

CO₂-Speicherung in Hessen – Möglichkeiten und Grenzen

G2

MATTHIAS KRACHT, ANNE KÖTT & MICHAELA HOFFMANN

Im Rahmen des integrierten Klimaschutzprogramms für Hessen (= **INKLIM 2012**) des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) wurde vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) die Eignung des tieferen Untergrundes zur dauer-

haften Einlagerung von CO₂ untersucht. Hierbei wurden die verschiedenen Speichermöglichkeiten in Hessen beleuchtet und deren gesteinspezifische Eigenschaften, Tiefenlage, Speichersicherheiten durch überlagernde Deckgesteine und mögliche konkurrierende Nutzungen aufgezeigt.

CO₂-Speicherung

Die Einlagerung von CO₂ (länger als 10 000 Jahre) durch Injektion mit Druck ist in natürlich vorhandenen Hohlräumvolumen (Kluft- und Porenvolumen) in Gesteinen des tieferen (800–1 000 m) Unter-

grundes möglich. Grundsätzlich kommen als CO₂-Speicher folgende Bereiche in Frage (siehe Abb. 1):

- Salinare Aquifere (salzhaltige Grundwasserleiter)
- Ausgeförderte Erdgas- und Erdölfelder

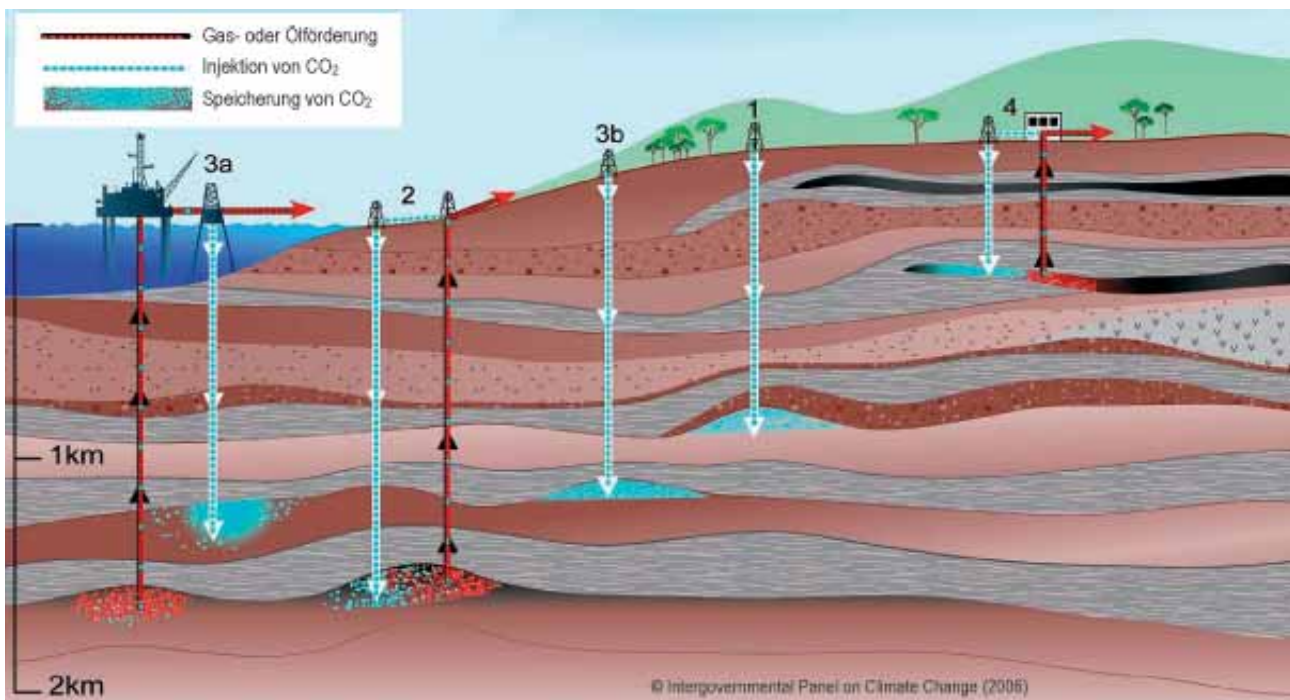


Abb. 1: Überblick über die Möglichkeiten der CO₂-Speicherung. **1** Einlagerung in erschöpfte Öl- und Gasfelder; **2** verstärkte Ausförderung von Öl- und Gasfeldern (EOR); **3** Salzstöcke auf See (a) und an Land (b); **4** Speicherung in Kohlenflözen zur Steigerung der Flözgasausbeute.

