



**Stellungnahme zu vorliegenden Gutachten zum
Fracking in Deutschland im Zusammenhang mit dem
Aufsuchungsantrag der BNK Deutschland GmbH auf
Kohlenwasserstoffe im Erlaubnisfeld „Adler South“**

**Handlungsempfehlungen aus geologischer und hydro-
geologischer Sicht**

Bearbeitung:

Dr. Jan Brodsky
Dr. Johann-Gerhard Fritsche
Dr. Heiner Heggemann
Dipl.-Ing. (FH) Michaela Hoffmann
Dr. Martin Hottenrott
Dr. Matthias Kracht
Dr. Wolfgang Liedmann
Prof. Dr. Thomas Reischmann
Dr. Fred Rosenberg
Dipl. Geol. Inga Schlösser-Kluger

Bearbeitungsstand: 26. März 2013

Zusammenfassung

Das HLUG hat im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz eine Bewertung der drei in Deutschland existierenden Gutachten zu den Risiken bei der Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus sogenannten nicht-konventionellen Lagerstätten vorgenommen und ihre Anwendbarkeit auf den vorliegenden Antrag der Fa. BNK Deutschland GmbH auf Aufsuchung im Erlaubnisfeld „Adler South“ in Nordhessen geprüft. Es handelt sich um folgende Gutachten (alle aus 2012):

- Risikostudie des Expertenkreises aus dem Informations- und Dialogprozess der ExxonMobil Production Deutschland GmbH (Risikostudie Fracking)
- Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA-Gutachten)
- Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (Studie NRW)

Alle drei Gutachten sind grundsätzlich als Hilfe bei der Beurteilung des Antrages der BNK Deutschland GmbH für das Antragsfeld „Adler South“ verwendbar, obwohl einige Aspekte unbehandelt bleiben oder nur gestreift werden. Der inhaltliche Schwerpunkt der Studien ist auf die Umweltrisiken fokussiert. Dagegen werden die primären geologischen Fragen nach der Existenz und Verbreitung unkonventioneller Lagerstätten nur untergeordnet behandelt. In keinem der Gutachten werden die rohstoffgeologischen Rahmenbedingungen für eine wirtschaftliche Gewinnbarkeit von Schiefergas näher behandelt. Auch Einschätzungen zu den politischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen möglicher unkonventioneller Gas-Förderung kommen nur am Rande vor.

Die Gutachten schließen die Förderung aus nicht-konventionellen Lagerstätten in Deutschland mit Hilfe des Frac-Verfahrens nicht grundsätzlich aus, sondern stellen fest, dass Fracking prinzipiell mit den Anforderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes vereinbar sein kann. Sofern intensive Voruntersuchungen zu Ressourcen und Risiken durchgeführt und entsprechend der Ergebnisse erforderliche Maßnahmen nach dem Stand der Technik getroffen und die bestehenden gesetzlichen Regelungen eingehalten werden, erscheint ein umweltverträglicher Einsatz der Technologie realisierbar.

In anderen Ländern wie beispielsweise in den USA wird die Frac-Technologie seit langem eingesetzt. In Deutschland gibt es auch langjährige Erfahrungen mit dieser Technologie, allerdings nur bei Tight Gas-Lagerstätten. Bei Schiefergas-Lagerstätten hat es hierzulande bislang lediglich an einer Bohrung Frac-Behandlungen gegeben (Bohrung Damme 3 im Erdgasfeld Söhlingen, Niedersachsen). Insofern befindet sich die Anwendung dieser Technologie bei Schiefergaslagerstätten in Deutschland noch in der Erprobungsphase. Nach Ansicht des HLUG kommt darüber hinaus dem Monitoring von Risikoparametern vor, während und nach einem möglichen Fracking höchste Priorität zu. An den Nachweis der Barrierefunktion und des geologisch-hydrogeologischen Aufbaus des Deckgebirges über dem Zielhorizont müssen daher bei Schiefergaslagerstätten besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

Für Hessen stehen derzeit noch keine belastbaren Daten bezüglich des Potenzials von Schiefergaslagerstätten und deren wirtschaftlicher Gewinnbarkeit zur Verfügung. Der derzeitige Kenntnisstand zur geologisch-hydrogeologischen Situation im Bereich des Aufsuchungsfeldes ist der hier vorliegenden Langfassung der HLUG-Stellungnahme zu den drei Gutachten zu entnehmen. Es werden Potenzial-

räume innerhalb des beantragten Aufsuchungsfeldes definiert und beschrieben. Des Weiteren werden Überlagerungen des geologischen Potenzials mit festgesetzten Schutzgebieten und konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen betrachtet und quantifiziert.

Empfehlungen

Grundsätzliche Empfehlungen:

- Alle drei Gutachten sind grundsätzlich als Hilfe bei der Beurteilung des Antrages der BNK Deutschland GmbH für das Antragsfeld „Adler South“ verwendbar. Der Kenntnisstand zur Geologie der hier in Rede stehenden Region wird in der vorliegenden Stellungnahme durch das HLUG dargelegt. Ohne vorherige weitere Erkundungsmaßnahmen ist daher die Anfertigung eines weiteren, hessenspezifischen Fracking-Gutachtens nicht angezeigt.
- Die Gutachten schließen die Förderung aus nicht konventionellen Lagerstätten in Deutschland mit Hilfe des Frac-Verfahrens nicht grundsätzlich aus, sondern stellen fest, dass Fracking prinzipiell mit den Anforderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes vereinbar sein kann. Eine pauschale Ablehnung solcher Vorhaben wird daher a priori nicht empfohlen. In Anbetracht des komplexen strukturellen geologischen Baus im Feld „Adler South“ können aber erforderliche Kenntnisse, insbesondere zur Integrität des Deckgebirges, hier nur mit außerordentlich hohem Aufwand zu gewinnen sein.
- Zunächst sollten die Ergebnisse des anhängigen Rechtsgutachtens abgewartet und die sich ggf. daraus ergebenden Konsequenzen gezogen werden.

Besondere Empfehlungen im Hinblick auf die im Antrag der BNK Deutschland GmbH beschriebenen geplanten Aufsuchungstätigkeiten:

- Bereits bei Antragstellung auf Aufsuchung ist ein auf allen erreichbaren Daten beruhendes konzeptionelles geologisch-hydrogeologisches Modell vorzulegen, das Informationen zur geologischen, tektonischen und hydrogeologischen Situation vom Zielhorizont bis zur Erdoberfläche beinhaltet. Es ist insbesondere auf die Kriterien zur Einstufung der Höffigkeit einer Lagerstätte, auf hydraulische Barrieren, mögliche Störungen, Grundwasserstockwerksgliederung und natürliche Seismizität einzugehen. Das Modell ist entsprechend dem zunehmenden Kenntnisstand während dem Projektverlauf kontinuierlich zu aktualisieren.
- Explorationsergebnisse aus Bohrungen oder geophysikalischen Untersuchungen sind dem HLUG nach Lagerstättengesetz ohne Zeitverzug nach deren Ermittlung und uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen, so dass sie in die Beurteilung der Einzelvorhaben und der Gesamtsituation einfließen können.
- Zur Beweissicherung wären im Erlaubnisfall bereits in der Aufsuchungsphase in Abstimmung mit dem HLUG im gesamten Raum oberhalb des Zielhorizontes Monitoringnetze zum Grundwasser und zu diffusen Gas (Methan)-Austritten sowie zur natürlichen Seismizität aufzubauen, spätestens dann, wenn Bohrungen beabsichtigt sind. Bei geplanten Frac-Behandlungen wären die Beobachtungsmöglichkeiten zu überprüfen und gegebenenfalls zu verfeinern.
- Die Öffentlichkeitsbeteiligung ist bereits bei Beginn einer Maßnahme zu gewährleisten.

- Eine Reduzierung der eingesetzten grundwassergefährdenden Stoffe in den Frac-Fluiden ist anzustreben. Es ist vorstellbar, dass zukünftig Frac-Versuche während der Aufsuchung auch lediglich mit Wasser vorgenommen werden können.
- Eine vollständige Offenlegung aller eingesetzten Stoffe bezüglich Stoffidentität, Stoffmengen, Gefährdungspotenzial, Verhalten und Verbleib der Stoffe im standortspezifischen Untergrund und im Flowback-Wasser wäre im Erlaubnisfall unbedingt erforderlich.
- Die Technische Aufbereitung und umweltgerechte Entsorgung des Flowback-Wassers müsste gewährleistet sein. Im Fall einer Untergrundverpressung müsste eine standortspezifische Risikobetrachtung und Darstellung der räumlichen und zeitlichen Summenwirkungen auf den Wasserhaushalt erfolgen.
- Lokale Schwellenwerte für tiefe Grundwasserstockwerke sind vor einer Frac-Behandlung anhand der natürlichen Hintergrundwerte neu zu ermitteln. Dafür müssen in jedem Grundwasserstockwerk oberhalb des Zielhorizonts Grundwassermessstellen existieren.
- Hinsichtlich der Bohrungsintegrität und der Langzeitsicherheit von Bohrungen beim Fracking sollte – möglichst gemeinsam von den Bergbehörden und den Staatlichen Geologischen Diensten in Deutschland – der derzeitige Stand der Technik definiert werden. Vergleiche mit langjährigen Erfahrungen aus anderen Ländern, insbesondere aus den USA (zu erwartender neuer Bericht der EPA), sind notwendig.
- Endgültig geklärt bzw. festgelegt werden sollte, ob unterirdisches Wasser auch dann noch als Grundwasser bezeichnet werden kann, wenn es bergrechtlich als Sole einzustufen ist, da es hierzu unterschiedliche Auffassungen gibt.
- Übertägige und untertägige Aktivitäten zur Aufsuchung und Gewinnung sind in Wasserschutzgebieten (Wasserschutzzonen I bis III), Wassergewinnungsgebieten der öffentlichen Trinkwasserversorgung (ohne ausgewiesenes Wasserschutzgebiet), in Heilquellenschutzgebieten sowie im Bereich von Mineralwasservorkommen in der Regel nicht zuzulassen und die genannten Gebiete für diese Zwecke daher auszuschließen. Ausnahmen können in der Wasserschutzzone III von Trinkwasserschutzgebieten nach sorgfältiger Prüfung der örtlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse möglich sein.
- Es muss eine Klärung der Frage erfolgen, wie eine horizontal abgelenkte Bohrung behandelt wird, die unter ein Trink- oder Heilquellenschutzgebiet reicht.
- In Bezug auf den flächendeckenden Grundwasserschutz und den Schutz von Trinkwassergewinnungsanlagen und Heilquellen wird eine Karte der Sensibilität gegenüber Einflüssen der Nutzung des tiefen Untergrundes angeregt.
- Es sollte für die einzelnen in Hessen entstehenden behördlichen Aufgaben im Zusammenhang mit Aufsuchung und Gewinnung von unkonventionellen Lagerstätten eine spezielle Regelung der Zuständigkeiten und Beteiligungen erarbeitet werden.
- Es wird vorgeschlagen, einen Leitfaden für das Vorgehen bei konkreten Projekten speziell für die hessischen Verhältnisse auszuarbeiten (nach dem Vorbild des Leitfadens Tiefengeothermie, Planung und Durchführung von Projekten, bergrechtlicher Teil).
- Hinsichtlich der künftigen Nutzung des tiefen Untergrundes wird eine Darstellung der möglichen Nutzungskonflikte (Kohlenwasserstoffgewinnung, CO₂-Verpressung im Untergrund, Gewinnung von Erzen, Salzen sowie Tiefengeothermie) und Risiken aus geowissenschaftlicher Sicht angeregt.

Inhalt

	Seite
	2
1.	7
2.	8
2.1.	8
2.2.	9
2.3.	10
3.	10
3.1.	10
3.2.	13
3.3.	17
3.4.	23
3.4.1.	23
3.4.2.	30
3.4.3.	32
3.4.4.	33
3.4.5.	35
3.5.	37
3.5.1.	37
3.5.2.	41
3.5.3.	42
3.6.	45
3.7.	47
4.	50

5.	Rahmenbedingungen für Schiefergas-Exploration in Hessen	57
5.1	Zur geologischen und hydrogeologischen Situation im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH bezüglich der Gewinnung von unkonventionellem Erdgas	60
5.1.1.	Lage des beantragten Aufsuchungsfeldes	60
5.1.2.	Normalprofil im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“	61
5.1.3.	Zielhorizonte mit Kohlenwasserstoffpotenzial	63
5.1.4.	Offene Fragen, Schlussfolgerungen — Schiefergaspotenzial im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler-South“	68
5.1.5.	Überblick über die hydrogeologische Situation	68
5.2.	Beschreibung der hessischen Potenzialräume innerhalb des beantragten Aufsuchungsfeldes „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH	73
5.2.1.	Potenzialraum Rheinisches Schiefergebirge	75
5.2.2.	Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex	79
5.2.3.	Potenzialraum Korbach-Arolsener Schollenkomplex	82
5.2.4.	Potenzialraum Frankenberger Scholle	85
5.2.5.	Potenzialraum Isthia-Emsthaler Schollenkomplex	88
5.2.6.	Potenzialraum Niederhessische Senke	90
5.2.7.	Potenzialraum Fuldalauf-Tiefscholle	95
5.2.8.	Schlussfolgerung: Geologisch-hydrogeologischer Kenntnisstand im Aufsuchungsfeld „Adler-South“ der BNK Deutschland GmbH	97
6.	Quantitative Bewertung der Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH und konkurrierender Nutzungsansprüche	98
7.	Kurzfassung und Empfehlungen	105
8.	Literatur	122
	Kartenanhang	130

1. Einleitung, Veranlassung

Mit Erlass des HMUELV vom 28. September 2012 (Az. II 6 – 76 b 06) wurde das HLUG gebeten, die drei in Deutschland erarbeiteten Gutachten zu den Umweltauswirkungen der Aufsuchung und Erschließung sogenannter unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten auszuwerten. Hierbei sollten unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten in Hessen im Hinblick auf die im vorliegenden Antrag der BNK Deutschland GmbH (auf Erteilung einer Erlaubnis zur Aufsuchung einer derartigen Lagerstätte im Erlaubnisfeld Adler-South) beschriebenen geplanten Aufsuchungstätigkeiten Handlungsempfehlungen aus geologischer und hydrogeologischer Sicht unterbreitet werden.

Mit Datum vom 02. April 2012 hatte das HLUG bereits zu dem Erlaubnisantrag der Fa. BNK Deutschland GmbH gegenüber dem Regierungspräsidium Darmstadt eine Stellungnahme zu den eingereichten Unterlagen und zu dem Vorhaben insgesamt erarbeitet und hierin entsprechende Vorschläge für notwendige Ergänzungen der Antragsunterlagen unterbreitet (Az. 890748-32/12 Ab). Die Antragstellerin hatte diese Vorschläge in einem Schreiben ihrer Rechtsanwaltskanzlei CMS Hasche, Sigle, Hamburg (vom 18.05.2012) kommentiert. Eine Vervollständigung der Antragsunterlagen, wie gefordert, ist jedoch bis heute noch nicht erfolgt.

Weitere Stellungnahmen des HLUG im Rahmen dieses Erlaubnisantrages schlossen sich an, z.B. im Vorfeld der öffentlichen Anhörung des Umweltausschusses des Hessischen Landtags am 05. Oktober 2012 in Kassel.

Ferner wurde mit Schreiben des HLUG an das HMUELV vom 01. November 2012 (Az.: 89-0420-342/12) eine „Stellungnahme zu Gefahren der hydraulischen Stimulationsverfahren bei Erdwärmeprojekten im Vergleich mit den Risiken bei der Aufsuchung bzw. Gewinnung von Schiefergas und Klärung grundsätzlicher Unterschiede“ abgegeben.

Das HLUG war im Zusammenhang mit dem Problemkreis „unkonventionelle Lagerstätten“ seit Anfang 2011 zudem regelmäßig in Abstimmungsgesprächen der Staatlichen Geologischen Dienste in einer Arbeitsgruppe der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) vertreten, die die Studie „Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland“ erarbeitet und 2012 veröffentlicht hat. Insofern wird auch auf diese Studie in der vorliegenden Stellungnahme im Bedarfsfall Bezug genommen, im folgenden „BGR-Studie“.

Ferner hat das HLUG seit Oktober 2012 an einer gemeinsamen Stellungnahme der Staatlichen Geologischen Dienste mit der BGR mitgearbeitet, die im Auftrag des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung ebenfalls die unten näher bezeichneten drei Gutachten verglichen hat. Diese Stellungnahme existiert zurzeit jedoch nur als Entwurf.

Zu vergleichende Gutachten

Die vom HLUG im Hinblick auf den Antrag der Fa. BNK Deutschland GmbH auszuwertenden Gutachten werden nachfolgend näher bezeichnet.

- Risikostudie des Expertenkreises aus dem Informations- und Dialogprozess der Exxon-Mobil Production Deutschland GmbH über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Frac-Technologie für die Erdgasgewinnung, einschließlich der Arbeitsgruppen-Gutachten;

(<http://dialog-erdgasundfrac.de/risikostudie-fracking>), 2012; nachfolgend als „**Risikostudie-Fracking**“ bezeichnet.

- Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes: „Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten, – Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen“ FKZ 3711 23 299, August 2012; (<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4346.pdf>), nachfolgend als „**UBA-Gutachten**“ bezeichnet,
- Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen: „Fracking in unkonventionellen Erdgas-Lagerstätten in NRW: Gutachten mit Risikostudie zur Exploration und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten in Nordrhein-Westfalen (NRW) und deren Auswirkungen auf den Naturhaushalt insbesondere die öffentliche Trinkwasserversorgung“ vom 6. September 2012 (Langfassung); nachfolgend als „**Studie NRW**“ bezeichnet.

2. Aufgabenstellung und Zieldefinition der Risikostudie Fracking, des UBA-Gutachtens und der Studie NRW

2.1. Aufgabenstellung Risikostudie Fracking

Die Beauftragung der Risikostudie Fracking (Dialog-Prozess von EXXON) erfolgte über die Fa. Ewen Team, Darmstadt. Es gab kein Leistungsverzeichnis, der Prozess sollte offen sein. Der Neutrale Expertenkreis hat von Beginn an die folgenden drei Fragen untersucht:

- Können beim Fracking Schadstoffe aus dem tiefen Untergrund nach oben gelangen? -> AG Risiken im geologischen System
- Wie gefährlich sind die eingesetzten Stoffe? -> AG Toxikologie und Grundwasser
- Welche Risiken bergen die technischen Vorgänge im Bohrloch, auf dem Bohrplatz und beim Transport – und wie kann man diese kontrollieren? -> AG Risiken im technischen System

Der Neutrale Expertenkreis hat dann seit Aufnahme seiner Arbeit die in der Region gestellten Fragen gesammelt, die als inhaltliche Aufgabenstellung zu sehen sind (Telefonat Dr. Kracht mit Dr. Ewen vom 19.11.2012). Mit der Erstellung der Studie hat der neutrale Expertenkreis die Antworten vorgelegt. Dabei gab es auch Fragen, die an Exxon-Mobil gerichtet waren. Diese hat das Unternehmen auf seiner Seite (www.erdgassuche-in-deutschland.de) beantwortet.

Das Dokument mit den Fragen und den Antworten des Neutralen Expertenkreises kann auf http://dialog-erdgasundfrac.de/sites/dialog-erdgasundfrac.de/files/Frageliste_mit_Antworten_110512.pdf heruntergeladen werden (aktualisierte Version vom 11.05.2012).

Die einzelnen Gutachten des Neutralen Expertenkreises sind folgende:

- Gutachten - Ökotoxikologie
Ökotoxikologische Beurteilung von beim hydraulischen Fracking eingesetzten Chemikalien.

- Gutachten - Humantoxikologische Bewertung
Humantoxikologische Bewertung der beim Fracking eingesetzten Chemikalien im Hinblick auf das Grundwasser, das für die Trinkwassergewinnung genutzt wird.
- Gutachten - Geologie
Abschätzung der Auswirkungen von Frac-Maßnahmen auf das oberflächennahe Grundwasser
- Gutachten - Technische Sicherheit
Technische Sicherheit von Anlagen und Verfahren zur Erkundung und Förderung von Erdgas aus nichtkonventionellen Lagerstätten.
- Gutachten - Rechtliche Rahmenbedingungen
Rechtliche Rahmenbedingungen der unkonventionellen Erdgasförderung mittels Fracking.

Zusätzliche Gutachten:

- Gutachten - Abwasserentsorgung und Stoffstrombilanz
Stand der Technik und fortschrittliche Ansätze in der Entsorgung des Flowback.
- Gutachten - Regionalökonomische Auswirkungen
Regionalökonomische Auswirkungen der unkonventionellen Erdgasförderung (Hydraulic Fracturing).
- Gutachten - Flächeninanspruchnahme, Infrastruktur, Betrieb
Fachbeitrag zum Themenkreis Landschaft.
- Gutachten - Energie- und Klimabilanz
Energie- und Klimabilanz von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Vergleich zu anderen Energiequellen
- Gutachten - Umwelttoxikologische Bewertung
Umweltmedizinisch-toxikologische Bewertung von Leckagen an einer Lagerstättenwasserleitung

Im Rahmen von Werkverträgen sind neben den „zusätzlichen Gutachten“ weitere Gutachten erstellt worden:

- Geologische Aufnahme von Münsterländer und Niedersächsischem Becken, Monitoring, Sanierung
- Seismische Gefährdung durch Erdgasförderung in Norddeutschland
- Verrohrung und Zementierung
- Fracking: Regulierungsbeitrag des Stoffrechts

2.2. Aufgabenstellung UBA-Gutachten

Laut Projektbeschreibung des UBA vom 22.02.2012 wurde ein Konsortium aus verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen beauftragt, „in einem ersten Schritt die Auswirkungen von Fracking auf den Wasserhaushalt zu untersuchen. Darüber hinaus sollen die Gutachter die Frage beantworten, ob die bestehenden Bundesgesetze und deren Anwendung in der Praxis ausreichen, um den Schutz des Grundwassers hinreichend zu gewährleisten.“

Das Gutachten sollte daher in zwei Arbeitspakete gegliedert werden:

- Arbeitspaket 1 sollte u.a. die anhand einer Übersicht der bisher in Deutschland durchgeführten Frac-Operationen und einer Bewertung von deren Umweltauswirkungen, die Umweltrisiken herausarbeiten. Die Risiken für Grundwasser und Trinkwassergewinnung und die Wirkungspfade auf die Natur durch die untersuchten wasserbezogenen Aspekte des Fracking

waren darzustellen. Eine Übersicht über die eingesetzten Frac-Additive und deren Auswirkungen im Untergrund und über die Flowback-Wässer sowie Alternativen zu den chemischen Additiven und Handlungsempfehlungen für eine umweltgerechte Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten sollten aufgezeigt werden.

- Arbeitspaket 2 hatte die beim Fracking zu beachtenden rechtlichen Regelungen und Verwaltungsstrukturen zu beleuchten. Dazu sollten die in Arbeitspaket 1 erarbeiteten Erkenntnisse über Umweltrisiken zur Bewertung dienen, ob berg- und wasserrechtliche Regelungen und die Verfahrenspraxis zur Bewältigung dieser Risiken ausreichen. Insbesondere war auch die Reichweite des Begriffs „Grundwasser“ im WHG zu klären und die Frage zu beantworten, wie weit der Ausnahmetatbestand (§ 82 Abs. 6 (2) WHG i.V.m. Art .11 III j WRRL) gegeben ist.

2.3. Aufgabenstellung Studie NRW

Im Vorwort der Studie NRW sind folgende Hauptfragen gestellt, die das Gutachten klären soll:

- Welche Auswirkungen und Risiken haben Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten für den Naturhaushalt, insbesondere für das Grund- und Oberflächenwasser, und für die öffentliche Trinkwasserversorgung in NRW?
- Ist die Daten- und Informationsbasis ausreichend, um die Auswirkungen und Risiken umfassend zu bewerten bzw. welche Informations- und Wissensdefizite bestehen und wie lassen sich diese beseitigen?
- Welche Kriterien gibt es, um ggf. zukünftige Genehmigungen so zu gestalten, dass mögliche unerwünschte Auswirkungen vermieden oder vermindert werden?
- Welche Beobachtungsmaßnahmen (Monitoring) sind notwendig, um mögliche unerwünschte Auswirkungen (frühzeitig) zu entdecken? Welche Kriterien gibt es, diese zu bewerten? Und welche Maßnahmen sind vorstellbar, um solche Auswirkungen zu bewältigen?
- Wie ist die Übertragbarkeit der Darstellungen und Studien aus dem Ausland, vor allem den USA, auf die heimische Region zu beurteilen?

Für die Studie NRW ist zu einem großen Teil das gleiche Gutachterkonsortium verantwortlich wie für das UBA-Gutachten.

3. Allgemeine Aussagen der Gutachten und Wertung dieser durch das HLUG

3.1. Einführung und Begriffsbestimmung zu konventionellen und unkonventionellen Lagerstätten

Es ist ein seltener Sonderfall, dass sich im Laufe der geologischen Entwicklung gebildete Kohlenwasserstoffe in Lagerstätten gleich welcher Art unterhalb der Erdoberfläche sammeln. Der Normalfall ist, dass diese, wo dies möglich ist, über poröse oder klüftige Speichergesteine wie Sand- und Kalkstein aufsteigen und direkt oder über den Umweg der Ozeane in die Atmosphäre entweichen. Ein Beispiel hierfür sind die zahlreichen bekannten natürlichen Gasaustrittsstellen im Golf von Mexiko.

Der Sonderfall der natürlichen Kohlenwasserstoff-Speicherung in unterirdischen Reservoiren ist nur möglich, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind:

1. Die Kohlenwasserstoffe werden in porösen Gesteinsformationen durch spezielle geologisch-tektonische Bedingungen gefangen und zusätzlich durch natürliche Barrierschichten, wie z.B. mächtige Ton- oder Salzschiefer am weiteren Aufstieg gehindert. Es können so Speichergesteinslagerstätten entstehen.
2. Es kommt nicht zur Migration von Kohlenwasserstoffen und diese verbleiben in den winzigen Poren ihrer Bildungs- und Trägergesteine, den sogenannten Muttergesteinen (Abb. 3.1).

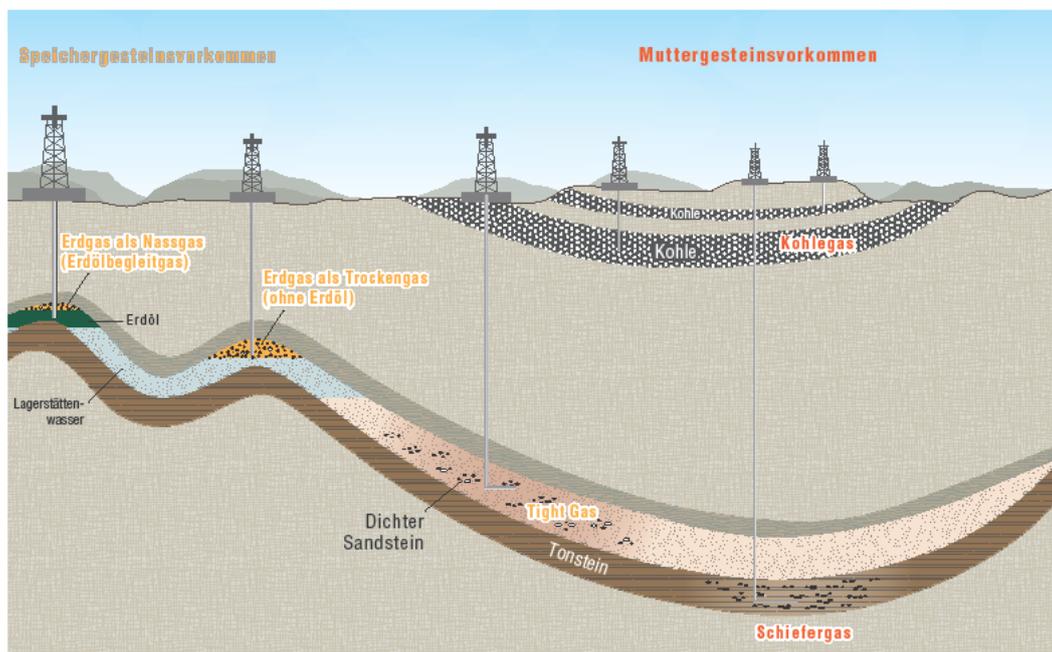


Abb. 3.1: Gas-Bezeichnungen aus Speichergesteinen (in Gelb) und Muttergesteinen (in Orange) (Quelle: abgeändert und ergänzt nach Abb. 1-1 aus der Studie „Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2012).

Bis vor wenigen Jahren wurden die Kohlenwasserstoffe Öl und Gas ausschließlich aus Speichergesteinslagerstätten gefördert. Die bekannten oder vermuteten Muttergesteinskomplexe waren für die Explorationsfirmen aus technisch-wirtschaftlichen Gründen nicht von Interesse. Steigende Energiepreise und die Weiterentwicklung der Bohrtechnik machten in den letzten Jahren aber auch die Suche und Förderung von Erdgas aus den Muttergesteinsformationen (jetzt Muttergesteins-Lagerstätten) interessant. Vorreiter spielten hier die Explorationsfirmen in den USA. Die unterschiedlichen Kohlenwasserstoff-Vorkommen und deren Gewinnung wurden in „konventionelle Lagerstätten“ als Begriff für die Ausbeutung von Speichergesteins-Lagerstätten und in „unkonventionelle Lagerstätten“ für Muttergesteins-Lagerstätten eingeteilt. Als mögliche Abgrenzung zwischen diesen Lagerstättentypen wurden die Gesteins-Permeabilitäten nach King (2012) herangezogen. Dies führt gegenwärtig dazu, dass sog. Tight Gas-Lagerstätten von der Industrie hinsichtlich der Fördermethode und Nutzbarkeit schon nicht mehr als unkonventionell eingestuft werden, obwohl auch Tight Gas mit Hilfe von Fracking gewonnen wird. Trotz dieser Tatsache wird im UBA-Gutachten (TEIL A: VORKOM-

MEN, TECHNIK UND STOFFE, S. A1-A4) ausgeführt: „Im vorliegenden Gutachten wird Tight Gas zu den unkonventionellen Gas-Vorkommen gezählt, da zur Gewinnung eine hydraulische Stimulation notwendig sein kann bzw. in Norddeutschland bereits seit längerem praktiziert wird.“

Die Risikostudie Fracking (Übersichtsfassung, Kapitel „Erläuterungen von Fachbegriffen“, S. 9) hebt auf die natürliche freie Gas-Mobilität als Definition für konventionelle Lagerstätten ab, sieht aber Tight Gas-Lagerstätten, in denen seit Jahren Fracking praktiziert und Gas demnach künstlich mobilisiert wird, als Grenzfall zwischen konventionellen und unkonventionellen Lagerstätten an (<http://www.erdoel-erdgas.de/article/view/370/1/185>).

Neben unterschiedlicher Begriffsauslegungen und Definitionsunschärfen gibt es auch widersprüchliche Beschreibungen. So heißt es in der BGR-Studie „Schiefergas wird als nicht-konventionelles Erdgas bezeichnet. Seine Bildung und Zusammensetzung entspricht jedoch der von konventionellem Erdgas.“

Tab. 3.1: Systematik von Gas-Lagerstätten (aus Littke et al., 2011)

	Speichergesteins-Lagerstätten		Muttergesteins-Lagerstätten
	Erdgas-Lagerstätten	Tight Gas-Lagerstätten	Schiefergas-Lagerstätten
Lagerstätte	Sand- oder Kalksteine in die Erdgas aus Muttergesteinen natürlich einwandert und aufgrund geologischer Fallen und Barrierschichten in den diesen verbleibt	Schwer durchlässige Sandsteine in die Erdgas aus Muttergesteinen natürlich einwandert und dort eingeschlossen wird und künstlich mobilisiert werden muss	Überwiegend C _{org} -reiche, schiefrig spaltende Ton- und Mergelsteine, in denen sich Erdgas bildet und überwiegend dort gebunden bleibt. Diese Lagerstätten sind nicht an kleinräumige geologische Fallen gebunden
Porosität	Gas enthalten in großen gut verbundenen Poren, z.B. eines Sandsteins	Gas enthalten in kleinen, schlecht verbundenen Poren, z.B. eines Sandsteins	Gas enthalten in extrem kleinen fast nicht verbundenen Poren, z.B. eines bituminösen Tonschiefers
Organischer Anteil	Der organische Anteil im Speichergestein ist nicht relevant	Der organische Anteil im Speichergestein ist nicht relevant.	Der geringe bis markante organische Anteil (0,3 – 30% TOC) ist wichtig für die Bildung von Kohlenwasserstoffen
Permeabilität	Erfordert hohe bis mittlere Durchlässigkeit	Nur geringe Durchlässigkeit vorhanden (< 0.1 mD)	Sehr geringe Durchlässigkeit
Förderung	Wirtschaftliche Produktion über Poren, Risse und Klüfte	Keine wirtschaftliche Produktion ohne Risse und Klüfte	Kein wirtschaftliche Produktion ohne Risse im Gestein

Nach Ansicht des HLUG sind die Begrifflichkeiten „konventionell“ und „unkonventionell“ nicht optimal gewählt, da es, wie oben beschrieben, gleitende Übergänge gibt. Eine Lagerstätten-Definition sollte rein geologisch erfolgen und nicht nach der anzuwendenden Gewinnungstechnik. Hier bieten sich die Begriffe Mutter- und Speichergestein mit entsprechender Differenzierung an (Tab. 3.1).

3.2. Barrierschichten und Störungssysteme

Die Risikostudie Fracking empfiehlt, aufgrund der derzeit in Deutschland noch fehlenden Erfahrungen zur Schiefergas-Exploration, für die von ihr empfohlenen Demonstrationsvorhaben eine Sicherheitszone mit einem minimalen Abstand vom Top des Zielhorizontes zur Erdoberfläche von > 1000 m und einen Abstand von >600 m von den tiefenwasserführenden Schichten zum Zielhorizont (Lagerstätte).

Auch die BGR sieht in ihrer Studie erst ab einer Teufe von 1000 m aus produktionstechnischen Gründen eine Schiefergas-Exploration als sinnvoll an.

Die Risikostudie Fracking gibt eine Sicherheitszone von 1000 m vor: „Innerhalb dieser Sicherheitszone ist das Vorhandensein einer vertikal und lateral abgrenzbaren, mächtigen Barrierezone aus einem oder mehreren dichten Gesteinshorizonten, mit einer auch unter Frac-Bedingungen sicheren, langzeitwirksamen Gas-Abdichtung zu genutzten oder potenziellen Grundwasserstockwerken Voraussetzung für umweltverträgliches Fracking.“ Diese Ansicht wird von Seiten des HLUG geteilt.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes sind Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete, Mineralwasser-aufstiegszonen und Einzugsgebiete von Trinkwassergewinnungsanlagen, für die noch kein Wasserschutzgebiet festgesetzt wurde, für Frac-Maßnahmen von vorneherein grundsätzlich auszuschließen, wenn nicht der eindeutige Nachweis der flächenhaften, langzeitlichen Dichtigkeit einer tiefliegenden Barriere eine Ausnahme gestattet.

In diesem Zusammenhang werden von der Risikostudie Fracking, aber auch von Hoth et al. (2007), Salz- und Tonsteine, die durch eine sehr geringe Durchlässigkeit und ein günstiges Bruch- und Deformationsverhalten bestimmt sind, als besonders geeignete potenzielle Barrieregesteine angesehen.

Neben dem Zechstein kommen auch mesozoische wie känozoische Gesteinseinheiten möglicherweise als Barrieregesteine in Frage. Auch feinklastische Ablagerungen oder Salze jüngerer Formationen, soweit sie flächenhaft vorkommen, können Potenzial als Barrierschichten besitzen. In Hessen sind dies Tonsteine und Gipse des Oberen Buntsandsteins (Röt), Mergel- und Tonmergelsteine des Mittleren Muschelkalks (wenn er nicht in Grabenlagen eine erhöhte Klüftigkeit aufweist), Ton- und Mergelsteine des Keupers sowie tertiäre Tone wie der Rupelton (Hoth et al. 2007, Reinhold & Müller 2011).

Tonsteine

Tonsteine weisen eine Bandbreite von plastischem Ton mit Übergangsformen bis zu stark verfestigtem, geklüftetem und geschiefertem Tonstein auf. Dabei können erhebliche Unterschiede im Verformungsverhalten, der Temperaturempfindlichkeit und der Gebirgsstabilität auftreten. Die wichtigsten Eigenschaften der Tonsteine sind insbesondere ihre sehr geringe Durchlässigkeit und die hohe Sorptionsfähigkeit.

Salzgesteine

Selbstverheilungskräfte und geringe Permeabilitäten machen Salzgesteine nach Warren (2006) und Van Gent et al. (2011) zu exzellenten Barrieregesteinen für die Kohlenwasserstoffakkumulation. Auch die BGR führt in ihrem Bericht: „Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und

Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen“ aus dem Jahr 2007 aus: „Unter natürlichen Lagerungsbedingungen ist Steinsalz praktisch undurchlässig gegenüber Gasen und Flüssigkeiten. Steinsalz besitzt zudem eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie viskoplastische Eigenschaften, die zum Verschluss von Hohlräumen im Gebirge führen“.

Ausreichende, über längere Zeit wirksame Abdeckung wird am besten durch saline Formationen gewährleistet. Im gesamten Mitteleuropäischen Becken bildet der Zechstein eine effektive regionale Abdeckung. Die Evaporite des Zechsteins sind nach Ansicht der geologischen Dienste Deutschlands (Stellungnahme zu den drei Fracking-Gutachten, in Vorbereitung) nicht nur hydraulisch abdichtend, sondern wirken auch als geomechanische Barriere, über die hinaus keine Frackausbreitung erfolgt.

Neben dem Zechsteinsalinar kommen außerdem saline Schichten der Trias (Röt-Formation, mittlerer Muschelkalk und des Keuper) in Frage. Sie können unter bestimmten günstigen geotektonischen Bedingungen zur Erhaltung der Gasansammlungen beitragen (Gerling et al. 1999).

Die Ansicht, dass es in Salzgesteinen wegen deren plastischen Eigenschaften nicht zu offenen Klüften und Spalten kommen kann, ist sowohl durch Feldbeobachtungen als auch durch Experimente seit langem relativiert worden (Bauer 1991, Bornemann et al. 2008, Herrmann 1980, Siebert 1971, Van Sambeek et al. 1993). In Abhängigkeit der unterschiedlichen Verformbarkeit der verschiedenen Evaporit-Mineralen (z.B. reagieren Karbonat, Dolomit und Anhydrit spröder als Steinsalz und Carnallit) können in Salzsteinen häufig gefaltete Lagen, Störungen, Kluft- und Rissbildungen beobachtet werden.

So zeigen z.B. Gase in den Gesteinsformationen an, dass sowohl der Speicher- als auch Barrieregesteinscharakter häufig zeitlich begrenzt ist. Immer dann, wenn sich in Evaporiten Spannungszustände verändern, sind die Voraussetzungen zur Mobilisierung und Wanderung der temporär im Salzstein vorhandenen Gase gegeben. Dabei kann die Volumenausdehnung der Gase neue Migrationswege im Gestein erzeugen.

Bei gleichzeitigem Vorhandensein von Gasen und wässrigen Lösungen kommt es bei der Migration durch die verschiedenartigen Salzsteine – je nach deren Löslichkeit – zu Auflösungs-, Zersetzungs- und Umkristallisationserscheinungen, d.h. unterschiedlichen Metamorphoseprozessen.

Über eine effektive Abdichtung möglicher bituminöser Zielhorizonte durch Evaporite (Salz-Gips-Anhydrit) im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH gibt es keine belastbaren Daten. Salzgesteine sind hier bisher nicht erbohrt worden. Die Evaporit-Lagen sind im Aufsuchungsfeld deutlich geringmächtiger als im östlich und südöstlich angrenzenden hessischen Kali-Revier.

Störungen

Im UBA-Gutachten werden Störungen generell der sog. Pfadgruppe 2 „linienhafte Belastung an der Oberfläche“ zugeordnet.

Es wird unterschieden zwischen:

- tiefgreifenden Störungen oder Störungszonen, die durchgängig aus dem Bereich der Lagerstättenbasis in die (oberflächennahen) nutzbaren Grundwasservorkommen reichen und eine entsprechende Durchlässigkeit aufweisen

- Störungen oder Störungszonen, die nur Teilstrecken zwischen der Lagerstätte und den (oberflächennahen) nutzbaren Grundwasservorkommen durchschlagen und eine entsprechende Durchlässigkeit aufweisen

Bei entsprechender hydraulischer Wirksamkeit (Durchlässigkeit und Potenzialdifferenzen) können sie – zumindest für Teilbereiche, so das UBA-Gutachten – als bevorzugte Aufstiegsbahnen für Fluide und Gase dienen, die sich weiter diffus ausbreiten können.

Auch in der Studie NRW wird zum Einfluss der Tektonik Stellung genommen (Kap. 5.2.2.6). Im Gutachten werden Störungssysteme im Münsterländer Becken beschrieben. Man unterscheidet hier zwischen einer tiefen Tektonik des Grundgebirges und einer flachen Tektonik des Deckgebirges. Die Durchlässigkeit entlang von Störungen kann nach Aussagen des Gutachtens sehr unterschiedlich sein. Vielfach ist sie gegenüber dem Nebengestein deutlich herabgesetzt (Wallbraun 1992). Es gibt aber auch Störungen mit einer deutlich erhöhten Durchlässigkeit.

Über die tektonische Situation, insbesondere die Verbreitung und den Charakter von Tiefenstörungen im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH ist wenig bekannt.

Tektonisch gänzlich unbeanspruchte geologische Einheiten gibt es nicht. Grundsätzlich ist ein „natürliches Fracking“ im Zielhorizont über Rissbildung, Klüftung und Störungen zur Mobilität von Erdgas aus lagerstättentechnischer Sicht durchaus erwünscht.

