<b>Detfurth-Folge</b>
<b>Verbreitung</b>	Nord- und Osthessen
<b>Mächtigkeit (Komplex)</b>	25 – > 100 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	Wechselfolge aus Ton-, Silt- und Fein- bis Grobsandsteinen
<b>Aquifereigenschaften</b>	Kluft-/Porengrundwasserleiter
<b>Porosität</b>	keine Angaben
<b>Permeabilität</b>	keine Angaben

## 6.7 Speicherkomplex 4: Tertiär – Pechelbronn-Gruppe teo-oIP

### 6.7.1 Verbreitung und lithologische Ausprägung des Speicherkomplexes

Im Oberrheingraben ist neben den Gesteinen des Rotliegend (Speicherkomplex 1) die tertiäre Pechelbronn-Gruppe potenziell zur CO<sub>2</sub>-Speicherung geeignet.

Mit dem Tertiär begann vor ca. 65 Mio. Jahren der Zeitabschnitt der Erdneuzeit (Känozoikum), die mit dem Quartär seit ca. 2,6 Mio. Jahren bis heute andauert. Die eozän-oligozäne Pechelbronn-Gruppe stellt sowohl die wichtigsten Muttergesteine als auch Speichergesteine für Erdöl- und Erdgasbildung im engsten Wechsel dar. Daher ist sie prinzipiell auch zur Speicherung von CO<sub>2</sub> tauglich. Die Unteren Pechelbronn-Schichten (Abb. 37) bestehen aus mehreren Abfolgen von 3 - 10 m mächtigen, meist schlecht sortierten Mittel- bis Grobsand- und Konglomeratlagen, die durch feinerklastische Lagen (Ton- bis Siltsteine) getrennt werden (GAUPP & NICKEL 2001, RADTKE & MARTINI 2007). Internbau und Mächtigkeiten (0 bis > 150 m) variieren erheblich. Die Mittleren Pechelbronn-Schichten bestehen aus Mergeln, Tonsteinen, Kalkfeinsandsteinen und Quarzsandsteinen, die in Senken eine Mächtigkeit von mehr als 50 m, auf Schwellen meist nur < 5 m erreichen. Die Oberen Pechelbronn-Schichten variieren auf engstem Raum ebenfalls sehr stark. So treten z. B. bei Stockstadt und im Bereich des Kühkopfes kalkige Feinsandsteine, Tonsteine und Mergel in einer Mächtigkeit von 20 - 46 m, bei Eich bis 135 m mächtige Fein- bis Grobsandsteine und Konglomerate und bei Königsgarten 0 - 4 m mächtige Feinsedimente mit Kohlenflözchen auf.