Vorgehensweise der Untersuchungen für Hessen

1. Schritt: Als potenzielle CO₂-Speicher können Gesteine in Hessen ausgeschlossen werden, die kein oder kaum nutzbares Hohlräumvolumen besitzen. Dies trifft v. a. für das kristalline Grundgebirge des Odenwald und Spessart sowie die gefalteten und geschieferten Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges zu.

2. Schritt: Geeignet sind Gesteinseinheiten, die als Speichergestein die Kriterien der nachfolgenden Tabelle erfüllen. Um die Speichersicherheit zu gewährleisten, muss jedes Speichergestein von einer undurchlässigen Deckschicht überlagert sein.

und erbohrten Schichtgrenzen bestimmt und Tiefenlinienpläne konstruiert (siehe Abb. 2). Als Ergebnis wurden dann Karten mit dazugehörigen Tiefenlinienplänen für geologische Einheiten gezeichnet (siehe Abb. 3). Geologische Störungen und dadurch bedingte Versätze der Gesteinsschichten wurden nicht berücksichtigt.

Die geologischen Voraussetzungen zur Speicherung von CO₂ werden in Hessen nur von tiefen salinaren Aquiferen sowie entleerten Erdöl- und Erdgaslagerstätten erfüllt. Die Verbreitung und Tiefenlagen des Rotliegend, als möglicherweise geeignetes Speicher-

Die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen aus dem Archiv des HLUg lassen Aussagen über die Tiefenlage der für die CO₂-Einlagerung in Frage kommenden Schichten (siehe Tab. 1) zu. Insgesamt wurden ca. 1 200 Bohrungen gesichtet, von denen nur etwa 500 Bohrungen tiefer als 500 m und knapp 200 tiefer als 800 m Tiefe sind (die meisten davon im Oberrheingraben). Mithilfe eines digitalen Höhenmodells wurden die Höhenlagen der oberflächlich anstehenden

Tab. 1: Eigenschaften der Speicher- und Deckschichten (nach CHADWICK et al. 2007)

Speichereigenschaften	geeignet	weniger geeignet
Tiefe [m unter GOK]	1 000–2 500	< 800 und > 2 500
Mächtigkeit [m]	> 50	< 20
Porosität [%]	> 20	< 10
Deckschichteigenschaften		
Laterale Kontinuität	ungestört	gestört, variierend
Mächtigkeit [m]	> 100	< 20