Störungszonen können, so sagen es auch die Gutachter, sowohl Fluid-Kanäle als auch -Barrieren sein. Störungen können verheilt (z.B. Zemente) oder tektonisch eingespannt sein. Risse derselben Struktur können offen oder geschlossen sein, innerhalb vertikaler und horizontaler Distanzen von bis Hunderten von Metern. Durch Minerale geheilte Frakturen müssen nicht grundsätzlich dicht sein. Über Brückenkristalle können Frakturen Millionenjahre lang offen bleiben. Das Resultat ist eine räumlich und zeitlich variierende Fluid-Mobilität, dessen Komplexität durch tektonische Prozesse mit der Bildung von Störungen und Falten ansteigt (Evans & Fischer 2012).

Beispiel hierfür ist das Tiefengeothermieprojekt Kirchweidbach östlich München. In einer Bohrung hatte die Ziel-Störungzone einen guten hydraulischen Anschluss, in der anderen Bohrung musste man erkennen, dass diese völlig dicht war (Rosleff-Sörensen et al. 2012).

Störungen sind aber nicht generell eine „linienhafte Belastung an der Oberfläche“ im Sinne des UBA-Gutachtens. Störungen begrenzen häufig strukturelle Fallen in konventionellen Lagerstätten. Somit ist an vielen Stellen in Norddeutschland oder im nördlichen Oberrheingraben Hessens der Nachweis geführt, dass sie nicht generell Wegsamkeiten für Fluide oder Gase in hangende Schichten bieten.

Das HLUG schließt sich der Meinung der Gutachter an, dass grundsätzlich eine detaillierte Erkundung und Erfassung durchgehender Störungen und ihrer Tiefe nach Ergebnissen relevanter Altbohrungen sowie im Rahmen aller Erkundungsmaßnahmen (besonders im Hinblick auf Bohrerkundung), unabhängig von geplanten Frac-Maßnahmen erfolgen sollte.

Die Existenz solcher Störungen müsste im Rahmen einer Erkundung, z.B. durch eine 3D-Seismik, untersucht werden, so dass in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit entsprechende Abstände zu solchen Störungen eingehalten werden können.

Der Neutrale Expertenkreis empfiehlt zudem struktureologische Sonderfälle, d.h. tektonisch kritisch gespannte Störungen, die ein Erdbebenrisiko beinhalten oder tektonisch stark zerrüttet sind (Störungszonen), die Wegsamkeiten für Gase und artesisch gespanntes Tiefenwasser bieten könnten, als Standorte für Fracking auszuschließen.

Folgende Fragen, die auch im NRW-Gutachten gestellt wurden, müssten im Rahmen eventueller Aufsuchungsmaßnahmen einer Klärung näher gebracht werden:

- Wo liegen tiefgreifende und bedeutsame Störungen und wo verlaufen diese an der Geländeoberfläche?
- Gibt es Gas- und Fluidaufstiege?
- Wenn es Gasaufstiege gibt: Ist das Gas thermogenen oder biogenen Ursprungs?

Um diese Kenntnisdefizite zu beheben, werden von den Gutachten die folgenden Untersuchungen vorgeschlagen, die im Falle einer Aufsuchung auch vom HLUG befürwortet werden:

- Auswertung der vorhandenen Daten (Karte der Karbonoberfläche, hochauflösende Seismik, Bohrungen, etc.) zur Lage und Ausdehnung vorhandener Störungen
- Auswertung der vorhandenen Unterlagen und Analysedaten sowie ggf. zusätzliche Geländeuntersuchungen zur Frage der Permeabilitäten und der Aufstiege von Gasen und Fluiden
- Gas-Monitoring vor, während und nach der Erkundungs- und Förderphase, um entsprechend IST-Stand Abweichungen feststellen zu können
- Aufbau und Fortschreibung eines geotektonischen Atlas in 3 D (GTA3D) wie z.B. in Niedersachsen und Schleswig Holstein
- Abschätzung der Bedeutungsrelevanz für die unkonventionelle Erdgasgewinnung (z.B. Schutzabstände von relevanten Störungen)
- Felduntersuchungen an den bekannten Störungen
- Modellrechnungen über die Bedeutung der Störungssysteme
- Seismische Erkundung in geplanten Fördergebieten

Schlussfolgerungen

Ton- und Salzgesteine sind grundsätzlich wichtige Barrieregesteine im Deckgebirge. Störungen können auf der einen Seite einen negativen Einfluss auf die Integrität der Barrieregesteine ausüben, andererseits ebenfalls abdichtende, d. h. barrierewirksame Eigenschaften aufweisen.

Die Klärung der geologischen, speziell der struktureologischen und geomechanischen Fragen in einem Zielgebiet ist unabdingbar für die Risikoeinschätzung und Genehmigungsfähigkeit einer möglichen Schiefergas-Förderung, insbesondere mittels Fracking.

3.3. Behandlung der rechtlichen Grundlagen der Erkundung und Gewinnung nicht konventioneller Kohlenwasserstoffe

UBA GA (Buchholz, Gaßner, Groth & Siederer):

Die rechtliche Betrachtung im UBA-Gutachten konzentriert sich auf Fragen von Beschaffung, Umgang, Einbringen und Entsorgung der eingebrachten und zurückgeflossenen Flüssigkeiten in allen Phasen der Aufsuchung und Gewinnung von unkonventionellen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten (Bohrung, Fracking, Flowback-Verpressung) sowie auf die in diesem Zusammenhang maßgeblichen Verwaltungsstrukturen in den Bundesländern. Grundlagen hierfür seien Bergrecht, Wasserrecht und UVP-Recht.

Dabei gelten BBergG (Bundesberggesetz) und ABergV (Allgemeine Bundesbergverordnung) bundesweit. Diese werden durch die Tiefbohrverordnungen der einzelnen Bundesländer konkretisiert, die jedoch im Gutachten nicht speziell behandelt werden. Für Hessen neu ist die Hessische Bergverordnung vom 30.08.2012, die ebenfalls noch nicht berücksichtigt werden konnte. Europarechtliche Regelungen, hier die UVP-Richtlinie (2011/92/EU) und die Richtlinie über die Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie seien in das deutsche Bergrecht (BBergG, UVP-V Bergbau und ABergV) und damit in nationales Recht umgesetzt.

Für die einzelnen im BBergG vorgesehenen Schritte (Aufsuchung, Gewinnung, Betriebspläne), werden hilfreiche Erläuterungen gegeben, Beispiele fehlen allerdings. Welche Länderbehörden für die Umsetzung des BBergG zuständig sind, wird (auch für Hessen) gut erläutert.

Hinsichtlich wasserrechtlicher Anforderungen erfolgt eine Aufstellung der gesetzlichen Grundlagen (WHG, GrwV, WRRL, europ. Grundwasserrichtlinie, Anlagenverordnungen und Wasserhaushaltsgesetze der Länder). Grundsätzliche Begriffe und Anwendungsbereiche, wie Sorgfaltspflichten, Benutzungstatbestand, Lagerung von Stoffen, Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Wasserschutzgebiete werden erläutert.

Bei der Behandlung der Zuständigkeiten der Bergbehörden für verschiedene wasserrechtliche Obliegenheiten werden für ausgewählte Bundesländer (NI, NRW, BW, TH, ST) Beispiele gegeben, für Hessen hingegen nicht. Nach BBergG muss die Bergbehörde Einvernehmen mit der Wasserbehörde über die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis herstellen. Der Fall „Bergbehörde ist gleich Wasserbehörde“ (wie in Hessen mit HMUELV und RPen), der von dem Gutachter generell empfohlen wird, trifft in dessen Beispielen nur für NRW zu, womit die Aufzählung nicht vollständig ist, da z.B. in Hessen diese Konstellation ebenfalls gegeben ist. Die Regelungen in NRW zur Zusammenarbeit (Einvernehmen, Verfahrensleitung etc.) stimmen mit den hessischen nur bedingt überein.

Die allgemeine Aussage im UBA-Gutachten, dass regelmäßig die Untere Wasserbehörde die allgemein zuständige Wasserbehörde sei, trifft so für Hessen nicht zu. Hier sollte für die einzelnen in Hessen entstehenden Aufgaben im Zusammenhang mit Aufsuchung und Gewinnung von unkonventionellen Lagerstätten eine spezielle Regelung der Zuständigkeiten und Beteiligungen erarbeitet werden.

Keine Lösungswege für die behördliche Umsetzung zeigen die Ausführungen des Gutachtens über Rohstoffsicherungsklausel und strategische Umweltprüfung auf, die Ausführungen über die Umweltverträglichkeitsprüfung sind hingegen hilfreich.

Die weiteren Ausführungen zu rechtlichen Bestimmungen sind auf besonders erläuterungsbedürftige Handlungen, Maßnahmen und deren Auswirkungen bei Aufsuchung und Gewinnung unkonventioneller KW gerichtet:

- Beschaffung, Lagerung und Beförderung
- Bohrung und Einbringen von Stoffen beim Fracking
- Wasserrechtliche Tatbestände
- Andere Schadstoffeinträge in Tiefengrundwasser
- Grundwasser (Definition)
- Nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit
- Erlaubnisbedürftigkeit
- Erlaubnisfähigkeit, Besorgnisgrundsatz
- Einstufung des Flowback
- Grundlegende Anforderungen an den Umgang mit Flowback
- Verpressung des Flowback
- Wasserschutzgebiete
- Umweltverträglichkeitsprüfung

Als Zusammenstellung aller relevanten Rechtsnormen und zur Definition von Begriffen sind diese Kapitel hilfreich. Allgemein werden hier die bergrechtlichen und die wasserrechtlichen Anforderungen im Einzelnen beschrieben. Es fehlt dabei jedoch die Herstellung eines Zusammenhangs, wie und nach welchen Anforderungen in der Praxis vorgegangen werden sollte. Dies könnte z.B. in einem Leitfaden für das Vorgehen bei konkreten Projekten speziell für die hessischen Verhältnisse ausgearbeitet werden (ähnlich dem Leitfaden Tiefengeothermie, Planung und Durchführung von Projekten, bergrechtlicher Teil).

Das UBA-Gutachten weist auf die jeweils unterschiedliche Genehmigungspraxis der Länder hinsichtlich wasserrechtlicher Erlaubnis von Bohrungen hin (z.B. würde dies in NI nicht, in NRW schon stattfinden). Die wasserrechtliche Bewertung der Frac-Behandlungen an sich sei schwierig, weil diese in Grundwassernichtleitern stattfinden.

Insgesamt vermittelt das Gutachten den Eindruck, dass alle die Thematik betreffenden Fragen durch Gesetze und Verordnungen geregelt sind und sich bei ordnungsgemäßer Anwendung durch die Behörden rechtlich keine offenen Fragen ergeben können. Dennoch wird als ein wichtiges Resultat der Betrachtungen die obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung unbedingt empfohlen.

Ein offener Punkt, der zwar intensiv diskutiert, aber nicht endgültig richtig geklärt wird, ist die Definition der Begriffe und Fragen „Grundwasser“, „geogen schadstoffbelastetes Grundwasser“, „Formationswasser“, „nutzbares Grundwasser“, „Reichweite des Grundwasserschutzes in die Tiefe“, „ist Sole gleich Grundwasser“ und ähnliche. Die unterschiedliche Beurteilung der Bedeutung von tiefen Grundwasservorkommen zeigt sich auch in der Kritik der Staatlichen Geologischen Dienste (Entwurf der Bewertung der drei Gutachten, 2012) am UBA-Gutachten: Es sei bei der Beurteilung der hydrogeologischen Systeme nicht hinreichend berücksichtigt worden, „dass es weit verbreitete Gebiete gibt, in denen poröse Gesteine zwar wasserführend sind, dieses Grundwasser aber seit Jahrmillionen nicht

mehr am hydrologischen Kreislauf teilnimmt und zudem aufgrund seiner hohen Salinität wasserwirtschaftlich nicht genutzt werden kann“. Diese geologische Feststellung ist zwar richtig, aber auch sie bringt keine Klärung, ob in solchen Fällen andere Anforderungen hinsichtlich der Verschlechterung des Zustandes gestellt werden sollten.

Zur Frage „Ist Formationswasser als Grundwasser anzusehen?“ wird eine aktuelle Untersuchung zur wasserrechtlichen Bewertung für Endlager für hoch radioaktive Abfälle erläutert. Ein Nachweis des erforderlichen Grundwasserschutzes sei möglich durch den Nachweis des vollständigen Einschlusses von Schadstoffen oder alternativ durch Unterschreitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten. Sei der vollständige Einschluss nachgewiesen, könne auf Modellrechnungen zur Ausbreitung im Deckgebirge verzichtet werden. Auch der Nachweis von Immissionswerten (Morsleben, Salzgitter) könne eine Möglichkeit des Geringfügigkeitsnachweises sein.

Die Grundwasser-Definition findet sich in § 3 WHG und in DIN 4049. Das Bundesverwaltungsgericht habe im Zusammenhang mit Thermalwasser in Bad Füssing entschieden, dass das gesamte unterirdische Wasser unabhängig von der Tiefe Grundwasser sei, auch wenn es nicht zu anderen Grundwasserleitern Verbindung habe. Der VGH Kassel habe sich danach bei einem Urteil 2010 zur Versenkung von Abwässern der Kaliindustrie in den Plattendolomit gerichtet und diese als Einleitung in das Grundwasser angesehen. Das VGH München habe betont, dass Tiefenwasser besonders geschont werden müsse.

Hinsichtlich der Frage, ob Sole noch Grundwasser ist, wird ein Erlass des Umweltministeriums SH zitiert, dass das Wasserrecht ab einem NaCl-Gehalt von 5 % (= 16 g NaCl/l Wasser) nicht mehr Anwendung findet. Auch in anderen Bundesländern gebe es ähnliche Auffassungen. Diese würden aber nach Darlegung der Gutachter in der wasserrechtlichen Literatur zu Recht überwiegend abgelehnt.

Als Fazit des UBA-Gutachtens zum Thema Grundwasserdefinition ist festzuhalten: Grundwasser ist nicht tiefenabhängig zu definieren. Die Abhängigkeit des Grundwasserbegriffes vom Lösungsinhalt („Sole“) ist dabei nicht endgültig geklärt, es gibt weiterhin unterschiedliche Auffassungen. Da tiefe Grundwässer aber fast immer hohe Lösungsinhalte haben, bleibt damit die Frage offen, ob Einflüsse auf tiefe Stockwerke wasserrechtlich relevant sind.

Hinsichtlich der Bewirtschaftungsziele des WHG erläutert das UBA-Gutachten, dass diese nur in den potenziell betroffenen oberflächennahen „Grundwasserabschnitten“ erfüllt werden müssen, die als Bestandteil des jeweiligen Grundwasserkörpers anzusehen sind. Auch wenn in der Grundwasserkörperbeschreibung keine Grenzen zur Tiefe hin beschrieben seien, ließe sich eine Begrenzung aus den natürlichen geologischen Verhältnissen ableiten.

Die Ausführungen zu WHG und Grundwasserrichtlinie, Grundwasserverordnung und WRRL in Bezug auf die Einhaltung der Schwellenwerte beziehen sich dann aber wieder auf die Geringfügigkeitsschwellen als Maß für eine Beurteilung. Eine Einleitung von Schadstoffen sei zulässig, solange die Geringfügigkeitsschwellen nicht überschritten würden. Die Frage bleibt auch hier offen, welche Schwellenwerte für tiefes Grundwasser gelten sollen bzw. ob tiefes Grundwasser überhaupt im Sinne der o. a. Gesetzeswerke betrachtet werden soll.

Studie NRW

Die Studie behandelt rechtliche Aspekte zunächst in Sicht auf raumplanerische Belange. Sie sagt dazu u. a. aus (Zitat): „Die möglichen Auswirkungen der Gasförderung aus unkonventionellen Lagerstätten auf den Menschen und die Umwelt an der Erdoberfläche, wie beispielsweise Flächenverbrauch, Lärm-, Licht- oder Schadstoffemissionen, sind in Teilen mit denen anderer Vorhaben der konventionellen Erdgasförderung und Rohstoffgewinnung vergleichbar. Unterschiede beim Einsatz der Frac-Technologie bestehen vor allem im teilweise hohen Verbrauch an Wasser, dem Einsatz von einigen wasser- bzw. umweltgefährdenden Stoffen, verbunden mit den Risiken der Tiefe der Bohrung und dem anfallenden Abwasser (Flowback, Formationswasser) und dessen weiterer Behandlung.“

„Aufgrund ihrer Art und Größe, ihrer Eigenschaften und ihrer (möglicherweise räumlich-zeitlich wechselnden) Ballung im Bereich der Lagerstätten werden die auf die Phase der Erkundung vermuteter unkonventioneller Erdgas-Vorkommen ggf. folgenden Vorhaben der Gasgewinnung im Sinne dieses Gutachtens als raumbedeutsam i.S.d. § 3 Nr. 6 ROG eingestuft.“

Als Kriterien zur Bewertung des Raumwiderstandes verwendet die Studie den Schutz des Menschen und seiner Gesundheit, Landschafts- und Freiraumschutz, Erholungsfunktion, den Naturschutz sowie den Grundwasser- und Gewässerschutz mit ihren jeweils entsprechenden Gesetzes- und Regelwerken als Grundlage.

Bei der Bewertung von Gefährdungspotenzialen der Frackfluide, der Formationswässer und des Flowback werden wasserrechtliche Beurteilungswerte auf der Grundlage von schutzguts- oder nutzungsbezogenen Grenz-, Richt-, Schwellen- und Prüfwerten sowie Umweltqualitätsnormen aus den im Folgenden aufgelisteten Regelwerken herangezogen. Für die Bewertung wurde aus jedem Regelungskontext der strengste Wert herangezogen.

- Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA 2004)
- TrinkwV: Trinkwasserverordnung, Stand Mai 2011
- WHO: Guidelines for drinking water quality, 4th ed. – World Health Organisation 2011
- MTVO: Mineral- und Tafelwasserverordnung vom 01. August 1984, Stand Dezember 2006; Bewertungsgrundlage sind die genannten Höchstgehalte ab 01. Januar 2008
- GrwV: Verordnung zum Schutz des Grundwassers, Stand 09. November 2010
- OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer – Oberflächengewässerverordnung, Stand 20. Juli 2011; herangezogen wurden die Umweltqualitätsnormen (UQN) für oberirdische Gewässer – ohne Übergangsgewässer
- BBodSchV: Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt durch Artikel 5, Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert.

Als nachteilige Grundwasserverunreinigung werden folgende Fälle definiert:

- wenn Grundwasser durch Schadstoffeinträge die Nutzbarkeit als Trinkwasser verliert
- wenn ein Schadstoffeintrag dazu führt, dass Grund- oder Oberflächengewässer keinen guten Zustand mehr aufweisen
- wenn eine Grundwasserverunreinigung vorliegt, die mehr als nur geringfügig ist, also die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GfS) überschreitet

Zudem erfolgte eine Einstufung nach Wasser- und Gefahrstoffrecht nach der Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe (VwVwS vom 17.05.1999, novelliert 27.07.2005) in drei Wassergefährdungsklassen:

WGK 1: schwach wassergefährdend

WGK 2: wassergefährdend

WGK 3: stark wassergefährdend.

Darüber hinaus erfolgt eine Einstufung und Kennzeichnung nach Gefahrstoffrecht auf Grundlage der im Arbeitsschutzrecht und im Chemikalienrecht verankerten Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) mit dem Ziel, den Menschen und die Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen zu schützen.

Am Ende der Studie NRW erfolgt ein Vergleich der Situation zwischen USA und Deutschland, der auch übersichtsweise rechtliche Aspekte einschließt. Detailliertere Angaben zu den rechtlichen Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der Auslegung des Besorgnisgrundsatzes des WHG und der Definition des Begriffs Grundwasser wie sie sich z.B. im UBA-Gutachten finden, enthält die Studie NRW nicht.

Risikostudie Fracking

In der „**Risikostudie-Fracking**“ werden rechtliche Aspekte in dem Teilgutachten „Rechtliche Rahmenbedingungen der unkonventionellen Erdgasförderung mittels Fracking“ von Roßnagel, Hentschel & Polzer (Kompetenzzentrum für Klimaschutz und Klimaanpassung der Universität Kassel) behandelt.

Die Studie stellt fest, dass das deutsche Recht keine speziellen Regelungen für den Umgang mit den Risiken und Folgen der unkonventionellen Gewinnung von Kohlenwasserstoffen enthält. Stattdessen empfiehlt sie eine konsequente Anwendung der geltenden allgemeinen Rechtsregeln, die Berg-, Wasser- und Anlagenrecht sowie weitere Rechtsbereiche (wie z.B. der Raumordnung bei Inanspruchnahme großer Flächen) bereit halten. Hinsichtlich des Grundwasserbegriffes wird die Definition aus § 3 Nr. 3 WHG zitiert („unterirdisches Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht“). Es sei bei Grundwasser unerheblich, in welchem Horizont und bis zu welcher Tiefe es sich befinde. Auch sei der Salzgehalt des Tiefenwassers nicht ausschlaggebend. Der Grundwasserbegriff sei nicht auf spezielle, der Trinkwassergewinnung dienende wasserführende Schichten beschränkt. Bei tiefem Grundwasser könne sich aber sein Schutzbedarf verringern, wenn mit Sicherheit ausgeschlossen ist, dass es mit bewirtschaftetem oberflächennahem Grundwasser in Berührung kommen kann. In diesem Fall entspreche Grundwasser nicht mehr der Zweckbestimmung der Gewässerbewirtschaftung. Notwendige Voraussetzung für die Bewirtschaftungsfähigkeit sei (im Einklang mit der Definition in DIN 4049) die Teilnahme am Wasserkreislauf und somit die Grundwasserbewegung.

Für Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete ergebe sich ein Ausschluss der unkonventionellen Erdgasförderung nicht durch das WHG und das Landeswassergesetz (hier von NRW), sondern durch die Regelungen in einem konkreten betroffenen Wasserschutzgebiet. Der Schutzbereich eines Wasserschutzgebiets könne auch nach außerhalb erweitert werden, wenn anderenfalls der mit der Festsetzung des Wasserschutzgebiets verfolgte Zweck gefährdet wäre. Im Gegensatz zum UBA GA wird allerdings nicht die Forderung nach einer generellen Pufferzone um Wasserschutzgebiete erhoben. Diese pauschale Forderung aus dem UBA GA ist wegen der Verschiedenartigkeit der hydrogeologischen Situationen bei Trinkwassergewinnungsanlagen nach Ansicht des HLUG auch nicht berechtigt, sondern es bedarf Einzelfallprüfungen, inwieweit sich der Schutz nach außerhalb der Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiete erstrecken muss.

Die Studie sieht im Einklang mit der verfassungsrechtlichen Bewertung eine klare Priorität des Grund- und Trinkwasserschutzes vor der Energiegewinnung. Um dies sicherzustellen, werden die Anwen-

derung der Frac-Technologie und die Versenkung von Abwasser in den Trinkwasserschutz-zonen I und II sowie in Heilquellenschutzgebieten ausgeschlossen. Zudem wird ein Ausschluss bei tektonisch kritisch gespannten Störungen oder starken tektonischen Zerrüttungen im Untergrund und bei Auftreten artesisch gespannten Tiefenwassers und natürlichen oder anthropogen verursachten durchgängigen Transportwegen vorgeschlagen.

Es werden u. a. gesetzliche Klarstellungen im Rahmen der Zulassungsvoraussetzungen für Betriebspläne nach §§ 48 Abs. 2 und 55 Abs. 1 BbergG und für die Sicherheitsleistungen der Unternehmen für Schäden an Gütern der Allgemeinheit nach § 56 Abs. 2 BbergG empfohlen. Die Studie sieht einen umfassenden Novellierungsbedarf des Bergrechts, die es auf den heutigen Stand des Rechts des Umwelt- und Naturschutzes und des Rechts der Öffentlichkeitsbeteiligung bringt. Anhand von einigen Vorschlägen wird erörtert, wie für die Demonstration und Erprobung von fortschrittlicher unkonventioneller Erdgaserkundung- und Gewinnung ein adäquater Rechtsrahmen durch Weiterentwicklung des Bergrechts zur Verfügung gestellt werden könnte. Vorgeschlagen werden:

- Standortbezogene Risikoanalyse für jeden Bohrplatz
- Einbeziehung einer standortspezifischen UVP mit Öffentlichkeitsbeteiligung in die Risikoanalyse bei Bedarf, daher Forderung nach allgemeiner Vorprüfung des Einzelfalls nach § 3c UVPG. Hiermit sei die Öffentlichkeitsbeteiligung sicher gestellt.
- Zur Vermeidung positiver Vorfestlegungen (durch bereits getätigte Investitionen) müsse auf jeder Stufe des Zulassungsverfahrens erneut eine „vorläufige positive Gesamteinschätzung“ getroffen werden, wenn das Verfahren weiter betrieben werden soll. Die vorläufige Gesamteinschätzung erstarkt von Teilschritt zu Teilschritt.
- § 11 Nr. 10 BbergG („Die Erlaubnis ist zu versagen, wenn überwiegende öffentliche Interessen die Aufsuchung im gesamten zuzuteilenden Feld ausschließen“) solle dahingehend geändert werden, dass die Worte „im gesamten Feld“ gestrichen werden. Damit soll vermieden werden, dass die Bergbehörde eine Erlaubnis für ein gesamtes Feld erteilen muss, wenn bereits bekannt ist, dass in bestimmten Bereichen ein Betriebsplan nicht erteilt werden kann oder Bereiche auf Grund von Nutzungskonflikten sinnvollerweise von der Erlaubnis auszunehmen sind.

Schlussfolgerungen

Die rechtlichen Ausführungen in den drei Gutachten sind hinsichtlich der behördlichen Vorgehensweise und der rechtlichen Beurteilung bei der Bearbeitung von Anträgen im Zusammenhang mit der Aufsuchung und Gewinnung unkonventioneller Kohlenwasserstoffe in Hessen hilfreich. Es bleiben aber noch einige Fragen offen.

Endgültig geklärt bzw. festgelegt werden sollte, ob unterirdisches Wasser auch dann noch als Grundwasser bezeichnet werden kann, wenn es bergrechtlich als Sole einzustufen ist.

- Im Zusammenhang mit den Empfehlungen aus der Risikostudie Fracking sollte rechtlich geklärt werden, inwieweit die Erlaubnis schon dann aus Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses zu versagen ist, wenn von vorneherein Nutzungskonflikte vorliegen (wie im Fall des Antragsfeldes „Adler South“ mit seiner großen Fläche von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten). Zur Anwendung von § 11 Nr. 10 BbergG wird derzeit im Auftrag des HMUELV ein Rechtsgutachten angefertigt. Die Ergebnisse des anhängigen Rechtsgutachtens sollten abgewartet und die sich ggf. daraus ergebenden Konsequenzen gezogen werden.

Für die einzelnen in Hessen entstehenden Aufgaben im Zusammenhang mit Aufsuchung und Gewinnung von unkonventionellen Lagerstätten sollte eine spezielle Aufstellung der behördlichen Zuständigkeiten und Beteiligungen erarbeitet werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu klären, ob eine obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung mit Öffentlichkeitsbeteiligung stattfinden soll oder ob eine standortspezifische UVP mit Öffentlichkeitsbeteiligung bei Bedarf nach allgemeiner Vorprüfung des Einzelfalls durchgeführt werden soll. Erkundungsbohrungen auf Erdgas sind nach § 55 Abs. 1 BBergG von der Bergverwaltung zu genehmigen. Hinsichtlich der Eingriffe in den Untergrund nimmt das HLUG hier regelmäßig Stellung. Aus Sicht des HLUG ist damit eine obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung a priori nicht erforderlich. Dennoch kann die Forderung unterstützt werden: Die bisherige UVP-Pflicht greift erst ab einem Erdgasförderolumen von 500.000 m³/Tag. Bei der Gewinnung unkonventionellen Erdgases würde dieses Volumen von einzelnen Bohrungen voraussichtlich nicht erreicht, obwohl die Umweltauswirkungen mit denen konventioneller Erdgasbohrungen vergleichbar, an der Erdoberfläche sogar noch größer, sind. Eine UVP für alle bergbaurechtlichen Verfahren, wie z.B. solche zu Steine und Erden-Rohstoffen, wird seitens des HLUG nicht empfohlen. Die Beteiligung der Kommunen ist im Sinne eines transparenten Verfahrens zu begrüßen.

Nach dem Vorbild des Leitfadens Tiefengeothermie (RP Darmstadt und HLUG 2011) und der LBEG-Rundverordnung zur Durchführung hydraulischer Bohrlochbehandlungen (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie 2012) ist es vorstellbar, einen ähnlichen Leitfaden zur Planung und Durchführung von Projekten zur Aufsuchung und Gewinnung nicht konventioneller Kohlenwasserstoffe zu erstellen.

3.4. Beschreibung der technischen Grundlagen und des Standes der Technik bei Bohrung und Fracking

3.4.1. Bohrtechnik und Bohrungsausbau

Einleitung

Im Fokus der Gutachten steht bezüglich der Bohrtechnik in erster Linie die bei der Schiefergas-Förderung zur Anwendung kommende Tiefbohrtechnik.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die bei der Erkundung und Gewinnung von unkonventionellen Lagerstätten zur Anwendung kommenden Bohrverfahren nicht hessenspezifisch sind.

Im Gegensatz zum UBA-Gutachten wird die Bohrtechnik in der Studie NRW (Kap. 6) und in zwei Einzelgutachten der Risikostudie Fracking ausführlich beschrieben. Insbesondere im „Kurzgutachten Bohrung, Verrohrung und Zementierung“ der Risikostudie Fracking werden explizit Frac-spezifische Forderungen an die Bohrtechnik, insbesondere an die Zementation formuliert.

Die vom Kurzgutachten wiedergegebenen Einschätzungen gelten, sofern das Bohren und der Ausbau der Bohrung nach den allgemein anerkannten Regeln der Sicherheitstechnik (§55 BBergG) erfolgen und Standardbohrverfahren (z.B. Rotary, Lufthebeverfahren oder Richtbohren mit Mud Motors) verwendet werden. Diese werden abgeleitet aus den Erfahrungen weltweiter Bohraktivitäten und empirischer Betrachtung. Weltweit richten sich Tiefbohrungen in der Regel nach den Standards des Ame-

rican Petroleum Institute (API), die den Stand der Technik wiedergeben. Dies gilt für das Bohren, die Zementation und auch für die Bohrlochtests.

Im Weiteren soll auf wesentliche Aspekte der Tiefbohrtechnik und die Empfehlungen der Gutachter eingegangen werden. Der Frac-Prozess selbst wird in diesem Zusammenhang nicht behandelt. Details sind den einzelnen Gutachten zu entnehmen.

Vorerkundungen und Untersuchungen während der Bohrphase

Allgemeine geologische Beschreibungen, insbesondere über größere Areale wie beispielsweise für das Aufsuchungsfeld „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH, können den meist heterogenen komplexen geologischen Strukturen und Gesteinsabfolgen nicht gerecht werden.

Daher fordern die Gutachter der Risikostudie Fracking grundsätzlich eine detaillierte Vorerkundung einschließlich einer Gefahrenabschätzung an der jeweiligen Erkundung/Bohrlokation mit den zur Verfügung stehenden Daten.

Für die Planung ist nach der Risikostudie Fracking die Erhebung von geologischen und geophysikalischen Beobachtungen unabdingbar. Angeregt wird ein sog. „Baselinemonitoring“ über einen geeignet langen Zeitraum für natürlich beobachtbare Stoffflüsse wie z.B. Methan, CO₂ oder die Hintergrundseismizität, um später die natürlichen Prozesse von den anthropogenen Einflüssen trennen zu können.

Während der Bohrphase sind hochaufgelöste Untersuchungen erforderlich, um die notwendige Datenbasis für eine qualifizierte Gefährdungsabschätzung für den spezifischen Ort vornehmen zu können.

Soweit technisch machbar, sollten bei einer Tiefbohrung zur Schiefergasgewinnung nach Ansicht der Gutachter die folgenden Parameter gewonnen sowie quantitative und qualitative Kontrollen ermöglicht werden:

- Erfassung mechanischer, thermischer sowie ggf. chemischer Eigenschaften von Fluiden, Zielhorizont und Deckgebirge (z.B. Dichte, E-Modul, Poisson-Verhältnis)
- Logging (Spannungsorientierungen, Porendruck, Temperatur, Porosität, Mächtigkeit, Lithologie)
- Erfassung der Stratigraphie
- Qualitative Kontrolle der konzeptionellen Modelle und angesetzten Parameter
- Felsmechanisch basierte Analysen von Gestein und Abschätzung der kluftmechanischen Parameter (z.B. Gesteinsfestigkeiten, Reibungswinkel, Frac Druck, Reibungskoeffizient, Kohäsion)

Bohrtechnologie

Alle Gutachten stellen fest, dass für die Erkundung und Förderung von Schiefergas die gleiche Bohrtechnologie und Gewinnungsstrategie wie für die bisher üblichen Erdöl- bzw. Erdgasbohrungen Anwendung findet. Wesentliche Charakteristika für Erkundung und Gewinnung liegen im Einsatz der Horizontalbohrtechnik, die auch in Deutschland bei der Erschließung konventioneller Lagerstätten seit Jahren erfolgreich angewandt wird und der hydraulischen Stimulation geringpermeabler Zielhori-

zonte, seit Jahrzehnten gängige Praxis z.B. bei Tight Gas-Lagerstätten und in den USA seit über zehn Jahren auch für Schiefergas-Lagerstätten im Einsatz.

Während die Fördermengen in Deutschland aus den konventionellen Lagerstätten stündlich bis zu 30.000 m³ pro Bohrloch erreichen können, sind Gasströme aus unkonventionellen Lagerstätten mit durchschnittlich 5000 m³/h zu erwarten.

In Forschungs- und Entwicklungsprojekten wird heute der Einsatz von hämmernden Bohrverfahren untersucht. Thermische Vortriebstechniken (Laserbohren, Spallationsbohren, Plasmabohren) werden bisher nur im Labor verwendet.

Bis diese Techniken praxisreif und wirtschaftlich sind, werden bei einer üblichen Tiefbohrung Bohrmeißel am unteren Ende eines langen vielfach verschraubten Rohres (Bohrstrang) montiert. Je nach Gebirge werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Die Gesteine werden dabei mechanisch zerstört und zerkleinert.

Das bei der Gesteinszerstörung und -zerkleinerung anfallende Bohrklein wird über die zirkulierende Bohrspülung nach oben gebracht. Neben der Funktion als Transportmedium für Bohrklein, der Bohrlochstabilisierung und der Kühlung des Bohrkopfes, kann die Bohrspülung, welche innen durch den Bohrstrang gepresst wird, auch die tiefliegenden Motoren antreiben.

Jede Bohrung wird nach Fertigstellung detailliert untersucht. Dazu steht eine Vielzahl von Messmethoden zur Verfügung. Einige wichtige werden in den Gutachten näher beschrieben. Durch Druckmessung in den Ringräumen können Undichtigkeiten beobachtet und notwendige Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Zur geochemischen, mineralogischen und mikrobiologischen Bestimmung der Fluidzusammensetzung (einschließlich Gas) können in der Tiefe Proben genommen werden.

Beim Bohren nach Erdgas kann grundsätzlich das Risiko, eine Lagerstätte mit hohem Druck unbeabsichtigt anzubohren, nicht ausgeschlossen werden. Dadurch kann es zur spontanen Druckentlastung des Erdgases mit Auswurf des Spülfluids kommen. Aus diesem Grund wird nach § 20 BVOT die Verwendung eines Blow Out Preventers (BOP) bei Tiefbohrungen zwingend vorgeschrieben. Neben der Brand- und Explosionsgefahr durch einen Ausbruch von Methan ist der mögliche Gehalt von Schwefelwasserstoff in Erdgaslagerstätten (sog. Sauergas) als gefahren erhöhendes Moment anzusehen.

Die Gutachter der Risikostudie Fracking empfehlen neben der regelmäßigen geochemischen Analyse der Wässer entsprechende Bohrlochsicherungsmaßnahmen (Preventer) einzusetzen. Darüber hinaus wird erwartet, dass die üblichen Testverfahren (z.B. Microfrac, Minifrac, Leak off Test), die zur Ermittlung der Standsicherheit der Bohrung und zur Vorhersage der Rissorientierung bei Hydrofracs dienen und die Standardloggingverfahren (Bond/Zement Log, Caliber-Log, etc.) zuverlässig durchgeführt werden.

Bohrungsausbau (Komplettierung)

In Deutschland wird bei der Förderung von Erdgas ein Multibarrierensystem vorgeschrieben, um das Grundwasser zu schützen. Dieses besteht i.d.R. aus einem *Standrohr* (Stahl), einer zementierten Ankerrohrtour, einer zementierten Technischen Rohrtour und einer zementierten Produktionsrohrtour als Sicherheitsbarriere, auf deren Details hier nicht näher eingegangen werden soll. Zusätzlich erfolgt

die Produktion über einen Produktionsliner (Stahlrohr), der innerhalb der Produktionsrohrtour geführt wird und gegenüber dieser durch eine Fluidfüllung und Packer getrennt ist. Dadurch wird das Bohrloch geschützt.

Durch ein massives Fracking kann es zu Schäden an der Zementation kommen, die nach Beendigung der Erdgasgewinnung zu Problemen führen könnte. Deshalb wird von den Gutachtern der Risikostudie Fracking im Zusammenhang mit der Schiefergasgewinnung ein hochwertiger Bohrlochverschluss vorgeschlagen, der als Multibarrierensystem ausgelegt ist und eine direkte Verbindung zwischen Gebirge und Bohrlochverschluss-Zementation sicherstellt. Diese Art von Verschlüssen wird bereits heute verschiedentlich eingesetzt, wenn ein sicherer Bohrlochabschluss notwendig ist.

Das Casing – die Rohrtouren – bilden eine Barriere zwischen dem zu fördernden bzw. einzuspeichernden Fluid und den umliegenden Gesteinsschichten. Es dient also dem Schutz der Bohrung und der durchteuften Schichten.

In der Regel besteht das Casing aus Stahlrohren (Schwarzstahl) mit hoher Festigkeit. Die einzelnen Stahlrohre sind über spezielle Verschraubungen miteinander verbunden, die je nach Anforderung gegenüber Öl, Wasser oder Gas technisch dicht sein müssen. Die Verschraubung muss eine hohe Zugfestigkeit besitzen, da beim Einbau das gesamte Gewicht, auch der darunterliegenden Rohrstränge, am obersten Segment anliegt. Die Festigkeit des Casings muss diese Zugkräfte ableiten können, gleichzeitig aber auch dem Gebirgsdruck standhalten (lithostatischer Druck). Bei plastisch wirkenden tiefliegenden Gesteinen (z.B. Salz) muss das Rohr eine sehr hohe Festigkeit aufweisen. Neben den mechanischen Eigenschaften muss das Casing auch den korrosiven Bedingungen im Untergrund gewachsen sein.

Da die Länge der Rohrtour, die lateralen Festigkeiten, die chemischen Wechselwirkungen und die Nutzung (flüssiger und/oder gasförmiger Rohstoff) betrachtet werden müssen, hängt die Auswahl der Materialien sehr stark vom Einsatzort und den geplanten Aktivitäten ab. Deshalb sollte nach Aussage des Gutachtens die Auswahl standortspezifisch erfolgen und die lokale Geologie berücksichtigen.

Spülungsfluide und Zementchemikalien

Gefahrstoffe während der Bohrphase stellen die für den Bohrbetrieb erforderlichen Spülungsfluide und Zemente dar. Deren Zusammensetzung ist abhängig von den zu durchteufenden geologischen Formationen.

Während der Durchteufung von grundwasserführenden Schichten werden nach Maßgabe der DVGW Arbeitsblätter W 115 „Bohrungen zur Erkundung, Beobachtung und Gewinnung von Grundwasser“ und W 116 „Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser“ nur darin zugelassene Stoffe verwendet. Hier erfolgt die Zementierung mit PZ 55, einem für Bohrungen in wasserführenden Schichten zugelassener Zement.

Zementierung

Die Zementierung muss verschiedene Anforderungen erfüllen:

- Sicherstellen einer dauerhafte Verbindung zwischen Gebirge und Rohrtour
- Verhinderung hydraulischer Kurzschlüsse
- Chemische Stabilität gegenüber dem Gebirge
- Materialstabilität hinsichtlich der technischen Fluide
- Materialstabilität hinsichtlich der zu fördernden (z.B. Schiefergas, Formationswässer Cuttings) oder einzulagernden Medien (Spülung- und Zementchemie). Die Funktionstüchtigkeit der Zementation darf durch Zementkorrosion nicht beeinträchtigt werden
- Erhöhung der Stabilität des Bohrloches (Fels – Zement – Rohrtour)

Zemente reagieren empfindlich in Gegenwart sulfathaltiger Gesteine oder Säuren. Es hat sich gezeigt, dass sich bei Verwendung von verschiedenen Zusätzen wie z.B. Salz, Quarzsand, Kieselgur, Flugasche etc. der Zement widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse gestärkt wird und beispielsweise durch Salzkristallisation Selbstheilungskräfte generiert werden können.

Die Wahl der Zemente hängt von der geplanten Verwendung des Bohrloches und der anstehenden Gesteine ab.

Nach dem UBA-Gutachten ist eine wichtige Anforderung an die Güte von Tiefbohrzementen ein volumenkonstantes Abbinden (oder sogar Volumenexpansion), da bei der üblicherweise auftretenden Schrumpfung von Zementen Mikroringräume entstehen können.

Nach der Aushärtung der Zementsuspension wird die Druckdichtheit (Leak Off Test) Stahlrohr – Zementation geprüft. Zum Nachweis der vollständigen und gleichmäßigen Verfüllung des Ringraumes werden meist akustische Verfahren eingesetzt. Gängige Messverfahren sind das Cement Bond Log (CBL), das Cement Evaluation Tool (CET) oder das Variable Density Log (VDL).

Die Gutachter empfehlen daher: Je nach Geologie und geplanter Aktivität (Fracking, Förderung von Kohlenwasserstoffen etc.) muss deshalb mit unterschiedlichen Korrosionen gerechnet werden. Darauf abgestimmte Zementzusammensetzungen stehen zur Verfügung, um für die unterschiedlichen Bedingungen maßgeschneiderte Zementschlämme verwenden zu können. Dabei sollte auch auf die im Untergrund herrschenden Temperaturen geachtet werden, da das Reaktionsverhalten und auch das Verhalten der Zemente eine starke Temperaturabhängigkeit besitzen.