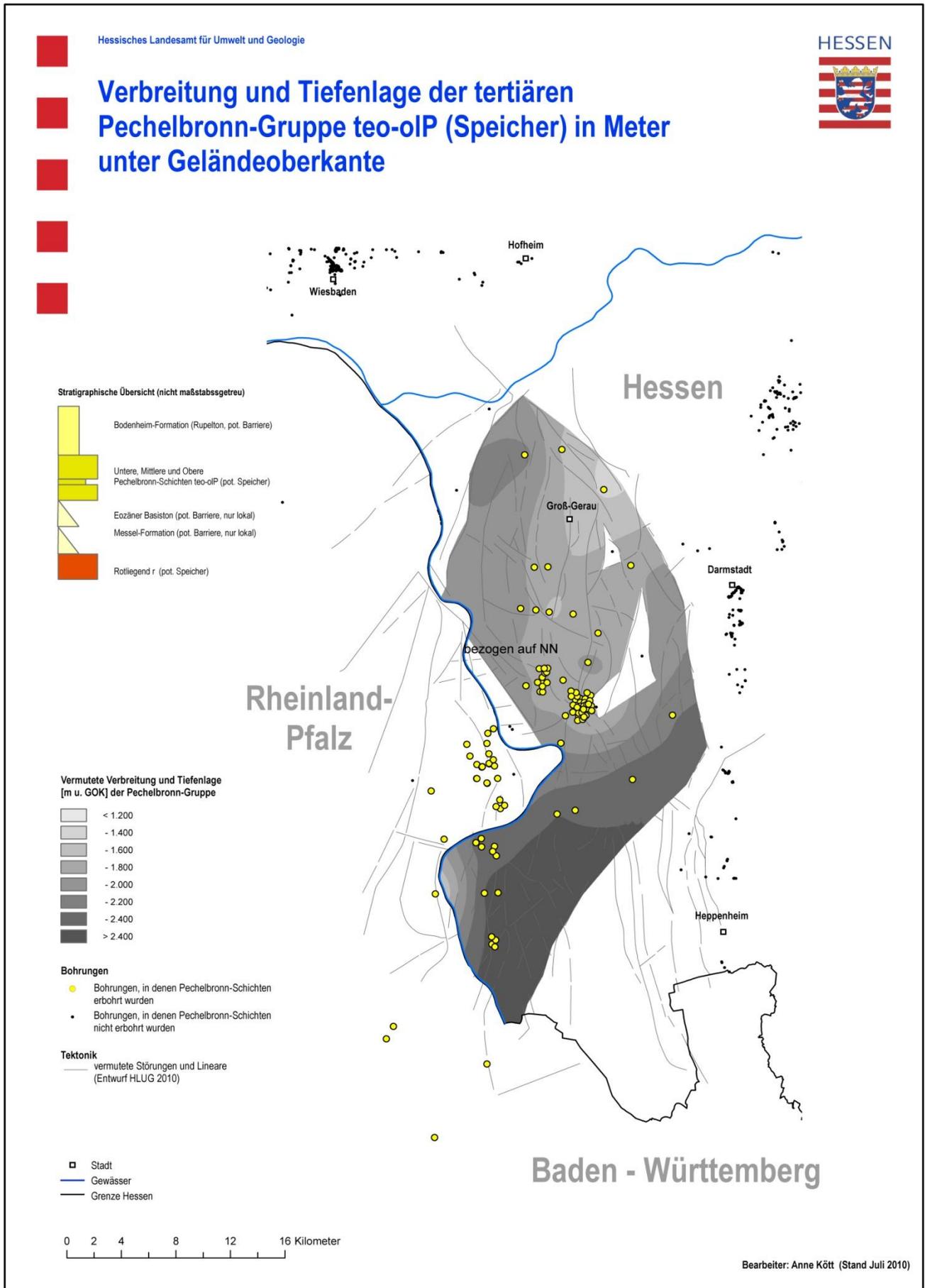


Abb.38: Verbreitung und Tiefenlage [m u. GOK] der tertiären Pechelbronn-Gruppe

Die kumulativen Mächtigkeiten der Speichersande innerhalb der Pechelbronn-Gruppe liegen zwischen 0 und 32 m und variieren von Bohrung zu Bohrung. Dies wird besonders deutlich in Abbildung 39, wo die Bohrungen mit Speichermächtigkeiten > 10 m als grüne Punkte dargestellt sind, diejenigen ohne ausreichende Mächtigkeit als rote Punkte. Als gelbe Punkte sind die Bohrungen abgebildet, in denen entweder keine detaillierte Schichtbeschreibung vorlag oder die durchteufte Mächtigkeit < 10 m ist.