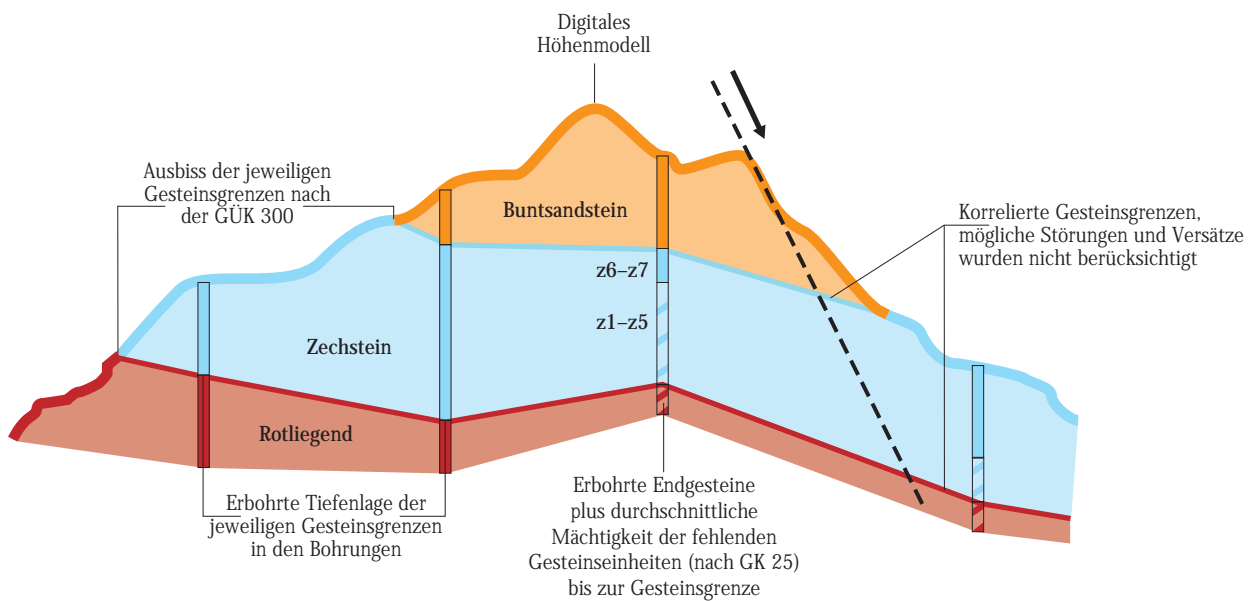


Abb. 2: Konstruktion der Speichergesteins-Oberflächen mit Hilfe der Geologischen Übersichtskarte 1 : 300 000, des Digitalen Höhenmodells und der Bohrungen.