Bei der Zementation muss darauf geachtet werden, dass der Frackdruck (der Druck, bei dem das Gestein zerbricht) nicht überschritten wird, da sich sonst zusätzliche Wegsamkeiten entwickeln.

Auch nach den Maßnahmen sollte auf ausreichend langer Strecke die Mindestdruckfestigkeit von > 3 MPa und maximale Permeabilität von 0,1 mD sichergestellt sein. Eine geringe Permeabilität der Zementierung erhöht wesentlich die Beständigkeit gegenüber verschiedenen korrosiven Prozessen.

Einfluss des Frac-Vorgangs auf die Zementierung

Schädigungen der Verrohrung an Bohrungen können zum großen Teil durch Schervorgänge entlang der Schichtung aufgrund von Setzungen oder Hebungen im Reservoir bzw. entlang von geneigten Störungszonen durch Änderungen der Spannungen und des Porendrucks entstehen.

Beim Frac-Vorgang werden große Flüssigkeits-Volumina unter erhöhtem Druck in den Untergrund verpresst. Wird mit zu hohem Druck gearbeitet, so können bestehende Störungszonen reaktiviert werden. Wird der Druck so hoch gewählt, dass dadurch die Scherfestigkeit in der Bohrlochumgebung reduziert wird, kann sich dies allerdings auch vorteilhaft auswirken indem sich die Bohrlochumgebung um die Verrohrung deformiert.

Mit zunehmendem Abstand vom Frac-Bereich und tiefster Zementation nimmt das Risiko ab, dass die Zementation durch den Frac-Prozess negativ beeinflusst wird.

Eine ordnungsgemäße Durchführung der Zementierung mit anschließender Erfolgs- und Qualitätskontrolle ist die Grundvoraussetzung für die Funktionalität der Zementierung im späteren Betrieb.

Die Richtlinien für den Ausbau von Bohrungen, in denen hydraulische Stimulationen durchgeführt werden sollen, sind im API Guidance Document HF1 festgelegt.

Im Kurzgutachten der Risikostudie Fracking zu Bohrung, Verrohrung und Zementierung (Autor: Prof. Dr. Schilling, Karlsruher Institut für Technologie) werden zum Thema Zementation und Fracking folgende Empfehlungen gegeben:

- Schädigungen der Zementation und der Verrohrung können dadurch verhindert werden, dass der Betrag der Scherung in der Bohrungs Umgebung während der Produktion, aber auch während der Frac-Stimulation möglichst gering gehalten wird.
- Wesentlich sind hierbei die Wahl der Bohrlokation und des Reservoirmanagements. Die Bohrung sollte möglichst in Regionen mit einer geringen Tendenz zum Scherversagen (Slip Tendency) platziert werden. Generell sollten bekannte Störungszonen nicht durchbohrt werden, sondern der Bohrlochverlauf eher parallel zu den Scherflächen ausgerichtet sein.
- Die Erhöhung der Festigkeit des Zements bringt keine Verbesserung, kann allerdings die Schädigung der Verrohrung hinauszögern.
- Der Frac-Stimulation sollte eine Nullmessung folgender Parameter vorausgehen:
 - Eine möglichst vollständige Kenntnis der Störungssysteme im Untergrund sollte vorliegen.
 - Durch numerische geomechanische Modellierung sollte bestimmt werden:
 - die Magnitude der Scherungen auf den bekannten Störungen
 - die Entwicklung von Bereichen erhöhter Scherspannungen in Abhängigkeit vom Injektionsdruck beim Frac-Vorgang
 - die Ausdehnung und Orientierung der Fracks
 - Es sollte nur in geeigneten Bohrlokationen mit entsprechendem Verrohrungsschema und Zementbrücken außerhalb potenzieller Scherhorizonte stimuliert werden.

- Die gewählte Produktionsstrategie sollte berücksichtigt werden, insbesondere der Abstand zu benachbarten (insbesondere Alt-) Bohrungen bzw. den vertikalen Sektionen der Stimulationsbohrung.
- Die Dichtigkeit der Bohrung vor der Frac-Stimulation muss geprüft werden.
- Es muss ein Überwachungskonzept erstellt werden im Hinblick auf:
 - seismisches Monitoring während der Stimulation zur Detektion der Migration der Seismizität (ggf. muss die Stimulation abgebrochen werden, wenn die Gefahr besteht, dass eine Scherzone, die durchbohrt wurde bzw. in der Nähe der Bohrung verläuft, reaktiviert werden könnte und die Bohrung beschädigen könnte)
 - Überwachung des Gasgehalts in den Grundwasserleitern nach der Stimulation
 - Überwachung der Ringraumdrücke

Erfahrungen über die Haltbarkeit von Zementen liegen über einen Zeitraum von ca. 100 Jahren vor. Seit über drei Jahrzehnten wird in Deutschland das hydraulische Aufbrechen (Fracking) tiefliegender Zielhorizonte in der Erdöl- und Erdgas-Industrie durchgeführt. Die Gutachten weisen aber auf ungenügende Kenntnisse der Langzeitintegrität bei Bohrungen die zum Fracking eingesetzt werden hin. Ein Widerspruch, der in den Gutachten nicht aufgelöst wird.

Schlussfolgerungen

Die bei der Förderung von Schiefergas in den USA und in Deutschland zum Einsatz kommende Tiefbohrtechnik ist grundsätzlich seit mehreren Jahrzehnten bei der Gewinnung von Tight Gas und Schiefergas im Einsatz und wird ständig weiterentwickelt. Die Gutachten stellen fest, dass die Risiken technischer und ökologischer Art grundsätzlich bekannt und beherrschbar sind und es keinen Grund gibt, Tiefbohrungen einschließlich Fracking zu verbieten. Sie sagen aber auch, dass die geologischen Bedingungen zwischen den Schiefergas-Lagerstätten der USA und den für Deutschland postulierten Lagerstätten nicht vergleichbar sind. Zumal die Lagerstätten innerhalb Deutschlands regional unterschiedlich aufgebaut sind. Die für Hessen in Kap. 5.2 diskutierten Potenzialräume sind beispielsweise kaum mit den Geosystemen in NRW zu vergleichen.

Nach Ansicht des HLUG wäre die zum Einsatz kommende Technik grundsätzlich der standortgebundenen geologischen Situation – nach eingehender Erkundung und Risikoabwägung – anzupassen und zu begründen. Neben der Firmen-eigenen Qualitätskontrolle ist die Überwachung durch die Bergbehörden elementarer Bestandteil der Qualitätssicherung bei Tiefbohr-Maßnahmen.

Hinsichtlich der Bohrtechnik und Bohrplatz-Gestaltung existiert in Deutschland eine Reihe von Standards, internationalen Normen (insb. API) und rechtlichen Vorgaben. Hierzu gehören die Tiefbohrverordnungen der Bundesländer (BVOT, in Hessen die hessische Bergverordnung) sowie Technische Leitfäden einzelner Bundesländer und Industriestandards (WEG 2006).

Durch ein gestuftes Verfahren unter Bergrecht wird sichergestellt, dass die aktuellsten Kenntnisse zu Bohrungen und zu den Fortschritten beim Stand der Technik in den Explorationsprozess einfließen. Die Genehmigungen erfolgen dabei nach dem BBergG, den entsprechenden Gerichtsurteilen (z.B. Moers-Urteil) und den Bestimmungen der Länder.

In Hessen gibt es seit August 2012 eine neue Bergverordnung und mehrere Leitfäden für Tiefbohrungen (z.B. „Leitfaden Tiefengeothermie“ von HLUG/PR Da, „Empfehlungen für die Anlage von Bohrplätzen und Empfehlungen für die Erstellung eines Sonderbetriebsplanes für die Errichtung eines Bohrplatzes und das Niederbringen einer Bohrung“ des RP Kassel). Des Weiteren existiert die Rundverfügung des LBEG „Mindestanforderungen an Betriebspläne, Prüfkriterien und Genehmigungsablauf für hydraulische Bohrlochbehandlungen in Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Niedersachsen“, in der auch auf die wichtigen Aspekte der Bohrlochintegrität eingegangen wird.

Aus Sicht des HLUG ist das bestehende Instrumentarium zur Prüfung und Genehmigung von Tiefbohrungen ausreichend und lässt sich dynamisch an die technische Entwicklung und auftretende Risiken anpassen.

3.4.2. Fracking

Als Fracking (aus dem engl. Hydraulic Fracturing) wird das Erzeugen von Rissen im tiefen Untergrund bezeichnet, um das Fließen von Gasen oder Flüssigkeiten in dichtem Gestein zu ermöglichen. Dabei wird unter hohem Druck Wasser, oft auch mit Stützmittel und chemischen Zusätzen, durch die Bohrung in die Lagerstätte gepumpt (siehe Abb. 3.2).

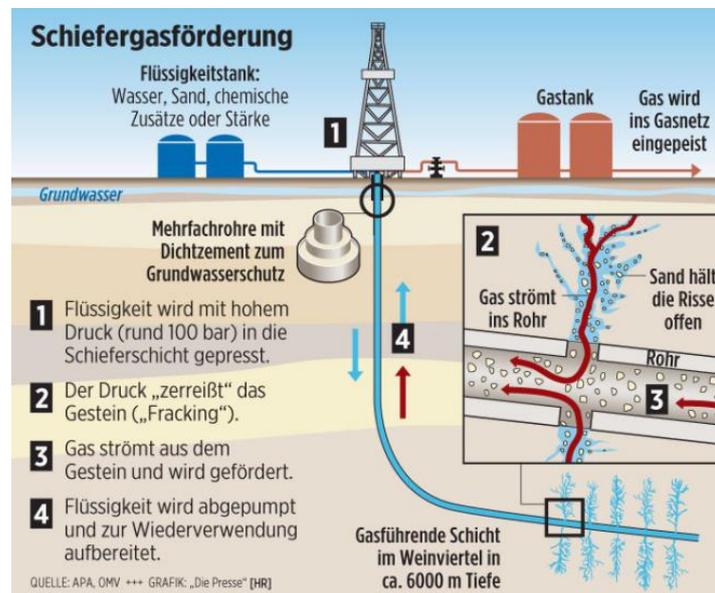


Abb. 3.2: Ablauf des Fracking (Quelle: <http://derstandard.at/1330389842148/Fracking-in-Oesterreich-Schiefergas-Gegner-wollen-Verbot-von-Foerderung>)

Die Erzeugung der Risse durch das Fracking im tiefen Untergrund wird als mögliche Ursache für die Verunreinigung des Grundwassers gesehen. Dabei wird im Zusammenhang mit der relativ oberflächennahen Schiefergas- und vor allem Kohleflözgas-Förderung in den USA vermutet, dass sich ein Riss über die Zielformation hinaus nach oben in Trinkwasser-führende Schichten ausbreiten könnte.

Das Thema Fracking wird in den drei Gutachten wie folgt abgearbeitet:

Risikostudie Fracking

Hier sind die Beschreibungen zum Thema Fracking in den unterschiedlichen Einzelgutachten zu finden. Dies sind die Übersichtsfassung der Studie, das Gutachten Geologie, das Gutachten Technische Sicherheit und zum Thema Auswirkungen des Frackings das zusätzliche Gutachten Verrohrung und Zementation. In der Übersichtsfassung wird allgemein beschrieben, dass „die Frac-Flüssigkeiten mit hohem Druck in den Schiefer gepresst werden. Dort erzeugen sie in einer Tiefe von 1000 m und mehr Metern Risse im Gestein. Diese Risse können je nach Tiefe der Bohrung bis zu 300 Meter, in Ausnahmefällen (in großen Tiefen) auch bis 600 Meter weit nach oben reichen (Frac-Höhe), wenn sie nicht vorher an einer Schichtgrenze enden“ (Risikostudie Fracking, S. 38). Das Gutachten Geologie behandelt eher die Barrierewirkung der Deckschichten bzw. die Wegsamkeit von Störungszonen im Zusammenhang mit dem Fracking. In dem Gutachten Technische Sicherheit werden „Worst Case“ Szenarien betrachtet, die sich eher auf die Gefahren mit der Handhabung von Chemikalien beziehen. Sie sind damit für die Betrachtung hier nicht weiterführend. Das zusätzliche Kurzgutachten „Verrohrung und Zementation“ betrachtet die internationalen Regeln für Bohrungen, Bohrlochmessungen, Verrohrung, Zementation und Qualitätssicherung.

Studie NRW

Die Studie beschreibt das Thema Fracking unter dem Kap. 6 Erkundungs- und Gewinnungstechniken in den Unterkapiteln 6.4. Stand der Bohrtechnik, 6.5 Stand der Technik des Bohrlochausbaus und 6.6 Stand der Stimulationstechniken. Im Wesentlichen behandeln die Autoren der Studie als Hauptbetrachtungsgegenstand die induzierte hydraulische Rissbildungstechnik unter Tage im Bohrloch sowie den Stand der Technik. Die Informationsgrundlagen sind über 300 Literaturquellen (Lehr- und Fachbücher, Publikationen in Fachzeitschriften) sowie Firmenquellen und Konferenzbeiträge, die „den Rahmen des Gutachtens übersteigen“ aber es „wurde Wert darauf gelegt, dass im Sinne einer wissenschaftlich-fundierten Betrachtung das Thema belastbar und referenzierbar ist“ (Studie NRW, Kap. 6, S. 1).

UBA-Gutachten

Fracking wird im Kap. A 3.3 Fracking – Stand der Technik mit den Unterkapiteln A 3.3.1 Komplettierung der Bohrung, A 3.3.2 Ablauf der Frac-Maßnahme A 3.3.3 Ausbreitung hydraulisch erzeugter Risse und A 3.4 Unsicherheiten/Wissensdefizite relativ kurz und allgemein behandelt. Erklärt wird die Physik der Erzeugung eines Risses, der Aufbau einer Anlage zur hydraulischen Stimulation, welche Verrohrungsschemata der vertikalen und horizontalen Bohrung eingesetzt werden und was die Funktion der Zementation ist. Der Ablauf einer Frac-Maßnahme wird unterteilt in Perforation (Vorbereitung einer hydraulischen Stimulation mittels Sprengung der Produktionsstrecke bestehend aus Verrohrung und Zementation um das anstehende Gestein zu erreichen) und Fracking (Unterteilt in a) Säure-Phase: Säubern des Bohrloches im perforierten Bereich, b) Füll-Phase: Einleiten des Frac-Fluids, c) Stütz-Phase: Zugabe von Stützmittel nach eingeleiteter Rissbildung und d) Spül-Phase: Ausspülen des Stützmittels aus der Bohrung in den Riss. Anschließend wird das Einpressen des Fluids beendet und die Bohrung für einige Zeit verschlossen (Shut-in). Die Ausbreitung hydraulisch erzeugter Risse wird an Hand von Modellierungsmöglichkeiten betrachtet. Es wird bemängelt, dass es keine allgemein gültigen und verbindlichen technischen Vorgaben oder Standards (bundesweit) für die

Zementation und Bemessung des „Casings“ in Bezug auf die Erkundung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten mittels hydraulischer Stimulation gibt.

3.4.3. Methoden zum Nachweis der Rissausbreitung

Risikostudie Fracking

Das Teilgutachten Geologie behandelt die Fluidausbreitung im Verlauf einer hydraulischen Frac-Operation und soll damit zum Verständnis der Rissausbreitung beitragen, d.h. der Ansatz ist ein anderer als in dem UBA-Gutachten und der Studie NRW (siehe Abbildung). Hier wird die Limitierung der vertikalen Rissausbreitungen durch die Heterogenität des Gesteins allgemein betrachtet, die sich z.B. aus der Komplexität der Bruchmuster, der hohen Variabilität der vertikalen Spannungsverteilung, der Anwesenheit hoch permeabler Strukturen und Fluid-Verlust und Fluid-Druckabbau in Störungszonen ergeben.

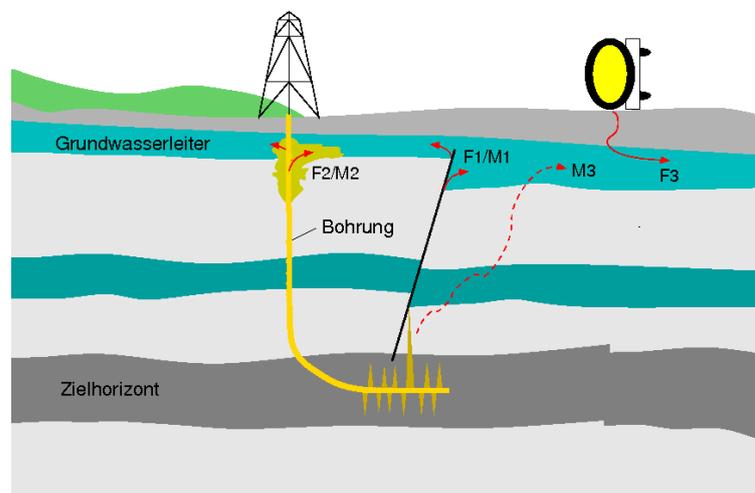


Abb.3.3: Mögliche Fließpfade von Frac-Fluiden, Lagerstättenwasser und Methan ins Grundwasser (aus Risikostudie Fracking, Teilgutachten Geologie, S. 68)

Studie NRW

Die Studie streift die Rissausbreitung nur in dem Kap. 6.6.1 Definition des Begriffs „Frac“: Kap. 6.6.1.1 behandelt die „Frac-Geometrie“ nur allgemein: „Im ungestörten Gestein breitet sich ein Frack immer senkrecht zur kleinsten natürlich vorherrschenden Spannung aus. Dies hat damit zu tun, dass sich das Fluid immer den Weg des geringsten Widerstandes sucht.“ (Studie NRW, Kap. 6, S. 101). Auf der nächsten Seite (Studie NRW, Kap. 6, S. 102) findet sich zur Frackausbreitung: „Mit steigender Teufe steigt auch der Druck durch das auflastende Deckgebirge an, wodurch die vertikale Spannungskomponente die horizontalen Spannungen irgendwann übersteigt. In der Regel ist eine der horizontalen Spannungen die kleinste Spannung, so dass das Gebirge unter Druck eher zu den Seiten ausweicht und sich in größeren Teufen somit vertikale Fracks ausbilden. Als Grenzteufe hierzu wird eine Teufe von mindestens 600 m angegeben. In Teufen zwischen etwa 300 und 600 m ist nicht klar vorherzusagen, welche Spannungskomponente die größte ist. Es kommt in diesem Teufenbereich daher häufig zur Ausbildung von geneigten und schrägen Fracks.“ Kap. 6.6.1.2 Frac-Längen und –Weiten führt aus, dass sich über die Dimensionen der entstehenden Fracks begrenzt Aussagen treffen lassen (Studie NRW, Kap. 6, S. 105) und einige Beispiele aus der Literatur für beobachtet Frac-Dimensionen aufge-

führt werden (Studie NRW, Kap. 6, S. 106). Wobei die Frac-Weiten mit wenigen cm und die Frac-Längen von 10 m bis maximal 450 m angegeben werden (Für die heimischen unkonventionellen Erdgas-Lagerstätten rechnet Exxon-Mobil mit maximalen Frac-Längen von 30 m (Studie NRW, Kap. 6, S. 106).

UBA-Gutachten

Die Ausbreitung hydraulisch erzeugter Risse wird an Hand von Modellierungsmöglichkeiten allgemein betrachtet. Es fehlt vor allem an verbindlichen Vorgaben, mit welcher Genauigkeit die räumliche Lage der erzeugten Fracks prognostiziert und später ermittelt werden muss.

Schlussfolgerungen

Die Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands bemerken in einem Entwurf zur geowissenschaftlichen Bewertung der drei Gutachten richtig, dass die für die Bohrung Damme 3 (die einzige bislang in Deutschland gefrackte Schiefergasbohrung) vorliegenden Monitoring-Ergebnisse in den vorliegenden Gutachten unzureichend verwendet und teilweise ungenau wiedergeben werden. Zudem sei die geomechanische Wirkung der Barrieregesteine zur mechanischen Begrenzung der Frac-Ausbreitung nicht erwähnt bzw. diskutiert worden.

Das Thema Rissausbreitung beschreibt am ehesten die BGR-Studie und nicht die hier zu betrachtenden Gutachten. Dies wird exemplarisch an einem Berechnungsbeispiel der BGR-Studie vorgeführt (Simulation der Rissausbreitung mit der Software FieldPro): In Anlehnung an die bereits durchgeführten Frac-Maßnahmen bei der Schiefergasexploration wurde unter extremen Randbedingungen ein Riss in einer Größenordnung von rund 540 m horizontal und 370 m vertikal (Rissöffnungsweite max. 3,1 cm) modelliert. Nach 1000 m³ Fluidmenge wird hier bereits eine Risshöhe von 250 m erreicht. Die weiteren 100 m Höhe werden dann nur mit weiteren angenommenen 4000 m³ Fluid erzeugt. Das Risswachstum kann also über das injizierte Volumen kontrolliert werden. Diese standortunabhängige Einschätzung sollte mit ermittelten standortbezogenen Daten im Vorfeld einer Stimulation modelliert werden. Dabei wird nicht beabsichtigt, eine möglich große Rissausbreitung zu erzeugen, sondern diese ausschließlich auf die Zielformation zu begrenzen.

3.4.4. Bohrungsintegrität und Langzeitsicherheit

Riskiestudie Fracking

Neben den im Kurzgutachten „Verrohrung und Zementation“ betrachteten internationalen Regeln für Bohrungen, Bohrlochmessungen, Verrohrung, Zementation und Qualitätssicherung werden auch mögliche neuere Entwicklungen und „Best Practice“ Verfahren aus anderen Reservoirtechnologien wie z.B. CO₂-Untergrundspeicher angesprochen.

In ihrem Fazit kommt die Risikostudie Fracking zu der Schlussfolgerung:

„Um die notwendige Datenbasis für eine qualifizierte Gefährdungsabschätzung für den spezifischen Ort und die verschiedenen Verfahren, wie Bohren, Fracturing, Betrieb eines Reservoirs und für die Zeit nach der Versiegelung zu schaffen, sind folgende Maßnahmen erforderlich:

1. Detaillierte Vorerkundung mit Nullmessung.
2. Geeignete Wahl des Bohrpfads.
3. Bohren mit Bohrlochsicherungsmaßnahmen (Preventer, geeignetes Verrohrungsschema)
4. Hochaufgelöste Untersuchungen während der Bohrphase: Um eine Bewertung der Gefährdung für die Stimulationsphase und die Betriebsphase machen zu können, sind bei der Bohrphase entsprechende Parameter zu gewinnen, um Modelle mit Beobachtungsdaten zu hinterlegen. Das Logging sollte sich nicht nur über den eigentlichen Reservoirbereich erstrecken, sondern insbes. auch im Deckgebirge erfolgen. Soweit technisch machbar, sollten bei einer Tiefbohrung Parameter zu den Eigenschaften der Fluide des Zielhorizontes und des Deckgebirges sowie hydraulische Daten gewonnen und qualitative Kontrollen ermöglicht werden.
5. Felsmechanisch basierte Analysen von Gestein und Abschätzung der kluftmechanischen Parameter (z.B. Gesteinsfestigkeiten, Reibungswinkel, Frac Druck, Reibungskoeffizient, Kohäsion).
6. Qualitative Kontrolle der konzeptionellen Modelle und angesetzten Parameter anhand der gewonnenen Daten und Überarbeitung des konzeptionellen Modells.
7. Wahl der geeigneten Produktionsstrategie.
8. Modellierung der Ausdehnung und die Ausbreitungsrichtung der Fracs und der Spannungsänderungen im Vorfeld unter Berücksichtigung der Abstände der Bohrungen (auch zu bereits versiegelten) und der Störungssysteme.
9. Logging und Dichtigkeitsprüfungen unmittelbar vor dem Fracturing Prozess.
10. Geeignetes Überwachungskonzept (Nullmessung, begleitendes Monitoring (seismisch) bei der stimulierten Bohrung, Monitoring der Ringräume und der Grundwasserleiter und dies nicht nur in den stimulierten Bohrungen).“

Studie NRW

In dieser Studie wird das Thema Bohrungsintegrität, Möglichkeiten der Überprüfung und Materialalterung Kap. 6.4., Stand der Bohrtechnik, Kap. 6.5 Stand der Technik des Bohrlochausbaus allgemein beschrieben und auf die internationalen Regeln hingewiesen.

UBA-Gutachten

Die Auswirkungen werden nur unter dem rechtlichen Aspekt kurz angesprochen (Kap. B3.6.4.-und B3.7.4 , S. B78 bis B80 und B94). Im Kap. D4 Spezielle Empfehlungen zum Bereich Technik wird unter 4.3 und 4.4 (S. D11) auf Einhaltung der Richtlinien bei Bohrung und Bohrungsausbau bzw. der Zementation unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen des Frackings hingewiesen und gefordert, dass hier länderübergreifend entsprechende Standards und Mindestanforderungen abgestimmt werden sollten.

Schlussfolgerungen

- Die beim Fracking zum Einsatz kommende Technik, die Rissausbreitung und in diesem Zusammenhang das Monitoring, sollten genau und nachvollziehbar von den Antragstellern beschrieben werden.
- Grundsätzlich müssen ein ausreichender vertikaler Abstand (z.B. ein Mehrfaches der Rissausdehnung) zwischen der Obergrenze des hydraulisch erzeugten Risses und der Untergrenze des tiefsten nutzbaren Grundwasserleiters sowie die Existenz geologischer Barrieren zwischen diesen gewährleistet sein. Gleiches gilt auch für den Abstand zu Störungen. Die Abstände zu den Grundwasserleitern und Störungen sind abhängig von der lokalen geologisch-hydrogeologischen Situation in jedem Einzelfall vom Antragsteller durch Daten und Modellrechnungen zu beschreiben und von der Fachbehörde zu überprüfen.
- In Gebieten, in denen sich Störungen durch Barrierehorizonte hindurch in Richtung auf potenzielle Grundwasserleiter fortsetzen, sollte Fracking ausgeschlossen werden, solange nicht die hydraulische Unwirksamkeit der Störungen stichhaltig nachgewiesen ist.
- Die internationalen Regeln für Bohrungen, Bohrlochmessungen, Verrohrung, Zementation und Qualitätssicherung sollten nach Möglichkeit einheitlich in Deutschland beachtet und in den Auflagen der Bergbehörden berücksichtigt werden.

3.4.5. Flächenbedarf

Die Aussagen zur Dimensionierung eines Bohrplatzes sind zwischen der Risikostudie Fracking und deren Fachgutachten, dem UBA-Gutachten und der Studie NRW vergleichbar.

Schiefergas wird durch ca. 10 bis 20 (horizontale) Bohrungen von ein und demselben Bohrplatz („Cluster“-Bohrplatz) erschlossen. Ein typischer Bohrplatz hat eine Abmessung von 100 x 62 m. Angegliedert ist i.d.R. ein Förderplatz (60 x 52 m), der über die gesamte Zeit der Förderung in Betrieb ist. Das Betriebsgelände beansprucht somit eine Fläche von ca. 1 Hektar. Dieser Flächenverbrauch ist temporär, da mit Beginn der Gas-Produktion nur eine ca. 2 m hohe Produktionseinheit verbleibt und nach Beendigung der Produktion deren Anlagen rückgebaut und die Oberfläche rekultiviert wird (Ewen 2012, www.erdgassuche-in-deutschland.de, Kurzgutachten Bohrung der Risikostudie Fracking).

Die Erkundung dauert ca. 2 bis 3 Monate, die Feldentwicklung noch einmal ca. 14 Monate und der Umbau zum Regelbetrieb benötigt ca. 6 Monate. Die Förder-/Betriebszeit wird – je nach Ergiebigkeit der Lagerstätte – mit 15 bis 30 Jahren (Fachbeitrag zum Themenkreis Landschaft Flächeninanspruchnahme, (oberirdische) Infrastruktur, Betrieb Wissenschaftliche Statuskonferenz 2012) angesetzt.

In Deutschland werden Bohrplätze einschließlich weiterer Betriebsflächen – anders als z.B. in manchen Staaten der USA – grundsätzlich hinsichtlich des Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen ausgelegt. Die Bohrplätze werden so vorbereitet, dass die Fläche um das Bohrgerät herum versiegelt wird. So kann das Eindringen von technischen Fluiden (Öl, Bohrspülung, Fracturing Fluid) in die Umwelt, insbesondere in das Grundwasser vermieden werden.

Hierzu sollten nach Aussagen der Gutachten (Fachbeitrag zum Themenkreis Landschaft Flächeninanspruchnahme, (oberirdische) Infrastruktur, Betrieb Wissenschaftliche Statuskonferenz 2012, Techni-

sche Sicherheit von Anlagen und Verfahren zur Erkundung und Förderung von Erdgas aus nichtkonventionellen Lagerstätten von Hans-Joachim Uth 2012) zumindest folgende dem Stand der Technik entsprechen Bedingungen erfüllt werden:

- Versiegelung des Bohrplatzes mit Randbegrenzung, damit das Regenwasser nicht von der Versiegelung in das umliegende Erdreich abfließen kann.
- Abdichtung des Bohrkellers.
- Überlauf des Bohrkellers mit Abfluss in einen Ölabscheider und ein Auffangbecken
- Einrichtung eines Regenüberlaufbeckens.
- Rückbau des Bohrplatzes nach Abschluss der Bohrarbeiten in den ursprünglichen Zustand.

Die Studie NRW spricht von einer relativ großen Flächeninanspruchnahme für Bohrplätze. Es werden jedoch keine Flächeninanspruchnahmen anderer Energieträger zum Vergleich aufgeführt, um die Einschätzung zu untermauern.

Die infrastrukturellen Anforderungen z.B. für eine Windkraftanlage (WEA) an Land durch Fundamentfläche, Kranstellfläche, Montage- und Lagerfläche führen zu einer dauerhaften Flächenversiegelung von ca. 3000 m² (0,3 ha). Für einen Windpark im Wald mit beispielsweise 5 WEA (Typ Enercon E-82, 138 m Betonturm) müssen ca. 4 ha Waldfläche gerodet werden, 2 ha davon dauerhaft. Erst bei größeren Anlagen reduziert sich die Rodungsfläche/WEA auf ca. 1 ha und damit in gleicher Größenordnung wie die Fläche der Gas-Bohrplätze (Bernhard Bögelein, juwi Wind GmbH: <http://www.na-hessen.de/downloads/11n80162windenergieanlagenbauundbetrieb.pdf> 3).

Temporärer Flächenverbrauch für Bohrplätze und Infrastruktur

Es gibt zurzeit noch keine unkonventionelle Erdgaslagerstätte in Deutschland in der dieses Gas gewinnbringend gefördert wird. Alle Aussagen der Studie NRW über Art und Umfang der Standorte einer möglichen Erdgasgewinnung oder Annahmen zur Anzahl benötigter Fracks sind sehr grob abgeschätzt und auf Hessen nicht übertragbar.

Nicht alle Bohrplätze einer potenziellen Schiefergas-Lagerstätte werden den gleichen Stand im Lebenszyklus eines Bohrplatzes aufweisen. Einige werden nur temporär zu Explorationszwecken genutzt. Während die geplanten Förderbohrungen nicht gleichzeitig, sondern zu unterschiedlichen Zeitintervallen in Betrieb sein werden. Bohrplätze mit Förderung werden nicht gleichzeitig in Betrieb sein. Je nach lokaler Situation oder je nachdem, welche Zeithorizonte angesetzt werden, können sich die möglichen Umweltauswirkungen erheblich verändern. Eine einfache Aufsummierung der Flächeninanspruchnahme für Bohrplätze und Infrastruktur ist daher nicht zielführend.

Unterirdischer Flächenverbrauch und Raumplanung

Die unterirdische Gewinnung von Bodenschätzen wird von der Raumplanung im Sinne des ROG und des LPIG nicht erfasst.

Temporäre Einrichtungen wie Explorationsbohrungen sind raumplanerisch nicht relevant. Die Frage der Raumwirksamkeit kann sich daher nur auf die dauerhaften, stationären Anlagen (Tagesanlagen) einer möglichen Gasgewinnung und auf die erforderlichen Leitungsbauwerke beziehen. Nach LPIG

DVO 2010 (§ 35) werden Planungen und Maßnahmen in der Regel erst ab einer Eingriffsgröße von > 10 ha als darstellungsrelevant für die Regionalplanung betrachtet. Diese Größe dürfte bei Erdgasgewinnungsanlagen im Normalfall nicht erreicht werden.

Die Frage der unterirdischen Raumplanung ist bundesweit im Gespräch und betrifft neben Kavernenbetrieben, Untertagedeponien, der Tiefengeothermie, der CO₂-Speicherung, der Wassergewinnung, auch die Rohstoff-, hier die Schiefergasgewinnung.

Ein möglicher unterirdischer Flächen- bzw. Volumenverbrauch ist derzeit nicht relevant und bezifferbar.

Das Konzept der Feststellung von „Raumwiderständen“, wie in der Studie NRW erläutert, entspricht nicht der gesetzlich vorgesehenen Verfahrensweise zur Landesplanung. Es ist vielmehr immer eine Einzelfallabwägung nötig. Dabei ist die Standortgebundenheit der Rohstoffgewinnung, die auch für mögliche Schiefergas- oder Tight Gas-Lagerstätten gilt, zu berücksichtigen.

Schlussfolgerungen

Ein Bohrplatz für Schiefergas- oder Tight Gas-Nutzung entspricht grundsätzlich den derzeit bereits genutzten Erdgas-Bohrplätzen oder denjenigen bei anderen Bohrungen in diesen Tiefenbereichen. Über die Anzahl und Raumwirksamkeit möglicher Bohrplätze in Hessen kann derzeit nur spekuliert werden, was nicht zielführend ist.

3.5. Eingesetzte gefährliche Stoffe (Frac-Fluide)

3.5.1. Überblick und Beschreibung

Frac-Fluide bzw. Frac-Flüssigkeiten werden beim Hydraulic Fracturing als druckübertragende Flüssigkeiten zur Erzeugung der Risse im Gebirge eingesetzt. Mit Hilfe der Frac-Fluide werden Stützmittel (proppants), z.B. Quarzsand oder keramische Partikel, in die erzeugten Risse eingebracht, um diese offen zu halten und sie damit für die Förderung von Erdgas zu erhalten (UBA-Gutachten, siehe auch Kap. 3.4.2).

Der Frac-Vorgang kann in drei grundsätzliche Schritte unterteilt werden (Studie NRW):

- Riss-Erzeugung und –Ausbreitung durch Einwirkung hohen Drucks in der Lagerstätte
- Einbringen des Stützmittels in die erzeugten Risse
- Reinigung der Bohrung und Beginn der Förderung

Jeder Schritt des Frac-Vorgangs stellt unterschiedliche Anforderungen an die Eigenschaften des Frac-Fluids. Die Zusammensetzung des Frac-Fluids wird weiterhin maßgebend durch die Charakteristik der Lagerstätte beeinflusst. Folglich wird für die Herstellung der Frac-Fluide eine Vielzahl chemischer Stoffe verwendet, die als Frac-Additive zugesetzt werden und die Erzeugung der gewünschten Eigenschaften des Fluids bewirken. Die Auswahl der Frac-Additive basiert hauptsächlich auf der benötigten Viskosität, den in der Lagerstätte herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen, der Zusammensetzung des Zielhorizonts, der Zusammensetzung des Formationswassers sowie dem Potenzial zur Schädigung des Förderhorizontes. Weiterhin sind die Anforderungen des Chemikalienrechts zu beachten (Studie NRW).

Die Frac-Fluide werden nach dem verwendeten Trägerfluid in vier Gruppen unterteilt (UBA-Gutachten, Fink 2012):

- Wasserbasierte Systeme, in denen meist Gelbildner zur Erhöhung der Viskosität und Verbesserung des Stützmitteltransports eingesetzt werden.
- Schaumbasierte Systeme, die aus einer Wasser-Gas-Emulsion bestehen und unter Verwendung von Inertgasen wie Stickstoff oder Kohlendioxid mit Schaumbildnern hergestellt werden.
- Ölbasierte Systeme (im Wesentlichen auf Basis von Dieselöl), die in wasserempfindlichen Formationen mit quellfähigen Tonmineralien zum Einsatz kommen können.
- Säurebasierte Systeme (im Wesentlichen mit Salzsäure) zur Stimulation in gering permeablen, säurelöslichen Formationen mit Kalksteinen oder Dolomiten.

In Deutschland kamen bei Frac-Maßnahmen bisher im Wesentlichen wasserbasierte sowie untergeordnet schaumbasierte Fluid-Systeme zum Einsatz.

Die Frac-Fluide werden meist aus mehreren Frac-Zubereitungen durch Mischung mit Wasser hergestellt. Frac-Zubereitungen sind Produkte, die von den Frac-Servicefirmen hergestellt werden, unter einem Handelsnamen bekannt sind und aus einem Gemisch verschiedener Chemikalien bestehen. Unter Frac-Additiven werden alle Stoffe verstanden, die dem Trägermedium zugemischt werden und mit dem Fluid in die Bohrung verpresst werden.

Wasserbasierte Frac-Fluide bestehen zu 80 – über 95 % aus Wasser. Stützmittel werden zu 5 bis über 30 Gew. % zugesetzt und der Anteil der Additive liegt im Bereich von 0,2 bis 10 Gew. %. Die Additive werden in Abhängigkeit von den Lagerstättenbedingungen und dem Fluid-System zugesetzt.

Sie werden zum Teil sequentiell im Frac-Vorgang eingesetzt. Im ersten Schritt können mit einer Säurebehandlung Zement oder Bohrspülungsreste aus dem Bereich des perforierten „Casings“ entfernt werden. Dabei kommen neben der Säure auch Korrosionsschutzmittel sowie ggf. auch Eisenkontrollmittel zum Einsatz, um Rostbildung und Ausfällungen zu vermeiden. Bei der Druckbeaufschlagung werden Fluide mit Reibungsminderern eingesetzt, um die Pumprate zu optimieren. Sobald die Stützmittelzugabe zum Frac-Fluid erfolgt, werden ggf. weitere Additive wie Gelbildner und Quervernetzer hinzugegeben, um einen effektiven Stützmitteltransport zu gewährleisten. Dabei werden zunächst meist feinkörnigere Stützmittel zugegeben, die am weitesten in die Risse eingetragen werden können, bevor grobkörnigere Stützmittel hinzugefügt werden. Zum Abschluss werden ggf. gekapselte Kettenbrecher zur Verminderung der Fluidviskosität eingesetzt, um die Ablagerung der Stützmittel in den Rissen zu unterstützen und die Rückförderung des Frac-Fluids zu verbessern (UBA-Gutachten, US EPA).

Die Frac-Additive und ihr Einsatzzweck sind in der Tabelle 3.2 zusammengefasst und im Folgenden näher beschrieben:

Tab. 3.2: Additive und Einsatzzweck (aus UBA-Gutachten)

Additiv	Einsatzzweck
Stützmittel	Offenhaltung der beim Fracking erzeugten Risse im Gestein
Ablagerungshemmer	Verhinderung der Ablagerung von schwer löslichen Ausfällungen, wie Karbonaten und Sulfaten
Biozid	Verhinderung des Bakterienwachstums, Vermeidung von Biofilmen, Verhinderung von Schwefelwasserstoffbildung durch sulfatreduzierende Bakterien
Eisenfällungskontrolle	Verhinderung von Eisenoxid-Ausfällungen
Gelbildner	Verbesserung des Stützmitteltransports
Hochtemperaturstabilisator	Verhinderung der vorzeitigen Zersetzung des Gels bei hoher Temperatur im Zielhorizont
Kettenbrecher	Verringerung der Viskosität gelhaltiger Frac-Fluide zur Ablagerung des Stützmittels
Korrosionsschutzmittel	Schutz vor Anlagenkorrosion
Lösungsmittel	Verbesserung der Löslichkeit der Additive
pH-Regulatoren und Puffer	pH-Wert-Einstellung des Frac-Fluids
Quervernetzer	Erhöhung der Viskosität bei erhöhter Temperatur zur Verbesserung des Stützmitteltransports
Reibungsminderer	Verringerung der Reibung innerhalb der Frac-Fluide
Säuren	Vorbehandlung und Reinigung der perforierten Abschnitte der Bohrung von Zement und Bohrschlamm; Auflösung von säurelöslichen Mineralen
Schäume	Unterstützung des Stützmitteltransports
Schwefelwasserstofffänger	Entfernung von toxischem Schwefelwasserstoff zum Schutz vor Anlagenkorrosion
Tenside/Netzmittel	Verminderung der Oberflächenspannung der Fluide
Tonstabilisatoren	Verminderung der Quellung und Verlagerung von Tonmineralen

Stützmittel

Stützmittel dienen zum Offenhalten der beim Hydraulic Fracturing erzeugten Risse und sollen die Permeabilität in der Gewinnungsphase sicherstellen. Ein typisches Stützmittel ist Quarzsand in verschiedenen Körnungen; des Weiteren werden auch keramische Produkte oder gesinterter Bauxit verwendet. Zur Verbesserung der Rückhaltung des Stützmittels in den Rissen werden teilweise auch mit Epoxidharz oder Phenolharz o.ä. beschichtete Stützmittel verwendet (Fink 2012).

Ablagerungshemmer

Ablagerungshemmer sollen die Ausfällung von schwer löslichen Salzen wie Karbonaten und Sulfaten (z.B. Bariumsulfat) vermeiden, die zu einer Verminderung der Permeabilität führen würde. Hierzu werden verschiedene Stoffe wie z.B. Ammoniumchlorid, Ethylenglycol oder auch Polyacrylate und verschiedene Phosphonate zugesetzt (Fink 2012).

Biozide

Die zugesetzten Biozide sollen das Wachstum von Bakterien in den Fluiden verhindern, durch das die Permeabilität eingeschränkt werden (Biofilme) oder durch das toxische und korrosive Gase (vor allem Schwefelwasserstoff H₂S) gebildet werden könnten (Tyndall Centre 2011, NYSDEC 2011). Als Biozid wird z.B. ein Gemisch aus 5-Chlor-2-methyl-2H-isothiazol-3-on und 2-Methyl-2H-isothiazol-3-on (Handelsname Kathon®) eingesetzt.