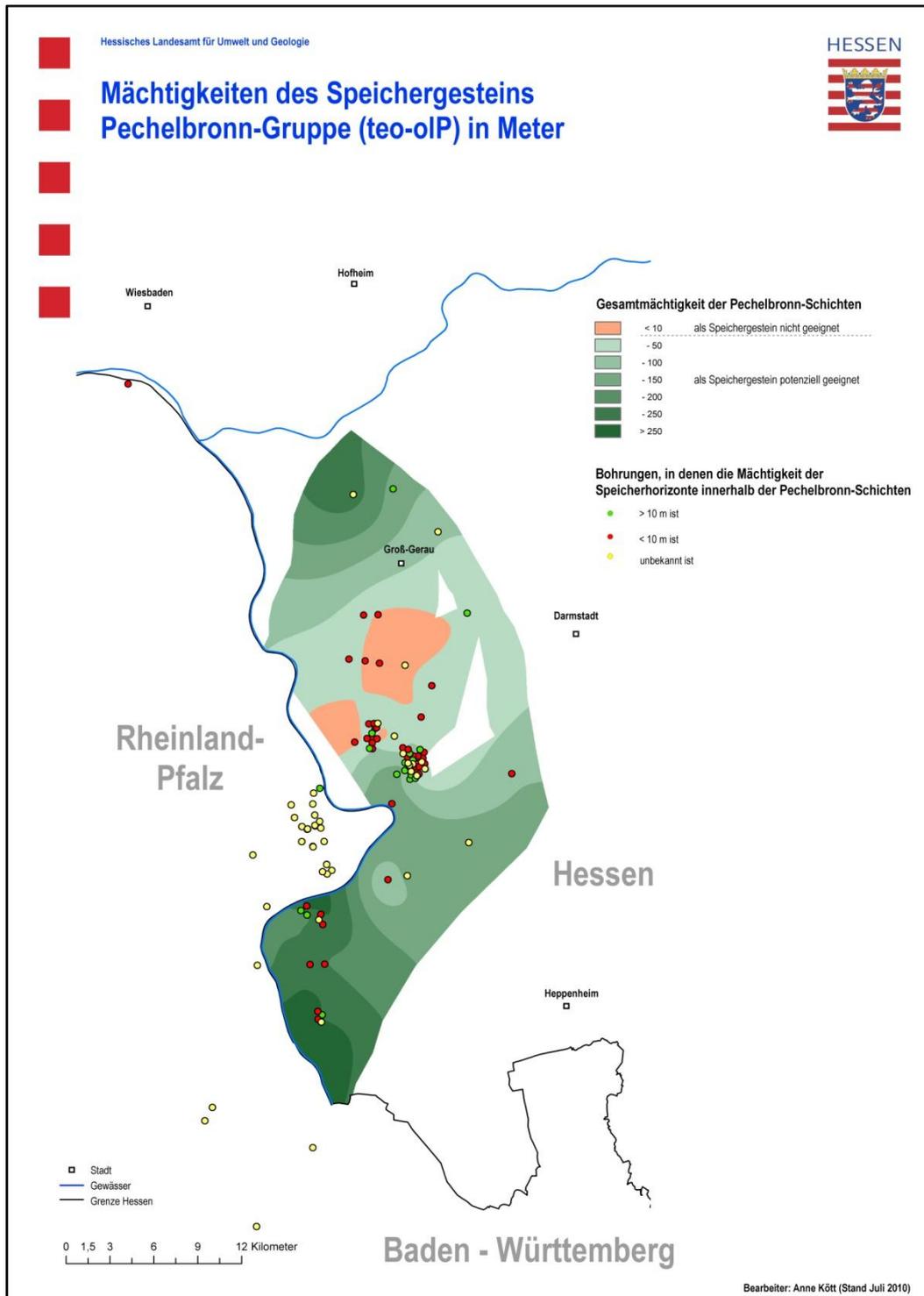


Abb. 39: Mächtigkeiten der tertiären Pechelbronn-Gruppe

### 6.7.3 Speicherstrukturen

Die zur CO<sub>2</sub>-Speicherung nötige Tiefenlage von 800 m unter Geländeoberkante wird für die Oberkante der Pechelbronn-Gruppe in deren gesamten Verbreitungsgebiet im hessischen Oberrheingraben erreicht. Sie wurden in Tiefen zwischen 1.200 und 2.600 m unter Geländeoberkante erbohrt. Die nordwestliche Verbreitungsgrenze bildet, wie auch für das Rotliegend-Vorkommen, die westliche Hauptgrabenrandstörung, die etwa zwischen Rüsselsheim und Oppenheim verläuft. Auch für die Pechelbronn-Gruppe ist die genaue Verbreitung im Süden aufgrund fehlender Tiefbohrungen nicht bekannt. Die Oberkante der Pechelbronn-Gruppe liegt demnach zwischen -1.300 (bei Worfelden) und -3.000 mNN im Süden.

Drei kleinere Antiklinalstrukturen („Spill points“) befinden sich bei Dornheim, Wolfskehlen und Stockstadt (Abb. 40). Die Speicherstrukturen bei Dornheim und Wolfskehlen liegen allerdings in einem Bereich, in dem die Gesamtmächtigkeit bzw. Speichermächtigkeit weniger als 10 m beträgt. Sie kommen also für die Einspeisung von CO<sub>2</sub> nicht in Frage. Auch hier wurden mögliche, aber nicht genau zu lokalisierende Störungen nicht berücksichtigt.

Lokation	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Speicher-Mächtigkeit [m]	Porosität	Speicher-Kapazität
Dornheim	0,99	< 10	0,22	0,0022
Wolfskehlen	0,065	< 10	0,22	0,0001
Stockstadt	9,03	0 – 32 (von Bohrung zu Bohrung unterschiedlich)	0,22	0,0318

Die Mächtigkeiten der Speichergesteine in der Antiklinalstruktur bei Stockstadt sind von Bohrung zu Bohrung unterschiedlich und liegen zwischen 0 und 32 m. Bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 16 m und einer Porosität von 22 % (siehe Kapitel 6.7.4) ergibt sich ein Speichervolumen von 0,03 km<sup>3</sup>, welches weit unter dem festgelegten Mindestwert von 0,1 km<sup>3</sup> liegt.