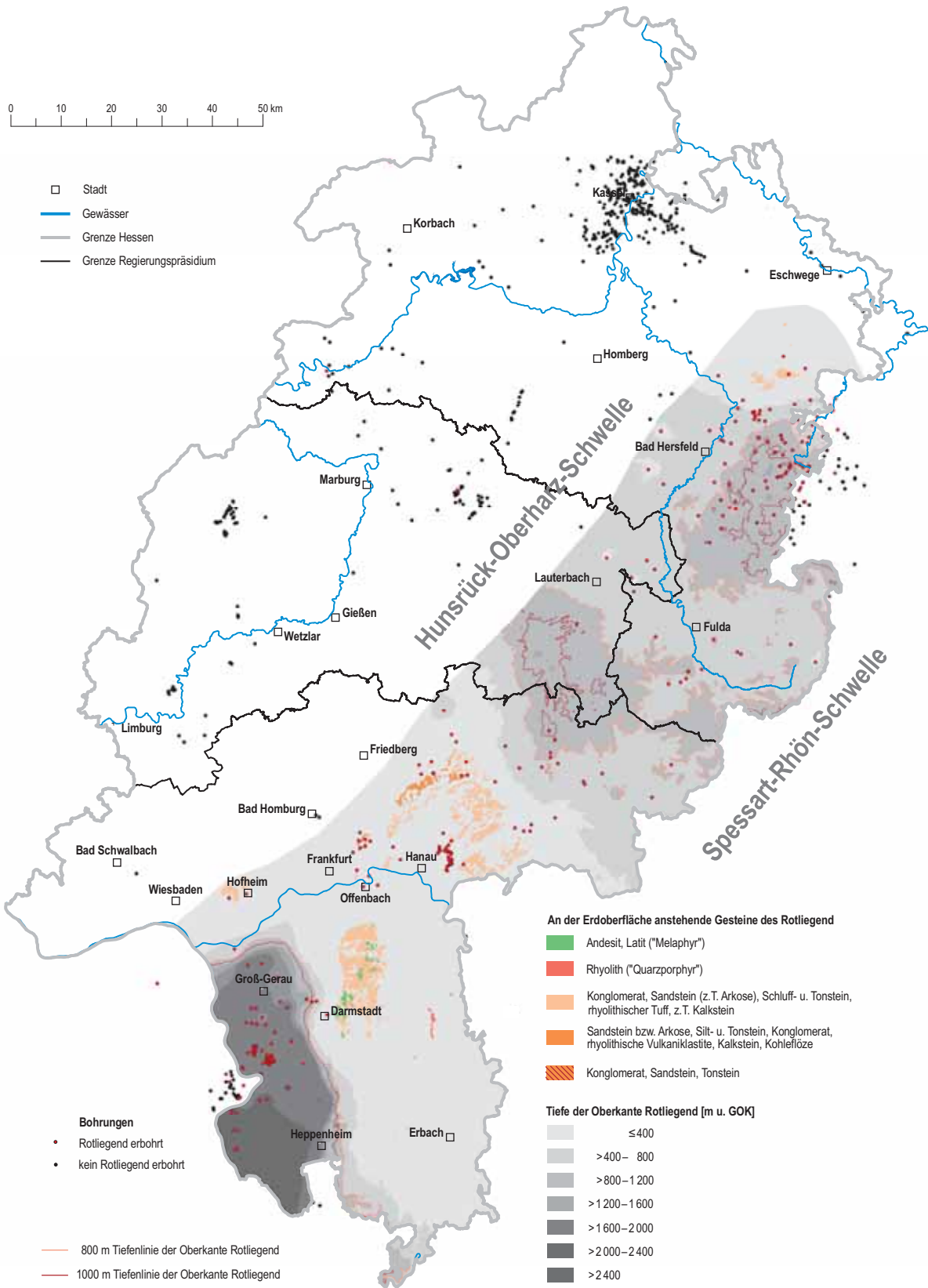


Abb. 3: Verbreitung des Rotliegend und Tiefenlage der Grenze Rotliegend-Zechstein.

gestein, ist beispielhaft in Abb. 3 zu sehen. Die für die CO₂-Speicherung entscheidende 800-Meter-Tiefenlinie sowie die 1 000-Meter-Tiefenlinie sind farbig hervorgehoben. Ähnliche Karten wurden für andere geologische Formationen erarbeitet und entsprechend dem Speicher- oder Deckgestein zugeordnet.

3. Schritt: Bei einer Vielzahl von Nutzungen spielt der tiefere geologische Untergrund eine entscheidende Rolle. Hierzu gehören die folgenden Nutzungen, die mit der CO₂-Speicherung in Konkurrenz stehen:

- Förderung von Erdöl und Erdgas
- Untergrundspeicherung von Erdgas und Druckluft
- Verpressung von Solen
- Gewinnung des Erdwärmepotenzials für Heizung und Stromerzeugung bzw. Wärmespeicherung

- Nutzung von Thermal- und Mineralwässern
- Untertagedeponien

Neben der konkurrierenden Nutzung wurden weitere Kriterien zu einer Gesamtbewertung herangezogen (siehe Tab. 2). Hier sind die Eigenschaften der potenziellen Speicherschichten der tiefen salinaren Aquifere in Hessen aufgeführt und nach verschiedenen Kriterien wie folgt gewichtet:

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

Eine ähnliche Tabelle wurde für die Deckgesteine erarbeitet und den Speichergesteinen zugeordnet.