Eisenfällungskontrolle

Diese Chemikalien sollen die Ausfällung von eisenhaltigen Mineralen in der zu stimulierenden Formation verhindern, insbesondere wenn eine Säurevorbehandlung erfolgt. Hierzu werden häufig Zitronensäure oder Ethylendiamintetraacetat verwendet, die in der Lage sind, Eisen zu komplexieren.

Gelbildner

Gele bewirken eine Viskositätserhöhung in dem Frac-Fluid und somit einen besseren Stützmitteltransport in die Risse. Typische Gelbildner umfassen zum einen Polysaccharide wie Guarderivate (z.B. Carboxymethyl-Guar, Hydroxyethyl-Guar, Hydroxypropyl-Guar) sowie zum anderen Celluloseether wie Methylcellulose, Carboxymethylcellulose und Hydroxyethylcellulose. Zudem werden auch künstliche Polymere wie Acrylamidcopolymere und Vinylsulfonate verwendet.

Hochtemperaturstabilisator

Gegen vorzeitige Zersetzung der Gele im Bohrloch werden Stabilisatoren, wie z.B. Natriumthiosulfat zugegeben.

Kettenbrecher

Zur Verringerung der Viskosität des Frac-Fluids bei Einsatz von Gelsystemen wird zur Verbesserung der Stützmittelablagung in den erzeugten Rissen sowie zur besseren Rückholung der Fluide sogenannte Kettenbrecher eingesetzt, die eine Zerstörung der Gelstruktur bewirken sollen. Je nach verwendeten Gelbildnern handelt es sich bei den Kettenbrechern um Stoffe wie Ammonium- oder Natriumperoxodisulfat, Natriumbromat oder Enzyme.

Korrosionsschutzmittel

Korrosionsschutzmittel dienen dem Schutz der Anlagenbauteile wie der Verrohrung oder Tanks bei der Zugabe von Säuren. Typische bei Frac-Operationen eingesetzte Korrosionsschutzmittel sind z.B. Methanol, Isopropanol, Propargylalkohol oder auch Ammoniumsalze (NYSDEC 2011).

Lösungsmittel

Lösungsmittel verbessern die Wasserlöslichkeit der eingesetzten Additive. Es werden u.a. 2-Butoxyethanol oder Propan-2-ol als Lösungsmittel verwendet.

pH-Puffer und pH-Regulierung

Zur Einstellung und Pufferung des pH-Wertes werden z.B. aliphatische Säuren, Natriumhydroxid oder Natriumhydrogencarbonat zugegeben.

Quervernetzer

Quervernetzer verursachen eine weitere Erhöhung der Viskosität der Fluide durch eine Vernetzung der eingesetzten Gelbildner. Als Quervernetzer werden in Abhängigkeit von den Gelbildnern u.a. Boratsalze, 2,2',2''-Nitriolotriethanol oder organische Zirkoniumkomplexe verwendet.

Reibungsminderer

Reibungsminderer dienen der Verringerung der Reibung innerhalb der Frac-Fluide und vermindern so den Energieeinsatz bei der Druckbeaufschlagung. Hierzu werden Polyacrylamide, Glycolether oder auch Erdöldestillate eingesetzt.

Säuren

Zur Vorbehandlung und zur Reinigung der perforierten Abschnitte von Zement und Bohrschlamm kann vor dem eigentlichen Frac-Prozess eine Säurevorbehandlung erforderlich sein, die den Zugang zur Gesteinsformation verbessert. Hierfür werden meist konzentrierte Mineralsäuren wie Salzsäure verwendet.

Schäume

In schaubasierten Frac-Fluiden erfolgt der Stützmitteltransport mit einem aus Kohlendioxid oder Stickstoff und Wasser hergestelltem Schaum. Als Schäumer werden dabei u. a. tertiäre Alkylaminethoxylate, Cocobetain oder alfa-Olefinulfonate verwendet.

Schwefelwasserstofffänger

Schwefelwasserstofffänger dienen zur Vermeidung der Korrosion der Anlagenteile durch Reaktion mit Schwefelwasserstoff, das in sog. sauren Gas-Lagerstätten in erhöhten Konzentrationen im Erdgas vorkommt. Hierfür werden u.a. aromatische Aldehyde eingesetzt.

Tenside/Netzmittel

Oberflächenaktive Stoffe dienen dazu, durch Verminderung der Oberflächenspannung der Fluide zur Verbesserung der Benetzbarkeit und Bildung von Additiv-Wasser-Emulsionen beizutragen. Hierzu werden u.a. ethoxylierte Alkylalkohole aber auch Nonylphenoethoxylate eingesetzt.

Tonstabilisatoren

Tonstabilisatoren sollen die Quellung von Tonmineralen bei Kontakt mit wässrigen Fluiden und der damit verbundenen Permeabilitätsreduzierung verhindern und einer Tonmineralverlagerung vorbeugen. Hierzu werden Kalium- und Ammoniumsalze oder quaternäre Ammoniumverbindungen verwendet, da sich diese Kationen in die Zwischenschichten der Tonminerale einlagern und damit einem Quellen entgegenwirken.

3.5.2. Herstellung und Zusammensetzung der Frac-Fluide (UBA-Gutachten, Studie NRW):

Die Frac-Fluide werden von spezialisierten, weltweit tätigen Frac-Servicefirmen (service contractors) hergestellt, die alle Dienstleistungen von der Auswahl der Rezeptur bis zur Durchführung und Überwachung der Fracks anbieten. Die Zusammensetzung der Frac-Fluide und die Art und Anzahl der verwendeten Additive variiert in Abhängigkeit der erwarteten Lagerstättenbedingungen und wird oftmals für jede Bohrung individuell angepasst. Die Auswahl der Frac-Additive basiert insbesondere auf der benötigten Viskosität, den in der Lagerstätte herrschenden Druck und Temperaturbedingungen, der mineralogisch/geochemischen und petrophysikalischen Zusammensetzung des Zielhorizonts, der hydrochemischen Zusammensetzung des Formationswassers sowie dem Potenzial zur Schädigung des Förderhorizontes. Die Menge der zugesetzten Additive ist dabei temperaturabhängig, wobei in tieferen Formationen mit höheren in-situ Temperaturen spezielle Additivzugaben erforderlich werden (vgl. US EPA 2004).

Zum standortspezifischen Design der Frac-Fluide und der Auswahl von Art und Konzentration der Additive können Erfahrungswerte und Entscheidungsmatrizes, Flussdiagramme und/oder computer-

basierte Expertensysteme herangezogen werden (US EPA 2004, Halliburton2008, Fink 2012). Zum Teil werden dabei Modellprogramme zur Simulation des Frac-Vorgangs unter Berücksichtigung der Lagerstätteneigenschaften verwendet und hierüber Anforderungen bzgl. der Fluidzusammensetzung und -eigenschaften sowie der erforderlichen Stützmittelmengen/-konzentrationen und operativen Parameter (Pumpraten, Druckstufen, etc.) ermittelt. Bei der Erkundung neuer Lagerstätten werden mitunter auch Laborversuche mit Gesteinsproben unter den in der Lagerstätte vorherrschenden Temperatur- und Druckbedingungen durchgeführt, um geeignete Rezepturen zu ermitteln (Rickman et al. 2008).

Die Angaben zur Zusammensetzung der eingesetzten Frac-Fluide basieren im Wesentlichen auf Auswertungen der Sicherheitsdatenblätter der Frac-Zubereitungen, die zur Herstellung der Frac-Fluide zum Einsatz kommen. Hier werden erhebliche Wissensdefizite bei der Identität der eingesetzten Additive und ihren Konzentrationen im injizierten Frac-Fluid festgestellt, da die Sicherheitsdatenblätter der Zubereitungen oftmals die einzige Informationsquelle zur Identität und Menge der eingesetzten Additive darstellen. Für die Mehrzahl der Stoffe werden eindeutige CAS-Nummern angegeben, allerdings können viele Stoffe nicht eindeutig mit einer CAS-Nummer identifiziert werden, weil die Zusammensetzung unbekannt ist oder weil in den Sicherheitsdatenblättern Bezeichnungen angegeben werden, die nur chemische Gruppen (z.B. aromatische Ketone, anorganische Salze) benennen.

3.5.3. Gefährdungspotenzial der Frac-Fluide (UBA-Gutachten, Studie NRW)

In der Studie NRW wurden 21 Frac-Fluide, die bei 62 Fracks zwischen 1982 und 2011 eingesetzt wurden, beurteilt (die Daten der Zubereitungen stammen aus der Risikostudie Fracking und repräsentieren nur ca. 21 % der bisher in Deutschland durchgeführten Fracks). Eingestuft wurden:

- 6 Zubereitungen als giftig,
- 6 als umweltgefährlich,
- 25 als gesundheitsschädlich,
- 14 als reizend,
- 12 als ätzend und
- 27 als nicht gefährlich

gemäß Richtlinien 67/548/EWG bzw. 1999/45/EG, wobei eine Reihe von Zubereitungen mehrere Gefährdungsmerkmale aufweisen (Anhang 1). Nach Angabe der Sicherheitsdatenblätter sind

- 3 Zubereitungen als stark wassergefährdend (WGK 3),
- 12 als wassergefährdend (WGK 2),
- 22 als schwach wassergefährdend (WGK 1) und
- 10 als nicht wassergefährdend (nwg)

eingestuft. In 33 der vorliegenden Sicherheitsdatenblätter sind keine Angaben zur Wassergefährdungskategorie der Zubereitung aufgeführt.

Bei einer Freisetzung von Stoffen in die Umwelt gilt als wasserrechtlicher Bewertungsmaßstab, dass eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit des Grundwassers nicht zu besorgen sein darf (§ 48 Abs. 1 WHG). Eine nachteilige Veränderung der Beschaffenheit des oberflächennahen, also

nutzbaren und am Naturhaushalt teilnehmenden Grundwassers liegt vor, wenn sich die Wasserbeschaffenheit mehr als nur geringfügig verschlechtert, d.h. wenn im nutzbaren Grundwasser gesetzliche und untergesetzliche Grenz-, Richt- und Höchstwerte, insbesondere die Geringfügigkeitsschwellenwerte der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2004) überschritten werden.

Da für einen Großteil der als Frac-Additive eingesetzten Stoffe keine Geringfügigkeitsschwellen oder andere wasserrechtliche Beurteilungswerte vorliegen, können für diese Stoffe aufbauend auf LAWA (2004) gesundheitliche Leitwerte (LW) bzw. gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) und ökotoxikologisch begründete PNEC-Werte (PNEC=Predicted No-Effect Concentration) recherchiert bzw. in Anlehnung an publizierte Methoden abgeleitet werden.

Die Wassergefährdungsklasse (WGK) ist als eine Maßzahl für den Anlagenschutz und die Anlagensicherheit im Wasserrecht verankert, um den Eintrag der Stoffe in Boden und Gewässer von vorn herein zu vermeiden. Auch das Gefahrstoffrecht ist darauf ausgerichtet, den Menschen und die Umwelt von vornherein vor stoffbedingten Gefahren zu schützen.

Die Einstufung in Wassergefährdungsklassen und gemäß CLP-Verordnung (CLP= Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures) sind daher nicht dazu bestimmt und damit nicht geeignet, das Gefährdungspotenzial der Frac-Fluide bei gezielter Einleitung in den Untergrund zu bewerten. Sie können bestenfalls als Anhaltspunkte genutzt werden, um die Gefährdungspotenziale der Frac-Fluide nach einer Freisetzung in der Umwelt im Hinblick auf den Trinkwasserschutz und den Schutz aquatischer Ökosysteme zu bewerten.

Bei Stoffeinträgen an der Oberfläche ist die Stoffkonzentration an der Grundwasseroberfläche (Sickerwasser) zu betrachten. Dagegen ist bei einer möglichen Freisetzung aus dem Frac-Horizont (und entsprechendem Aufstieg der Stoffe) in Analogie die Basis des wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasserleiters als Ort der Beurteilung heranzuziehen.

Die Abschätzung der Stoffkonzentrationen kann nur standortspezifisch für mögliche Austrags- und Expositionsszenarien unter Verwendung geeigneter Modellansätze erfolgen, die alle relevanten hydraulischen und geochemischen Transport-, Mischungs-, Abbau- und Reaktionsprozesse entlang der Fließpfade im Untergrund berücksichtigen. Gegenwärtig stehen derartige Modelle in der geforderten Detailschärfe nicht zur Verfügung. Solange derartige Modelle fehlen, wird die Bewertung der Gefährdungspotenziale anhand der Stoffkonzentrationen im (unverdünnten) Frac-Fluid bzw. Formationswasser vorgenommen (UBA-Gutachten, Studie NRW). Im Gegensatz dazu wurde im Gutachten Dialog Wasser eine toxikologische Bewertung von Stoffkonzentrationen vorgenommen, die sich bei 1.000-, 10.000- und 100.000-facher Verdünnung der Frac-Fluide ergeben (Risikostudie Fracking).

Die Abschätzung der Gefährdungspotenziale erfolgt in einer Einzelstoffbewertung, indem stoffspezifische Risikoquotienten aus Stoffkonzentration und Beurteilungswert (GFS, LW, GOW oder PNEC) berechnet werden:

$$\text{Risikoquotient} = \frac{\text{Stoffkonzentration im Fluid}}{\text{Beurteilungswert}}$$

Während bei einem Risikoquotienten < 1 für den betreffenden Stoff kein Gefährdungspotenzial zu erwarten ist, ist bei einem Risikoquotienten ≥ 1 ein humantoxikologisches bzw. ökotoxikologisches Gefährdungspotenzial zu besorgen. Im Rahmen der Gutachten (UBA-Gutachten, Studie NRW) wird exemplarisch und nicht wissenschaftlich begründet bei einem Risikoquotienten > 1.000 von einem hohen Gefährdungspotenzial ausgegangen, das jedoch standortspezifisch anhand von Expositionsszenarien, z.B. unter Verwendung numerischer Modelle, zu überprüfen ist.

Da die Rezeptur der Frac-Fluide im Allgemeinen lagerstättenspezifisch zusammengestellt wird, kann die Bewertung ihrer Gefährdungspotenziale nur exemplarisch für ausgewählte Fluide erfolgen.

Schlussfolgerung

Die Bewertung ausgewählter in Deutschland eingesetzter Frac-Fluide hat ein erhebliches Gefährdungspotenzial, das von den eingesetzten Stoffen ausgehen kann, erkennen lassen.

In Anbetracht der aufgezeigten Wissenslücken und Datendefizite wurden spezielle Handlungsempfehlungen ausgesprochen, mit deren Hilfe die vollständige Bewertung der Frac-Fluide ermöglicht werden soll (UBA-Gutachten):

- Vollständige Offenlegung aller eingesetzten Stoffe bezüglich Stoffidentität und Stoffmengen.
- Bewertung der human- und ökotoxikologischen Gefährdungspotenziale der eingesetzten Stoffe und Bereitstellung aller hierfür notwendigen physikochemischen und toxikologischen Stoffdaten durch den Antragsteller. Datendefizite müssen ggf. unter Durchführung geeigneter Laborversuche oder Modellrechnungen behoben werden, die Wirkung von Stoffgemischen ist zu berücksichtigen.
- Substitution von besorgniserregenden Stoffen (insbesondere sehr giftige, kanzerogene, mutagene sowie reproduktionstoxische Stoffe), Reduktion bzw. Ersatz der Biozidwirkstoffe, Verringerung der Anzahl eingesetzter Additive, Reduktion der Einsatzkonzentrationen.
- Erfassung und Bewertung der Beschaffenheit der standortspezifischen Formationswässer bzgl. trinkwasserrelevanter Wasserinhaltsstoffe.
- Erfassung und Bewertung der Beschaffenheit des standortspezifischen Flowback bzgl. trinkwasserrelevanter Wasserinhaltsstoffe und bzgl. der eingesetzten Additive sowie von deren Transformationsprodukten; Erfassung und Bewertung des Anteils des zurückgeführten Frac-Fluids.
- Nachweis über Verhalten und Verbleib der Stoffe im standortspezifischen Untergrund durch Massenbilanzierungen der eingesetzten Additive.
- Stofftransportmodellierung zur Bewertung einer möglichen Gefährdung des Grundwassers im wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasserleiter durch möglicherweise aufsteigende Formationswässer und Frac-Fluide.
- Technische Aufbereitung und ‚umweltgerechte‘ Entsorgung des Flowback inkl. Darstellung der technisch möglichen Aufbereitungsverfahren und der Möglichkeiten einer Wiederverwendung der eingesetzten Stoffe. Im Fall einer Untergrundverpressung standortspezifische Risikobetrachtung und Darstellung der räumlichen und zeitlichen Summenwirkungen auf den Wasserhaushalt.
- Monitoring und Systemerkundung inkl. Errichtung von oberflächennahen Grundwassermessstellen zur Erfassung des Referenzzustands bzgl. Additive und Methan und evtl. Bau tiefer Grundwassermessstellen zur Erfassung der Beschaffenheit der Formationswässer und der Potenziale.

Diesen Handlungsempfehlungen schließt sich das HLUG in vollem Umfang an (siehe Kap. 6 Empfehlungen).

3.6. Beschaffenheit von Formationswässern und Grundwasserbeschaffenheit im Deckgebirge

Unter Formationswasser wird in den Gutachten das Wasser verstanden, das sich natürlich im Porenraum der Tonsteine, die den Zielhorizont bilden, befindet. Durch den Frac-Prozess kann es sich zusammen mit dem Flowback-Wasser aus dem Gestein lösen. In der Risikostudie Fracking wird das Formationswasser auch als Lagerstättenwasser bezeichnet.

Unter Grundwasserbeschaffenheit des Deckgebirges wird nach Definition des HLUG die jeweilige natürliche, möglicherweise in Oberflächennähe auch anthropogen beeinflusste Grundwasserbeschaffenheit in jedem einzelnen Grundwasserleiter oberhalb des Schiefergas-Horizontes verstanden. Im Zusammenhang mit Frac-Maßnahmen und deren nicht auszuschließenden Auswirkungen auf Grundwasserleiter oberhalb des Zielhorizontes ist die Grundwasserbeschaffenheit nach Ansicht des HLUG vor Beginn eventueller Aufsuchungs- oder Erschließungsmaßnahmen durch Fracking in jedem einzelnen Grundwasserleiter einer Beweissicherung zu unterziehen. Dies würde Grundwasserleiterspezifische Monitoring-Möglichkeiten (Grundwassermessstellen) erfordern.

Studie NRW

Die Studie NRW liefert längere Erläuterungen zur voraussichtlichen Beschaffenheit der Formationswässer in den beschriebenen Geosystemen. So wird z.B. für das Geosystem Ibbenbüren (Kohleflözgas/Schiefergas) eine Abschätzung der Beschaffenheit des Formationswassers im flözführenden Oberkarbon auf Grundlage der Grubenwasserbeschaffenheit im Steinkohlenbergwerk Ibbenbüren für Haupt- und ausgewählte Nebenkomponten vorgenommen. Umfassende chemische Analysen zu den Formationswässern aus den Tonsteinserien lagen den Gutachtern nach eigener Darstellung nicht vor. Tiefe Grundwässer würden meist im Rahmen der Erkundung von Kohlenwasserstoffen oder geothermischen Ressourcen sowie als Produktionsbegleitwässer bei der Erdöl- und Erdgasgewinnung beprobt und analysiert. Diese Wässer stammen aber nicht aus den Tonsteinhorizonten. Darüber hinaus seien sie in den seltensten Fällen frei zugänglich. Anhand des Flowback aus der Bohrung Damme 3 (in dieser Tiefbohrung wurden Tonsteine der Bückeberg-Formation [Wealden] gefrackt) wurden die Analysen gegen Ende der Rückförderung, für die ein Mischungsanteil der Formationswässer von ca. 90 % angenommen wird (Rosenwinkel et al. 2012, S. 30), für eine Aussage zur Formationswasserbeschaffenheit verwendet.

Für das Schiefergas-Geosystem „Rheinisches Schiefergebirge“, das hinsichtlich der Beschaffenheit von Formations- und Grundwasser mit dem Antragsfeld „Adler South“ vergleichbar ist, fehlen jedoch wohl aufgrund der schlechten Datenlage jegliche Angaben sowohl zu Formationswasserbeschaffenheit als auch zur Grundwasserbeschaffenheit der Deckschichten.

UBA-Gutachten

Im UBA-Gutachten werden keine bzw. nur sehr spärliche Angaben zu Formationswässern gemacht. Anhand von Beispielen werden lediglich Flowback-Wasser-Analysen aus Tight Gas-Lagerstätten sowie

analog zur Studie NRW Rückschlüsse auf die Formationswasserbeschaffenheit aus dem Flowback aus einer Schiefergas-Lagerstätte (Bohrung Damme 3) vorgestellt. In den geologischen Systemanalysen werden keinerlei Überlegungen zur Beschaffenheit der Grundwässer im Deckgebirge angestellt.

Risikostudie Fracking

Das Arbeitsgruppengutachten der Risikostudie Fracking „Abschätzung der Auswirkungen von Frac-Maßnahmen auf das oberflächennahe Grundwasser - Generische Charakterisierung und Modellierung-“ ist darauf ausgelegt, für die Erkundungsgebiete Niedersächsisches Becken und Münsterländer Kreidebecken die Fragen der Dimension der Stoffausbreitung zu beantworten und daraus allgemein anwendbare Strategien und Systematiken zur Abschätzung der zu erwartenden Risiken bei dem Einsatz der Frac-Technologie für die Erschließung unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten abzuleiten.

Bei der hierfür verwendeten Beschreibung von konzeptionellen hydrogeologischen Modellen für das Niedersächsische Becken und das Münsterländer Kreidebecken werden pauschale Angaben zur Grundwasserbeschaffenheit gemacht, die auf Literaturzitate beruhen, so z.B. für das Münsterländer Kreidebecken, für das folgende Beschaffenheitstypen beschrieben werden:

- Oberflächennahes, gering mineralisiertes Wasser vom Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃-Typ,
- stark mineralisiertes, tiefes Grundwasser vom Na-Ca-(Mg)-Cl- bzw. Na-Cl-Typ in dem Kreide-Grundwasserleiter,
- stark mineralisiertes, tiefes Grundwasser vom Na-Ca-(Mg)-Cl- bzw. Na-Cl-Typ in den wasserführenden Partien des Karbons,
- sekundär durch Bergbaueinfluss aufgrund von Sulfid-Oxidation verändertes Grundwasser vom Ca-Mg-SO₄-Typ.

Für die in dem Gutachten durchgeführten numerischen Simulationen bei verschiedenen „Settings“ (Typlokalitäten) wurde u. a. ein 1-Phasen (Wasser), 2-Komponenten (Wasser und konservativer Tracer) Modell verwendet. Als Parameter für den Stofftransport gingen die Dichte des Salzwassers, die Temperatur, die Salinität und der Diffusionskoeffizient für Salz und einen konservativen Tracer in der Wasser-Phase ein.

Für weitere Simulationen wurde ein 2-Phasen (Wasser und Methan), 2-Komponenten (Wasser und Methan) Modell verwendet. Hier gingen folgende Parameter ein:

Dichte Salzwasser, Dichte Methan, Viskosität Salzwasser, Viskosität Methan, Löslichkeit von Methan in Salzwasser, Löslichkeit von Wasser in Methan, relative Permeabilität Salzwasser, relative Permeabilität Methan, Kapillar-Druck, Diffusionskoeffizient für Wasser in Methan-Phase, Diffusionskoeffizient für Methan in Wasser-Phase.

Schlussfolgerung

Nur die Risikostudie Fracking zeigt beispielhaft, wie wichtig die Kenntnis der natürlichen Formationswasserbeschaffenheit und der Grundwasserbeschaffenheit im Deckgebirge ist, um mögliche stoffliche Auswirkungen zu simulieren und so Veränderungen rechtzeitig erkennen zu können. Eine genaue

Kenntnis der Grundwasserbeschaffenheit oberhalb und auch seitlich des Schiefergas-Horizonts mit einiger Zeit Vorlauf vor einer Erschließung durch Fracking ist notwendig, um Veränderungen von Wasserwegsamkeiten im Gebirge oder über Bohrungen rechtzeitig erkennen zu können. Hierfür muss ein hydrogeologisches konzeptionelles Modell (hydrogeologische Systembeschreibung) vorliegen, um ein an die geologischen Verhältnisse angepasstes Monitoringnetz rechtzeitig zu installieren.

Wenn höher mineralisierte Grundwässer vom Benutzungstatbestand des WHG betroffen sind, können in den meisten Fällen nicht mehr die Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA 2004) zur Beurteilung von Auswirkungen herangezogen werden. Das HLUG empfiehlt, bei eventuellen Aufsuchungsmaßnahmen hier den natürlichen Hintergrundwert zu ermitteln und daraus entsprechend des „Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment“ (European Commission, DG Environment 2009) Schwellenwerte abzuleiten.

Im Hinblick auf die Behandlung und Entsorgung der Flowback-Wässer ist die Kenntnis der natürlichen Fluidbeschaffenheit im Zielhorizont (Formationswasser) sowie der geochemischen und mineralogischen Parameter des erdgasführenden Tonsteins schon in der Anfangsphase einer Erkundung (z.B. bei ersten Erkundungsbohrungen) wichtig. So können frühzeitig Hinweise auf mögliche Reaktionsprodukte mit den Frac-Fluiden und auf die mögliche Bildung von schwermetallhaltigen oder radioaktiven Ausfällungen (Scales) in den Anlagenteilen erhalten werden und in die Planungen eingehen.

3.7. Seismizität

Das Thema Seismizität wird in den drei Gutachten unterschiedlich abgearbeitet:

UBA-Gutachten

„Explizit nicht Gegenstand der UBA-Gutachten-Studie sind unter anderem Auswertungen und Analysen zu dem Sachverhalt potenzielle seismische Auswirkungen, resultierend aus Fracking und/oder Versenkung des Flowback (Disposal).“ (Zitat UBA-Gutachten, S. 1, Einleitung).

Risikostudie Fracking

Hier existiert ein Kurzgutachten „Kurzstudie zur seismischen Gefährdung durch Erdgasförderung in Norddeutschland“ von Prof. Joswig (Universität Stuttgart). Hessen wurde in diesem Zusammenhang nicht betrachtet. Es wurden keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. Damit erfolgte die Bewertung auf Basis öffentlich zugänglicher Informationen mit dem Fokus auf mittlere bis große Erdbeben. Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass für Norddeutschland eine Zuordnung einzelner Beben als induziert oder tektonisch nicht mit Sicherheit erfolgen kann. In diesem Zusammenhang wird eine Verbesserung der seismischen Überwachung und der physikalischen Modellierung der Lagerstättendynamik für die Zukunft gefordert. Beim Zusammentreffen von ungünstigen Faktoren (z.B. in tektonisch aktiven Gebieten) wird empfohlen, die Überwachung nach einem Ampel-Konzept durchzuführen (siehe auch Pater et al. 2011). Damit sei der Ausschluss möglicher zukünftiger seismischer Ereignisse denkbar.

Studie NRW

In dieser Studie wird das Thema Seismizität nur im Kap. 8 wie folgt beschrieben: Mit Hinweis auf das BGR-Gutachten (2012) wird von „vereinzelten Hinweisen auf mögliche Zusammenhänge zwischen einzelnen induzierten seismischen Ereignissen und Frac-Vorgängen“ gesprochen. „Insbesondere in Formationen mit großflächigen Störungen, die auch unter tektonischen Spannungen stehe, kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese durch induziertes hydraulisches Fracken aktiviert werden. In diesen nicht eindeutig dem Frac-Vorgang zuzuordnenden Erschütterungen sind Werte bis 2,3 auf der Richterskala ausgelöst worden (sog. getriggerte Erdbeben, s. bspw. Pater et al. 2011). Im Kap. 11 (Monitoring, S. 5) wird der Aufbau einer fachlichen Struktur des Monitoring auch in dem Arbeitsfeld Seismizität empfohlen (siehe Tabelle 3.1, Spalte 3 zur Seismizität.).

Tab. 3.3: Beispielhafte Struktur für eine weitere Systemerkundung im Geosystem Münsterland (Phase A, aus Studie NRW, Kap. 11, S. 7.

Arbeitsfeld Elemente	Gas	Wasser	Seismizität
Infobedarf	Erfassung des Ist-Zustandes: Art des Gases (thermogen/biogen) im Emscher Mergel und natürliche Gasauftiege (Wo? Wie? Jahresgang?). Nullmessung im oberflächennahen Grundwasser Wirkungszusammenhänge bei der Erkundung und Förderung (Drucksenke bei/nach Förderung?)	Erfassung des Ist-Zustandes: Großräumige, hydrogeologische Systemzusammenhänge (Cenoman/Turon Kalk, Solesystem, Quellen) im Ist-Zustand und langfristig/regional Hydrochemie Formationswässer Regionale und lokale Bedeutung (Durchlässigkeit und Potenzialdifferenzen) der Wirkungspfadgruppen 1 (Bohrungen) und 2 (Störungen)	Erfassung des Ist-Zustandes: Historie der seismischen Ereignisse und räumliche Verteilung Wirkungszusammenhänge Seismizität / Energieeintrag Fracking Art und Zustand von Schutzgütern (z.B. Gebäude)
Untersuchungsstrategie	Flächenhafte Erkundung, Modellierungen	Erkundung der Grundwasserfließsysteme, der Durchlässigkeiten und Potenzialverteilungen, u. a. tiefe Bohrungen (ohne Fracks) sowie Modellierungen (Abschnitt 11.4) Ausschluss und ggf. Festlegung von Standorten	Literaturauswertung
Indikatoren	Messungen, Modellierungsergebnisse (Abschnitt 11.4)	Modellierungsergebnisse (Abschnitt 11.4) Ggf. Potenzialentwicklung im Förderbereich	Seismische Ereignisse
Mögliche Schlussfolgerungen, z.B. für die Risikoanalyse und das weitere Vorgehen (Kriterien für Entscheidungspunkt 1 gemäß Abb. 13.1)	Keine Hinweise aus Modellierungen auf Erhöhung bzw. sogar Verringerung der Methangehalte in der Auflockerungszone Fortsetzung der Erkundung mit den Phasen A und ggf. B1	Stationäres Solesystem ohne hydraulische Kontakte zur Auflockerungszone und den Quellbereichen Fortsetzung der Erkundung mit den Phasen A und ggf. B1	Keine Hinweise auf erhöhtes Risiko (Induzierung und Auslösung von Beben) Fortsetzung der Erkundung mit den Phasen A und ggf. B1
	Hinweise aus Modellierungen von möglichen erhöhten Gasmigrationen Fortsetzung der Erkundung mit der Phase A	Nachweis von regional zirkulierenden tiefen Solefließsystemen Potenzialauftiege reichen bis in die Auflockerungszone Fortsetzung der Erkundung mit der Phase A	Hinweise auf erhöhtes Risiko für fühlbare Beben (Induzierung und Auslösung von Beben) Fortsetzung der Erkundung mit der Phase A
	Hohe Wahrscheinlichkeit von einer signifikanten Erhöhung der Gasmigration aus den Modellierungen Abbruch der Erkundungen	Artesische Verhältnisse Nachweis von regional zirkulierenden tiefen Solefließsystemen mit relevanten Aufstiegswegen im Kontakt zur Förderzone, zur Auflockerungszone und den Quellbereichen Risiko der Schaffung von großräumigen Wegsamkeiten durch Fracking für die Zirkulation von tiefen Systemen Abbruch der Erkundungen	Hinweise auf erhöhtes Risiko für Schadensbeben (Induzierung und Auslösung von Beben) Abbruch der Erkundungen

Zum Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis zur Aufsuchung von Kohlenwasserstoffen zu gewerblichen Zwecken im Erlaubnisfeld „Adler-South“ wurde vom HLOG (Az. 89 0748-32/12 vom 02.04.2012) wie folgt Stellung bezogen:

„Unter Umständen kann in dem geplanten Gebiet die, allerdings schwache, natürliche Seismizität bei den notwendigen hydraulischen Stimulationsverfahren beeinflusst werden. Es besteht die Möglichkeit, dass die entstehenden Erschütterungen die Wahrnehmbarkeitsschwelle an der Erdoberfläche überschreiten. Das Auftreten von induzierter Seismizität hängt im Einzelnen von der geologischen Umgebung (Kristallin oder Sedimentgestein), den tektonischen Spannungen, Injektionsdrucken bzw. Fließraten und wahrscheinlich auch der Größe des stimulierten Riss-Systems ab. Das Auftreten von induzierter Seismizität wird aber bis zu einem gewissen Grad als beurteilbar, prognosefähig und zum Teil als beeinflussbar angesehen. Schlüssel hierzu sind laufende Messungen und Kontrolle des in die Tiefe eingebrachten Injektionsdrucks und ein seismologisches Monitoring in der Umgebung der Boh-

zung. Gegebenenfalls sind die Injektionsdrucke bzw. Injektionsmengen zu reduzieren. In diesem Zusammenhang wird auf den bereits weiter oben erwähnten „Leitfaden Tiefengeothermie: Planung und Durchführung von Projekten – Bergrechtlicher Teil“ hingewiesen. Da auch bei dem hier geplanten Vorhaben Bohrungen stimuliert werden sollen, ist dieser Leitfaden sinngemäß zu verwenden. Es wird auf den in der Einführung zu dem Leitfaden erläuterten Grundsatz hingewiesen, dass der Antragsteller von Anfang an die Anforderungen der folgenden Arbeitsschritte im Blick hat und diese auch beschreibt. Dies ist insbesondere bei der möglichen induzierten Seismizität durch Stimulation von Bohr-
löchern, wie diese auch in vergleichbaren Zusammenhängen vorgekommen ist, der Fall (z.B.: Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity: <http://hwbpc.org.uk/Seismic%20Report%20Executive%20Summary%2002-11-11.pdf>).

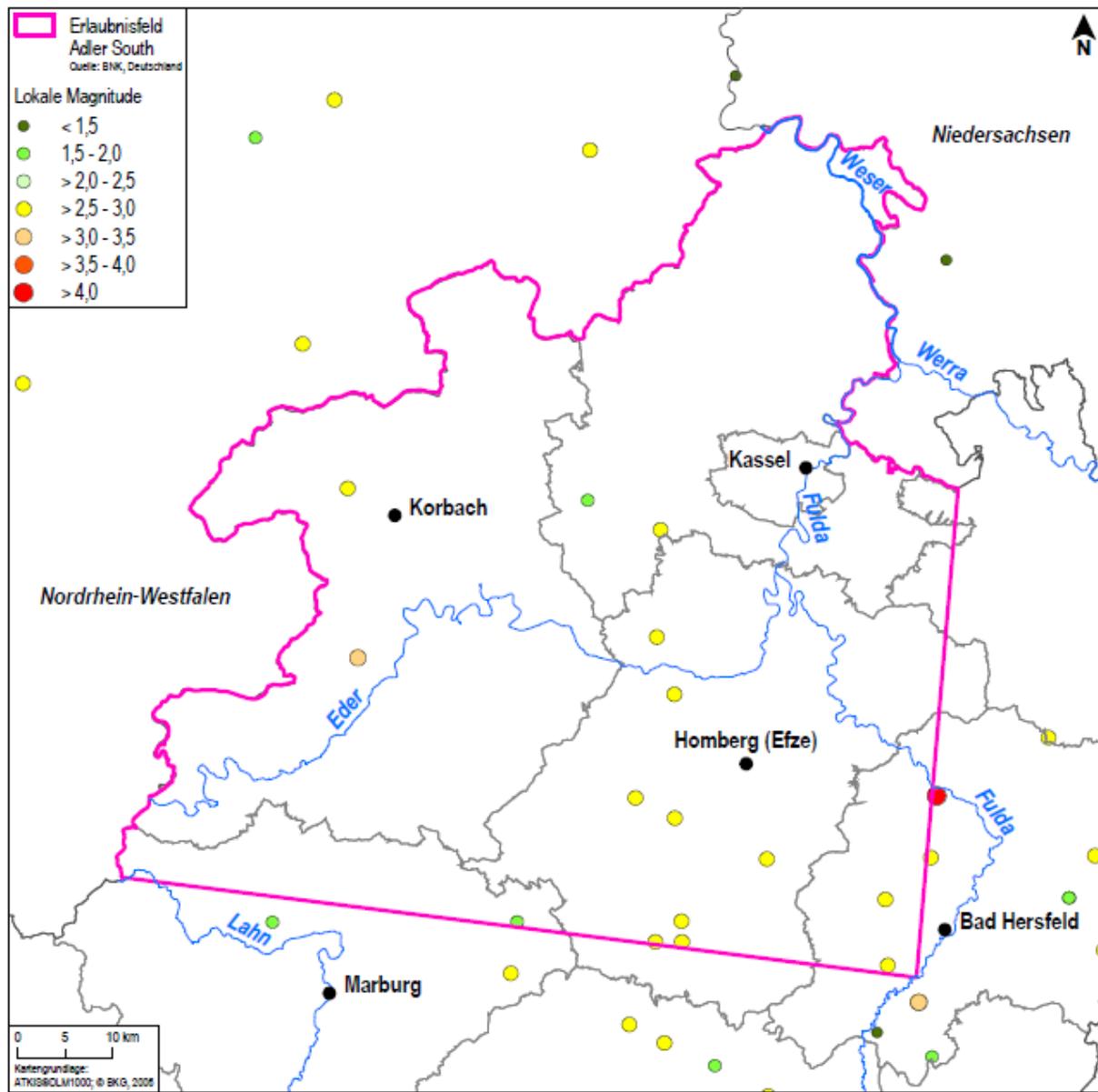


Abbildung 3.4: Erdbebenereignisse in dem beantragten Gebiet und in unmittelbarer Nachbarschaft aus dem Seismischen Katalog Hessen, für den Zeitraum von 858 bis 2011 (SKHE2012).

Schlussfolgerungen

Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft (siehe auch BGR-Studie) kann zusammenfassend folgendes festgestellt werden:

- Auch in Gebieten mit schwacher seismischer Aktivität ist es empfehlenswert, Untersuchungen durchzuführen, um eine mögliche Gefährdung durch Erdbeben im Zusammenhang mit dem Fracking auszuschließen.
- Da mögliche durch das Fracking ausgelöste Ereignisse in vergleichsweise geringen Herdtiefen stattfinden, sind deren Auswirkungen an der Erdoberfläche größer als bei gleichstarken natürlichen Erdbeben in größeren Tiefen.
- Das von BNK Deutschland GmbH beantragte Aufsuchungsfeld „Adler South“ liegt in einem Bereich schwacher seismischer Aktivität (siehe die folgende Abbildung 3.4 aus dem Seismischen Katalog Hessen, SKHE2012, der einen Zeitraum von 858 bis 2011 abbildet). Würde die Aufsuchung erlaubt, wird in einem Gebiet mit schwacher seismischer Aktivität empfohlen (siehe oben Stellungnahme des HLUG), bei geplantem Bohren und Stimulieren diese mit einem seismischen Monitoring und mit einem Eingreifplan (Ampelsystem) nach dem Stand der Wissenschaft zu begleiten.

4. Methodik der geologisch-hydrogeologischen Beschreibung, Datengrundlagen und betrachtete geologische Einheiten

UBA-Gutachten und Studie NRW

Im UBA-Gutachten und in der Studie NRW wurden die potenziellen Vorkommen in Geosysteme untergliedert, die einer hydrogeologischen „Systemanalyse“ unterworfen werden. Unter Geosystem, im UBA-Gutachten auch Typlokalität genannt, wird ein (weitgehend in sich abgeschlossener) Raum mit vergleichbaren geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen verstanden.

In der Studie NRW wurden 6 Geosysteme mit vermuteten Vorkommen an unkonventionellem Erdgas unter geologischen, strukturellen und hydrogeologischen Gesichtspunkten beschrieben. Bei den Beschreibungen wird hinsichtlich ihrer Detailgenauigkeit und damit auf ihre Verwendbarkeit für Aussagen zum Potenzial und zur Gefährdung bei Aufsuchung und Erschließung von unkonventionellen Lagerstätten deutlich, dass diese von der Güte und Zahl der verwendeten Daten stark abhängig ist und in vielen Gebieten für eine Beurteilung nicht ausreicht.

Folgende Geosysteme werden in der Studie NRW behandelt:

- Geosystem Kohleflözgas Münsterland (gleiches Geosystem wie im UBA-Gutachten, aber hier wesentlich detaillierter beschrieben)
- Geosystem linker Niederrhein (Kohleflöz- und Schiefergas)
- Geosystem Ibbenbüren (Kohleflözgas/Schiefergas)
- Geosystem Rheinisches Schiefergebirge (Schiefergas)
- Geosystem Weserrandgebirgsmulde (Schiefergas)
- Geosystem Osnabrücker Bergland (Schiefergas)

Im UBA-Gutachten werden folgende Geosysteme beschrieben:

- Nordwestdeutsches Becken (Tight Gas)
- Münsterländer Becken (Kohleflözgas, wie in der Studie NRW, aber weniger detailliert)
- Süddeutsches Molassebecken (Schiefergas)
- Harz (obwohl nicht klar ist, ob dort wirtschaftliche gewinnbare Schiefergas-Vorkommen vorhanden sind)

Für die jeweiligen Geosysteme wurden im UBA-Gutachten auch besondere Fragestellungen tabellarisch aufgelistet, die die Risikoanalyse betreffen. So werden z.B. für den Harz die Lage der Zielhorizonte, die Existenz und Durchlässigkeit durchgehender Störungen und der Aufstieg von Solewässern als besondere Fragestellungen gesehen.

Die hydrogeologische Systemanalyse enthält Informationen zu:

- den räumlichen Verteilungen verschiedener Parameter wie Mächtigkeit und Durchlässigkeit,
- den Druckpotenzialen und hydrochemischen Verhältnissen,
- den Volumenströmen (Zu- und Abflüsse) zwischen den Grundwasserstockwerken und den Flüssen (Zufluss- und Abflussgebiete),
- den relevanten Wirkungspfaden und Hauptmerkmalen der Systemdynamik (z.B. Fließrichtung) im Ist-Zustand und bei Eingriffen/Veränderungen.