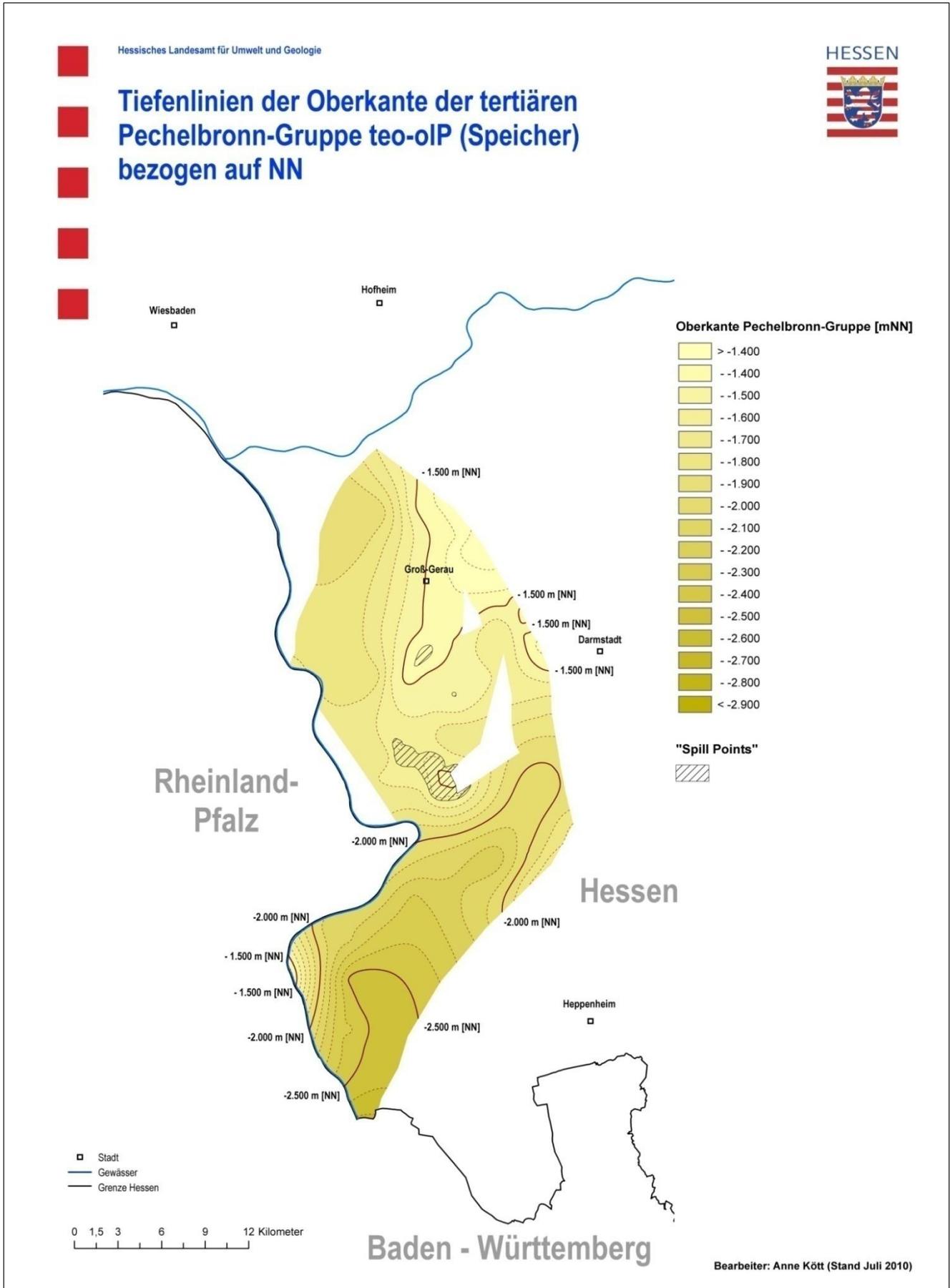


Abb. 40: Tiefenlinie und Speicherstrukturen der Pechelbronn-Gruppe

#### 6.7.4 Porositäten und Permeabilitäten

Es gibt sehr unterschiedliche Angaben für Porositäten und Permeabilitäten der Pechelbronn-Gruppe. FINKENWIRTH (1984) stellte für die Speichersande ein durchschnittliches Porenvolumen von ca. 22 % und Durchlässigkeiten von 0 - 100 mD (Obere Pechelbronnsschichten) bzw. 100 - 1.000 mD (Untere Pechelbronnsschichten) fest.

Für die grobklastischen Sedimente der Unteren Pechelbronnsschichten im Erdölfeld Eich werden Porositäten von 18 - 20 % und Permeabilitäten von 600 ( $5,9 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ) bis über 1.000 mD ( $9,9 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ) angegeben (PLEIN 1992). Nach BOIGK (1981) wurden im Erdölfeld Stockstadt sogar Permeabilitäten über 8.000 mD ( $7,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ ) festgestellt. Die sandigen Schichten der Oberen Pechelbronnsschichten weisen nach PLEIN (1992) und BOIGK (1981) Porositäten von 20% und Permeabilitäten bis zu 600 mD ( $5,9 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ) auf.

In der Datenbank der Kohlenwasserstoff-Exploration wurden aus 49 Bohrungen mittlere Porositäten zwischen 5 und 23% (maximal bis 29%) und Permeabilitäten zwischen 0,001 ( $9,9 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ ) und 10.000 mD ( $9,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ ) ermittelt.

<b>Pechelbronn-Gruppe (Speicherkomplex 4)</b>	
<b>Verbreitung</b>	Nördlicher Oberrheingraben
<b>Untersuchungswürdige Horizonte</b>	Mittel- bis Grobsandsteine und Konglomerate der Unteren und Oberen Pechelbronn-Schichten
<b>Tiefenlage</b>	1.200 – 2.600 m unter GOK
<b>Mächtigkeit</b>	Gesamtmächtigkeiten der Pechelbronn-Gruppe > 250 m, einzelne Speicherhorizonte bis 32 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	mittel- bis grobkörnige Sandsteine und Konglomerate, sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung
<b>Aquifereigenschaften</b>	Porengrundwasserleiter
<b>Porosität</b>	Ø 22 %
<b>Permeabilität</b>	bis 10.000 mD

## 6.8 Barrierekomplex 4: Tertiäre Abfolgen

Wie auch für das unterlagernde Rotliegend dienen die feinkörnigen Ton- und Mergelsteine, Kalksteine sowie die bituminösen und salinaren Abfolgen des Rupelton (Bodenheim-Formation), *Meletta*- Schichten, Cyrenenmergel, Bunte Niederrödener, *Cerithien*- und *Corbicula*- Schichten als Barrierekomplex für die Pechelbronn-Gruppe. Bei den überlagernden Hydrobien-Schichten dominieren ebenfalls bituminöse, mergelige Tonsteine, Tonmergelsteine und vermehrt dolomitische Kalksteinlagen. Im untermiozänen „Jungtertiär I“ schalten sich in die Tone und Tonmergel Feinsandlinsen und dünne Braunkohlenlagen, im „Jungtertiär II“ (Obermiozän bis Pliozän) auch kiesige Grobsandlagen ein. Die größeren Horizonte dienen lokal als Erdgasspeicher (Stockstadt, Hähnlein). Zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in salinaren Aquiferen kommen sie jedoch nicht in Frage, da sie nicht die nötige Tiefenlage erreichen.

Die zahlreichen Tiefbohrungen erschweren die Abdichtung des Deckgesteins. Außerdem besteht aufgrund der aktiven Tektonik infolge der anhaltenden Grabenabsenkung eine erhöhte Gefahr von Erdbeben. Neben der Nutzung des tieferen Untergrundes als Erdgasspeicher sind auch mehrere Erlaubnisfelder zur Aufsuchung von Erdwärme (z. B. bei Riedstadt) im Planungs- und Erkundungsstadium (FRITSCH & KRACHT 2007). Die oberen Stockwerke des Hessischen Rieds werden intensiv zur Trinkwassergewinnung genutzt.

Barrierekomplex 4	Rupelton (Bodenheim-Formation), tertiäre Abfolgen
<b>Verbreitung</b>	Nördlicher Oberrheingraben
<b>Mächtigkeit (Komplex)</b>	0 - > 500 m
<b>Lithologische Charakterisierung</b>	Ton- und Siltsteine, Tonmergel- und Mergelsteine, Sand- und Kalksteinlagen, sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung
<b>Porosität</b>	variierend, gering
<b>Permeabilität</b>	variierend, gering

## 7 Diskussion der Ergebnisse

Gebiete, die sich nicht für die Speicherung von CO<sub>2</sub> eignen, die sogenannten **Ausschlussgebiete**, sind aufgrund der Gesteinseigenschaften (z. B. fehlendem Hohlraumvolumen) und Strukturgeologie gut belegt. Dies trifft v. a. für das kristalline Grundgebirge des Odenwald und Spessart sowie die gefalteten und geschieferten Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges zu.