Tab. 2: Übersicht und Wertung von potenziellen Speichergesteinen in Hessen

Speichereigenschaften							
Stratigraphie	Rotliegend	Rotliegend	Zechstein Plattendolomit	Zechstein Plattendolomit	Rotliegend u. Zechstein Plattendolomit	Mittlerer Buntsandstein Volpriehausen- Sandstein	Tertiär Peechelbronn- Schichten
Region	Hessische Senke	Oberrhein- graben	Raum Kassel	Werra-Kali- Gebiet	Vogelsberg und Rhön	Raum Kassel	Oberhein- graben
Lithologie	konglomeratische Mittel- Grobsandsteine und Konglomerate	mittel- bis grobkörnige Sandsteine u. Konglomerate	Karbonat, z. T. zerbrochen, grobkavernös Lithologie nicht genau bekannt	Plattige Kalksteine, einzelne Dolomitbänken und Sandflaserschichten	keine Angaben, nur eine Bohrung im zentralen Bereich des Vogelsbergs	(Mittel- bis) Grobsandsteine	schlecht sortierte Mittel- bis Grobsand- und Konglomeratlagen
Tiefe [m u. GOK]	800–1 140	1 400 – > 2 800	800–1 300	800–950	> 800 m	max. 815 sonst bzw. 885 (2 Brg), < 800	> 1 200
Mächtigkeit [m]	einzelne Lagen meist < 3m	185–250, einzelne Zyklen	20–30	9–23	–	20–25	einzelne Zyklen 1,5–28
Porosität [%]	–	oberflächennahe Gesteine eher gering	< 10	< 10	–	–	Ø 22
Laterale Kontinuität	Lithologie variiert von Bohrung zu Bohrung	sehr variabel in Lithologie, Teufe, Mächtigkeit und Verbreitung	nicht bekannt (nur 2 Brg.)	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, Mächtigkeit und Verbreitung
Konkurrierende Nutzung		Geothermie		Verpressung salinärer Wässer		Trinkwasser-Gewinnung	Potenzielle Erdöllager

Was heißt das für Hessen?

Gebiete, die sich nicht für die Speicherung von CO₂ eignen (Ausschlussgebiete)

Sie sind aufgrund der Gesteinseigenschaften 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.

Speicheroptionen, die für Hessen nicht Betracht kommen

Salzstöcke oder aufgegebene **Kohlebergwerke** werden vor allem aus Kapazitäts- und Sicherheitsgründen nicht für die Speicherung von CO₂ in Erwägung gezogen. In Hessen befinden sich fast alle Lagerstätten nicht in ausreichender Tiefe und besitzen keine ausreichend mächtigen und sicheren Deckschichten.

Kurz- und mittelfristig nutzbare Möglichkeiten zur Speicherung von CO₂ in erschöpften Erdöl- und Erdgaslagerstätten und in salinaren Aquiferen

Die Lagerstättenverhältnisse und das Speicherpotenzial der Erdöl- und Erdgasfelder im Oberrheingraben sind in der Regel sehr gut dokumentiert. Leider weisen die Erdgasfelder nur sehr geringe Kapazitäten auf und werden z. T. als Gasspeicher genutzt. Auch die Kapazitäten der Erdölfelder im Oberrheingraben sind im Vergleich zu den Norddeutschen Feldern sehr gering. Hier ist jedoch immer eine Einzelfallbetrachtung notwendig.

Die Speicherkapazität der salinaren Aquifere in mehr

als 800 m Tiefe lässt sich aufgrund der ungenügenden Anzahl der Bohrungen nur schwer bestimmen. In Tab. 2 sind die einzelnen geologischen Einheiten bewertet. Danach kann man den Plattendolomit im Werra-Kali-Gebiet als Speichergestein ausschließen, da die Speichersicherheit aufgrund der Eigenschaften der Deckschichten nicht gegeben ist. Im Raum Kassel, im Vogelsberg und der Hohen Rhön ist die Datengrundlage 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. Weiterer Erkundungsbedarf ist erforderlich, was die Eignung des Rotliegend im Werra-Kali-Gebiet sowie des Rotliegend und der Pechelbronn-Schichten im Oberrheingraben betrifft.

Bei den salinaren Aquiferen sind detaillierte Untersuchungen bezüglich flächenhafter Ausdehnung und Kapazitäten notwendig (z. B. Auswertung der Seismik). Allerdings gibt es für große Kohlekraftwerke in Hessen keine ausreichenden CO₂-Speicher. Es sollte untersucht werden, ob in Hessen kleinere CO₂-Quellen bzw. Anlagen (z. B. Chemieanlagen) sich für die doch kleinen Felder eignen.