Für einen Vergleich mit der Situation im Antragsfeld „Adler South“ sind in erster Linie folgende Geosysteme geeignet:

- Geosystem Nordwestdeutsches Becken: Unkonventionelle Erdgasvorkommen werden a) im Nordwestdeutschen Becken im Zielhorizont der Sandsteine des Rotliegend, die das flözführende Oberkarbon (Erdgas-Muttergestein) überlagern, und b) im Norddeutschen Becken im jurassischen Posidonienschiefer und im Wealden der Unterkreide vermutet (BGR 2012). Diese Vorkommen liegen oberhalb der Barriere der Zechsteinsalze.
- Geosystem Harz: Der Harz wird beispielhaft für ein potenzielles Schiefergas-Vorkommen im paläozoischen Festgesteinsbereich beschrieben. Eine Erkundung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit des gewinnbaren Schiefergases fehlt bislang. Warum im Einzelnen der Harz als Typlokalität ausgewählt wurde, ist nur über einen Verweis auf die BGR-Studie begründet worden. Der Harz ist dort als ein Gebiet benannt, in dem potenziell gasführende Gesteine auftreten. Dieser Verweis ist nicht aussagekräftig, da dort im Kapitel zur geologischen Bewertung des Unterkarbons hinsichtlich potenzieller Schiefergas-Vorkommen der Harz nur aufgezählt wird als eine Typlokalität, in der karbonische Schichten oberflächennah ausstreichen.

Grundsätzlich ist das Vorgehen im UBA-Gutachten und in der Studie NRW, bei einer geplanten Maßnahme zur Aufsuchung und Erschließung von Schiefergas eine hydrogeologische Systemanalyse eines Geosystems vorzunehmen, richtig. Bei den Staatlichen Geologischen Diensten ist dies auch bei allen anderen den Untergrund betreffenden Projekten allgemein üblich und seit Jahren Standard, so auch am HLUG. Abhängig von der Größenordnung der Projekte, den von den Projekten ausgehenden Risi-

ken auf die Umwelt, dem Datenstand sowie dem Entwicklungsstand eines Projekts ist die Intensität der Betrachtung unterschiedlich.

Die im UBA-Gutachten und in der Studie NRW vorgenommene „hydrogeologische Systemanalyse“ ist dabei nichts anderes als das vom HLUG in der Stellungnahme (Az.: 89 07 48 – 32/12 Ab, vom April 2012) zum Aufsuchungsantrag der BNK Deutschland GmbH für das Feld „Adler South“ geforderte konzeptionelle hydrogeologische Modell, das dort wie folgt definiert wurde:

„Ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell beschreibt bzw. quantifiziert räumlich die relevanten geologischen Gegebenheiten, die hydraulischen Charakteristika der Grundwasserleiter, hydrochemische Prozesse, anthropogene Einflüsse und ihre Auswirkungen. Detaillierungsgrad und räumliche Größe hängen von den Phasen ab, in denen sich das Projekt befindet. In der Anfangsphase – der Beantragung einer Aufsuchungserlaubnis – ist oft ein deskriptives qualitatives Modell ausreichend, das geologische Einheiten räumlich in hydrogeologische Einheiten einstuft und somit das System in Grundwasserleiter und -nichtleiter mit ihren jeweils speziellen hydraulischen und hydrochemischen Eigenschaften gliedert. Wichtig ist hier die Darstellung hydraulischer Barrieren zu den in Frage kommenden Zielhorizonten. Für den Schritt „Hauptbetriebsplan zur Aufsuchung“ ist eine textliche und/oder auch bildliche, übersichtshafte Schilderung (Schnitte, Blockbilder, Isolinienpläne) der wichtigsten geologischen/hydrogeologischen Einheiten des Zielhorizonts sowie oberhalb und unterhalb ihrer Lage im Raum und sowie ihrer hydraulischen Eigenschaften (Porosität, Permeabilität, Klüftung, Temperaturen) aus den zum Zeitpunkt der Beantragung in der Literatur vorhandenen Angaben ausreichend. In jeder darauffolgenden Projektphase ist das konzeptionelle Modell anhand neu gewonnener Daten zu verfeinern. Dies reicht bis hin zu einer quantitativen rechnergestützten numerischen Modellierung der hydraulischen, hydrochemischen und thermischen Prozesse wenn z.B. ein Hauptbetriebsplan für die Gewinnung eingereicht wird. Damit sollen vor Stimulationsmaßnahmen und später für die Phase einer Gewinnung die zeitlich-räumlichen Auswirkungen der im Zielhorizont und in den angrenzenden hydrogeologischen Einheiten hydraulisch und hydrochemisch modelliert und für verschiedene Betriebszustände simuliert werden können.“

Zudem wird auf den vom RP Darmstadt und dem HLUG gemeinsam erstellten „Leitfaden Tiefengeothermie –Planung und Durchführung von Projekten“ verwiesen, in dem diese Forderungen ebenfalls gestellt werden.

Risikostudie-Fracking

Die Risikostudie-Fracking nimmt eine derartige Beschreibung zwar vor, nennt sie aber nicht hydrogeologische Systemanalyse von Geosystemen. Im Arbeitsgruppengutachten „Abschätzung der Auswirkungen von Frac-Maßnahmen auf das oberflächennahe Grundwasser- Generische Charakterisierung und Modellierung“ (Hauptautoren: Sauter, Helmig, Schetelig) werden das Münsterländer Becken und das Niedersächsische Becken behandelt. Die untersuchten Gebiete werden „hydrogeologische Systeme“ genannt. Untersucht und durch einzelne Kapitel mit Darstellungen der Geologie, der Tektonik, der bergbaulichen Nutzung, der Hydrogeologie und eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells erläutert werden das Münsterländer Kreidebecken (erkundet auf Flözgas) und das Niedersächsische Becken (erkundet auf Schiefergas). Innerhalb dieser hydrogeologischen Systeme werden sogenannte „geologische Settings“, auch „Typstandorte“ oder „lokale Standortmodelle“ genannt, genauer untersucht, um sowohl der lokalen Variabilität hydrogeologischer Gegebenheiten, als auch der Möglichkeit der Generalisierung von Ergebnissen zu entsprechen.

Diese sollen laut Risikostudie Fracking,

- das Spektrum lokaler, geologischer und hydrogeologischer Kompartimente, wie z.B. der Aquifer- und Barriere-Formationen abdecken,
- die natürliche geologische und hydrogeologische Variabilität berücksichtigen,
- die Fließsysteme auf die Elemente reduzieren, die für die Simulation des Migrationsprozesses relevant sind und
- eine Basis für die effiziente Umsetzung der mathematischen Modellierung bilden.

Es werden zwei Lagerstättentypen in den Untersuchungsregionen unterschieden:

- Flözgas-Lagerstätte (Münsterländer Becken),
- Schiefergas-Lagerstätte (Niedersächsisches Becken).

Der Antrag der BNK Deutschland GmbH verfolgt die Gewinnung von Schiefergas in Hessen. Daher ist nur dieser Lagerstättentyp für die Betrachtung dieses Gutachtens relevant.

Die geologischen Abfolgen über den Zielhorizonten in der Risikostudie Fracking stellen einerseits Jura-/Kreide-Abfolgen und andererseits Gesteinsschichten des Zechsteins, Buntsandsteins, Muschelkalks (Trias) und Jura-/Kreide-Abfolgen dar. Als Barrieregesteine werden im Niedersächsischen Becken hauptsächlich die Salz-, Anhydrit- und Gipslagen des Zechsteins angesehen.

Die Deckschichten werden in ihrer Schichtabfolge allgemein vom Zechstein bis zum Quartär kurz beschrieben, konkrete Mächtigkeitsangaben fehlen (Kap. 2.1.2). Die tektonischen Verhältnisse werden kurz in Kap. 2.1.4 skizziert, auf die hessischen Verhältnisse sind diese aber nicht übertragbar, da die potenziellen Zielhorizonte im Antragsfeld „Adler South“ paläozoische Gesteine sind, die intensiv gefaltet, zerschert und tektonisch beansprucht wurden.

Die hydraulische Funktion der Deckschichten in einem ausgeprägten hydrogeologischen Stockwerksbau ist ebenfalls allgemein in Kap. 2.2.3 dargestellt. Das genutzte Grundwasser wird aus maximal 300 m Tiefe entnommen. Der Austausch von Tiefengrundwasser in höhere Grundwasserstockwerke ist über einen natürlichen Aufstieg von salzhaltigen Grundwässern insbesondere an tief eingeschnittenen pleistozänen Rinnen bekannt. Im Norddeutschen Becken werden 7 Typen von salinaren Wässern unterschieden (Huenges et al. 1997).

Eine derartige detaillierte Einstufung von salinaren Tiefwässern ist bislang in Hessen nicht vorgenommen worden, was zum großen Teil am Mangel von Daten aus größeren Tiefen liegt.

Die Variablen, welche dann für eine detailliertere Beschreibung die Auswahl bzw. Definition der Settings (Typlokalitäten) bestimmen, umfassen:

- die regionale Zuordnung,
- die Mächtigkeit des Deckgebirges,
- die Präsenz von permeablen Störungszonen sowie
- die Präsenz abdichtender Salz-Formationen.

Da für die Definition der Settings detaillierte, geologische Datensätze erforderlich sind, wurden sie generell an einer im Umfeld vorhandenen Bohrung bzw. in ein bekanntes, hochauflösendes geologisches Profil eingehängt.

Für die Typlokalität Kohleflözlagerstätte (Setting Borken) im Münsterländer Kreidebecken werden z.B. tabellarisch Mächtigkeiten und wichtigste hydraulische Eigenschaften des Zielhorizonts und seiner Überdeckung dargestellt (siehe Tab. 4.1). Diese Art der Darstellung ist sehr anschaulich und kann als Vorbild für die Darstellung der Situation im hessischen Antragsfeld „Adler South“ dienen (vgl. Kap. 5.1.5 und 5.2 dieser Stellungnahme).

Tab. 4.1: Hydraulische Eingangsparameter der Modellierung für das Setting Borken (aus Studie NRW)

Lagerstättentyp/Horizont: Coal bed methane - CBM - Flözgas / Oberkarbon								
Explorationsgebiet: Münsterländer Kreidebecken								
Setting: Borken: geringere Deckgebirgsmächtigkeit, ohne Störungzonen								
Teufe [m u GOK]	Stratigraphie	Einheit	Lithologie	Mächtigkeit [m]	hydraulische Eigenschaften			Bemerkung
					Kf horizontal [m/s]	Kf vertikal [m/s]	effektive Porosität [-]	
25	Quartär	Quartär	Tone, Sande	25	1,0E-04	1,0E-04	0,2	Aquifer
200	Oberkreide	Santon Coniac	Kalkstein, Mergelstein im Wechsel (<i>Emscher Mergel</i>)	175	1,0E-06	1,0E-06	0,001	Hemmer/ Stauer
300	Oberkreide	Cenoman Turon	Kalkstein; Kalkstein, Mergelstein im Wechsel	100	1,0E-06	1,0E-06	0,01	Aquifer Verkarstung möglich
400				100	5,0E-07	1,0E-09	0,01	
450	Unterkreide	Alb	im Hangenden Mergelstein, im Liegenden Tonstein/Ton- schiefer, Sandstein	50	1,0E-08	1,0E-09	0,006	Hemmer/ Stauer
800	Untertrias	Bunt- sandstein	Oberer BST: Tonstein/ Tonschiefer, Anhydrit; Mittlerer BST: Tonstein/ Tonschiefer, zwischen- geschaltete Sandsteine; Unterer BST: Tonstein/ Tonschiefer, untergeordnet Sandstein	350	1,0E-08	1,0E-10	0,009	Hemmer/ Stauer, Störung Basis Buntsand- stein
810	Perm	Zechstein	Dolomit	10	1,0E-07	1,0E-07	0,001	Hemmer/ Stauer, Störung Basis Zechstein
960	Oberkarbon	Westfal C	Tonstein/Tonschiefer - Sandstein - Wechselfolge, Kohle	150				Zielhorizont

Anschließend erfolgt eine numerische Modellierung des Transports von Frac-Fluiden, Lagerstättenwasser und Methan für drei münsterländer und vier niedersächsische Settings. Folgende Szenarien werden untersucht (Risikostudie Fracking):

1. Eine kurzzeitige, lokale (Bohrlochmaßstab) Fließphase, die den aufwärtsgerichteten Transport während der Frac-Operation beschreibt (mögliche Migration von Frac-Fluiden und Methan während des Frac-Vorgangs in Grund- und Tiefenwasserleiter über der gasführenden Schicht).
2. Ein langzeitiger, regionaler (Beckenmaßstab) Stofftransport, der die Ausbreitung der Frac-Fluide im tiefen Karbonatgrundwasserleiter des Münsterländer Kreidebeckens über Jahre und Jahrzehnte beschreibt (Langzeittransport der Frac-Fluide entlang eines natürlichen horizontalen Gradienten).
3. Ein langzeitiger Migrationsprozess, der den Aufstieg von Methan aus dem Lagerstättenbereich nach Abschluss der aktiven Erdgasförderung in Richtung Atmosphäre

beschreibt (Langzeittransport (100 Jahre) von Methan aus der gasführenden Schicht durch das Deckgebirge).

Für das Szenario 1 werden z.B. verschiedene vertikale Migrationslängen (Aufstiegshöhen) unter Annahme unterschiedlicher Überdrücke und Störungspemeabilitäten für alle Settings tabellarisch wiedergegeben.

Entsprechende Betrachtungen sind in den beiden anderen Gutachten nicht Geologie-spezifisch, sondern an Wirkungspfaden orientiert. Insofern ist deren Betrachtung wesentlich theoretischer.

Die Darstellungen der Geosysteme in der Risikostudie Fracking sind durch die beschriebene Vorgehensweise wesentlich detaillierter als in den beiden anderen Gutachten, beschränken sich aber auch naturgemäß auf ein Beispiel einer Bohrung und deren näherer Umgebung mit sehr gut bekannten Parametern. Selbstverständlich ist der Genauigkeitsgrad immer auch eine Frage der zur Verfügung stehenden Informationen, die naturgemäß für die ausgewählten Gebiete mit zahlreichen Untergundaufschlüssen (Steinkohlenbergbau im Münsterländer Becken, Erdöl/Erdgasförderung im Niedersächsischen Becken) besser ist als in einigen Gebieten, die für die beiden anderen Gutachten ausgewählt wurden und auch wesentlich besser ist als im Antragsfeld „Adler South“.

Neben der Darstellung der Geosysteme ist es von großer Wichtigkeit, konkurrierende Nutzungen des Untergrundes schon in der Frühphase in die Planung einer möglichen Aufsuchung einzubeziehen und sie in die Antragsunterlagen aufzunehmen. Das HLUG kann hier z.B. Karten zur Verfügung stellen, die die Grundwassernutzung durch Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete sowie Mineralwassernutzung, aber auch andere Nutzungen, wie z.B. unterirdische Gasspeicherung oder Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten darstellen. Ausschlussgebiete können so von vorneherein berücksichtigt werden. Die Abbildungen 4.1 und 4.2 zeigen Beispiele. Mögliche Erweiterungen derartiger Karten um weitere geowissenschaftlich relevante Themen könnten z.B. fehlende oder ungenügende Barrierschichten im Untergrund, Gebiete mit starker tektonischer Beanspruchung (Störungen) oder Ähnliches beinhalten.

Schlussfolgerungen

Die Vorgehensweisen in allen drei Gutachten sind geeignet, ein Vorhaben zur Erschließung und Gewinnung unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten zu beschreiben und zu beurteilen, insbesondere, wenn sie kombiniert werden und im Ablauf des Verfahrens zunehmend an Detailschärfe gewinnen. Dies entspricht der im „Leitfaden Tiefengeothermie“ vorgenommenen stufenweisen Verfeinerung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells im Verlaufe des Fortschritts einer Maßnahme. Das Gutachten „Dialog-Prozess“ veranschaulicht dabei am besten wie in der Praxis die fachlichen Beurteilungen vorgenommen werden können.

So ist es gut vorstellbar, innerhalb der hessischen geologisch-hydrogeologischen Potenzialräume, anhand geologisch-hydrogeologischer „Settings“ zu definieren, wie die Datenlage ist und welche Daten erhoben werden müssen, um eine Risikoanalyse vorzunehmen. Die hessischen Potenzialräume (siehe Kap. 5.2) entsprechen dabei begrifflich den hydrogeologischen Systemen der Risikostudie Fracking und den Geosystemen aus der Studie NRW und dem UBA-Gutachten.

Die Beschreibungen der Geosysteme bzw. hydrogeologischen Systeme in den einzelnen bestehenden Gutachten sind allerdings nicht auf Hessen übertragbar, da die hessischen geologischen Verhältnisse im beantragten Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH erhebliche Unterschiede aufweisen. Hier wäre – ergänzend zu der in den Gutachten empfohlenen Vorgehensweise – eine spezielle Beschreibung erforderlich.

Wichtig sind schon in der Frühphase eventueller Planungen Betrachtungen zu möglichen Nutzungskonflikten und geologisch-hydrogeologischen Risiken. Hierzu können die im HLUG vorhandenen Daten und das Fachwissen einen substantiellen Beitrag liefern.

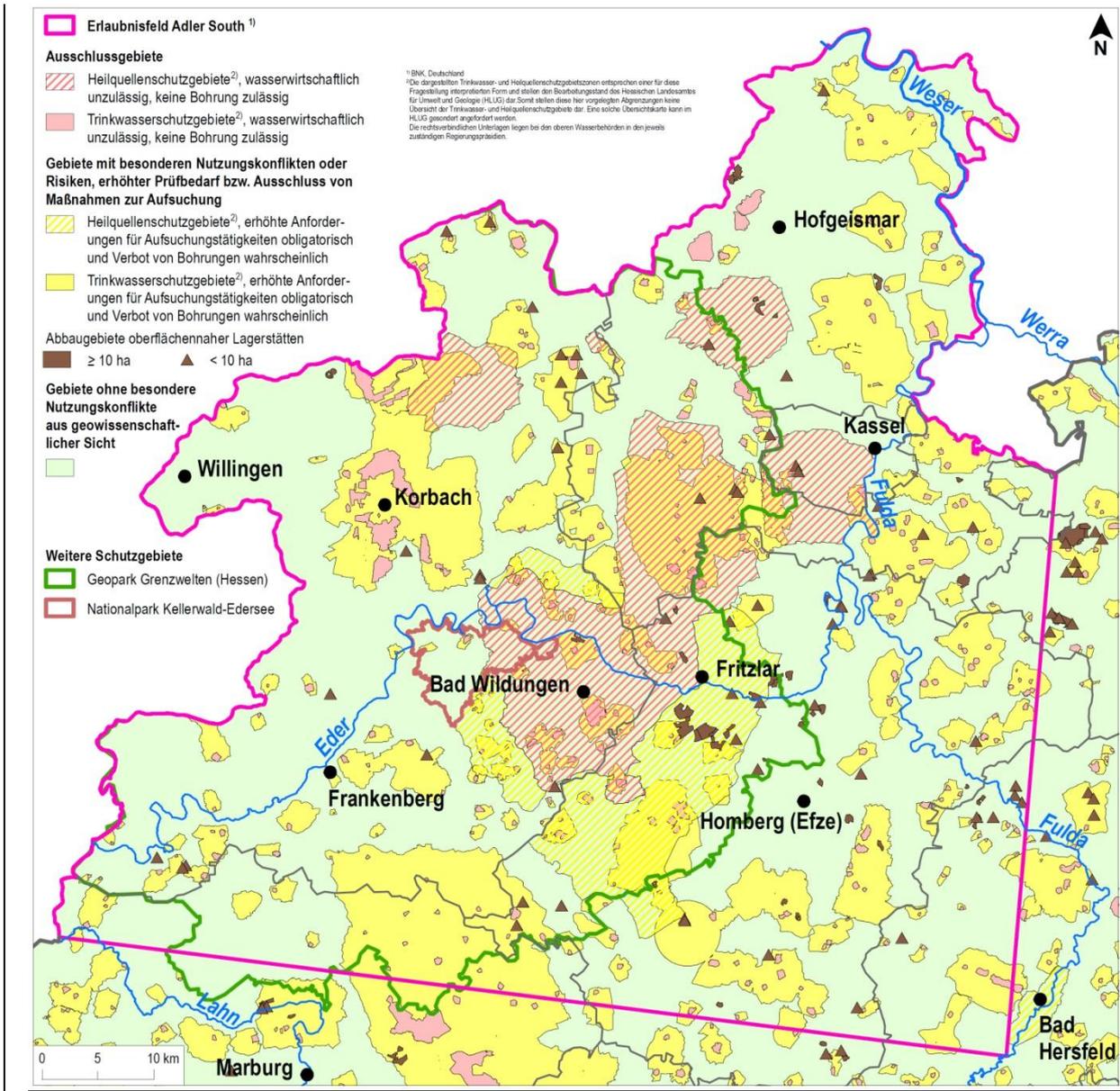


Abb. 4.1: Nutzungskonflikte aus geowissenschaftlicher Sicht im Bereich des beantragten Aufsuchungsfeldes „Adler South“

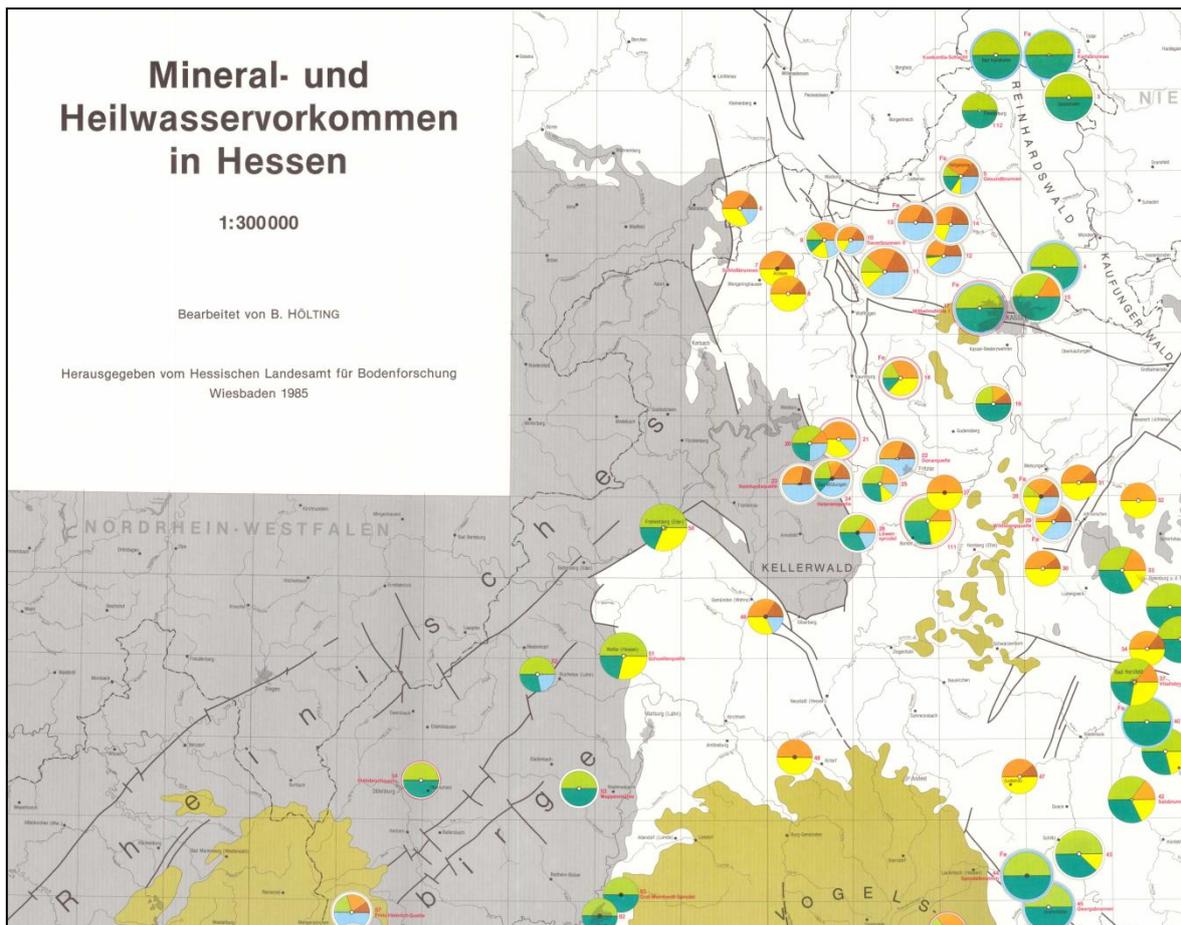


Abb. 4.2: Ausschnitt aus der Karte der Mineral- und Heilwasservorkommen in Hessen, HLfB 1985.

5. Rahmenbedingungen für Schiefergas-Exploration in Hessen

Die Menge an Kohlenwasserstoffen, die in bituminösen Ton- und Mergelsteinen gebildet werden kann, ist maßgeblich für die wirtschaftliche Schiefergas-Gewinnung von Bedeutung. Aber nicht alle der in Frage kommenden Gesteine eignen sich als Quelle für Erdgas und dürfen als „Gas-Schiefer“ bezeichnet werden. Eine ganze Reihe wichtiger Bedingungen muss erfüllt sein, damit sich Erdgas aus bituminösem Gestein bilden kann. Diese Kriterien werden weder in einem der drei zu untersuchenden Gutachten, noch im Antrag der BNK Deutschland GmbH für das Aufsuchungsfeld „Adler South“ behandelt (siehe HLUG-Stellungnahme zum Antrag vom April 2012).

Dagegen hat die BGR-Studie auf den Seiten 12 – 13 Kriterien festgelegt und Richtwerte beschrieben, die behilflich sein sollen, schiefergashöfliche Gesteinsformationen zu definieren. Diese Bedingungen sind hier aufgeführt:

1. Der Gehalt an organischem Material im Zielhorizont sollte $\geq 2\% C_{org}$ betragen.
Der Gehalt an organischem Kohlenstoff erlaubt Rückschlüsse auf die im Zielhorizont möglicherweise gebildete Menge an Kohlenwasserstoff. Der oben genannte Richtwert wird derzeit als Voraussetzung für ein wirtschaftlich gewinnbares Kohlenwasserstoff-Potenzial angesehen. Aber auch potenzielle Zielhorizonte mit weniger als $2\% C_{org}$ können nach Ansicht der Industrie (Exxon-Mobil) nutzbar sein, da der Mangel an organischem Material durch andere

Faktoren wie Verbreitung und Mächtigkeit sowie thermische Reife kompensiert werden kann.

2. Der Typ des organischen Materials im Zielhorizont sollte algendominiert sein.
Generell können Muttergesteine die ihren organischen Kohlenstoff überwiegend Algen eines marinen bis lakustrinen Milieus zu verdanken haben (Kerogen Typ I und II), mehr Kohlenwasserstoffe generieren als solche, die überwiegend organische Kohlenstoffverbindungen von Landpflanzen enthalten (Kerogen Typ III).
3. Die thermische Reife des organischen Materials sollte $> 1,2 \% R_o$ und maximal $3,5 \% R_o$ betragen.
Die thermische Reife eines kohlenwasserstoffhöffigen Gesteins hängt von seiner während der geologischen Entwicklung erreichten Versenkungstiefe und thermischen Beeinflussungen ab. Zur Bestimmung der thermischen Reife (Maturität) werden Vitrinitreflexionswerte ($R_o \%$) genutzt, die die Inkohlung des Materials widerspiegeln. Für die Generierung von Schiefergas aus an organischen Kohlenstoffen reichen Sedimenten sind nach Jarvie et al. (2007) thermische Reifen von $> 1,3 \% R_o$ notwendig. R_o -Werte $> 1,2 \%$ werden dem thermischen Bereich der Gas-Bildung („Gasfenster“) zugerechnet. Als Obergrenze hat die BGR-Studie einen Wert von $3,5 \% R_o$ festgelegt.
4. Die Mächtigkeit des Zielhorizontes sollte mehr als 20 m betragen.
Erfahrungen aus den USA zeigen, dass nach heutigen Maßstäben die Mächtigkeit der Zielhorizonte mindestens 20 m betragen sollte.
5. Die Tiefenlage des Zielhorizontes sollte zwischen 1000 m bis 5000 m liegen.
Auch hier beruft sich die BGR-Studie auf Erfahrungen aus den USA. Die dort produzierenden Zielhorizonte liegen in der Regel in diesen Tiefen. Erst ab einer Mindesttiefe von 1000 m ist der Druck groß genug, damit ausreichende Mengen an Gas vorhanden sind. Mit zunehmender Tiefe der Zielhorizonte sinkt die Wirtschaftlichkeit der Gas-Förderung. Größere Tiefen als 5000 m sind zwar nach Aussage der BGR-Studie technisch möglich, aber derzeit als unwirtschaftlich anzusehen.

Eine zusätzliche Kenngröße ist das Kohlenwasserstoff-Potenzial eines Gesteins. Das Kohlenwasserstoff-Potenzial ist der gewinnbare Kohlenwasserstoff-Anteil, der aus der organischen Substanz eines Gesteins generiert werden kann.

Im Folgenden werden die Gesteinseinheiten aufgeführt, die nach den oben aufgeführten Kriterien in Nordhessen (Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH) als potentielle Schiefergaslagerstätten in Frage kommen:

Devonische Gesteine

Als Muttergesteine kommen aufgrund der großen Verbreitung und Mächtigkeit von bis zu 1000 m in Hessen vorrangig die Wissenbacher Schiefer in Frage (Krebs 1978). Die hohe thermische Reife ($> 5\% R_o$) und der relativ geringe organische Kohlenstoffanteil der tektonisch häufig stark beanspruchten devonischen Schiefer lassen entsprechend der Kriterien der BGR-Studie (2012) kaum Gas-Potenzial in den devonischen Schiefen erwarten. Das heutige Muttergesteinspotenzial devonischer Gesteine ist nach Gerling et al. (1999) vernachlässigbar.

Unterkarbonische Gesteine

Für die Generierung von Schiefergas aus an organischen Kohlenstoffen reichen Sedimenten sind thermische Reifen von $> 1,3 \% R_o$ notwendig (Jarvie et al. 2007), die in den meisten karbonischen Gesteinen Norddeutschlands erreicht werden (Gerling et al. 1999).

Nach der BGR-Studie (2012) bildet die unterkarbonische Kulmschiefer-Serie einen der interessantesten Zielhorizonte für die Schiefergas-Exploration in Deutschland. Die Kulmschiefer-Serie ist sowohl in den nördlichen Bereichen des Rheinischen Schiefergebirges (Hessen, NRW) als auch im Harz (NI, Thüringen) verbreitet.

Gehalt an organischem Material im Zielhorizont: In den Gesteinen der Kulmschiefer-Serie konnten C_{org} -Gehalte zwischen 0,5 % und 12 % gemessen werden (Gerling et al. 1999, Zimmerle & Stribrny 1992) (Tab. 5.1). In den grauen Kulm-Tonschiefern, der jüngsten Einheit dieser Serie, nimmt der C_{org} -Gehalt mit $< 0,5 - 5 \% C_{org}$ deutlich ab. In den darüber liegenden Kulm-Grauwacken wird nur noch ein geringer, dispers verteilter Kohlenstoff gemessen (Gerling et al. 1999). Der Übergang von der Kulmschiefer-Serie in die Kulm-Grauwacken ist nicht scharf, Wechsellagerungen aus Tonschiefern und Grauwacken sind verbreitet.

Tab. 5.1: Potenzielle Muttergesteine des Unterkarbons in Zentraleuropa (Rheinisches Schiefergebirge und Harz) Kerogen-Typ III: terrestrisch, Kerogen-Typ II: marin, Kerogen-Typ I: Ölschiefer-Typ (sapropelitisch), aus Gerling et al. (1999)

Geologische Formationen	Organik-Typ	C_{org} % (Gerling et al. 1999)
Kulm-Grauwacken	Kerogen Typ III (Landpflanzen dominiert)	$< 0,5 - > 2 \%$
Kulm-Tonschiefer	Kerogen Typ II (algendominiert)	0,5 – 5 %
Kieselige Übergangsschichten	Kerogen Typ I–II (algendominiert)	$< 0,5 - 12 \%$
Kulm-Kieselkalke	Kerogen Typ I–II (algendominiert)	0,5 – 12 %
Kulm-Kieselschiefer	Kerogen Typ I–II (algendominiert)	$< 0,5 - 12 \%$
Lydite und Liegende Alaunschiefer	Kerogen Typ I (algendominiert)	$< 0,5 - 12 \%$

Typ des organischen Materials im Zielhorizont: Innerhalb der Kulmschiefer-Serie ist vom Liegenden ins Hangende ein Wechsel im Organik-Typ von „algendominiert“ zu „Landpflanzen dominiert“ festzustellen (Tab. 5.1).

Den Liegenden Alaunschiefern und Lyditen wird der Kerogen-Typ I (Liptinit oder Ölschiefer-Typ) zugeordnet. Dieser stark algendominierte Kerogen-Typ hat ein hohes Erdölbildungspotenzial.

Von den Kulm-Kieselschiefern bis in die Kieseligen Übergangsschichten, d.h. in den kieselig dominierten Formationen der Kulmschiefer-Serie ist die Kerogen-Typ-Zuordnung nicht eindeutig und schwankt zwischen Typ I und II, die algendominierte Kerogen-Typen darstellen und daher ein Erdölbildungspotenzial besitzen.

Den Kulm-Tonschiefern wird ausschließlich der Kerogen-Typ II zugeordnet. Die Kulm-Grauwacken enthalten den Kerogen-Typ III. Ausgangsmaterial dieses Typs sind grundsätzlich höhere Landpflanzen, die in den damaligen Ablagerungsraum eingeschwemmt worden sind.

Thermische Reife des organischen Materials im Zielhorizont: Thermische Reifen unterkarbonischer Gesteine sind nur aus den an der Erdoberfläche aufgeschlossenen Schichten im Rheinischen Schiefergebirge in Teilen bekannt. Sie liegen im Bereich des Ostrandes des Schiefergebirges zwischen 2,5 % R_o und 4 % R_o .

Mächtigkeit des Zielhorizontes: Die Mächtigkeit der Kulmschiefer-Serie steigt am östlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges generell von SE nach NW an und liegt zwischen 50 und 150 m. Die Gesteine werden von bis zu 800 m mächtigen Kulm-Grauwacken überlagert. Die Mächtigkeit der Grauwacken baut sich in Richtung NW sehr schnell ab. Die Grauwacken gehen nördlich der hessischen Grenze in Silt- und Tonschieferlagen über.

Tiefenlage des Zielhorizontes: In Nordhessen gibt es derzeit nur zwei Bohrungen in denen unterhalb mächtiger Deckschichten das Unterkarbon erbohrt wurde. In der Bohrung Borken-Zechstein-I konnten zwischen 1222,30 m und 1257,80 m (Endteufe) unter Gelände 35,5 m Grauwacken des Unterkarbons angeschnitten werden. Die Bohrung Rauschenberg erreichte ebenfalls mit einer Endteufe von 614 m unter Gelände Ton- und Kieselschiefer sowie Grauwacken des Unterkarbons.

Kohlenwasserstoff-Potenzial des Zielhorizontes: Die Datenlage des unterkarbonischen Zielhorizontes in Hessen bezüglich des Kohlenwasserstoff-Potenzials ist bisher unzureichend und die wissenschaftlichen Erkenntnisse hierzu nicht eindeutig. Gerling et al. (1999) halten jedenfalls das Dinant (Unterkarbon) im Rheinischen Schiefergebirge für überreif ohne nennenswertes Gaspotenzial.

Schlussfolgerung

Grundsätzlich ist es nicht auszuschließen, dass im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH bituminöse Gesteine der Kulmschiefer-Serie die BGR-Kriterien zur Schiefergas-Bildung erfüllen. Die Datenbasis hierzu ist aber sehr lückenhaft und fehlt für die Gebiete mit mächtiger Deckgebirgsüberlagerung vollständig. Über die Förderwürdigkeit potenzieller Zielhorizonte in Hessen lässt sich derzeit keine belastbare Bewertung abgeben.

5.1. Zur geologischen und hydrogeologischen Situation im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH in Bezug auf die Gewinnung von unkonventionellem Erdgas

5.1.1. Lage des Aufsuchungsfeldes

Das Aufsuchungsfeld Adler-South liegt in Nordhessen und umfasst eine Fläche von ca. 5200 km². Die Regierungsbezirke Kassel und Gießen mit den Kreisen und kreisfreien Städten Landkreis Kassel, Kassel (Stadt), Waldeck-Frankenberg, Schwalm-Eder-Kreis, Hersfeld-Rotenburg, Werra-Meißner-Kreis und Marburg-Biedenkopf sind ganz oder teilweise betroffen.

Innerhalb der Grenzen des Aufsuchungsfeldes liegen die folgenden übergeordneten geologischen Struktureinheiten (Tab. 5.2).

Tab. 5.2: Geologische Struktureinheiten im Aufsuchungsfeld und ihre Flächenanteile

Geologische Struktureinheit	Fläche [gerundet]
Rheinisches Schiefergebirge (incl. Kellerwald)	1100 km ²
Paläozoische Aufbrüche (NE-Hessen)	30 km ²
Mesozoische Schollen und Gräben der Hessischen Buntsandsteinscholle	3000 km ² (Schollen), 200 km ² (Gräben)
Niederhessische Senke (Sedimentgesteine in den Tertiärgräben und -senken)	590 km ²
Vulkanische Tertiärgebiete (Knüll, Habichtswald und Lange Berge)	230 km ²

Die ältesten Gesteine des Devons und Unterkarbons stehen in den geologischen Struktureinheiten des Rheinischen Schiefergebirges im W des Aufsuchungsfeldes sowie in einigen kleineren paläozoischen Aufbrüchen im E des Feldes an der Erdoberfläche an. Sie nehmen etwa 1/5 der Gesamtfläche ein. Randlich werden die während der variskischen Gebirgsbildung vor etwa 300 Millionen Jahren gefalteten Grundgebirgseinheiten vor allem von Sedimenten des Zechsteins, lokal auch des Rotliegend, überlagert. Sie tauchen schnell entlang von Störungen unter das mesozoische Deckgebirge ab.

Den weitaus größten Flächenanteil nehmen die Gesteinsfolgen des Mesozoikums ein. Sie bilden das Mesozoische Gebirge und können in mesozoische Schollen und Gräben untergliedert werden. Etwa 3/5 der Gesamtfläche des Aufsuchungsfeldes liegen in dieser geologischen Struktureinheit. Neben wenigen lokal vor allem in Grabenstrukturen erhalten gebliebenen Schichten des Keupers und Muschelkalks und der im N befindlichen Muschelkalkschollen von Zierenberg, Nehte und Quast-Eichholz, nehmen großflächig verteilt die Sedimente des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandsteins den Strukturraum ein.

Mit dem Einsinken der Niederhessischen Senke haben sich im Känozoikum mächtige Sedimente und Vulkanite des Tertiärs ablagern können, die mit etwa 1/5 der Gesamtfläche den von Süd nach Nord gestreckten mittleren Bereich des Aufsuchungsfeldes ausmachen.

5.1.2. Normalprofil im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“

BKN Deutschland GmbH beruft sich in der geologischen Vorstudie (Anl. 5 des BNK-Antrages) auf die Tiefbohrung Münsterland 1 und folgert aus dem dort erbohrten Schichtenprofil auf die Schichtenfolge in Nordhessen. „Die Bohrung endet an ihrer tiefsten Stelle in einem Sandstein. Aufgrund von Untersuchungen, die an im Rheinischen Schiefergebirge liegenden Oberflächenaufschlüssen durchgeführt wurden, gehen wir davon aus, dass die im Aufsuchungsfeld vorhandene Schichtenfolge ähnlich aufgebaut ist.“ (BNK Anl. 5, S. 2).

Richtig ist, dass die etwa 117 km nordwestlich des Aufsuchungsfeldes abgeteufte Tiefbohrung Münsterland 1 keinesfalls ein der Schichtenfolge in Nordhessen ähnliches geologisches Profil ergeben hat. Dies wird durch einen Vergleich der beiden Lokationen deutlich (Tab. 5.3).

Tab. 5.3: Vergleich der Schichtenfolgen (geol. Kurzprofil) zwischen der Tiefbohrung Münsterland 1 und den in Nordhessen vorkommenden Gesteinsschichten.

Tiefbohrung Münsterland 1	Nordhessen
Ca. 0 – 10 m Ton, Schluff, Sand, Kies, jüngste Ablagerungen der Talbereiche und Talhänge (Auensedimente, Terrassensedimente, Nebentalsedimente, Fließerden) des Quartärs	Ca. 0 – 10 m Ton, Schluff, Sand, Kies, jüngste Ablagerungen der Talbereiche und Talhänge (Auensedimente, Terrassensedimente, Nebentalsedimente, Fließerden) des Quartärs
	ca. 0 – 220 m Ton, Sand, Kies, Quarzit, Braunkohlen, Basalt und Mergel des Tertiärs
Ca. 1800 m Mergelstein und Kalkstein der Kreide	
	ca. 0 – 120 m Kalkstein, Dolomitstein, Mergelstein des Muschelkalks
	ca. 0 – 1200 m Ton- Silt- und Sandstein des Buntsandsteins
	ca. 0 – 600 m Ton – Sandstein, Kalkstein und Anhydrit des Zechsteins (lokale Mächtigkeitsschwankungen)
	Ca. 0 – 10 m Sandstein und Konglomerat des Rotliegend (nur sehr lokal entlang der Grenze zu NI und in NI vorhanden)
Ca. 1000 m Tonstein, Sandstein und vereinzelt Kohleflöze des Oberkarbons (Westphal B und A)	
-----Winkeldiskordanz-----	-----Winkeldiskordanz-----
Ca. 900 m Tonstein, Sandstein, und vereinzelt Kohleflöze des Oberkarbons (flözführendes Namur)	
Ca. 1700 m vorwiegend Sandstein, Siltstein und Tonstein des Oberkarbons (flözleeres Namur)	
Ca. 70 m Tonstein, Kalkstein, Kieselkalk des Unterkarbons (Dinant) 35 m Kulm-Alaunschiefer (Hangende Alaunschiefer) Posidonienschiefer, Plattenkalk-Einlagerungen 12 m Kieselige Übergangsschichten 6 m Kieselkalk-Horizont 5 m Lydit-Horizont 3 m Liegende Alaunschiefer 8,5 m Kalke des Tournai	Ca. 900m graue Tonschiefer und Grauwacken des Unterkarbons (Dinant) Ca. 800 m Kulm-Grauwacken und Tonschiefer der Dainrode-Fm. Ca. 10 - 150 m Kulm-Tonschiefer mit Posidonienschiefer der Lelbach-Fm.
	Ca. 80 m bunter Kieselschiefer z. T. auch Kieselkalk und Schwarzschiefer des Unterkarbons (Dinant) - ca. 15 m Kieselige Übergangsschichten der Bromberg-Fm. - ca. 30 m Kieselschiefer/Kieselkalk der Hillershausen-Fm. - ca. 15m Lydit-Horizont der Hardt-Subfm. - ca. 20 m Liegende Alaunschiefer der Khalenberg-Subfm.
Ca. 250 m Siltstein, Sandstein und Kalkstein des Oberdevons	Ca. 300 m grüner und roter Sandstein, Siltstein und Tonschiefer und Kalkstein des Oberdevons
Ca. 200 m Kalkstein, Kalksandstein und Quarzit des Mitteldevons	Im Bereich des Aufsuchungsfeldes bislang nicht erbohrt.