Eine Bewertung der Eigenschaften der potenziellen Speichergesteine (Tabelle 2) und Barrieregesteine (Tabelle 3) ist im Folgenden zu finden. Dabei wurde nach verschiedenen Kriterien wie folgt bewertet:

- Rot: ungeeignet
- Gelb: bedingt geeignet bzw. weiterer Erkundungsbedarf erforderlich
- Grün: geeignet (aber weitere Einzelfallbetrachtung erforderlich)
- Weiß: keine oder unzureichende Angaben

Speicherstrukturen und -kapazitäten der salinaren Aquifere in mehr als 800 m Tiefe lassen sich aufgrund der ungenügenden Anzahl der Bohrungen nur schwer bestimmen. Starke Fazies- und Mächtigkeitsschwankungen sind die Regel. Angaben über Permeabilitäten und Porositäten liegen in den wenigsten Fällen und nicht flächendeckend vor.

Im Einzelnen wurden Nord- und Osthessen sowie der Oberrheingraben im Hinblick auf ihre **potenziellen CO<sub>2</sub>-Speichermöglichkeiten** mit der dazu erforderlichen Tiefenlage untersucht. Detaillierte Untersuchungen erfolgten für die vier hessischen Speicherkomplexe (Rotliegend, Zechstein – Leine Karbonat, mittlerer Buntsandstein – Volpriehausen-Folge smV sowie Tertiär – Pechelbronn-Gruppe).

Die Mittel- bis Grobsande und Konglomerate des Rotliegend im osthessischen Bereich der Saar-Werra-Senke weisen regional eine ausreichende Tiefenlage und kumulative Mächtigkeit auf, wobei die Lithologie von Bohrung zu Bohrung stark variieren kann. An Tonsteinen, Feinsandsteinen, konglomeratischen Sandsteinen und Konglomeraten zweier Bohrungen wurden Porositäten von lediglich 2 Prozent und Permeabilitäten zwischen 0,04 und 0,3 mD gemessen, viel zu gering für eine effektive Einspeisung von CO<sub>2</sub>. Das Speichervolumen der zwei vorhandenen Antiklinalstrukturen ist deutlich unter den festgesetzten Mindestspeichervolumen von 0,1 km<sup>3</sup>. Ausreichende Deckschichteigenschaften dürften jedoch die Gesteine der Zechstein-Folge z1 bis z3T besitzen, wenngleich örtlich auch CO<sub>2</sub>- und Salzwasseraufstiege aus dem Rotliegend in Kaligruben des Werra-Salinars festgestellt wurden (FRITSCHKE, mündl. Mittl.).

Die mittel- bis grobkörnigen Rotliegend-Sandsteine und Konglomerate des Oberrheingrabens sind ebenfalls lithologisch sehr variabel, können aber mit Porositäten bis zu 25 % und Permeabilitäten bis über 500 mD ( $4,9 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ) örtlich bessere Speichereigenschaften erhoffen lassen. Hier ist jedoch immer eine Einzelfallbetrachtung nötig. Der überlagernde Rupelton (Bodenheim-Formation) weist ausreichende Barriereigenschaften auf. Lediglich die Antiklinalstruktur bei Stockstadt besitzt ein ausreichend großes Speichervolumen, alle weiteren „spill point“-Strukturen sind deutlich zu klein.



Speicher-Eigenschaften							
Stratigraphie	Rotliegend	Rotliegend	Zechstein: Leine- Karbonat	Zechstein: Leine- Karbonat	Rotliegend und Zechstein: Leine-Karbonat	Mittlerer Buntsandst.: Volpriehausen- Sandstein	Tertiär: Untere und Obere Pechelbronn- Schichten
Region	Osthessen	Oberrhein- graben	Raum Kassel	Werra-Kali- Gebiet	Vogelsberg und Rhön	Raum Kassel	Oberrhein- graben
Lithologie	konglomera- tische Mittel- Grobsandsteine und Konglomerate	mittel- bis grobkörnige Sandsteine und Konglomerate sowie Vulkanite	Karbonat, z. T. zerbrochen, grobkavernös, Lithologie nicht genau bekannt	Plattige Kalksteine, einzelne Dolomitbänk- chen und Sandflasersch.	keine Angaben, nur eine Bohrung im zentralen Bereich des Vogelsbergs	(Mittel- bis) Grobsandsteine	schlecht sor- tierte Mittel- bis Grobsand- und Konglo- meratlagen
Tiefe [m u.GOK]	800 – 1.140	800 – >2.800	800 – 1.300	800 – 950	> 800	max. 815 bzw. 885 (2 Brg.), sonst < 800	1.200 – 2.600
Gesamtmächtigkeit [m]	max. 600 – 1.000	185 – 250, max. 750	20 – 40	9 – 56	-	150 - 175	bis > 250
Speichermächtigkeit [m]	einzelne Lagen meist < 10 kumulativ > 10m	-	-	9 – 56	-	20 – 25	einzelne Zyklen 1,5 – 32
max. Fläche der Speicherstruktur	4,5 km <sup>2</sup>	7,4 km <sup>2</sup>	nicht zu bestimmen	keine vorhanden	-	nur 2 Brg. > 800 m	9,0 km <sup>2</sup>
Porosität [%]	< 2	<10 – max. 25	≤ 10	≤ 10	-	4 - 18	Ø 22
Permeabilität [mD]	0,04 - 0,3	Ø <1 –max. 560	-0,3 bis 7	-0,3 bis 7	-	bis > 3.000	100 – 10.000
Aquifereigenschaften	-	-	Karst-Kluft	Karst-Kluft	-	Kluft	-
Salinität [mg/l]	-	örtlich hoch	-	>> 1.000	-	nicht erhöht	-
Laterale Kontinuität	Lithologie variiert von Bohrung zu Bohrung	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung	nicht bekannt (nur wenige Bohrungen)	Übergang nach SW in tonig- mergelige Fazies	nur eine Bohrung, starker Schollenbau	ausreichende Teufe nicht gegeben, nur 2 Brg. > 800 m, zu geringe Verbreitung	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung
Weitere Vorgehensweise	Sichtung von Bohrprofilen, Bohrkerne vorhanden?	Sichtung seismischer Profile, Bohrprofile	flächendecken- des Abteufen neuer Bohrun- gen, Seismik	keine	flächendeckendes Abteufen neuer Bohrungen, Seismik	keine	Sichtung seismischer Profile, Bohrprofile
Konkurrierende Nutzung	-	Geothermie	-	Versenkung von Salzabwasser der Kaliindustrie	-	Trinkwasser- Gewinnung	Potenzielle Erdöl- und Erdgaslager