Speicherkapazitäten

Um eine Vorstellung für das Speichervermögen zu bekommen, wird immer von einem Speicherbedarf eines kleinen 500-MW-Kohlekraftwerks von 10 000 t CO₂ pro Tag ausgegangen (IPCC-Report). So wurde beispielhaft für die salinaren Aquifere (Plattendolomit im Werra-Kali-Revier) ein maximales Speichervermögen von 12 420 000 t CO₂ berechnet, welches in nicht einmal vier Jahren erschöpft wäre.

Ausblick

Die Aussagen der „Vorstudie zum Informationssystem Speichergesteine zur CO₂-Speicherung für den Standort Hessen – eine Grundlage zur klimafreundlichen geo- und energietechnischen Nutzung des tie-

fen Untergrundes (Speicherkataster)“ beruhen bisher nur auf Literaturrecherchen sowie der Auswertung von Bohrungen und geologischen Kartierungen des HLUG. Die hier vorgestellten potenziellen Spei-

cherhorizonte sowie deren Deckschichten bedürfen noch einer Vielzahl detaillierter geologischer und lithologischer Untersuchungen hinsichtlich der Gesteins- und Lagerungseigenschaften sowie ihrer räumlichen Grenzen. Vertiefte Erkenntnisse können durch den Einsatz von geophysikalischen Messmethoden und durch das Abteufen zusätzlicher Tiefbohrungen gewonnen werden.

Für eine weitere Bewertung ist es erforderlich in einem ersten Schritt, die bekannten seismischen Profile auszuwerten und tektonisch relevante Strukturen in die hier vorgestellten Karten einfließen zu lassen, um die potenziellen Gebiete detaillierter betrachten zu können. Um dann den Bereich eines potenziellen Speicherstandortes genauer zu erkunden, wird mit Kosten für die seismische Exploration (2D und 3D Seismik) von mehreren 100 000 € zu rechnen sein.

Diese durch die Seismik gewonnenen Erkenntnisse müssen durch das Abteufen zusätzlicher Tiefbohrungen (ab 500 m Teufe) ergänzt werden, um auch Aussagen über die vorliegenden Gesteinseigenschaften sowie die hydraulischen Eigenschaften machen zu

können. Auch hier ist mit hohen Kosten zu rechnen (bei Bohrkosten von ca. 1 000 € pro m ist für jede Bohrung für die hier angesprochenen Fragestellungen ca. 1 Million € zu veranschlagen).

Weitere wichtige Betrachtungen und Bewertungen zu der Thematik CO₂-Speicherung sind:

- Betrachtung der CO₂-Quellen in Hessen (Kohlekraftwerke, Chemiebetriebe etc.)
- Betrachtung der Infrastruktur und Transportwege von den Entstehungsorten zu den CO₂-Speichern
- Untersuchung der technischen Eigenschaften der einzulagernden Gase/Flüssigkeiten (z. B. Reinheit des CO₂) und ihrer Wechselwirkungen mit dem umgebenden Speichermedium
- Bewertung von konkurrierenden Nutzungen im tiefen Untergrund.

Für die Daseinsvorsorge sollten diese teuer zu ermittelnden Datengrundlagen im Zusammenhang mit den erneuerbaren Energien bzw. den konkurrierenden Nutzungen im tiefen Untergrund ermittelt werden. Das Gesamtbild von Hessen wird sich dadurch verändern.

Literatur

CHADWICK, A.; ARTS, R.; BERNSTONE, CH.; MAY, F.; THIBEAU, S. & ZWEIGEL, P. (2007): Best Practice for the Storage of CO₂ in Saline Aquifers. – Observations and guidelines from the SACS and CO₂STORE projects

Prepared by working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [METZ, B.; DAVIDSON, O.; DE CONNICK, H.C.; LOOES, M.; MEYER, L.A. (eds.)]

(2005): IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. – Cambridge University Press

RADGEN, P.; CREMER, C.; WARKENTIN, S.; GERLING, P.; MAY, F. & KNOPE, St. (2005): Bewertung von Verfahren zur CO₂-Abscheidung und -Deponierung. – Climate Change, Umweltbundesamt