Aus der voneinander abweichenden Schichtenfolge wird deutlich, dass eine Korrelation einzelner geologischer Schichten aus der Tiefbohrung Münsterland 1 mit der Schichtenfolge im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ zwar möglich ist, sich der gesamte Schichtenaufbau doch sehr unter-

scheidet. Vor allem das die paläozoischen Schichten überlagernde Deckgebirge ist von unterschiedlicher Beschaffenheit.

Sedimente der Kreide fehlen in Nordhessen ganz. Stattdessen sind hier die mächtigen Abfolgen des Tertiärs, Muschelkalks, Buntsandsteins, Zechsteins und lokal mit geringer Mächtigkeit des Rotliegend erhalten.

Die Bohrung Münsterland 1 zeigt sehr mächtige Schichtenkomplexe des Oberkarbons, das in Nordhessen auf Grund der aufsteigenden und nach NW wandernden Faltungsfront des variskischen Gebirges während des Oberkarbons nicht zur Ablagerung kam.

Dagegen sind die Schichtenkomplexe des Unterkarbons der Tiefbohrung Münsterland 1 mit Ausnahme der Hangenden Alaunschiefer, wenn auch mit unterschiedlicher Mächtigkeit, auch in Nordhessen zu finden (Kulm (Hangende) Alaunschiefer, Posidonienschiefer des Unterkarbons, Kieselige Übergangsschichten, Kieselkalke, Lydit-Horizont, Liegende Alaunschiefer) (Tab. 5.3.).

5.1.3. Zielhorizonte mit Kohlenwasserstoff-Potenzial

Primäre Aufsuchungsziele

Primäres Aufsuchungsziel der BNK Deutschland GmbH sind Schwarzschiefer aus dem Karbon. Schwarzschiefer bzw. sog. schwarze Alaunschiefer sind aus den Schichten des Unterkarbons in Hessen bekannt. Sie sind am nordöstlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges aufgeschlossen und ihre Verbreitung ist in den jeweiligen geologischen Karten, der GK 25 dargestellt.

Die BNK Deutschland GmbH vergleicht die Schwarzschiefervorkommen Hessens mit denen gleichen Alters in Nordamerika, wo diese Schichten regional ausgedehnte Vorkommen bilden. Für das Aufsuchungsfeld in Hessen ist festzuhalten, dass die Schwarzschiefer des Unterkarbons auf Grund der Gebirgsbildung im Karbon heute stark gefaltet, geschiefert und von Überschiebungszonen gestört auftreten. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass dieser Zielhorizont unter dem Deckgebirge in flacher Lagerung große flächenhafte Verbreitung besitzt. Vielmehr ist von einer kleinräumigen, zerstückelten, steil oder auch flach einfallenden Lagerung des Horizontes auszugehen. Ziel von Voruntersuchungen sollte sein, zum einen die genaue Lage, zum anderen das Lagerstättenpotenzial dieser Schwarzschiefer zu erkunden.

Unterkarbonische Alaunschiefer kommen zwar überwiegend in der Gesteinseinheit der namensgebenden „Liegende Alaunschiefer“ (Kahlenberg-Subformation) vor, treten aber auch in geologisch jüngeren Einheiten des Unterkarbons auf. In Hessen wird diese Gesamtabfolge, die Kulmschiefer-Serie, als potenzieller Schiefergas-Horizont angesehen. Es gibt jedoch in Hessen noch keine gesicherten Daten über das Vorkommen von Schiefergas. Es fehlen Informationen und Fakten zu Gasgehalt, Gesteinseigenschaft, Raumlage (Faltung), tektonischer Beanspruchung, Mächtigkeit und Tiefenlage der Zielhorizonte im Aufsuchungsfeld „Adler South“ um seriöse Abschätzungen zum Schiefergas-Potenzial aufzustellen.

Die von der BGR (2012) in Norddeutschland als aussichtsreiche Gesteinsformation angesehenen bitumenreichen Hangenden Alaunschiefer des Oberkarbons sind in Hessen nicht ausgebildet, da oberflächlich abgetragen.

Von den in der **Studie NRW** vorgestellten Zielhorizonten, in denen ein Vorkommen an unkonventionellem Erdgas vermutet wird, ist in Hessen nur der Horizont der Tonsteine des Unterkarbons verbreitet. Andere Zielhorizonte wie Flöz führendes Oberkarbon, unterkarbonische Hangende Alaunschiefer, jurassische Posidonienschiefer und Wealden Bückeberg-Formation der Kreide sind in Hessen nicht anzutreffen.

Das **UBA-Gutachten** führt als Zielhorizonte „aussichtsreiche Vorkommen“ in einer Tabelle auf und hält sich dabei an die BGR-Studie. Demnach sind in Deutschland vor allem die folgenden Zielhorizonte interessant:

Flözgas: Flöz führendes Oberkarbon (NRW, Saarland);

Schiefergas: Posidonienschiefer (Jura) (NI, BW), Wealden Tonsteine (NRW, NI), permische Tonsteine (NI, SA), karbonische und devonische Tonsteine z.B. Hangende Alaunschiefer (Unterkarbon) (NRW, NI, SA), silurische Schiefer (Nordostdeutsches Becken), kambro-ordovizische Tonsteine („Alaunschiefer“) (nicht näher untersucht), Buntsandstein (NI), permische Sandsteine (Rotliegend) und Karbonate (Zechstein) (NI), permische Sandsteine (Rotliegend) und Dolomite (Staßfurtserie) Sandsteine (Trias) (TH), oberkarbonische Sandsteine (NI).

In allen diesen Betrachtungen wird Hessen nicht erwähnt..

Die **Risikostudie Fracking** betrachtet in ihrem Gutachten als Modellgebiet das Zentrale Münsterland, eine Aussage zu Zielhorizonten in Deutschland wird hier nicht gemacht.

Sekundäre Aufsuchungsziele

Sekundäres Aufsuchungsziel der BNK Deutschland GmbH sollen karbonatische Turbidit-Abfolgen darstellen. In der Studie der BNK werden diese Abfolgen nicht näher beschrieben. Es kann daher nicht genau festgestellt werden, um welche Gesteinsformationen es sich in Hessen handeln soll. Zum einen könnten die teilweise karbonatischen mächtigen Turbidit-Abfolgen der Kulm-Grauwacken Horizonte des Unterkarbons gemeint sein, zum anderen die unterkarbonischen Kalkstein-Turbidit-Lagen, wie z.B. die Rhenauer Kalksteine oder die Posidonienkalke, die jedoch nur lokal am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges verbreitet sind und unterhalb der Deckschichten in Nordhessen noch nicht nachgewiesen wurden.

Ebenso werden von den Antragstellern Kohlenwasserstofflagerstätten in den Schichten des Perms, also des Zechsteins, im Staßfurt-Karbonat (Hauptdolomit, zSCA, „CA2“) vermutet. Das Staßfurt-Karbonat ist vor allem in Nordosthessen verbreitet und gliedert sich hier in kavernöse, zellige Dolomitbänke und plattige Kalksteine mit Mergellagen. Letztere können bituminöse Anteile aufweisen, ansonsten ist die Gesteinsausbildungen eher untypisch für Schiefergas-Vorkommen. Das Staßfurt-Karbonat ist im Bereich des Aufsuchungsfeldes nicht flächenhaft verbreitet. Während seine Mächtigkeit gegen Mittel- und Südhessen hin abnimmt, ist in Nordhessen eine größere Mächtigkeit vorhanden (ca. 30-50 m). Die Feststellung der geologischen Vorstudie BNK Deutschland GmbH „...sie (die Zechsteinkarbonate) dünnen am Schelfhang aus und verzahnen sich mit Schwarzschiefern (Beckenfazies). Aus beiden Lithologien können mittels der Horizontal-Bohrtechnik Kohlenwasserstoffe erschlossen werden.“ ist nicht erwiesen und eine reine Vermutung.

Aus Hessen ist vielmehr bekannt, dass sich das Staßfurt-Karbonat zwischen roten und grün-grauen Tonsteinen der Werra-Formation im Liegenden und Anhydrit und Tonsteinen der Staßfurt-Formation im Hangenden befindet.

Weitere bituminöse Gesteinseinheiten im Zechstein sind der Kupferschiefer und Stinkschiefer. Der Kupferschiefer (Werra-Formation, zWT, „z1T“) an der Basis des Zechsteins ist weniger für die Schiefergasgewinnung, als, wie der Name bereits andeutet, für seine Kupfer- und Buntmetall-Mineralisation bekannt. Die basale Fazies bilden geringmächtige (< 50 cm) bituminöse mergeligitonige Schiefer (Paul 1986). Die geringe Mächtigkeit des Kupferschiefers ist hier bereits als limitierender Faktor für die Schiefergasgewinnung anzusehen.

Kohlenwasserstoff-Potenzial der Kulmschiefer-Serie im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH

Aus Sicht des HLUG kommen für Hessen die im Folgenden aufgeführten Schwarzschiefer-Horizonte der Kulmschiefer-Serie aus dem Unterkarbon als potenziell Schiefergas führende Horizonte in Frage (Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Schwarz-/Tonschiefer Horizonte der Kulmschiefer-Serie des Unterkarbons

Kartiereinheiten	Mächtigkeit	Petrographie	Schiefergas-Potenzial
Kulm-Tonschiefer-Formation (cd3KT) (Lelbach-Fm.)	max. 150 m	grauer Tonschiefer	unbekannt
Formation der Kieseligen Übergangsschichten (cd3Ki) (Bromberg-Fm.)	ca. 8 – 15 m	schwarzer Tonschiefer, Kiesel-schiefer, Kieselkalk, Kalkstein	unbekannt
Lydit-Horizont (Haard-Subfm.) und Liegende Alaunschiefer (cd1-2LAL) (Khalenberg-Subfm.)	ca. 10 – 50 m	schwarzer Kieselschiefer (Lydit) und Tonschiefer	unbekannt

Diese bituminöse Schiefer-Serie unterkarbonischen Alters, bestehend aus Tonschiefern, Kieselschiefern, Kieselkalken, Kalksteinen und untergeordnet schmale Tufflagen ist wesentlicher Zielhorizont für die Schiefergas-Exploration in Hessen. .

Vorläufer der heute schwach metamorph überprägten Gesteine waren überwiegend feinklastische Tief- oder Stillwasser-Sedimente, die sich am Südrand der Laurussischen Kontinentalplatte im Rhenoherynischen Becken in einer charakteristischen Ausprägung, der „Kulm-Fazies“, abgelagerten. Im nördlichen Schiefergebirge Hessens und Nordrhein-Westfalens besitzt der tonig-kieselige Anteil der Kulm-Fazies eine wechselnde Mächtigkeit zwischen 50 und 150 m und ist dort auch verbreitet aufgeschlossen. Innerhalb der tonigen Kulmschiefer-Serie sind immer wieder 0,1 bis 10 cm mächtige Tufflagen sowie Kalksteine zwischengeschaltet.

Mit der variskischen Gebirgsbildung wird die gesamte Schichtenfolge aufgefaltet, geschiefert und an im Streichen der Schichten verlaufenden Überschiebungsbahnen versetzt. Die tektonische Beanspru-

chung nimmt dabei von SE (Taunus) nach NW (Lahn-Dill-Mulde, Nördliches Rheinisches Schiefergebirge) hin ab. Die hier betrachtete Schichtenfolge ist am nordöstlichen Schiefergebirgsrand, im Bereich des westlichen Aufsuchungsfeldes, noch deutlich gefaltet und geschiefert. Es treten Falten erster (Ostsauerländer Hauptsattel) zweiter und höherer Ordnung auf. Die Faltung zeigt eine deutliche NW-Vergenz. Zahlreiche jüngere Querstörungen versetzen zudem die im Rheinischen Schiefergebirge anstehenden Einheiten.

Nach der Gebirgsbildung setzte mit dem Perm im Rotliegend Extensionstektonik ein. Intramontane Becken wie z.B. das Saar-Nahe-Becken sammelten den Abtragungsschutt des Gebirges auf. Es entstanden bis zu 600 m mächtige Sedimentakkumulationen darin. Mit der Bildung der Hessischen Senke werden große Teile des Variskischen Gebirges, also auch der oben beschriebenen Schichtenfolge, versenkt und von mächtigen Sedimenten der Trias, des Buntsandsteins, Muschelkalks, Keupers, Juras und der Kreide (in Hessen nicht mehr vorhanden) sowie des Tertiärs überlagert. Die Deckgebirgsmächtigkeiten können lokal mehr als 1200 m erreichen.

Mit ihren schwarzen, teils stark organikreichen Anteilen ist die Kulmschiefer-Serie offensichtlich der wesentliche primäre Zielhorizont der Firma BNK Deutschland GmbH.

Diese Schichtenfolge gliedert sich in die im Folgenden kurz beschriebenen Formationen:

Liegende Alaunschiefer (Kahlenberg-Subfm.)

Die im Rheinischen Schiefergebirge und tieferen Untergrund Norddeutschlands verbreitete Gesteinsabfolge setzt in Hessen über den Hangenberg-Schichten mit den Liegenden Alaunschiefern ein. Es handelt sich hierbei um ein 10 – 50 m, in einigen Regionen auch nur 2 – 5 m mächtiges Gesteinspaket (Stoppel et al. 2006) dunkelgrauer bis schwarzer, dünn-schichtiger, weicher bituminöser Tonschiefer (Schwarzschiefer), die ihren Namen Alaun einem Gemisch aus Kalium- und Aluminiumsulfat und anderen Sulfaten (Eisenvitriol und Gips) verdankt, welches der Verwitterung von feinverteilter Pyrit entstammt. Vereinzelt oder lagenweise angereichert treten Phosphoritknollen bis 3 cm Durchmesser im unteren, liegenden Abschnitt der Liegenden Alaunschiefer auf. Der obere, hangende Teil dieser Schwarzschiefer ist überwiegend verkieselt. Hier können auch bituminöse Kalksteine eingeschaltet sein (Kulick 1968, Stoppel et. al. 2006).

Die Liegenden Alaunschiefer sind der wichtigste Träger organischen Materials. In Gesteinsproben aus hessischen und nordrhein-westfälischen Steinbrüchen wurden Werte zwischen 0,5 und 12 Gew. % C_{org} (Siegmond et al. 2002, Gerling et al. 1999) gemessen.

Kieselschiefer-Formation

Überlagert werden die Liegenden Alaunschiefer durch Kieselschiefer, die bis zu 60 m mächtig werden können. Der Kieselgehalt wird auf Kleinlebewesen (Radiolarien) oder auch auf unterkarbonischen Vulkanismus zurückgeführt (Lippert 1970). Auch diese Gesteine enthalten dunkelgraue bis schwarze Partien (Lydite) an der Basis der Abfolge, den Lydit-Horizont (Haard-Subformation). Der hangende Abschnitt wird zumeist von hellgrauen Kieselschiefern und kieseligen Tonschiefern gebildet sowie von stark verkieselten Kalksteinen, den Kieselkalken.

Formation der Kieseligen Übergangsschichten (Bromberg-Fm.)

Über den Kulm-Kieselschiefern und Kieselkalken folgen fast im gesamten Rheinischen Schiefergebirge die „kieseligen Übergangsschichten“ (Nicolaus 1963) bestehend aus dunkelgrauen bis schwarzen kieseligen Tonschiefern, schwarzen Alaunschiefern und einzelnen Kieselkalk-Lagen. Die Mächtigkeit dieser Abfolge liegt bei 8–15 m, örtlich bis 30 m. Der Topbereich der Abfolge enthält einen Leithorizont (*crenistria*-Bank), der über weite Bereiche von Mitteleuropa und angrenzenden Regionen verfolgt werden kann (Nicolaus 1963).



Abb. 5.1.: Formation der Kieseligen Übergangsschichten (Bromberg-Formation).

Kulm-Tonschiefer-Formation (Lelbach-Fm.)

Infolge der variskischen Gebirgsbildung wird der marine Ablagerungsraum des Rhenoharzynischen Beckens zunehmend von klastischen Sedimenten gefüllt, die sich zunächst feinklastisch als Kulm-Tonschiefer bzw. Kulm-Tonschiefer-Formation (Lelbach-Fm.), mit zunehmender Einengung des Faziesraumes und fortschreitender Wanderung der Deformationsfront nach NW grobklastischer als Kulm-Grauwacken bemerkbar machen. Somit schließt die mehr tonige Kulm-Fazies des Unterkarbons mit den Kulm-Tonschiefern (Posidonienschiefer) ab. Diese wechsellagern häufig mit turbiditischen Grauwacken und werden in der Regel von mächtigen Grauwacken überlagert. Die Grauwacken und Tonschiefer erreichen am Ostende des Edersees maximale Mächtigkeit von 800 – 1000 m (Kulick 1960, Stoppel et al. 2006).

5.1.4. Offene Fragen, Schlussfolgerungen — Schiefergas-Potenzial im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler-South“

Der in der BNK Deutschland GmbH Vorstudie mehrfach angestrebte Vergleich mit den Schiefergaslagerstätten der Schwarzschiefervorkommen in Nordamerika ist aus Sicht des HLUG auf Hessen nicht übertragbar. Der angesprochene Zielhorizont ist hier auf Grund der komplexen und kleinräumigen tektonischen Überprägung in seiner Lage sehr kompliziert aufgebaut. Dies wird auch in den Querprofilen deutlich, die in der BNK Vorstudie auf Abb. 6 dargestellt sind. Auf Höhe des Ostsauerländer Hauptsattels ist die Schichtenfolge, in der sich der Zielhorizont befindet, intensiv gefaltet. Der Verlauf des Horizontes ist demnach schlecht vorhersehbar, selbst wenn punktuelle Daten auf Grund von Bohrungen vorliegen würden. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass sich im Aufsuchungsfeld „Adler South“ eine räumlich weit aushaltende, über größere Gebiete erstreckende Gaslagerstätte in Schwarzschiefern des Unterkarbons befindet.

5.1.5. Überblick über die hydrogeologische Situation

Der Überblick über die hydrogeologische Situation erfolgt in Anlehnung an die Beschreibung der hydrogeologischen Großräume, Räume und Teilräume der Staatlichen Geologischen Dienste (Fritsche et al. 2003), sowie an die Monographie „Regionale Hydrogeologie von Deutschland, Autorenkollektiv der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und der staatlichen geologischen Dienste Deutschlands, in Vorbereitung). Die textlichen Erläuterungen werden am Ende des Kapitels in Tabellenform zusammengefasst (Tab. 5.5).

Im W des beantragten Aufsuchungsfeldes „Adler South“ sind die paläozoischen Schichtenabfolgen innerhalb des Rheinischen Schiefergebirges intensiv gefaltet und teilweise schwach metamorph überprägt. Verbreitet sind Tonschiefer, Sandsteine, Quarzite, Grauwacken und Metavulkanite. Sie bilden einen mächtigen Komplex von Kluftgrundwasserleitern unterschiedlicher Durchlässigkeit bis hin zu Grundwassernichtleitern. Zum größten Teil weisen die Gesteine eine geringe bis sehr geringe Gebirgsdurchlässigkeit und eine geringe Speicherkapazität auf. Ausnahmen bilden Quarzite, Grauwacken sowie junge tektonische Auflockerungszonen. Das Grundwasser bewegt sich als Kluftgrundwasser auf offenen Trennfugen. Die Quarzite zeigen geringe bis mittlere hydraulische Durchlässigkeiten, besonders in tektonisch stärker beanspruchten Bereichen. Bessere Durchlässigkeiten weisen auch lokal vorkommende Sandsteine, Kalksteine oder Metabasalte auf. Die Wasserwegsamkeit im Gebirge ist aufgrund der tektonischen Beanspruchung stark richtungsabhängig. Bevorzugte hydraulische Durchlässigkeiten sind in Streichrichtung der Falten- und Muldenachsen, d. h. SW–NE sowie in Richtung der NW-SE verlaufenden Querstörungen, vor allem in tektonischen Dehnungsbereichen zu beobachten. Besonders wasserhöffig sind jüngere, rheinisch (NNE–SSW) streichende Störungen. Eine systematische, generalisierte hydrostratigrafische Gliederung (Gliederung in vertikale Abfolgen von Grundwasserleitern, -nichtleitern (hydraulischen Barrieren) und Grundwassergeringleitern ist wegen der stark wechselhaften Lagerungsverhältnisse nicht möglich.

In Anbetracht des komplexen, strukturellen geologischen Baus des Rheinischen Schiefergebirges werden Informationen, insbesondere zur Integrität des Deckgebirges (Nachweis geologischer Barrieren zu den Zielhorizonten im Unterkarbon), hinsichtlich geplanter Frac-Maßnahmen nur mit außerordentlich hohem Aufwand zu erzielen sein.

Die zwischen Rheinischem Schiefergebirge im W und Niederhessischer Senke im E ausstreichenden Schichtabfolgen von Trias und Zechstein im Gebiet Korbach–Frankenberg–Marburg sind hydrogeologisch bedeutend für die Trinkwasserversorgung. Buntsandstein und Zechstein sowie untergeordnet Muschelkalk bilden hier einen nur wenige Kilometer breiten Saum um die Aufwölbung des paläozoischen Grundgebirges im Kellerwald. Die silikatischen und karbonatischen Zechsteinsedimente fallen nach E bis SE ein, wo sie von den klastischen Sedimentgesteinen des Buntsandsteins überlagert werden. Das Grundwasserdargebot im Zechstein wird lokal genutzt, wobei wegen geringer Schutzwirkung der Deckschichten häufig hygienische Probleme bestehen. Die silikatischen Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins haben eine Gesamtmächtigkeit von 700 – 900 m. Die Schichtenabfolge des Unteren Buntsandsteins besteht aus einer bis zu 400 m mächtigen Wechselfolge von Schluff- und Tonstein sowie feinkörnigem Sandstein. Die in der insgesamt gering durchlässigen Schichtenabfolge vorkommenden Sandsteinschichten können lokal und von der tektonischen Beanspruchung abhängig, geringe bis mäßige Ergiebigkeiten aufweisen.

Der Mittlere Buntsandstein wird in die vier Großzyklen Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Solling- Formation gegliedert. Die bis über 100 m mächtigen Sandsteinschichten an der Basis der jeweiligen Zyklen (z.B. Volpriehausen-Sandstein) bilden zusammen mit den darüber folgenden geringer durchlässigen Sand-/Ton-/Schluffstein-Wechselfolgen ergiebige und wasserwirtschaftlich bedeutende Kluft- und untergeordnet Porengrundwasserleiter. Unterer und Mittlerer Buntsandstein haben somit eine sehr große Bedeutung für die regionale Wasserversorgung, so z.B. für Bad Wildungen und das Gruppenwasserwerk Fritzlar-Homberg.

Am Nordrand des Kellerwaldes steigen in Bad Wildungen mineralisierte Tiefenwässer aus dem Paläozoikum auf. Auch hier werden im tiefen Untergrund unterhalb der stratiform gelagerten Schichten von Perm bis Quartär die Nachweise hydraulischer Barrieren im gefalteten Paläozoikum mit hohem Aufwand verbunden sein.

Im Gebiet nordwestlich Kassel bis zur hessischen Grenze stehen Gesteine des Muschelkalks und Oberen Buntsandsteins an der Erdoberfläche an. Sie kennzeichnen den Rand der Borgentreicher Keupermulde, einer flachen, tellerartig in den Untergrund eingesenkten Muldenstruktur. Die Umrandung der Borgentreicher Keupermulde ist von Störungszonen durchzogen. Innerhalb dieser Störungszonen sind eng begrenzte Sattelhorste und Muldengräben ausgebildet. Die Borgentreicher Keupermulde bildet mit ihrer Muschelkalk-Umrandung einen hydrogeologischen Teilraum mit zwei oberflächennahen Grundwasserstockwerken. Grundwasserführend sind in ihrem südlichen hessischen Teil die Kalk- und Mergelsteine des Wellenkalks (Unterer Muschelkalk) und die Kalk- und Mergelsteine der Trochiten- und Ceratiten-Schichten (Oberer Muschelkalk). Der unter dem Muschelkalk liegende Obere Buntsandstein bildet in weiter Verbreitung die Trennschicht (Barriere) zum tieferen Grundwasserstockwerk, dem Mittleren Buntsandstein und schützt diesen weitgehend vor Einflüssen von der Erdoberfläche. In diesem ergiebigen Kluftgrundwasserleiter wird meist gespanntes Grundwasser erschlossen, das stark mineralisiert sein kann und daher nicht für die Trinkwasserversorgung genutzt wird. Bei tektonischer Beanspruchung in Störungsnähe – z.B. entlang des Kasseler Grabens – kann im Oberen Buntsandstein (Röt-Formation) lokal ein Grundwasserleiter mit geringer Ergiebigkeit ausgebildet sein.

Im NE von Kassel bis zu hessischen Grenze steht Mittlerer Buntsandstein direkt an der Erdoberfläche an und dient der regionalen Wasserversorgung.

Unterhalb des Buntsandsteins bilden die oberen Bereiche des Zechsteins relativ geringmächtige Grundwassernichtleiter bis Grundwassergeringleiter.

Südlich von Kassel bildet die in die Fläche des nordhessischen Buntsandsteins eingesenkte, etwa NNE-SSW verlaufende Grabenstruktur der Niederhessischen Senke die nördliche Fortsetzung des Oberrheingrabens, gegen den sie im S durch den Vogelsberg begrenzt wird. Die überwiegend klastischen tertiären, meist feinkörnigen Sedimente liegen über dem mächtigen Grundwassergeringleiter bis Grundwassernichtleiter Oberer Buntsandstein (Röt) und bilden einen Porengrundwasserleiter mit geringer wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Darunter folgt der wasserwirtschaftlich bedeutsame Kluftgrundwasserleiter des Mittleren Buntsandsteins. Die gesamte überwiegend silikatische Schichtenfolge wird lokal von quartären Lockergesteinen hoher Durchlässigkeit (Porengrundwasserleiter) und tertiären Basalten (Kluftgrundwasserleiter) überlagert. Die Niederhessische Senke wird durch ein mächtiges Schichtenpaket sedimentärer Gesteine (Tertiär bis > 100 m, Oberer Buntsandstein (Röt-Formation) 100 – 200 m) dominiert. Dessen Ausbildung ist weitgehend feinkörnig, so dass Wassererschließung nur sehr selten in tertiären Feinsandsteinen oder in tektonisch beanspruchter und daher durchlässigerer Röt-Formation möglich ist. Höhere Ergiebigkeiten werden erreicht, wenn durch tiefere Bohrungen gespanntes Grundwasser im unterlagernden Mittleren Buntsandstein erschlossen wird. Da dessen Bedeckung in ihrer Gesamtheit undurchlässig ist, erfolgt die Grundwasserneubildung dabei durch Zustrom aus W und E von außerhalb der Niederhessischen Senke. Die tertiären Basalte, die die oben geschilderte Sedimentabfolge durchschlagen, bilden Kluftgrundwasserleiter geringer Ausdehnung und Ergiebigkeit, die aber lokal von Bedeutung für die Wasserversorgung sein können. Unterhalb des Buntsandsteins bilden die oberen Bereiche des Zechsteins auch hier relativ geringmächtige Grundwassernichtleiter bis Grundwassergeringleiter.

Östlich der Niederhessischen Senke befindet sich das Fulda-Werra-Bergland. Dominierend sind hier Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins mit einer Gesamtmächtigkeit bis zu 700 m mit mehreren, meist WNW-ESE-streichenden Gräben. Die tektonischen Gräben bedingen lokal, insbesondere an den Grabenrändern, eine erhöhte Wasserwegsamkeit. Sie weisen Versatzbeträge von mehreren hundert Metern auf. Im Zentrum der Gräben stehen Gesteine des Muschelkalks oder – seltener – des Keupers an, die hohe Wasserhärten bedingen. Stehen Gesteine der Röt-Formation im Grabenzentrum an, bieten diese eine erhöhte Schutzwirkung, so dass der Grundwasserleiter im darunter liegenden Mittleren Buntsandstein zwar eine geringere Grundwasserneubildung hat, aber keine negativen Auswirkungen der Nutzung der Landoberfläche zeigt. Örtlich gibt es eine Überdeckung durch Fließerden bzw. Lösslehm, in deren Bereich ebenfalls ein erhöhter Schutz vor Schadstoffeinträgen gegeben ist. Der Buntsandstein bildet hier die Grundlage der örtlichen Wasserversorgung, die sowohl durch Tiefbrunnen (Melsungen) als auch über Quellen erfolgt. Der tiefere Untergrund wird von Gesteinen des Zechsteins (Kalksteine, Tonsteine, Anhydrit und Gips) sowie von Grauwacken und Tonschiefern des Devons aufgebaut. Nur die Tonsteinabfolgen im Oberen Bereich des Zechsteins können als potenzielles Barrieregestein gewertet werden.

Die Angabe des Vorkommens in den hydrogeologischen Teilräumen und geologischen Potenzialräumen (vgl. Kap 5.2) bezieht sich auch auf das Vorkommen unter Überdeckung durch andere hydrostratigraphische Einheiten. Bei Vorkommen an der Erdoberfläche sind die Raumzuordnungen fettgedruckt.

Tab. 5.5: Hydrostratigrafische Gliederung im Antragsgebiet „Adler South“ (stark verändert nach Schraft et al. 2002)

Serie	Lithologische Ausbildung	Hydrogeologische Bedeutung: Deckschichten, Grundwasserleiter/ Grundwassernichtleiter bzw. -geringleiter (Barriere)	Maximale Mächtigkeit (GWL, GW-Geringleiter)	Durchlässigkeit (k_f), [m/s]	Vorkommen im hydrogeol. Teilraum	Geol. Potenzialraum
Holozän	Torf, Abschwemm-massen, Schuttbildungen	unbedeutend	Nur lokal an den Hängen verbreitet	$< 10^{-5}$	Alle	Alle
Pleistozän	Talauensedimente (Sand, Kies),	Lokal als (Poren-) Grundwasserleiter von Bedeutung	Bis 15 m	$> 10^{-3}$ bis 10^{-4}	Alle	Alle
	Solifluktionsschutt, Löss, Lösslehm	Löss, Lösslehm, Deckschichten mit hoher Schutzwirkung	Unter 10 m	10^{-9} bis 10^{-7}	Alle	Alle
Pliozän, Miozän, Oligozän, Eozän	Ton, Schluff, Braunkohlen	Nur lokal als Grundwasserüberdeckung mit hoher Schutzwirkung von Bedeutung	Insgesamt bis zu > 100 m	10^{-9} bis 10^{-7}	3301	6
	Sand, Kies, Quarzite, Basalte	Nur lokal als (Poren-) Grundwasserleiter von Bedeutung: Tertiäre Sedimente (z.B. TB Frielendorf) und Basalt (z.B. im Habichtswald)		10^{-6} bis 10^{-4}		
Lias	Ton-, Mergelstein	Nur kleine Einzelschollen, hydrogeol. unbedeutend				
Keuper	Schluff-, Tonstein, Feinsandstein	begrenzte Verbreitung (Grabenschollen), hydrogeol. unbedeutend	Bis zu > 180 m, bei steiler Lagerung noch mehr	Stark variabel, $< 10^{-9}$ bis 10^{-6}	5201, 5111, 5202 (in Gräben)	2,4,5, 7
Muschelkalk	Kalk-, Mergel-, Dolomitstein, z.T. Gips	Lokal von Bedeutung (Grabenschollen), guter Grundwasserleiter, Kluft-/Karstgrundwasserleiter, erhebliche Wassermengen, hohe Fließgeschwindigkeit, sehr verschmutzungsempfindlich	Bis zu 220 m	10^{-6} bis 10^{-3}	5201, 5111, 5202 (in Gräben)	2,4,5, 7

Serie	Lithologische Ausbildung	Hydrogeologische Bedeutung: Deckschichten, Grundwasserleiter/ Grundwassernichtleiter bzw. –geringleiter (Barriere)	Maximale Mächtigkeit (GWL, GW-Geringleiter)	Durchlässigkeit (k_f), [m/s]	Vorkommen im hydrogeol. Teilraum	Geol. Potenzialraum
Oberer Buntsandstein	Tonstein, wenige, geringmächtige Feinsandstein und Quarzlitagen	Grundwassernichtleiter bis Grundwasserhemmer, gering durchlässig bis äußerst gering durchlässig, lokal als GWL von Bedeutung	i.d.R. 100 m, lokal bis 200 m	10^{-9} bis 10^{-7}	5111 , 3301, 5201, 5202 (im E)	2,5,6,7
Unterer und Mittlerer Buntsandstein	Sand-, Schluff-, Tonsteine in Wechselagerung, z.T. Gips (im so)	Wichtigste Grundwasserleiter im Antragsgebiet. Kluftgrundwasserleiter, Stockwerksgliederung (lokal, seltener überregional), sehr ergiebig, Heilquellen (z.B. Bad Arolsen), Mineralwassergewinnung	Gesamt-mächtigkeit 700 bis 900 m	10^{-7} bis 10^{-4} Stark von Tektonik abhängig	3301, 5111, 5201 , 5202 ,	2,3,4,5,6,7
Zechstein	Zechstein 3 bis 7	Tonsteinabfolgen im Oberen Zechstein mit möglicher Barrierewirkung bei flächenhafter Verbreitung und geringer tektonischer Beanspruchung	max. 70 m als Einheit	10^{-7} bis 10^{-9}	5111, 5201, 3301	2,5,6,7
	N' des Kellerwaldes carbonatisch-sulfatisch ausgebildet; S des Kellerwaldes klastisch ausgebildet	Wichtiger Grundwasserleiter am Schiefergebirgsrand (insbesondere Korbacher Bucht und Osthesen), Kluftgrundwasserleiter, tlw. verkarstet, Quellen und Brunnen, hygienisch gefährdet, Stockwerksgliederung, teilweise artesisch gespannte Kluft- und Karstgrundwasserleiter, Mineralwasseraufstiegswege (z.B. Bad Wildungen), Heilquellen	Bis zu 120 m	Stark variabel, von 10^{-7} bis 10^{-3}	5201, 5202 , 5402	3,4,5,6,7
Rotliegend	S' des Kellerwaldes gleiche Fazies wie Zechstein	Südlich des Kellerwaldes wie Zechstein, wichtiger (Kluft-) Grundwasserleiter	Max. 30-40 m	10^{-7} bis 10^{-5}	5202	3,4,5,6,7
Unterkarbon	Tonschiefer, Kiesel schiefer	außer an Störungszonen geringe Durchlässigkeiten, nur lokal zur Wassergewinnung genutzt	Durch Faltektonik keine generellen Angaben zur Mächtigkeit möglich	10^{-9} bis 10^{-7}	8101	1 , alle
	Metavulkanite, Kalksteine, Quarzite, Grauwacken	Kluftgrundwasserleiter, lokal zur Wassergewinnung genutzt		10^{-7} bis 10^{-5}		

5.2. Beschreibung der hessischen Potenzialräume innerhalb des beantragten Aufsuchungsfeldes „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH

Für die Systemanalyse möglicher Erdgas-Potenziale im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH werden infrage kommende Strukturräume oder deren Kombinationen bezüglich der potenziellen Gas-Höffigkeit als Potenzialräume benannt und charakterisiert. Diese sind in der Abb. 5.2 farblich dargestellt. Die in blau gehaltenen mesozoischen Grabensysteme, in denen jüngere Ablagerungen des Erdmittelalters (Muschelkalk, örtlich auch Keuper und Jura) bis heute erhalten blieben, werden nicht als eigenständige Potenzialräume angesehen. Die größeren, überregionalen Grabensysteme beispielsweise bei Kassel oder Fritzlar dienen als tektonische Grenze zwischen einzelnen Potenzialräumen. Bei den nicht farblich markierten Bereichen im E des Aufsuchungsgebietes handelt es sich um Teile der Osthessischen Buntsandsteinscholle. Hier wird das Potenzial unterkarbonischer Gesteine für die Erdgas-Erkundung aufgrund der Hunsrück-Oberharz-Schwelle, einem alten Abtragungsgebiet, durch das HLOG als nicht vorhanden eingeschätzt.

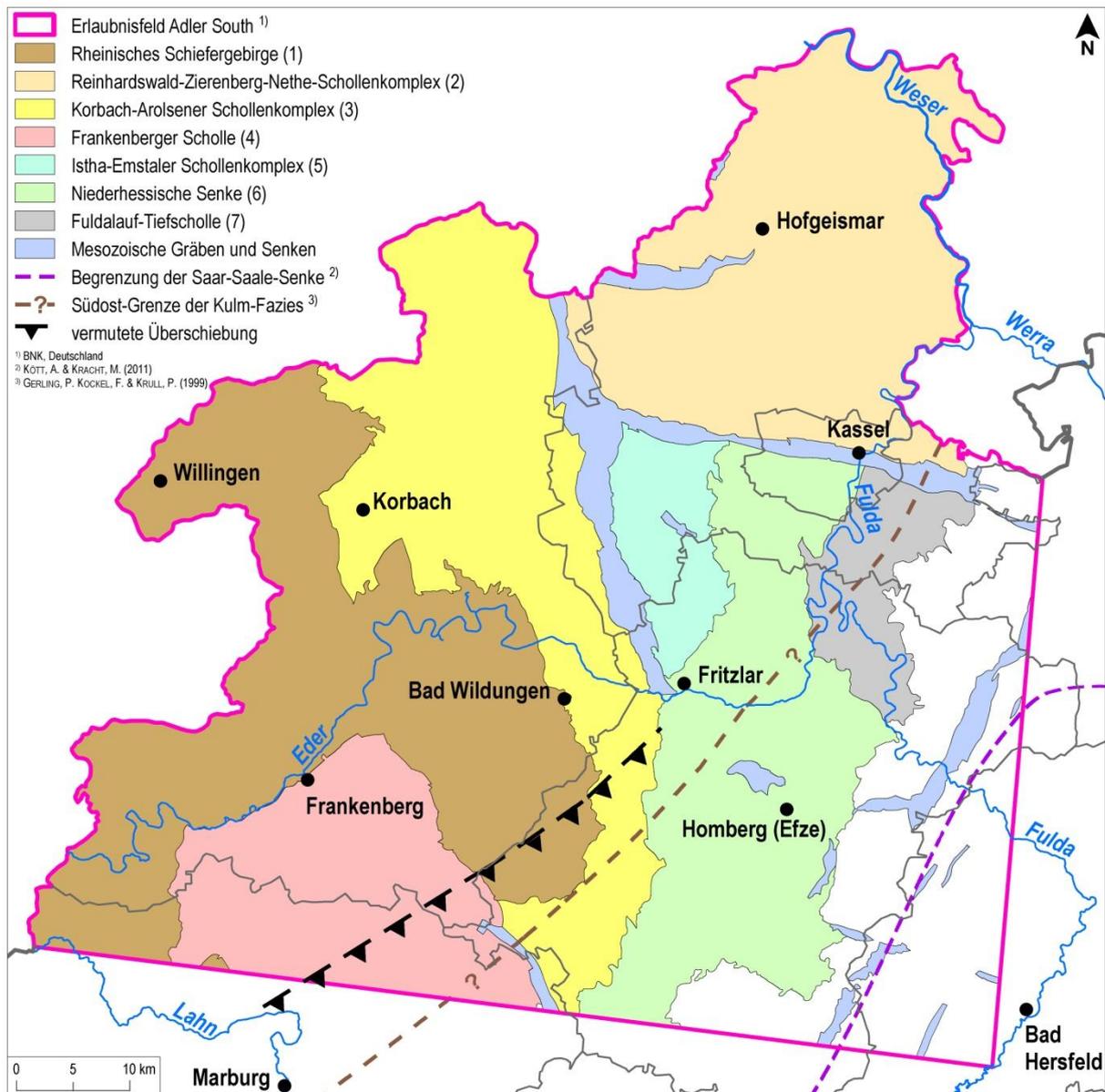


Abb. 5.2: Potenzialräume im Aufsuchungsgebiet der BNK Deutschland GmbH für Schiefergas und eventuell auch Tight Gas.

Die Potenzialräume im Aufsuchungsfeld „Adler South“ werden nach folgenden Gesichtspunkten beschrieben:

1. *Strukturräume innerhalb des Potenzialraumes*
2. *Zielhorizont(e)*
3. *Lagerstätten-Typ*
4. *Deckgebirge: Grundwasserführende Schichten, Barrierschichten*
5. *Geologische Analyse*
6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung*
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen*
8. *Fazit*

Anhand der in der Abb. 5.3 in ihrem Verlauf eingezeichneten geologischen Profile aus den Geologischen Karten 1 : 25.000 und der Geologischen Karte des Reinhardswaldes 1 : 50.000 wird der Untergundaufbau verdeutlicht.