Tab. 2: Übersicht und Wertung der potenziellen Speichergesteine in Hessen

Der karstartig erweiterte Kluftgrundwasserleiter des Leine-Karbonat (z3CA, Plattendolomit) im Werra-Kali-Gebiet ist nur eingeschränkt als Speichergestein geeignet, da die Speichersicherheit aufgrund der lithologischen Eigenschaften der Deckschichten (Salzwasseraufstiege!) nicht gegeben ist. Größere Antiklinalstrukturen konnten nicht ausgehalten werden. Außerdem besteht ein Nutzungskonflikt mit der Versenkung von Salzabwasser der Kaliindustrie. Im Raum Kassel ist die Bohrungsdichte so gering, dass keine gesicherten Aussagen zu Speichereigenschaften und Speicherstrukturen gemacht werden können. Im Vogelsberg und der Hohen Rhön ist die Datengrundlage ebenfalls unzureichend. Hier müssten flächendeckend neue Bohrungen abgeteuft werden.

Der Volpriehausen-Sandstein im Raum Kassel liegt nur in einem sehr begrenzten Gebiet unterhalb 800 m unter GOK. Ausreichender Schutz ist durch die überlagernden Schichten der Detfurth-Wechselfolge (Kluftgrundwasserleiter!) nicht gegeben.

Die tertiären Pechelbronn-Schichten im Oberrheingraben haben durch ihre Eigenschaft als Erdöl-Speicher ihre Eignung als CO<sub>2</sub>-Speichergestein bereits bewiesen. Die ausgewiesenen Antiklinalstrukturen weisen jedoch ein zu geringes Speichervolumen auf. Die zahlreichen

Tiefbohrungen der Kohlenwasserstoff-Industrie erschweren die Abdichtung des Deckgesteins. Außerdem besteht aufgrund der aktiven Tektonik infolge der anhaltenden Grabenabsenkung eine erhöhte Gefahr von Erdbeben.

Deckschicht-Eigenschaften							
Stratigraphie des Speichers	Rotliegend	Rotliegend	Zechstein: Leine- Karbonat	Zechstein: Leine- Karbonat	Rotliegend & Zechstein: Leine- Karbonat	Mittlerer Buntsandst.: Volpriehausen- Sandstein	Tertiär: Untere und Obere Pechelbronn- Schichten
Region	Osthessen	Oberrhein- graben	Raum Kassel	Werra-Kali- Gebiet	Vogelsberg und Rhön	Raum Kassel	Oberrhein- graben
Stratigraphie der Deckschichten	Zechstein (z1- z3T)	Messel-Forma- tion (MF), Eozäne Basis- tone (EB), Rupelton (RT)	Zechstein (z3Tr – z7), Unterer Buntsandstein	Zechstein (z3Tr – z7)	Tertiärer Basalt, Buntsandstein	Mittlerer Buntsandst.: Volpriehausen- und Detfurth- Wechselfolge	Rupelton (RT)
Lithologie	(mergelige) Tonsteine, Anhydrite, Salze, Kalksteine, Feinsandsteine	Ton- und Siltsteine,, Tonmergel- und Mergelsteine	(mergelige) Tonsteine, Anhydrite, (Fein-) Sandsteine, Kalksteine	(mergelige) Tonsteine, Anhydrite, (Fein-) Sandsteine, Kalksteine	Buntsandstein, Basalt, zwischen- gelagerte, meist vertonte Tuff- Horizonte	Wechselfolge aus Ton-, Silt- und Feinsand- steinen	Ton- und Siltsteine,, Tonmergel- und Mergelsteine
Mächtigkeit [m]	meist > 100, max. > 500	0 – 64 (MF, EB) bzw. 50 – 100 (RT)	20 – 100 (z4 – z7) bzw. 170 – 500 (su)	50 – > 250	im zentralen Bereich > 700	150 – 175 (smVst) bzw. 90 (smD)	50 – 100
Porosität [%]	-	-	-	Salzwasserauf- stiege weisen auf Undichtig- keit hin	stark geklüftet	-	-
Permeabilität [mD]	<< 15	-	< 10	< 10	-	-	-
Laterale Kontinuität	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung	-	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung	einzelne Schollen	vorhanden	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mäch- tigkeit und Verbreitung
Tektonik	Störungen, Basaltgänge	Horst- und Graben- strukturen, Erdbeben	Gabenstruk- turen, Störungen, Subrosions- senken	Gabenstruk- turen, Störungen, Subrosions- senken	stark geklüftet, einzelne Schollen	Gabenstruk- turen, Störungen, Subrosions- senken	Schwellen & Senken, Mosaik von Kippschollen, Erdbeben
Konkurrierende Nutzung	Verpressung salinarer Wässer, Sondermüll- Deponien	Potenzielle Erdöl- und Erdgaslager	-	-	Trinkwasser- reservoir Rhein- Main	-	Potenzielle Erdöl- und Erdgaslager