Abb. 5.3: Potenzialräume mit Bohrungen > 500 m Endteufe und Profillinien von im Text dargestellten geologischen Profilen.

5.2.1. Potenzialraum Rheinisches Schiefergebirge (s.a. Abb. 5.4)

1. *Strukturräume:* Ostsauerländer Sattel, Waldecker Mulde, Medebach-Goldhausener Sattel, Wittgensteiner Mulde, Battenberg-Waldecker Sattel, Eder-Mulde, Nördlicher Kellerwald, Kellerwaldquarzit, Südlicher Kellerwald; Begrenzungen: Frankenger Bucht im S, Korbach-Arolsener-Schollenkomplex im E und Landesgrenze im W
2. *Zielhorizont(e):* unterkarbonische Kulmschiefer-Serie

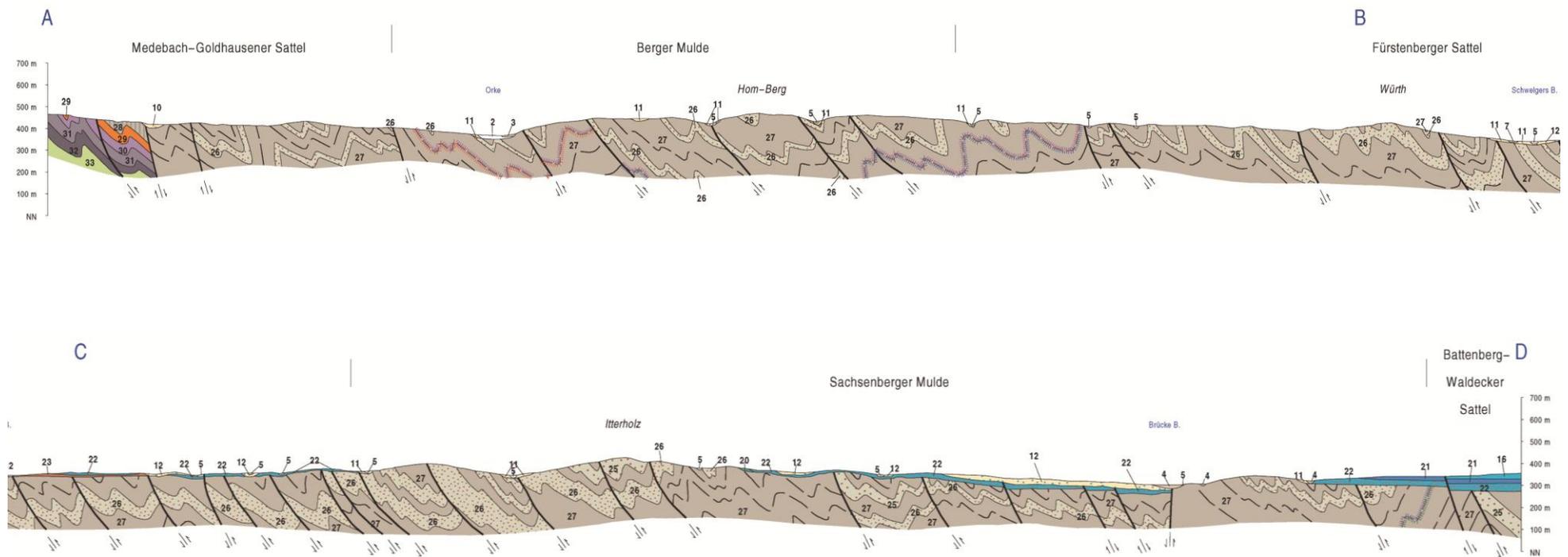


Abb. 5.4: NW-SE-Profil (A-D) durch die Wittgensteiner Mulde: Gefaltete und gestörte Kulm-Tonsteine und Kulm-Grauwacken des Unterkarbons.
(Quelle: GK 25, Blatt 4818, Medebach, 2003)

Blau, braun:	Perm, Rotliegend (23) und Zechstein (18,21,22)
grau:	Unterkarbon (Grauwacken und Tonschiefer) (25, 26, 27, 28)
violett, orange:	Unterkarbon (Liegende Alaunschiefer, Lydit, Kieselschiefer, kieselige Übergangsschichten) (29, 30, 31, 32)
grün:	Devon (Tonschiefer und Sandstein) (33)

Profillänge entspricht 14,0 km

3. *Lagerstätten-Typ: Schiefergas-Lagerstätte*
4. *Deckgebirge: Bis auf geringmächtige Zechsteininseln, randliche Zechsteinschollen und lokale geringmächtige Rotliegend-Schichten existiert kein Deckgebirge über unterkarbonischen Gesteinen. Die z.T. mächtigen unterkarbonischen Grauwacken und/oder Kulm-Tonschiefer-Grauwacken-Wechselagerungen, am östlichen Edersee mit Mächtigkeiten > 800 m, können örtlich als Deckgebirge bezüglich der Kulmschiefer-Serie fungieren.*
 - a. *Grundwasserführende Schichten: In den Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges sind überwiegend schlecht durchlässige Kluftgrundwasserleiter ausgebildet. Der Raum wird als Grundwassermangelgebiet bezeichnet. Bessere Durchlässigkeit weisen Störungszonen und lokal vorkommende Quarzite, Sandsteine oder Metabasalte auf, die zur Grundwassergewinnung genutzt werden. Das Rheinische Schiefergebirge ist ein Erosionsgebiet, es sind nur gering mächtige oder unbedeutende Grundwasserdeckschichten ausgebildet. Die Grundwasserleiter haben überwiegend silikatische Gesteinsbeschaffenheit.*

Mineralwasservorkommen: Die wichtigsten Vorkommen von höher mineralisiertem Grundwasser stellen am östlichen Rand die Heilquellen von Bad Wildungen und dem Stadtteil Reinhardshausen dar. Es handelt sich um gefasste Quellen und Tiefbrunnen, die nach ihrer hydrochemischen Beschaffenheit überwiegend einem Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Wasser-Typ mit $\text{CO}_2 > 1000 \text{ mg/kg}$ zuzuordnen sind. Die hoch mineralisierte Helen-, Königs- und Schloßquelle stellen dagegen einen Natrium-Magnesium-Calcium-Chlorid-Wasser-Typ mit $\text{CO}_2 > 1000 \text{ mg/kg}$ dar (siehe Karte der Mineral- und Heilwasservorkommen in Hessen Diederich et al. 1991). Der Aufstieg der höher mineralisierten Wässer ist an tektonische Strukturen gebunden, die tiefgreifende Zerrüttungszonen mit höherer vertikaler Wasserwegsamkeit besitzen als die gering durchlässigen umgebenden Schichten des Unteren und Mittleren Devons und Unterkarbons. Die hydrostatische Druckentlastung entlang der Zerrüttungszonen bewirkt ein Aufsteigen des Kohlendioxid-Mineralwasser-Gemisches. Beim überwiegenden Teil der Bad Wildunger und Reinhardshausener Heilquellen liegen artesische Quellaustritte in tiefer gelegenen Talbereichen.

- b. *Barriereschichten: Es handelt sich um gefaltete und geschieferte Gesteine: Tonschiefer, Grauwacken, Quarzite, Metavulkanite oder Kalksteine. Sie besitzen oberflächennah, wie in Steinbrüchen beobachtet werden kann, mitunter eine stärkere wasserführende Auflockerung der Kluft- und Störungsbereiche. Diese nimmt mit der Tiefe ab, sodass Störungen im Normalfall eine im Rheinischen Schiefergebirge eher geringe hydraulische Durchlässigkeit aufweisen. Nicht gefaltete tonige Barriereschichten oder mächtige Salinarzyklen über den paläozoischen Gesteinen fehlen.*
5. *Geologische Analyse: Im Rheinischen Schiefergebirge stehen bituminöse Zielhorizonte der Kulmschiefer-Serie an der Erdoberfläche an. Die Mächtigkeit der Kulmschiefer-Serie steigt generell von SE nach NW an und beträgt zwischen 50 und 150 m. Allein die Liegenden Alaunschiefer erreichen regional stark schwankend 7 bis 50 m. Ebenso wie die Mächtigkeit des*

Zielhorizontes sind die gemessenen C_{org} -Gehalte und eingeschränkt auch die überwiegend hohe thermische Reife ausreichend, um Muttergesteinspotenzial im Rheinischen Schiefergebirge zu vermuten. Die Gesteine der Kulmschiefer-Serie sind im Laufe der variskischen Gebirgsbildung mit kompressivem Charakter intensiv gefaltet, geschiefert, überschoben, verschuppt und von zahlreichen, auch überregionalen Querstörungen, meist senkrecht zu den überwiegend SW-NE streichenden Faltenachsen durchsetzt. Als Folge der variskischen Gebirgsbildung wurde die Muttergesteinsqualität durch klastische Einschüttungen (Kulm-Grauwacken) von der im SE aufsteigenden mitteldeutschen Kristallinschwelle und durch hohe Reifegrade infolge der Gesteinsversenkung verringert. Die günstigsten Bedingungen für Schiefergas-Potenzial liegen möglicherweise in der Wittgensteiner Mulde, insbesondere in deren Südteil, mit thermischen Reifen von 2,5% R_o bis > 4% R_o . Zudem lagern im Bereich des östlichen Edersees bis zu 1000 m mächtige Grauwacken und Tonschiefer-Grauwackenschichten über dem Zielhorizont. Weiter nördlich in der Waldecker Mulde nordöstlich Willingen, erreicht das unterkarbonische Deckgebirge nur noch Mächtigkeiten von 350 bis 400 m. Auch der Kellerwald-Horst ist wegen seiner Inkohlungsanomalie (Weiskorn 1987) weniger Interessant für die Schiefergas-Suche.

6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* Die Grundwasserneubildung in diesem Raum ist aufgrund der geringen Gebirgsdurchlässigkeit gering. Ausreichende Durchlässigkeit liegt überwiegend im Bereich von Störungszonen vor. Die zur Trinkwassergewinnung genutzten Tiefbrunnen sind an diesen Lineamenten angeordnet. Daneben werden zahlreiche gefasste Quellen und ehemalige Wasserlösestollen von früheren Bergwerken zur Trinkwassergewinnung genutzt. Lokal existieren Brauchwasserbrunnen, die für den Produktionsprozess der verarbeitenden Gewerbebetriebe, insbesondere der Metallverarbeitung (u. a. Viessmann), Verwendung finden. Die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser ist in den einzelnen Gemeinden von Qualität und Quantität der genutzten Grundwasservorkommen zahlreicher kleiner Quelfassung und Tiefbrunnen abhängig. Eine Beeinträchtigung der Grundwasservorkommen könnte nicht durch eine lokale Ersatzwasserbeschaffung ausgeglichen werden. Die Heilquellen von Bad Wildungen liegen an der Grenze zwischen dem Potenzialraum 1 und 3. Sie stellen überwiegend natürliche Grundwasseraustritte von höher mineralisiertem Grundwasser dar, die als artesische Quellen an tektonische Störungszonen gebunden sind. Als Ursprung für den NaCl-haltigen Anteil des Grundwassers wird ein unterirdischer Grundwasserzufluss aus den osthessischen Salz-Lagerstätten im Zechstein (östlich Bad Hersfeld) postuliert. Höher mineralisierte Grundwasseraufstiege („Mineralwasser“), insbesondere Heilquellen, sind aufgrund ihrer Genese als individuelle Bildungen zu betrachten und nicht beliebig reproduzierbar. Therapeutisch wirksame höher mineralisierte Grundwässer, d. h. die medizinisch anerkannten Heilwässer, sind besonders schutzwürdig, da sie ohne Aufbereitung direkte Verwendung finden.
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen:* Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten.
8. *Fazit:* Aufgrund der geringen Teufenlage des Zielhorizonts (in der Regel deutlich < 1000 m) und des weitgehend barrierefreien Deckgebirges wird eine Erkundung mit dem Ziel der

Schiefergas-Förderung nicht befürwortet. Die hydraulischen Verhältnisse der höher mineralisierten Grundwasseraufstiege sind sehr komplex und bedürfen eines besonderen Schutzes. Dagegen wird die petrographische, geochemische und mineralogische Erkundung der hier wegen geringer Teufe ohne aufwändige Tiefbohrungen zugänglichen bituminösen Kulmschiefer-Serie sowie die tektonische Analyse im Rheinischen Schiefergebirge als sinnvoll erachtet.

5.2.2. Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex (s.a. Abb. 5.5)

1. *Strukturräume:* Reinhardswald-Scholle, Nethe-Scholle, Zierenberger-Scholle und Nördliche Niederhessische Senke; Begrenzungen: Landesgrenze und Volkmarsen-Kasseler-Grabensystem im S
2. *Zielhorizont(e):* Kulmschiefer-Serie, Kulm-Grauwacken, Zechstein-Abfolge
3. *Lagerstätten-Typ:* Schiefergas-Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht auszuschließen)
4. *Deckgebirge:* Nahezu für den gesamten Potenzialraum werden Deckgebirgsmächtigkeiten über einem potenziellen Zielhorizont von > 800 m, verbreitet sogar > 1000 m angenommen. In vier Bohrungen im Raum Bad Karlshafen, Kassel und Reinhardshagen ist das Deckgebirge bestehend aus Buntsandstein, Zechstein und Rotliegend bis in Teufen von > 1000 m erbohrt worden, ohne das Unterkarbon zu erreichen. Im Potenzialraum erstreckt sich ein Teil des sog. Solling-Trog, eine Einsenkung, in dem die höchsten Buntsandstein-Mächtigkeiten in Hessen mit z. T. > 1000 m auftreten. Im Wesertal bei Reinhardshagen tritt bereits in einer Teufe von 670 m karbonatischer Zechstein auf.
 - a. *Grundwasserführende Schichten:* Diese Fläche umfasst im westlichen Schichten des Oberen Buntsandsteins mit auflagerndem Muschelkalk. Sie ist durch mehrere Grabenbrüche und Störungszonen in Schollen zergliedert. Der Muschelkalk ist i. d. R. ein guter Grundwasserleiter, der erhebliche Wassermengen liefern kann. Die ursprünglich vorhandenen Klüfte der Kalk- und Mergelsteine sind lokal in unterschiedlichem Umfang verkarstet. Es muss daher mit großen Fließgeschwindigkeiten und entsprechend geringem Reinigungsvermögen gerechnet werden. Trotzdem wird der Muschelkalk für die örtliche Trinkwasserversorgung genutzt. Unter dem Muschelkalk liegt der Obere Buntsandstein. Er bildet weit verbreitet die Trennschicht zum zweiten Grundwasserstockwerk, dem Mittleren Buntsandstein. In diesem ergiebigen Kluftgrundwasserleiter wird meist gespanntes Grundwasser erschlossen, das aber stark mineralisiert sein kann und dann nicht für die Trinkwasserversorgung zu nutzen ist. In Bereichen mit starker tektonischer Beanspruchung, wie z.B. entlang des Kasseler Grabens, können die Gesteine der Röt-Formation so stark geklüftet vorliegen, dass kleinräumig ein Kluftgrundwasserleiter geringer Ergiebigkeit ausgebildet ist. Der östliche Teil der Fläche wird hauptsächlich aus Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins aufgebaut. Dies sind Kluftgrundwasserleiter mit silikatischer Gesteinsbeschaffenheit und mäßiger (Mittlerer Buntsandstein) bis geringer (Unterer Buntsandstein) Gebirgsdurchlässigkeit, örtlich auch mit mittlerer Durchlässigkeit. Dies ist an Schollen- und Grabenrandstörungen tektonisch bedingt oder durch begin-

nende Salzablaugung im Untergrund verursacht. Insgesamt bestehen hohe Grundwasserer giebigkeiten. Nördlich, östlich und südlich von Kassel liegen relativ tiefe Hauptgrundwasserspiegel vor, da hier nicht die näheren Gewässer, sondern im N die Diemel und im E und S die Fulda den Hauptvorfluter bilden. Der Reinhardswald stellt ein Grundwasser-Reservegebiet dar, das Dargebot ist bislang noch nicht vollständig durch Wasserrechte ausgeschöpft. In den Tälern der Fulda und Weser liegen bereichsweise chloridhaltige Mineralwasseraufstiege vor (Diederich et al. 1991).

Mineralwasservorkommen: Höher mineralisiertes Grundwasser wird u. a. in der TB „Wilhelmshöhe 1“ (Kassel) mit einer Endtiefe von 1316 m in Schichten des Zechsteins angetroffen. Es handelt sich um eine eisenhaltige Thermalsole mit $\text{NaCl} > 14 \text{ g/kg}$. Eine ähnliche Grundwasserbeschaffenheit liegt für den Schachtbrunnen „Konkordia-Schacht“ (Karlshafen) vor, der ebenfalls eine Sole fördert und Schichten des Mittleren Buntsandsteins erfasst. Im „Gesundbrunnen“ von Hofgeismar wird dagegen ein $\text{Na-Cl-Mg-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4\text{-Säuerling}$ mit $\text{CO}_2 > 1000 \text{ mg/kg}$ im Mittleren Buntsandstein angetroffen. Bei den höher mineralisierten Wässern im Mittleren Buntsandstein handelt es sich um aufsteigende höher mineralisierte Tiefenwässer aus den im Liegenden anstehenden salinreichen Zechstein-Formationen.

- b. *Barriereschichten:* Im Raum Kassel wurden ca. 150 m tonig-schluffige Gesteine des Oberen Buntsandsteins (Röt-Formation) erbohrt. Die feinsandig ausgebildeten Gesteine des Unteren Buntsandsteins haben eine Mächtigkeit von 50 bis $> 100 \text{ m}$. Ihre Barriereeigenschaft variiert in Abhängigkeit von der Klüftigkeit und der Tonsteinanteile. Für die oberen eher klastisch ausgebildeten Zechstein-Schichten gelten die gleichen Barriereeigenschaften wie die des Unteren Buntsandsteins. Der karbonatisch-sulfatische Zechstein (Kalk-, Dolomit-, Anhydrit- und Tonstein) sind verkarstungsfähig, d.h. die Barriereeigenschaften können deutlich schwanken. Insbesondere im westlichen Anteil des Potenzialraumes, der Nethe- und der Zierenberger-Scholle sind die abdichteten Schichten der Röt-Formation verbreitet. In wieweit das vorhandene Potenzial tiefliegender Barrieregesteine flächendeckend vorliegt ist nicht hinreichend bekannt.
5. *Geologische Analyse:* Der Potenzialraum ist eine nach Hessen hineinreichende Ausbuchtung des norddeutschen Beckensystems. Muttergesteinspotenzial (Schiefergas-Potenzial) liegt hier nach GERLING et al. (1999, Abb. 42, S. 107) in marinen Schwarz- und Kieselschiefern (Kulmschiefer-Serie) des Unterkarbons (Dinant) mit prognostizierter thermischer Reife $< 1,5$ bis $2 \% R_o$. Die genannten Werte liegen deutlich unter den im Rheinischen Schiefergebirge für die gleiche Gesteinsserie gemessenen Werten. Bohrungen bis in den Zielhorizont und Analysen aus letzterem liegen nicht vor, um die Annahmen zu verifizieren. Als mögliche darüberliegende Speichergesteine (Tight Gas-Lagerstätten) werden unterkarbonische Grauwacken und zechsteinzeitliche Riffkalksteine genannt. In der Bohrung Reinhardswald 1 bei Reinhardshagen-Veckerhagen deuten bituminöse Spuren in Kalksteinen, Dolomiten und Tonsteinen des Zechsteins ein mögliches Öl- oder Gas-Potenzial an. Herkunft und Alter der Kohlenwasserstoffe sind nicht bekannt. Der brekziöse Charakter der Gesteine deutet zumindest auf störungsbedingte Migrationswege bis ins Deckgebirge hin. Gesteine des Zechstein-Salinars

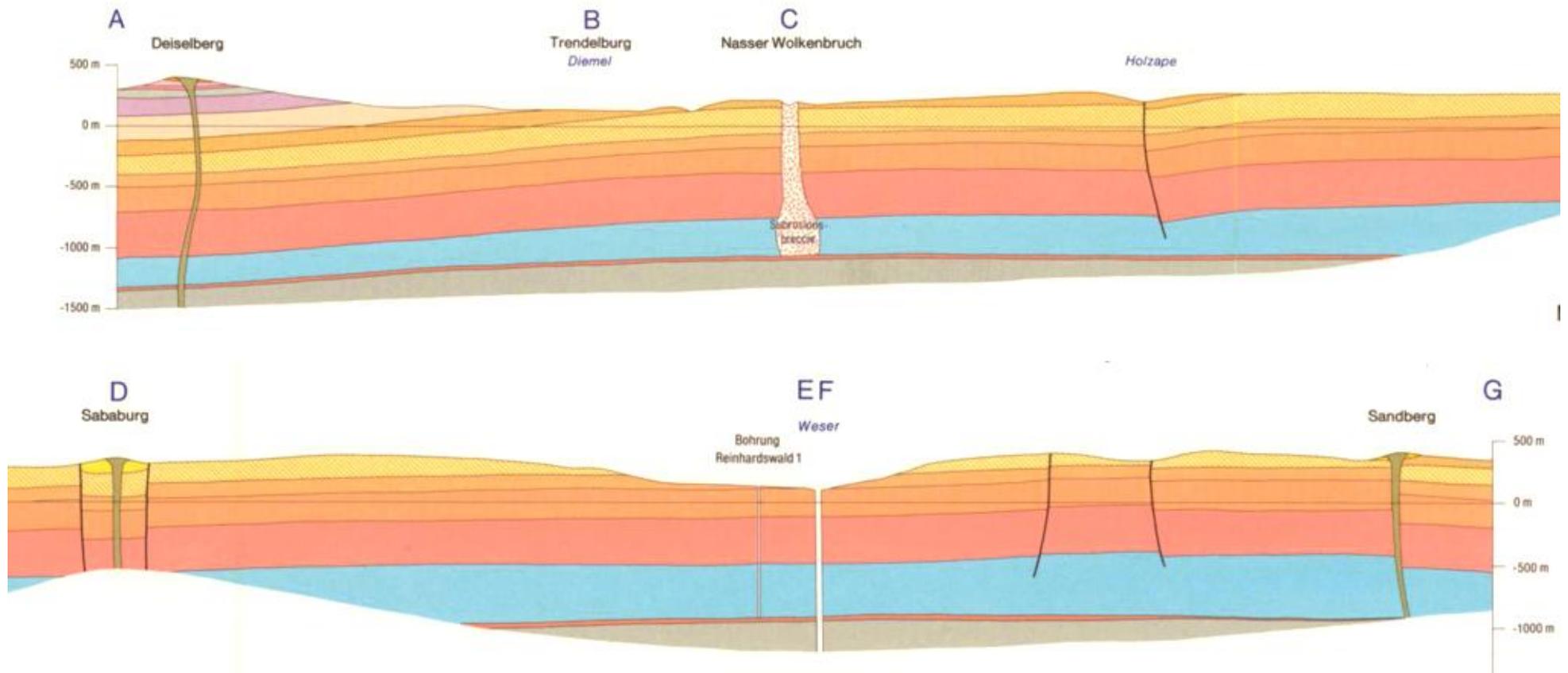


Abb. 5.5: W-SE-Profil auf der Höhe Trendelburg-Reinhardshagen durch den Reinhardswald, den östlichen Teil des Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplexes. Die >1000 m mächtige Gesteinsabfolge ist in der Bohrung Reinhardswald 1 (links der Buchstaben „EF“ im Profil) bis ins Rotliegend durchteuft. (Quelle: Geologische Karte des Reinhardswaldes 1 : 50000)

olivgrün:	Tertiär, Vulkanit
gelb:	Tertiär, Sedimentgestein
violett, hellgrau und rot-rosa:	Muschelkalk
rosa, orange, gelb:	Buntsandstein
blau:	Zechstein
braunrot:	Rotliegend
dunkelgrau:	Karbon

Profillänge entspricht 23,6 km

bilden möglicherweise zumindest im nördlichsten Teil des Potenzialraumes flächendeckend die Abdeckung einer Muttergesteinslagerstätte. Die Gesteinsschichten der Kulmschiefer-Serie sowie sie überlagernde Kulm-Grauwacken sind nach ihrer Ablagerung in einem Meeresbecken infolge einer Gebirgsbildung im jüngsten Unterkarbon und Oberkarbon stark gefaltet und gestört (Überschiebungen, Querstörungen) worden. Es ist daher zu erwarten, dass diese Schichten, in denen sich auch der mutmaßliche schiefergashöfliche Zielhorizont befindet, auch in diesem Potenzialraum unterhalb der mächtigen Deckschichten stark gefaltet und gestört ausgebildet sind.

6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* In diesem Raum sind im Muschelkalk und im Mittleren Buntsandstein ergiebige Grundwasservorkommen vorhanden, die bis zu einer Tiefe von 300 m für den Großraum Kassel genutzt werden. Ein Grundwasserstockwerksbau ist ausgebildet. Mineralwasserbrunnen und Thermalsolequellen (Tiefbrunnen) sind in Schichten des Zechsteins und Mittleren Buntsandsteins bekannt.
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen:* Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten
8. *Fazit:* Der Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex ist aufgrund prognostizierter Zielhorizonte in Teufen > 1000 m und seiner mächtigen Deck- und Barriere-Schichten sowohl für Schiefergas- als auch unter Umständen für Tight Gas-Erkundungen der primäre Zielraum in Hessen. Aufgrund der Beckenstruktur ist hier mit einem extensionsdominierten Spannungssystem zu rechnen. Über die möglichen Zielhorizonte selbst liegen keine Daten vor. Bituminöse Gesteinsimprägnationen in Zechstein-Lagen geben jedoch Hinweise auf eine mögliche Kohlenwasserstoffentwicklung in paläozoischen Gesteinen. In diesem Gebiet befinden sich die Trinkwassergewinnungsanlagen für den Großraum Kassel. Die Barrierewirkung der Deckschichten und die Störungssysteme wären im Rahmen einer Aufsuchung im Hinblick auf den Grundwasserschutz sorgfältig zu erkunden.

5.2.3. Potenzialraum Korbach-Arolsener Schollenkomplex (s.a. Abb. 5.6)

1. *Strukturräume:* Arolsen-Schlierbach-Scholle, Meininghausener-Vasbeck-Ense Schollenkomplex, Quast-Eichholz-Scholle; Begrenzungen: Landesgrenze im N, Rheinisches Schiefergebirge in W, Volkmarshäuser-Fritzlarer-Grabensystem im W und Niederhessische Senke im S und SE
2. *Zielhorizont(e):* unterkarbonische Kulmschiefer-Serie sowie unterkarbonische Grauwacken, Zechstein-Abfolge (im E des Potenzialraumes)
3. *Lagerstätten-Typ:* Schiefergas-Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht gänzlich auszuschließen)
4. *Deckgebirge:* Der am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges austreichende Saum des Zechsteins fällt nach E bis SE ein und tritt daher nur wenige Kilometer breit zutage aus. Nach E bzw. SE wird er überlagert von den klastischen Sedimentgesteinen des Buntsandsteins. Von W nach E sind staffelartige Bruchschollen ausgebildet. Entsprechend nimmt der Buntsand-

stein bis zu 800 m, nahe der Fritzlar-Naumburger-Grabenzone, der Grenzzone zum Potenzialraum Itha-Emsthaler Schollenkomplex, sogar > 1000 m nach E hin zu. Es ist davon auszugehen, dass auch die Mächtigkeit der Gesteinsschichten des Zechsteins nach E zunimmt.

- a. *Grundwasserführende Schichten:* Die Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins besitzen eine wichtige Funktion als Grundwasserleiter, ebenso die Zechsteinschichten am Schiefergebirgsrand, insbesondere im Raum Korbach. Sie bilden überwiegend ergiebige Kluftgrundwasserleiter, in den Kalk- und Dolomitsteinen des Zechsteins Kluft-/Karstgrundwasserleiter. Es ist ein Grundwasserstockwerksbau ausgebildet. Es könnten gespannte Grundwasserverhältnisse auftreten. Im Zechstein sind Grundwasserleiter im Zechsteinkalk (z1-Folge), im Staßfurt-Karbonat (z2-Folge) und Leine-Karbonat (z3-Folge) ausgebildet, die Trennhorizonte bilden Ton-, Schluff-, Sand- und Gipssteine. Der Obere Zechstein (Folgen z4 –z7) ist eher als Grundwassergeringleiter anzusprechen. Die Grundwasservorkommen sind von großer Bedeutung für die regionale Wasserversorgung. Quellen und Brunnen sind aufgrund fehlender geringmächtiger Grundwasserüberdeckung hygienisch gefährdet. Das Grundwasservorkommen wird auch durch Brauchwasserbrunnen von überregional bedeutenden Gewerbebetrieben für den Produktionsprozess verwendet (u. a. Continental).
Mineralwasservorkommen: Es existieren Mineralwasseraufstiegswege, die als anerkannte Heilquellen und zur Mineralwassergewinnung genutzt werden (z.B. Bad Wildungen und Bad Arolsen; siehe auch Beschreibung in Kap. 5.2.1). Die anerkannte Heilquelle „Schloßbrunnen“ von Bad Arolsen entnimmt über einen Tiefbrunnen höher mineralisiertes Grundwasser, die Qualität entspricht einem Ca-Mg-SO₄-Wassertyp. Die Gesteine des Muschelkalks werden dagegen wegen hygienischer Probleme und der geringen Verbreitung nicht für die öffentliche Trinkwassergewinnung genutzt.
 - b. *Barriereschichten:* Unterkarbonische Tonschiefer, Quarzite, Metavulkanite. Sie besitzen außer an Störungen im Normalfall geringe Durchlässigkeit. Im Saumbereich des Rheinischen Schiefergebirges tritt nur der Zechstein als Barriere auf, als Kalk-, Mergel- und Dolomitstein, sowie als Ton-, Schluff-, Sand- und Gipsstein ausgebildet. Nach W folgen in der weiteren-Abfolge mit meist zunehmender Mächtigkeit Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins, als Schluff- und Sandsteine, die aufgrund ihrer Klüftigkeit und Gebirgsdurchlässigkeit als Grundwasserleiter und nicht als Barriere einzustufen sind.
5. *Geologische Analyse:* Gesteine des Unterkarbon sind nur in Randbereichen zum aufgeschlossenen Rheinischen Schiefergebirge mit geringer Zechstein-Überdeckung erbohrt worden. In diesem Potenzialraum gibt es keine Bohrungen, die den Zielhorizont der gefalteten und gestörten Kulmschiefer-Serie erreicht haben. Nach E nehmen die Kenntnisse über Mächtigkeit und Beschaffenheit der Zechstein-Schichten tendenziell stark ab. Es liegen weder Informationen zur potenziellen Gas-Höflichkeit der unterkarbonischen Schiefergesteine, noch zu unterkarbonischen bis permischen Speichergesteinen vor. Die Region ist durch Bruchschollentektonik (Saxonische Tektonik) ab dem Oberen Jura geprägt. Intensive Tektonik tritt erst in den mesozoischen Grabensystemen, den Grenzbereichen zu benachbarten Potenzialräumen im E

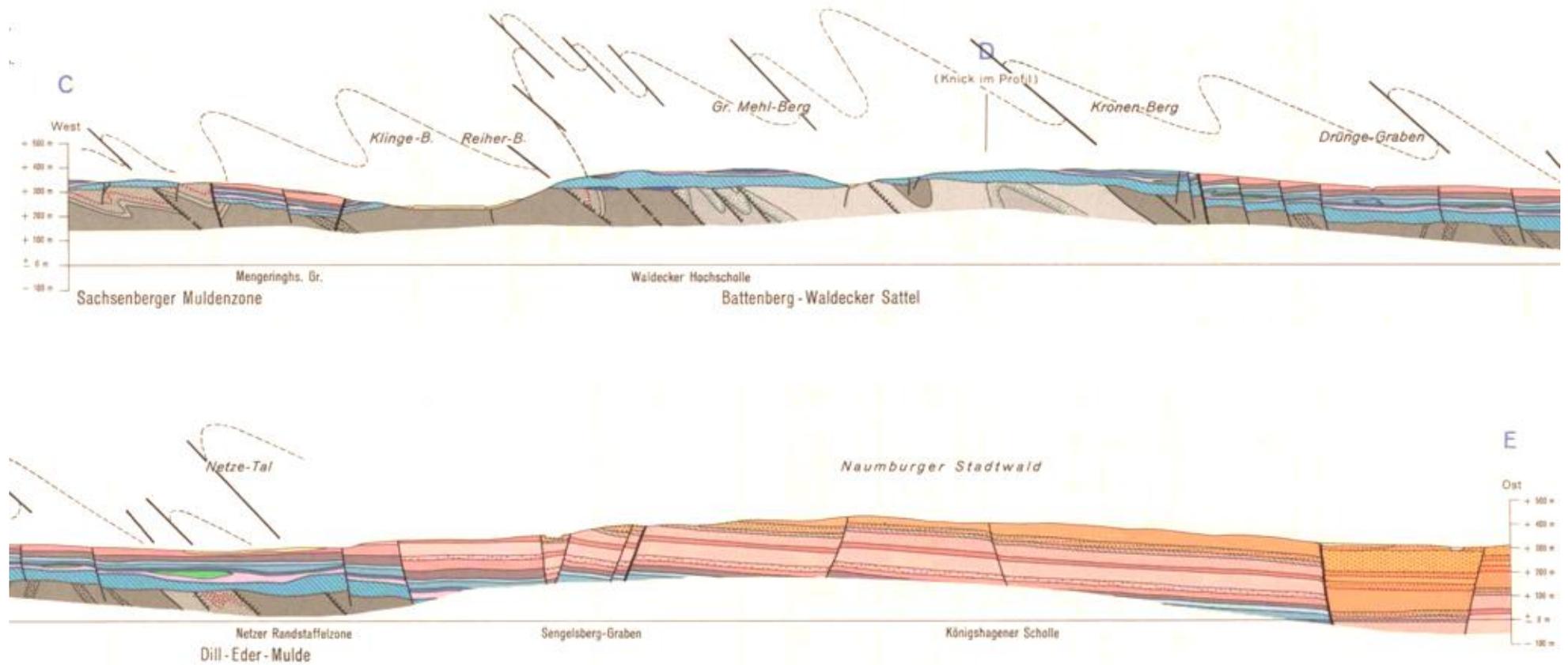


Abb. 5.6: W-E-Profil (C-E) vom Rheinischen Schiefergebirge (Kulm-Tonschiefer und Kulm-Grauwacken) in den Korbach-Arolsener Schollenkomplex mit staffelartigem Absinken paläozoischer Schichten und zunehmender Mächtigkeit der Deckschichten nach E.
 (Quelle: GK 25, Blatt 4720 Waldeck, 1969)

rosa, rot orange: *Buntsandstein*
 blau, grün, hellrosa: *Zechstein*
 dunkelgrau, hellgrau: *Unterkarbon*

Profillänge entspricht 12,0 km

auf. Südlich des Rheinischen Schiefergebirges (Kellerwald) könnte die Geologie komplexere Züge besitzen (mögliche Überschiebungstektonik in der Frankenger Bucht, siehe Kap. 5.2.4), was in der Zukunft zu einer neuen Einschätzung führen könnte.

6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* Die Grundwasservorkommen im Raum Korbach sind von großer regionaler Bedeutung. Es liegt eine sehr hohe Gebirgsdurchlässigkeit in den Kluft-/Karstgrundwasserleitern der Karbonate der z1 – z3-Folge sowie der Sand- und Schluffsteine der Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins vor. Am westlichen Rand des Potenzialraums liegen die bedeutenden Gewinnungsanlagen der anerkannten Heilquellen von Bad Wildungen.
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen:* Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten
8. *Fazit:* Deckgebirge und Barrierschichten erreichen wahrscheinlich nur im E und SE des Potenzialraums eine Mächtigkeit, die eine Exploration auf Schiefergas und/oder unter Umständen auch auf Tight Gas sinnvoll erscheinen lassen. Bedeutende zur Trinkwasserversorgung und als Heilquellen genutzte Grundwasservorkommen stellen einen besonderen Nutzungskonflikt in diesem Potenzialraum dar.

5.2.4. Potenzialraum Frankenger Scholle (s.a. Abb. 5.7)

1. *Strukturräume:* Frankenger Scholle; Begrenzungen: Rheinisches Schiefergebirge in W, N und E, Niederhessische Senke im S; Begrenzungen: Rheinisches Schiefergebirge im W, N und NE, Korbach-Arolsener Schollenkomplex im SE und Niederhessische Senke im S
2. *Zielhorizont(e):* unterkarbonische Kulmschiefer-Serie, unterkarbonische Grauwacken, Zechstein-Abfolge
3. *Lagerstätten-Typ:* Schiefergas- Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht gänzlich auszuschließen)
4. *Deckgebirge:* Das Deckgebirge in der Frankenger Scholle weist eine Mächtigkeit von 70 m bis > 500 m auf. Bis auf einem nördlichen und nordwestlichen Randsaum zum Rheinischen Schiefergebirge aus Gesteinen des Zechsteins, bildet Buntsandstein den überwiegenden Anteil des Deckgebirges in der Frankenger Scholle. Buntsandstein, überwiegend Mittlerer und Unterer Buntsandstein mit nur untergeordnet bindigen Lagen und z. T. entfestigt, besitzt eine Mächtigkeit zwischen 220 – 270 m. Der 70 – 120 m mächtige Zechstein im Randsaum und im Liegenden des Buntsandsteins setzt sich hier untypisch aus Sandsteinen, Konglomeraten, Tonstein und Dolomiten zusammen (Randfazies). In den Bohrungen Rosenthal und Rauschenberg wurden im Liegenden des Zechsteins bis zu 316 m devonische Tonschiefer erbohrt,

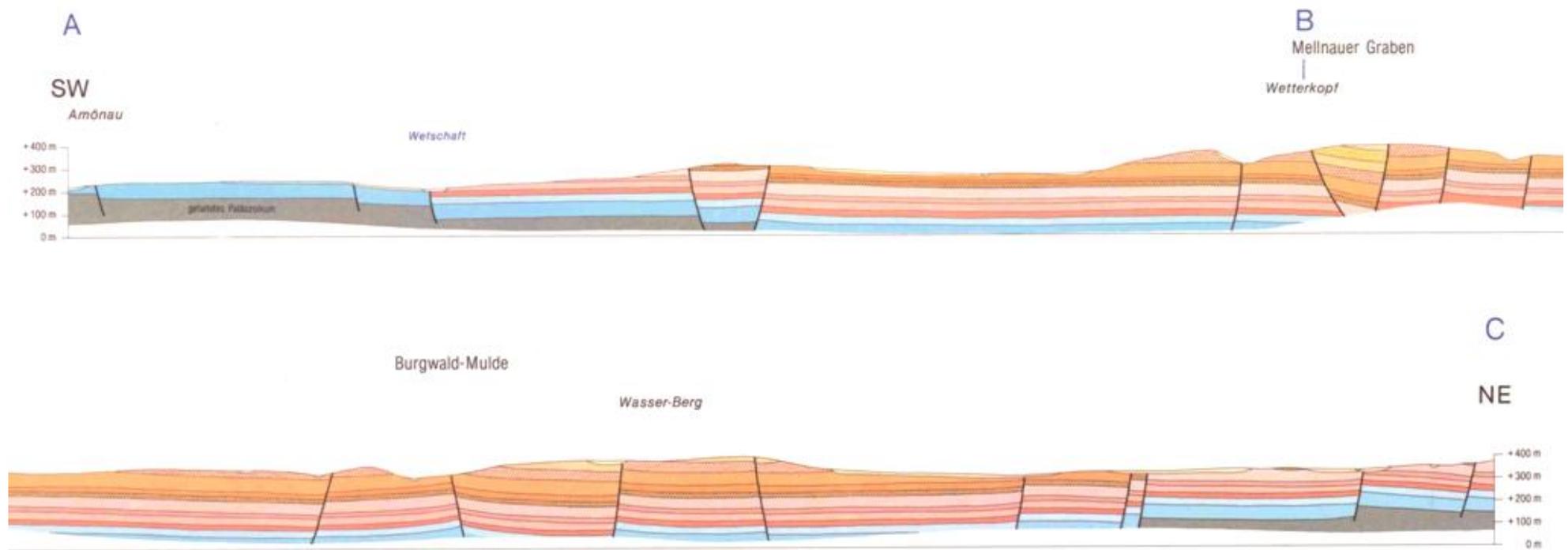


Abb. 5.7: SW-NE-Profil (A-C) durch die Frankenberger Scholle mit staffelartig abgesenkten Anteilen des Rheinischen Schiefergebirges.
 (Quelle: GK 25, Blatt 5018 Wetter, 1985)

rot, rosa, gelbbraun, orange: Buntsandstein
 blau: Zechstein
 dunkelgrau: Paläozoikum, Devon und Unterkarbon

Profillänge entspricht 13,3 km

die auch dem Deckgebirge möglicher Zielhorizonte zugerechnet werden müssen (mögliche Überschiebungstektonik, siehe dieses Kap., Nr. 5).