Tab. 3: Übersicht und Wertung der potenziellen Barrieregesteine in Hessen

**Fazit:** Für die effektive Speicherung von CO<sub>2</sub> sind in Hessen nur die Rotliegend-Gesteine in der asymmetrischen Antiklinalstruktur bei Stockstadt im Oberreingraben mit einem Speichervolumen von 0,19 km<sup>3</sup> geeignet. Allerdings besteht hier bereits ein Nutzungskonflikt mit vorhandenen Erdgasspeichern und geplanten tiefen Geothermievorhaben, d.h. auch diese sehr kleine Struktur kann für die Speicherung von CO<sub>2</sub> nicht genutzt werden.

## 8 Danksagung

Der besondere Dank gilt Heiner Heggemann und Hans-Gerhard Fritsche für das kritische Durchlesen des Textes und den daraus resultierenden hilfreichen Kommentaren sowie Steffen Schäfer für vielerlei Unterstützung.

## 9 Literatur

- ANDRES, J. & SCHAD, A. (1959): Seismische Kartierung von Bruchzonen im mittleren und nördlichen Teil des Oberrheintalgrabens und deren Bedeutung für die Ölabsammlung.– Erdöl und Kohle, **12: Nr. 5**; Industrieverlag von Hernhausen K.G.; Hamburg.
- BÄR, K. (2008): 3D-Modellierung des tiefengeothermischen Potenzials des nördlichen Oberrheingrabens und Untersuchung der geothermischen Eigenschaften des Rotliegend.– Diplomarbeit an der Technischen Universität Darmstadt (unveröff.)
- BECKER, F. (2002): Zechsteinkalk und Unterer Werra-Anhydrit (Zechstein 1) in Hessen: Fazies, Sequenzstratigraphie und Diagenese.– Geol. Abh. Hessen, **109**: 231 S.; Wiesbaden.
- BECKER, R.E. & KULICK, J. (1999): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Bl. 4923 Altmorschen.– 394 S.; Wiesbaden.
- BOIGK, H. & SCHÖNEICH, H. (1970): Die Tiefenlage der Permabasis im nördlichen Teil des Oberrheingrabens.– In: Illies, J. H. & Mueller, S. [Hrsg.]: Graben Problems: 48-55; Stuttgart (Schweizerbart).
- BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland.– 330 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- DERER, C. E.: (2003): Tectono-Sedimentary Evolution of the Northern Upper Rhinegraben (Germany) with special regards to the early synrift stage.– Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn.
- DEUBEL, F. (1954): Zur Frage der unterirdischen Abwasserversenkung in der Kali-Industrie.– Abh. dt. Akad. Wiss., Kl. Math. u. allg. Naturwiss., **H3**: 23 S.; Berlin.
- DIEDERICH, G.; FINKENWIRTH, A.; HÖLTING, B.; KAUFMANN, E.; RAMBOW, D.; SCHARPFF, H.-J.; STENGEL-RUTKOWSKI, W. & WIEGAND, K. (1991): Hydrogeologisches Kartenwerk Hessen 1:300.000.– Geol. Abh. Hessen, **95**: 83 S.; Wiesbaden.
- DOEBL, F. (1967): The Tertiary and Pleistocene Sediments of the Northern and Central part of the Upper Rhinegraben.– Abh. Geol. L.-Amt B.-Württ. **6**: 48-54.
- DÜRBAUM, H. J.; MATTHESS, G. & RAMBOW, D. (1969): Untersuchungen der Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit des Buntsandstein in Nordhessen.– Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **97**: 258-274; Wiesbaden.
- EHRENBERG, K.-H. & HICKETHIER, H. (1985): Die Basaltbasis im Vogelsberg. Schollenbau und Hinweise zur Entwicklung der vulkanischen Abfolge.– Geol. Jb. Hessen, **113**: 97-135; Wiesbaden.
- FINKENWIRTH, A. (1984): Eignung der Lokation Stockstadt am Rhein als Standort für ein deutsches Hot-Dry-Rock-Projekt.– Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung; Wiesbaden.

- FRITSCH, H.-G.; BECKER, F. & HEGGEMANN, H. (2000): Die Tiefbohrung Rotenburg HKZ 1001 – Geologie des Deckgebirges und hydrogeologische Ergebnisse.– Geol. Jb. Hessen, **128**: 5-17; Wiesbaden.
- FRITSCH, H.-G., HEMFLER, M., KÄMMERER, D., LEßMANN, B., MITTELBACH, G. PETERS, A., PÖSCHL, W., RUMOHR, S. & SCHLÖSSER-KLUGER, I. (2003): Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume von Hessen gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL).– Geol. Jb. Hessen, **130**: 5-19; Wiesbaden.
- FRITSCH, J.-G. & KRACHT, M. (2007): Geothermische Potenziale und Seismizität in Hessen.– 2. Tiefengeothermie- Forum, 4.9.2007; Darmstadt.
- GAUPP, R. & NICKEL, B. (2001): Die Pechelbronn-Schichten im Raum Eich-Stockstadt (Nördlicher Oberrheingraben, Blatt 6216 Gernsheim) .– Geol. Jb. Hessen, **128**: 19-27; Wiesbaden.
- HEGGEMANN, H. (2008): Battenberg-Formation.- In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, (Last updated 29.04.2008, Record No. 6002007), available from: <http://www.bgr.bund.de/litholex>; Hannover.
- HUG, N. (2004): Sedimentgenese und Paläogeographie des höheren Zechstein bis zur Basis Buntsandstein in der Hessischen Senke.– Geol. Abh. Hessen, **113**: 238 S.; Wiesbaden.
- KÄDING, K.-CH. (1987): Kali- und Salzbergwerk Hattorf der Kali und Salz AG, Schachanlage Hera.- Befahrung von Bohrkernen aus dem Zechstein des Werra-Fulda-Beckens und des Solling-Beckens. Exkursion C 1 / 2.– Int. Symp. Zechstein 87, I: 57-68; Wiesbaden.
- KÄDING; K.-CH. (2000): Die Aller-, Ohre-, Friesland- und Fulda-Folge (vormals Bröckelschiefer-Folge).– Kali und Steinsalz, **13** (14): 86–96; Essen.
- KoSaAB - Koordinierungsausschuss Salzabwasser Hessen-Thüringen (1994): Sonderbericht Diffuse Einträge von Salzwasser in die Werra - 1994.– Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt; Erfurt.
- KÖTT, A. & KRACHT, M. (2009): Potenziale der CO<sub>2</sub>-Speicherung in Hessen – eine Grundlage zur klimafreundlichen geo- und energietechnischen Nutzung des tiefen Untergrundes.– Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- KOWALCZYK, G. (1983): Das Rotliegende zwischen Taunus und Spessart.– Geol. Abh. Hessen, **84**: 99 S.; Wiesbaden.
- KULICK, J.; LEIFELD, D.; MEISL, S.; PÖSCHL, W.; STELLMACHER, R.; STRECKER, G.; THEUERJAHR, A.-K. & WOLF, M. (1984): Petrofazielle und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harz-Westrandes.– Geol. Jb., **D 68**: 3-223, Hannover.
- KULICK, J. (1991): Randfazies Korbacher- und Frankenberger Bucht, N.F. Jber. oberrhein. Ver., N.F: 73.
- KUPFAHL, H.-G. (1981): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Bl. 4723 Oberkaufungen.– 212 S., Wiesbaden.

- LAEMMLEN, M. (1975): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Bl. 5225 Geisa.– 272 S., Wiesbaden.
- LEßMANN, B. & WIEGAND, K. (1998): Der vulkanische Vogelsberg als Beispiel für ein mehrschichtiges Grundwasserstockwerkssystem.– Geol. Jb. Hessen, **126**: 81-92, Wiesbaden.
- LEßMANN, B.; WIEGAND, K. & SCHARPFF, H.-J. (2001): Die Hydrogeologie des vulkanischen Vogelsberges.– Geol. Abh. Hessen, **108**: 144 S., Wiesbaden.
- MARELL, D. (1989): Das Rotliegende zwischen Odenwald und Taunus.– Geol. Abh. Hessen, **89**: 128 S., Wiesbaden.
- MEIER, L. (1989): Ein Modell für die Tiefenstruktur und Kinematik im Bereich des nördlichen Oberrheingrabens.– Dissertation Universität Karlsruhe.
- MOTZKA, R. (1968): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Bl. 5324 Hünfeld.– 156 S., Wiesbaden.
- MOTZKA, R. & LAEMMLEN, M. (1967): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Bl. 5224 Eiterfeld.– 156 S., Wiesbaden.
- MÖLLER, H. (1985): Petrographie und Fazies des Plattendolomits (Leine-Karbonat, Ca<sub>3</sub>) im hessischen Zechstein-Becken.– Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **20**: 77-112, Hannover.
- MÜLLER, H. (1996): Das Permokarbon im nördlichen Oberrheingraben.– Geol. Abh. Hessen, **99**: 85 S., Wiesbaden.
- PLEIN, E. (1992): Das Erdölfeld Eich-Königstädten.– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. N.F., **74**: 41-54
- PRINZ, H. & HOLTZ, S. (1989): Zur Durchlässigkeit des Buntsandsteingebirges - Erfahrungen aus dem Tunnel- und Talsperrenbau in Hessen (BRD).– Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., **32**: 197-224, Aachen.
- RADTKE, G. & MARTINI, E. (HRSG.) (2007): Die Bohrungen Wallau im nordöstlichen Mainzer Becken (Rotliegend, Pechelbronn-Gruppe, Bodenheim-Formation).– Geol. Abh. Hessen, **116**: 273 S., Wiesbaden.
- SCHRAFT, A. & RAMBOW, D. (1984): Vergleichende Untersuchungen zur Gebirgsdurchlässigkeit im Buntsandstein Ost Hessens.– Geol. Jb. Hessen, **112**: 235-261, Wiesbaden.
- SKOWRONEK, F.; FRITSCH, J.-G.; ARAGON, U. & RAMBOW, D. (1999): Die Versenkung und Ausbreitung von Salzabwasser im Untergrund des Werra-Kaligebietes.– Geol. Abh. Hessen, **105**: 83 S.; Wiesbaden.
- STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1967): Einige Vorkommen von Natrium-Chlorid-Wasser im östlichen Rheinischen Schiefergebirge.– Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **95**: 190-212, Wiesbaden.

STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1979): Das östliche Rheinischen Schiefergebirge.– Hydrol. Atlas BRD, Textband, 191-194, Boppard (H. Boldt-Verl.).

UDLUFT, H.; HENTSCHEL, H.; MICHELS, F.; NÖRING, F.; SCHENK, E.; SCHMITT, O.; TEIKE, M.; THEWS, D.; THOME, K. N. & ULBRICH, R. (1957): Hydrogeologische Übersichtskarte 1:500.000, Erläuterungen zu Blatt Frankfurt.– Bundesanst. f. Landeskunde, Remagen.