- a. *Grundwasserführende Schichten:* Bedeutende Grundwasservorkommen sind im Mittleren und Unteren Buntsandstein der Frankenger Scholle ausgebildet. Es handelt sich um Buntsandsteinschollen, deren Grundwasservorkommen über weitreichende Störungszonen (u. a. Wohratal) an die Vorfluter angebunden sind. Es ist ein ausgeprägter Grundwasserstockwerksbau vorhanden. Die Wasserwerke nutzen meist mehrere Grundwasserleiter. Die unterirdischen Einzugsgebiete der größten Wasserwerke Wohratal und Stadtallendorf reichen bis an die Rhein-Weser-Wasserscheide. Die genutzten Grundwasservorkommen aus dem Mittleren Buntsandstein sind von überregionaler Bedeutung für Mittelhessen. Eine Fernleitung in das Rhein-Main-Gebiet ist in Planung. Die Grundwasservorkommen im wenige Kilometer breiten Zechsteinsaum, z. T. Kluft-/Karstgrundwasserleiter, werden von einigen Wasserversorgungsunternehmen (u. a. Battenberg, Frankenberg) genutzt. Nach E bzw. SE wird er überlagert von den klastischen Sedimentgesteinen des Buntsandsteins. Das Grundwasserdargebot im Zechstein wird nur lokal genutzt, wobei wegen geringer Schutzwirkung der Deckschichten häufig hygienische Probleme bestehen.
Mineralwasservorkommen: In der Stadt Frankenberg (Eder) sind höher mineralisierte Grundwässer in einer Bohrung, die Schichten des Zechsteins aufschließt, bekannt. Es handelt sich um einen Na-SO₄-Cl-Wasser-Typ.
 - b. *Barrierschichten:* Mächtige devonische Tonschiefer sind aus wenigen Bohrungen belegt. Eine flächenmäßige Verbreitung ist hingegen offen. Tonsteine des Oberen Zechsteins können als Barrierschichten angesprochen werden. Schluff- und Sandsteine des Oberen Zechsteins sowie des Unteren und Mittleren Buntsandsteins sind als Grundwasserleiter einzustufen.
5. *Geologische Analyse:* Mögliche Zielhorizonte für Schiefergas, primär bituminöse Gesteine der unterkarbonischen Kulmschiefer-Serie, wurden nicht erbohrt. Im N der Frankenger Scholle bildet in der Bohrung Rosenthal geringmächtiges Rotliegend und devonische Tonschiefer das Liegende des Zechsteins. Hier wurden unterkarbonische Gesteine nicht erbohrt. Weiter im S durchteuft die Bohrung Rauschenberg devonische Ton- und Kieselschiefer und erreicht 600 m u. Gelände quarzreiche unterkarbonische Tonschiefer. Das ungewöhnliche Auftreten von unterkarbonischen Gesteinen im Liegenden der älteren Einheiten aus dem Devon könnte die Vorstellung von einer Überschiebungstektonik (Deckentektonik) im nordwestlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges, die auch angrenzende Strukturräume des Kellerwald im NE und der Hörre im SW umfasst, unterstützen (DOUBLIER et al. 2012; siehe auch Abb. 5.2). Erhärtet sich diese Theorie, ist im Liegenden der devonischen Decke das Vorhandensein eines zweiten unterkarbonischen Potenzials für Schiefergas und/oder Tight Gas in Teufen > 600 m nicht auszuschließen. Es ist wie in allen Potenzialräumen davon auszugehen, dass die unterkarbonischen Zielhorizonte stark gefaltet und gestört sind. Die Frankenger Bucht ist wie in Nordhessen durch die saxonische Tektonik verbreitet in einzelne Schollen strukturiert worden. Größere Störungszonen durchziehen das Gebiet nicht.

6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* Die Grundwasservorkommen im Mittleren Buntsandstein, die insbesondere vom Zweckverband Mittelhessische Wasserwerke (ZMW) genutzt werden, besitzen eine überregionale Bedeutung.
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen:* Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten.
8. *Fazit:* Die Überschiebungstektonik könnte sowohl die Ursache für mögliche Gas-Potenziale in geeigneten Teufen, als auch für mächtige paläozoische Barrierschichten sein. Im ersten Schritt einer eventuellen Erkundung müsste die geotektonische Situation der Frankenberger Scholle durch Seismik und Bohrerkundung geklärt werden. Nach heutigem Kenntnisstand sind jedoch die Deckschichten-Mächtigkeit und Barriereigenschaften für Erdgas-Förderung nicht geeignet. Das große, überregional genutzte Grundwasservorkommen im Mittleren Buntsandstein würde intensive Untersuchungen der Barrierefunktion innerhalb des Deckgebirges erfordern.

5.2.5. Potenzialraum Isthia-Emsthaler Schollenkomplex (s.a. Abb. 5.8)

1. *Strukturräume:* Isthia-Scholle, Emstaler-Scholle; Begrenzungen: Volkmarsener-Fritzlarer-Grabensystem im W, Volkmarsen-Kasseler-Grabensystem im N und Niederhessische Senke im E und S
2. *Zielhorizont(e):* Unterkarbonische Kulmschiefer-Serie, unterkarbonische Grauwacken, Zechstein-Abfolge
3. *Lagerstätten-Typ:* Schiefergas- Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht gänzlich auszuschließen)
4. *Deckgebirge:* Der Potenzialraum liegt innerhalb des Solling-Trogs mit einer hohen Buntsandstein-Mächtigkeit von > 700 m und klastisch (sandig-tonig) ausgebildeten Zechstein z4–7-Folgen. Darunter folgt karbonatisch ausgebildeter Zechstein, dessen Mächtigkeit nicht bekannt ist.
 - a. *Grundwasserführende Schichten:* Für den Raum existieren im Gebiet der Scholle von Kirchberg-Isthia bedeutende Grundwasservorkommen in den Kluffgrundwasserleitern des Mittleren Buntsandsteins (Hardeggen- und Solling-Formation). In diesem überörtlich wichtigen Wassergewinnungs- und Erschließungsgebiet (u. a. Gruppenwasserwerk Fritzlar-Homberg) ist ein Grundwasserstockwerksbau vorhanden.
Mineralwasservorkommen: Höher mineralisiertes Grundwasser ist in diesem Potenzialraum im Thermalbrunnen in Emstal-Sand in Schichten des Zechsteins über eine 800 m tiefe Bohrung erschlossen worden. Es handelt sich um ein eisenhaltiges Ca-Na-SO₄-Cl-Thermalwasser.

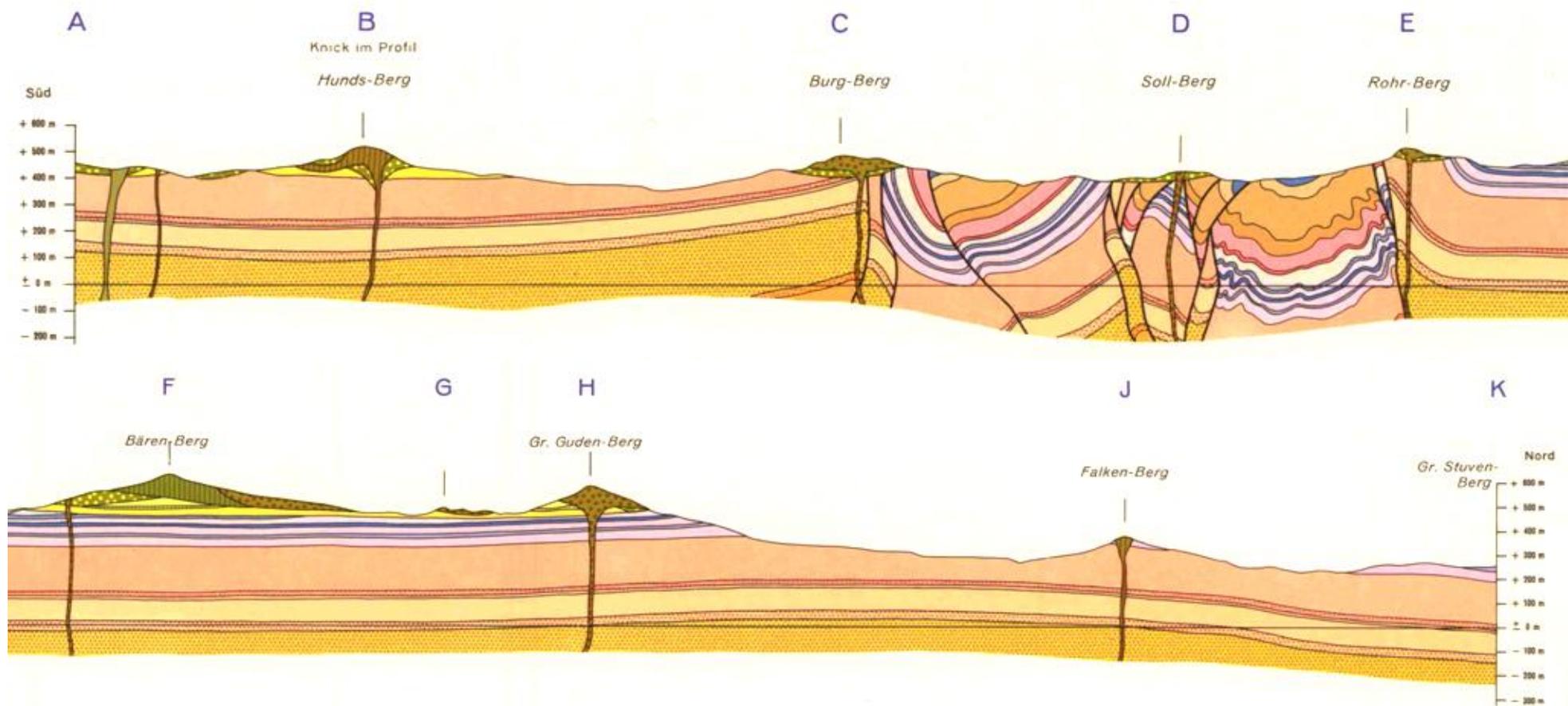


Abb. 5.8: S-N-Profil (A-K) vom Isthm-Emsthaler Schollenkomplex über den Kasseler Graben mit tektonisch beanspruchten mesozoischen Gesteinen des Buntsandsteins, des Muschelkalks, Keupers und Jura zum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex im N.
(Quelle: GK 25, Blatt 4621 Wolfhagen, 1966)

grün:	Tertiär, Vulkanit
gelb:	Tertiär, Sedimentgestein
dunkelblau:	Jura
orange-braun:	Keuper
blau und violett-rosa:	Muschelkalk
gelbbraun, orange:	Buntsandstein

Profillänge entspricht 11,4 km

- b. *Barriereschichten*: Die Gebirgsdurchlässigkeiten des Unteren Buntsandsteins und Oberen Zechsteins variieren in Abhängigkeit von der Klüftigkeit und der Tonsteinanteile und können unter günstigen Umständen Barrieren darstellen. Sand- und Schluffsteine des Oberen Zechsteins und Unteren Buntsandsteins stellen mit einem ausreichend ausgebildeten Kluftsystem Grundwasserleiter dar.

- 5. *Geologische Analyse*: Die geologische Situation ist ansatzweise mit Teilen des Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex vergleichbar und kann als seine Fortsetzung südlich des Kasseler Grabens angesehen werden. Die Bohrung Emstal 1 (4721/39) hat das Deckgebirge bis in eine Tiefe von 795 m erbohrt, aber unterkarbonische Zielhorizonte nicht erreicht.

- 6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung*: Der Komplex ist für den Kasseler Raum ein überregional bedeutendes Grundwasservorkommen.

- 7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen*: Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten.

- 8. *Fazit*: Der Isth-Emsthaler Schollenkomplex besitzt hohe Deckgebirgsmächtigkeit mit möglichen Barriereeigenschaften, die aber wahrscheinlich nicht flächenhaft 1000 m erreicht. Der unterkarbonische Zielhorizont ist nicht erkundet. Auch gibt es keine Hinweise, ob Kulm-Grauwacken und Zechstein-Schichten in ausreichender Mächtigkeit vorkommen und gas-höflich sind. Für die Erkundung ist das Gebiet jedoch geeignet. Für den Großraum Kassel-Fritzlar existieren bedeutende genutzte Grundwasservorkommen. Durch Grabentektonik bedingte mögliche vertikale Durchlässigkeiten des Deckgebirges und die Barriereeigenschaften des Deckgebirges wären ggf. intensiv zu erkunden.

5.2.6 Potenzialraum Niederhessische Senke (s.a. Abb. 5.9)

- 1. *Strukturräume*: Niederhessische Senke, Zennerner Senke, Ziegenhainer Becken, Vulkangebiet Habichtswald und Lange Berge, Vulkangebiet Knüllwald; Begrenzungen: Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex im N, Isth-Emsthaler Schollenkomplex im NW, Fulda-lauf-Tiefscholle im NE, Korbach-Arolsener Schollenkomplex im SW, Begrenzung des Aufsuchungsfeldes der BNK im S und Osthessische Buntsandstein-Scholle im SE

- 2. *Zielhorizont(e)*: Unterkarbonische Kulmschiefer-Serie, unterkarbonische Grauwacken, Zechstein-Abfolgen

- 3. *Lagerstätten-Typ*: Schiefergas-Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht gänzlich auszuschließen)

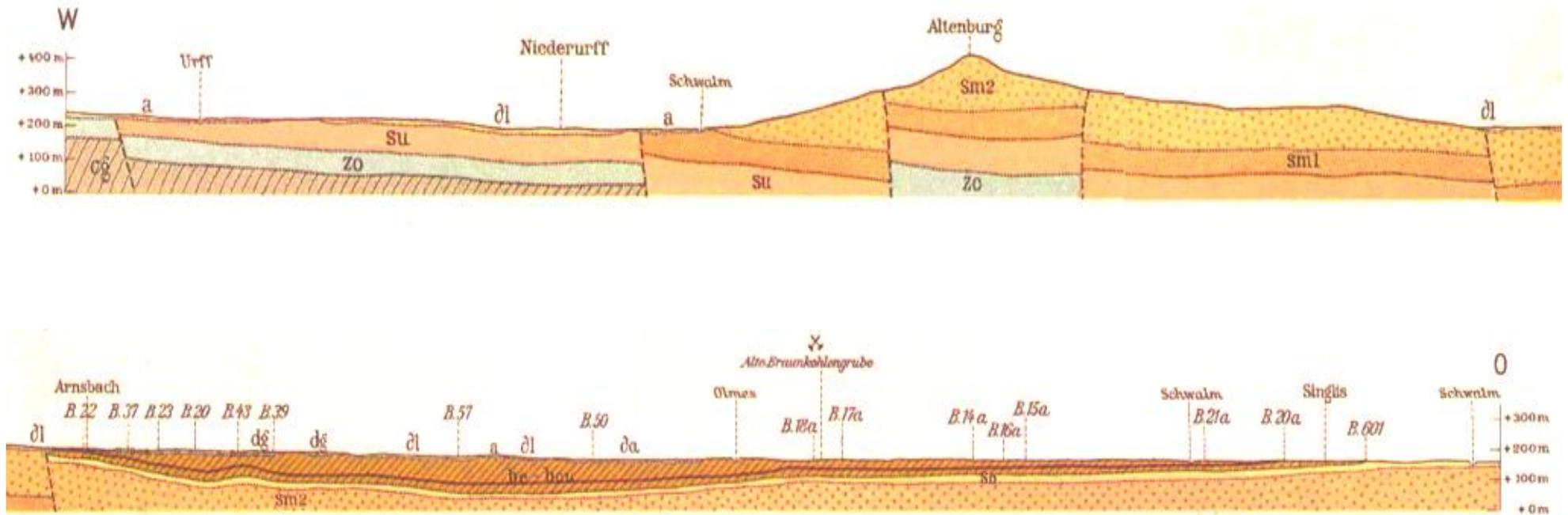


Abb. 5.9: W-E-Profil (C-D) vom Korbach-Arolsener Schollenkomplex in die Hessische Senke im SE.
 (Quelle: GK 25, Blatt 4921 Borken, 1926)

rotbraun:	Tertiär (be, bou)
orange, gelb:	Buntsandstein (su, sm1, sm2, so)
blau:	Zechstein (zo)
rotgrau, schraffiert:	Unterkarbon (cg)

Profillänge entspricht 11,6 km

4. *Deckgebirge*: Die Niederhessische Senke wird oberflächennah durch ein überwiegend tonig ausgebildetes, mächtiges Schichtenpaket sedimentärer Gesteine dominiert (Tertiär bis > 100 m, Oberer Buntsandstein (Röt-Formation) 100 – 200 m). Die Gesteine des Mittleren und Unteren Buntsandsteins sowie des Zechsteins sind bei Borken in der Bohrung Borken Zechstein 1 bis in Teufen von 1220 m erbohrt worden. Im Liegenden des Deckgebirges treten unterkarbonische Grauwacken auf. Die Niederhessische Senke gilt nicht als einheitlicher Senkungsraum. Das Deckgebirge wird eine Mächtigkeit von > 1000 m nicht überall erreichen.
- a. *Grundwasserführende Schichten*: Die Ausbildung des Oberen Buntsandsteins ist weitgehend feinkörnig, überwiegend stellt er einen Grundwassereringleiter dar. Eine Wassererschließung ist nur lokal in tertiären Feinsandsteinen oder tektonisch beanspruchtem und daher durchlässigerem Oberen Buntsandstein möglich. Genutzte Grundwasservorkommen mit höherer Ergiebigkeit werden erreicht, wenn durch tiefere Bohrungen gespanntes Grundwasser im unterlagernden Mittleren Buntsandstein erschlossen wird. Da dessen Bedeckung in ihrer Gesamtheit undurchlässig ist, muss die Grundwasserneubildung durch einen Zustrom aus W und E von außerhalb der Niederhessischen Senke erfolgen. Die tertiären Basalte, die die Sedimentabfolge durchschlagen, bilden Kluftgrundwasserleiter geringer Ausdehnung und Ergiebigkeit, die lokal von Bedeutung für die Wasserversorgung sein können. *Mineralwasservorkommen*: In der Tiefbohrung Borken wurde höher mineralisiertes Grundwasser in Schichten des Zechsteins, das als fluoridhaltiges Na-Ca-Cl-SO₄-Thermalwasser zu charakterisieren ist, angetroffen.
 - b. *Barriereschichten*: Als Barriereschichten können die mächtigen Tonsteine des Oberen Buntsandsteins (Röt), Schichten des Unteren Buntsandsteins, wenn diese als Tonstein ausgebildet sind und die Klüftung zu vernachlässigen ist und tonigsulfatische Abfolgen des Zechsteins angesehen werden (vgl. Abb. 5.10). In karbonatischen Lagen neigt der Zechstein jedoch zur Verkarstung.
5. *Geologische Analyse*: Die 12 – 18 km breite Niederhessische Senke erstreckt sich von Kassel im N bis etwa Ziegenhain (Schwalmstadt) im S und ist Teil des „Europäischen Rift-Systems“, vom Mittelmeer (Südfrankreich) über weite Teile Mitteleuropas bis an die Nordsee (Niederlande), zu dem u. a. auch der Oberrheingraben gehört. In der Tertiär-Zeit begann sich vor etwa 40 Mio. Jahren in diesem Teil des Hessischen Berglandes das Senkungsgebiet auszubilden, welches zeitweilig durch ein von N eindringendes Meer überflutet wurde. In Meeresarmen sowie in randlichen Seen und Lagunen konnten sich Sande und Tone ablagern. An den Rändern der Senkungsfelder entstanden aus Sumpfwäldern und Mooren lokale Braunkohlevorkommen, die z.B. bei Borken und Ostheim abgebaut wurden. Während der späten Tertiär-Zeit waren auch hier Vulkane aktiv wie beispielsweise im Habichtswald und im Knüllgebirge. Erbohrte Grauwacken (Jesberg-Grauwacken) könnten Teil der schon angesprochenen Überschiebungsstruktur sein. Der Zielhorizont der Kulmschiefer-Serie wurde nicht erbohrt. Im Raum Kassel haben zwei Bohrungen (Wilhelmshöhe I und II) das Leine-Karbonat (Plattendolomit) bei über 1200 m angefahren (Endteufe Bohrung II: 1279,10 m, Endteufe Bohrung I: 1316,00 m; Rösing 1958). Konkrete Rückschlüsse auf Zusammensetzung und Mächtigkeit des Zechsteins im Raum Kassel geben die Profile der Bohrungen Quentel und Mörshausen südöstlich von Kassel. Die Bohrung Quentel erbrachte 198,80 m Zechstein-Schichten unter den Schichten der Fulda-Formation (ehem. Bröckelschiefer), davon 25,20 m Leine-Karbonat (Plat-

tendolomit) und endet in Tonschiefern des Devons oder Unterkarbons (Kulick 1980). Rechnet man die übrigen Anteile der fehlenden Zechstein-Abfolge zum Profil der Bohrungen bei Wilhelmshöhe (161,60 m) hinzu, so gelangt man zu einer Gesteinssäule von insgesamt 1477,70 m, ab der mit Gesteinen des Unterkarbons gerechnet werden kann (unter Ausfall des Rotliegend in dieser Region). Der Top des Unterkarbons dürfte hier aus der genannten Tonschiefer-Grauwacken-Wechselfolge mit mehreren Hundert Metern Mächtigkeit bestehen. Damit könnte die Überlagerung der „Schwarzschieferabfolge“ bei Kassel 2000 m erreichen oder sogar überschreiten. Die Zechsteinabfolge bei Kassel, wie sie bei Quentel und bei Mörshausen vollständig angetroffen wurde, besitzt mit dem Kupferschiefer einen geringmächtigen aber bituminösen Horizont. Inwieweit aus diesem Horizont und weiteren in Hessen eher geringmächtigen teils bituminösen Einheiten (z.B. Zechsteinkalk, Leine-Karbonat) Kohlenwasserstoffe generiert wurden, die möglicherweise in höhere Gesteinseinheiten abgewandert sind, ist nicht bekannt.

6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* Gespannte Grundwasservorkommen im Mittleren Buntsandstein stellen ergiebige Grundwasservorkommen dar, die Grundwasserdeckschichten (Oberer Buntsandstein, Tertiär, z.B. Rupelton) verhindern eine Grundwasserneubildung vor Ort, ein Zustrom findet von E und W statt.
7. Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen: Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten
8. Fazit: Die Niederhessische Senke ist insbesondere in ihrem westlichen und nordöstlichen Teil (Raum Kassel) durchaus für eine Erkundung auf Erdgas interessant. Hierfür spricht die erbohrte hohe Deckgebirgsmächtigkeit über dem prognostizierten Zielhorizont der Kulmschiefer-Serie. Allerdings sind die Barrieregesteine unterhalb der genutzten Grundwasserleiter geringmächtig und selten. Nach E wird der Einfluss der permzeitlichen Hunsrück-Oberharz-Schwelle deutlicher. Hier existieren die paläozoischen Aufbrüche in der Osthessischen Buntsandstein-Scholle. Mit unterkarbonischen Gesteinen ist hier kaum noch zu rechnen.

214 m Oberer Buntsandstein (Röt), Grundwassernichtleiter, mit geringmächtigen Grundwasserleitern im unteren Bereich
84 m Solling-Folge, Mittlerer Buntsandstein, Kluft- (Poren-) Grundwasserleiter, mittlere Durchlässigkeit
188 m Hardeggen-Folge, Mittlerer Buntsandstein, Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, Kluftgrundwasserleiter, mäßige Durchlässigkeit, mittlere Durchlässigkeit an der Basis (Grobsandsteine)
84 m Detfurth-Folge, Mittlerer Buntsandstein, Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, Kluftgrundwasserleiter, mäßige Durchlässigkeit, mittlere Durchlässigkeit an der Basis (Grobsandsteine)
148 m Volpriehausen-Folge, Mittlerer Buntsandstein, Sandstein-Tonstein-Wechselfolge, Kluftgrundwasserleiter, mäßige Durchlässigkeit, mittlere Durchlässigkeit an der Basis (Grobsandsteine)
114 m Bernburg-Folge, Unterer Buntsandstein, Feinsandstein-Tonstein-Wechselfolge, Kluftgrundwasserleiter, mäßige bis geringe Durchlässigkeit
175 m Calvörde-Folge, Unterer Buntsandstein, Feinsandstein-Tonstein-Wechselfolge, Kluftgrundwasserleiter, mäßige bis geringe Durchlässigkeit
47 m Fulda-Folge, Zechstein 7, Schluff- und Tonsteine mit Sandsteinlagen, Grundwassergering- bis nichtleiter
24 m Zechstein 3-6, Tonsteine, z.t. brekziös, vornehmlich Grundwassernichtleiter
35 m Leine-Karbonat, Zechstein 3, Kluft- Karstgrundwasserleiter, mittlere bis hohe Durchlässigkeit
94 m Werra-Folge, Zechstein 1, Tonsteinbrekzie, Kalkstein- und Dolomitsteinbrekzie, Konglomerat. Kluftgrundwasserleiter, mäßige bis geringe Durchlässigkeit
38 m: Unterkarbon 2, Jesberger Grauwacke. Grauwacke, Konglomerate, selten geringmächtige (<25 cm) Tonsteinlagen. Kluftgrundwasserleiter, mäßige bis geringe Durchlässigkeit
Endteufe 1257,8 m

Abb. 5.10:

Hydrostratigrafisches Profil der Bohrung Borken Zechstein 1, Lage: R 35 21 950, H 56 59 060

Die Höhe der Zellen repräsentiert die Mächtigkeit der hydrostratigrafischen Einheiten.

Die Einteilung in Grundwasserleiter (blau) und Grundwassernichtleiter bzw. –geringleiter (gelb) zeigt, dass oberhalb des Unterkarbons mit Ausnahme des Oberen Buntsandsteins (Röt-Formation) nur geringmächtige Barrierehorizonte vorhanden sind.

Zur Trinkwassergewinnung genutzt wird der Mittlere Buntsandstein, der lediglich durch die tonigen Zechsteinfolgen 3 bis 6 mit einer Gesamtmächtigkeit von ca. 70 von den Grundwasserleitern darunter getrennt ist. Die Zechsteinfolgen z3 – z6 sind brekziös ausgebildet, was ein örtliches Ausbleiben der Barrierefunktion nicht ausschließt.

Die obersten Schichten des Unterkarbons (Jesberger Grauwacke) bilden einen mäßig bis gering durchlässigen Kluftgrundwasserleiter.

5.2.7 Potenzialraum Fuldalauf-Tiefscholle (s.a. Abb. 5.11)

1. *Strukturräume:* Fuldalauf-Tiefscholle; Begrenzungen: Im W und S die Niederhessische Senke, im E die Osthessische Buntsandstein-Scholle
2. *Zielhorizont(e):* Unterkarbonische Kulmschiefer-Serie, unterkarbonische Grauwacken, Zechstein-Abfolgen
3. *Lagerstätten-Typ:* Schiefergas-Lagerstätte; Tight Gas-Lagerstätte (nicht gänzlich auszuschließen)
4. *Deckgebirge:* Mehrere hundert Meter mächtige Buntsandstein- und Zechstein-Schichten. Richtung E im Bereich der permzeitlichen Hunsrück-Oberharz-Schwelle nimmt die Mächtigkeit des Deckgebirges ab.
 - a. *Grundwasserführende Schichten:* Die Hauptgrundwasserleiter sind in den Sandsteinen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins ausgebildet. Das Grundwasservorkommen des Buntsandsteins bildet die Grundlage der örtlichen Wasserversorgung. Es werden Tiefbrunnen und Quellen genutzt. *Mineralwasservorkommen:* Ein höher mineralisiertes Grundwasser ist in Schichten des Mittleren Buntsandsteins in Grifte über einen Tiefbrunnen nachgewiesen worden. Es handelt sich um einen Na-Ca-Mg-Cl-Wasser-Typ.
 - b. *Barriereschichten:* Schichten des Zechsteins können in Abhängigkeit von ihrer lithologischen Ausbildung und der vorliegenden Klüftigkeit als Barriere, als Grundwasserringleiter oder Grundwasserleiter eingestuft werden. Die intensive Klüftung im Unteren Buntsandstein bedingt eine mäßige bis geringe Gebirgsdurchlässigkeit.
5. *Geologische Analyse:* Der Potenzialraum ist eine abgesunkene Teilscholle der Osthessischen Buntsandstein-Scholle. In der Bohrung Quentel (siehe Ausführungen zum Potenzialraum Niederhessische Senke, Kap. 5.2.6) ist ein mächtiges Deckgebirge erbohrt worden. Informationen über den unterkarbonischen Zielhorizont liegen nicht vor. Unterkarbonische Gesteine sind im Bereich der permzeitlichen Hunsrück-Oberharz-Schwelle erodiert worden.
6. *Wasserwirtschaftliche Bedeutung:* Das Gebiet ist ein wichtiges Einzugsgebiet (Grundwasserneubildungsgebiet) für die Trinkwassergewinnungsanlagen in der westlich gelegenen Niederhessischen Senke (Wasserversorgung von Kassel: Brunnen in Niederzwehren), die unterhalb der quartären und tertiären Überdeckung Grundwasser aus dem Mittleren und Unteren Buntsandstein fördern, sowie für die örtliche Wasserversorgung von z.B. Melsungen und Guxhagen.
7. *Potenzielle konkurrierende unterirdische Nutzungen:* Erdwärme-Nutzung und bestehende Bergbaurechte sind zu beachten.

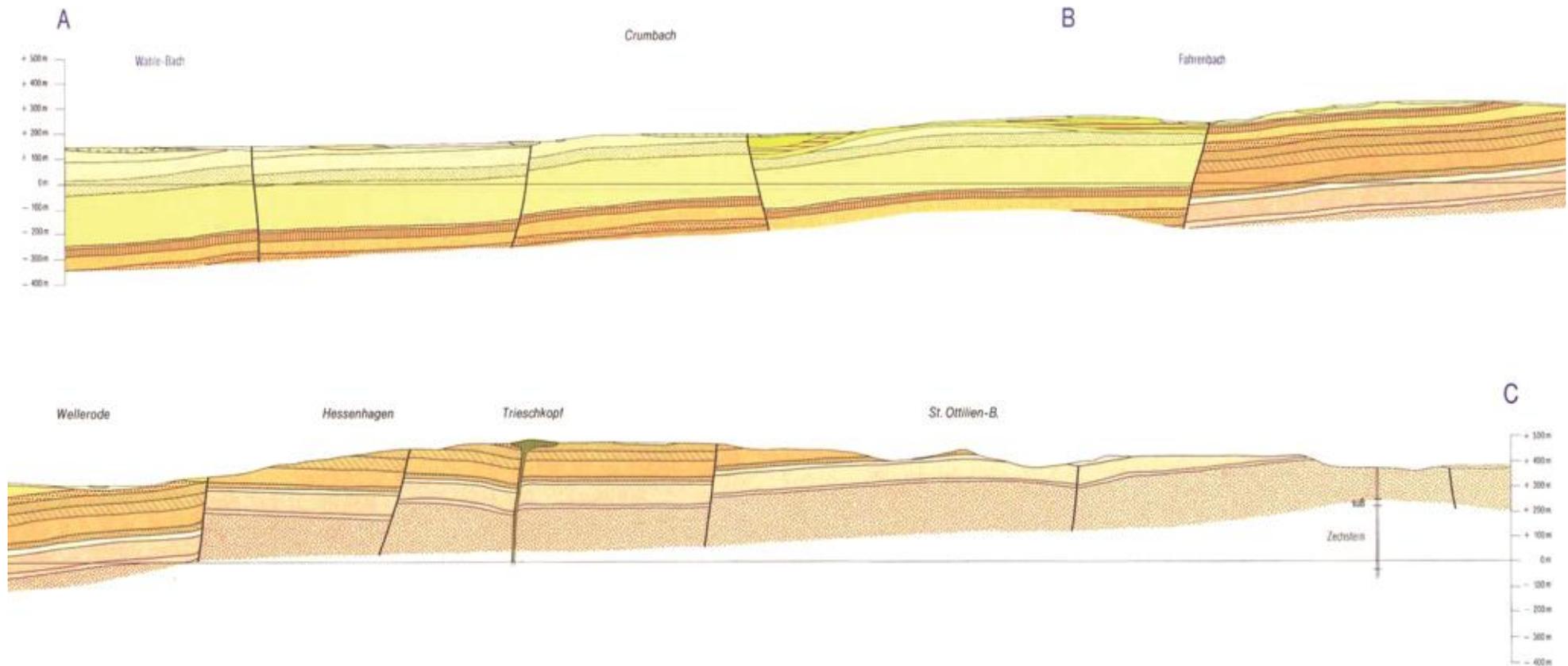


Abb.5.11: NW-SE-Profil (A-C) von der Fuldalauf-Tiefscholle in die Osthessische Buntsandsteinscholle.
(Quelle: GK 25, Blatt 4723 Oberkaufungen, 1981)

<i>olivgrün:</i>	<i>Tertiär, Vulkanit</i>
<i>intensivgelb</i>	<i>Tertiär, Sedimentgestein</i>
<i>blass-gelb, orange, braun:</i>	<i>Buntsandstein</i>
<i>weiß:</i>	<i>Zechstein</i>

8. *Fazit:* Der Potenzialraum ist für eine Erdgas-Erkundung nur im W und NW (Raum Kassel) geeignet. In Richtung E ist ein mögliches Erdgas-Potenzial durch die permzeitliche Hunsrück-Oberharzschwelle und Mächtigkeitsabnahme im Deckgebirge limitiert. Im Potenzialraum befinden sich intensiv genutzte Grundwasservorkommen im Mittleren und Unteren Buntsandstein; es ist zudem das Grundwasserneubildungsgebiet für Grundwasservorkommen in der Niederhessischen Senke. Die mögliche Barrierefunktion in Schichten des Deckgebirges sowie Störungen und mögliche vertikale Durchlässigkeiten wären ggf. intensiv zu erkunden.

5.2.8. Schlussfolgerung: Geologisch-hydrogeologischer Kenntnisstand im Aufsuchungsfeld „Adler-South“ der BNK Deutschland GmbH

Im hessischen Anteil des Rheinischen Schiefergebirges treten bituminöse Schiefergesteine an der Erdoberfläche zutage. Der primäre Zielhorizont für eine mögliche Erkundung und Förderung von Schiefergas, die Kulmschiefer-Serie, wird auch in den abgesenkten und von jüngeren Sediment- und Vulkangesteinen überdeckten Bereichen des Rheinischen Schiefergebirges vermutet. Es ist durchaus möglich, dass diese Gesteine lokal oder regional die Kriterien der BGR-Studie für eine Schiefergas-Höffigkeit erfüllen.

Es bleibt jedoch festzuhalten, dass bislang Kenntnisse über die detaillierten geologischen Verhältnisse und damit auch der Lagerstättenverhältnisse der Zielhorizonte im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH fehlen. Zwar können geologische Schnitte, die von den Bearbeitern der jeweiligen Geologischen Karten (GK25) von Hessen erstellt wurden, als auch wenige Tiefbohrungen für eine erste Betrachtung und Beschreibung des tieferen Untergrundes herangezogen werden, diese erreichen jedoch im Allgemeinen nicht den Zielhorizont der Kulmschiefer-Serie.

Während das nicht gefaltete Deckgebirge mit seiner flachen Lagerung und die Fazies- und Mächtigkeitsausbildung oberflächennah relativ gut bekannt ist, gibt es bezüglich des tieferen Deckgebirges und darin vorkommender Barrierschichten Kenntnisdefizite in Nordhessen. Diese Defizite beziehen sich in besonderem Maß auf die Lagerungsverhältnisse möglicher Barrieren und auf die Grundwasserströmungsverhältnisse im tiefen Untergrund. Ebenso unbefriedigend ist die Kenntnis über das tiefreichende Störungsmuster in der Region.

Es ist daher auch nicht möglich und zielführend, die in den betrachteten Gutachten geschilderten geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse auf die hessischen Potenzialräume zu übertragen oder mit diesen zu korrelieren. Überlegungen zu einer Quantifizierung des Gasgehaltes der schiefergashöffigen Horizonte sowie der Gasverteilung innerhalb dieser Schichten und auch zu hydraulischen Barrieren sind spekulativ, gibt es doch keinerlei belastbare bzw. gemessene Daten aus hierfür geeigneten Teufenbereichen in Hessen.

Unter Berücksichtigung des derzeitigen Kenntnisstandes erfüllt am ehesten der Potenzialraum 2, der Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex, die für eine Erdgas-Erkundung und –Förderung im Frac-Gutachten (Exxon-Studie) empfohlene Sicherheits- und Barriere-Schichtenmächtigkeit von > 1000 m. Als sekundäre Erkundungsräume werden die Potenzialräume 3 bis 6 (Korbach-Arolsener Schollenkomplex, Frankenberger Scholle, Isth-Emsthaler Schollenkomplex und Niederhessische Senke) angesehen.

Im Rahmen einer eventuellen Aufsuchung sollte eine Machbarkeitsstudie den bisherigen Kenntnisstand detailliert wiedergeben und Maßnahmen zur Erkundung aufzeigen und begründen. Erst nach umfangreichen Untersuchungen zur Geologie und Mechanik des Untergrundes im Zielhorizont und den Deckschichten, u. a. mit Hilfe von Probebohrungen, seismischen Messungen (2D- und 3D-

Seismik) und der petrologischen wie geochemischen Analyse des gewonnenen Probenmaterials könnte es möglich sein, zu beurteilen, ob im Aufsuchungsfeld „Adler South“ Schiefergaslagerstätten vorhanden sind, wie weit diese verbreitet sind und ob diese Vorkommen mit der geplanten Technologie gewonnen werden können.

6. Quantitative Bewertung der Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ der BNK Deutschland GmbH und konkurrierender Nutzungsansprüche

Durch die Betrachtung der Potenzialräume nach geologischen Gesichtspunkten in Kap. 5.2 hat sich eine Rangfolge hinsichtlich der Möglichkeit ergeben, auf förderwürdige Schiefergaslagerstätten zu treffen und gleichzeitig die unabdingbar notwendigen geologischen Barrieren anzutreffen. Hierzu sei noch einmal betont, dass diese Einschätzung nur auf einer äußerst spärlichen Datenbasis steht, da vereinfachend gesagt- genauere Kenntnisse des Untergrundes flächenhaft nur bis in Tiefen von ca. 100 m existieren. Die Wertung (1 – 3) ist vor dem Hintergrund der spärliche Informationen in den Potenzialräumen nur relativ zueinander zu verstehen und nicht absolut im Sinne einer Benotung. Rangfolge 1 bedeutet also nicht unbedingt, dass hier eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, Schiefergas finden zu können und ausreichende Barrieren nachweisen zu können. Die so ermittelte Rangfolge wird in der folgenden Tabelle 6.1 mit kurzer Begründung tabellarisch aufgelistet.

Tabelle 6.1:

Potenzialräume und Flächenanteil am beantragten Aufsuchungsfeld (5212 km²). Geologisches Potenzial und Barrierewirkung von Deckschichten ohne Berücksichtigung einer teilweise erheblichen Reduzierung der Flächen durch Schutzgebiete und konkurrierende Nutzungsansprüche (siehe hierzu Tab. 6.2).

Rangfolge	Potenzialraum (Ifd. Nr. aus Kap. 5.2)	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
1	Reinhardswald-Zierenberg-Netheschollenkomplex (5.2.2)	16,6 %	Theoretisch ja, aber keinerlei Daten	Aufgrund Tiefenlage und Deckgebirgsmächtigkeit ziemlich wahrscheinlich	Trinkwassergewinnung Großraum Kassel
2	Korbach-Arolsener Schollenkomplex (5.2.3)	16,0 %	Wahrscheinlich nur im Osten und Südosten Deckgebirge mächtig genug	Am ehesten möglich im Osten und Südosten	Bedeutende Trinkwasserförderung und Heilquellennutzung
2	Frankenberger Scholle (5.2.4)	9,3 %	Nach heutiger Kenntnis ungeeignet. Theoretische Eignung nur bei Überschiebungstektonik. Nachweis fehlt.	Örtlich devonische Tonschiefer sowie tonig ausgebildeter Zechstein möglich. Flächenhafter Nachweis fehlt.	Überregional bedeutende Trinkwassergewinnung aus dem Buntsandstein
2	Istha-Emstaler Schollenkomplex (5.2.5)	3,0 %	Keinerlei Informationen über den Zielhorizont vorhanden.	Deckgebirgsmächtigkeit örtlich hoch, aber nicht flächenhaft. Von Gräben und Störungen durchsetzt.	Bedeutende Grundwasservorkommen für Großraum Kassel-Fritzlar

2	Niederhessische Senke (5.2.6)	13,6 %	Möglich im westlichen und nordöstlichen Teil: Hohe Deckgebirgsmächtigkeit	Barrieregesteine unterhalb genutzter Grundwasserleiter geringmächtig und selten	Lokal bedeutend und, gute Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung
3	Fuldalauf-Tiefscholle (5.2.7)	3,3 %	Nur ein kleiner Flächenanteil kommt im W und NW in Betracht (Fazies, Tiefenlage).	Nach Osten nimmt Deckgebirgsmächtigkeit schnell und stark ab.	Bedeutende Trinkwassergewinnung, Neubildungsgebiet für Niederhessische Senke
3	Rheinisches Schiefergebirge (5.2.1)	21,3 %	Geringe Tiefenlage des Zielhorizonts: flächenhaft eher nicht	Weitgehend barrierefrei, daher sehr schlecht geeignet	Komplexe Mineralwasseraufstiege, Trinkwassergewinnung lokal bedeutend
–	Mesozoische Grabensysteme und Osthessische Buntsandsteinscholle	16,9 %	(kein Potenzial)		

Das jeweilige geologische Potenzial wird von Schutzgebieten und weiteren, planerischen Nutzungsansprüchen an die Fläche überlagert.

Zur Quantifizierung dieser Überlagerungen werden für jeden der sieben Potenzialräume sowie für die Gesamtfläche des beantragten Erlaubnisfelds Adler South in der folgenden Tabelle 6.2 die Anteile von Flächennutzungen, Schutzgebieten und Betroffenheiten an der Gesamtfläche dargestellt. Karten hierzu finden sich im Kartenanhang.

Zudem finden sich Angaben zur flächenhaften Ausdehnung von zusammengefassten, sich teilweise überlagernden Flächen der wichtigsten, meist durch Verordnung festgesetzten Schutzgebiets- und Planungskategorien (in den Tabellen *kursiv* gedruckt).

Die Überlagerung erfolgte in der Rangfolge:

1. Überlagerung aller Schutzgebiete für den Grundwasserschutz (Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete)
2. Überlagerung der Flächen aus 1. mit Vorranggebieten Siedlung und Industrie, Gewerbe sowie Bund (i.d.R. militärische Nutzung)
3. Überlagerung der Flächen aus 2. mit Vorranggebieten Natur und Landschaft; Geo- und Nationalpark

Grundlage für die Auswertung sind für Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete, Mineralwassergewinnung, Geopark Grenzwelten und Nationalpark Kellerwald-Edersee die Daten des HLUG. Alle übrigen Daten wurden den gültigen Regionalplänen Nord- und Mittelhessen entnommen. Linienhafte Raumansprüche wurden nicht flächenhaft ausgewertet, sind aber zusammenfassend im Anhang als Karte dargestellt.

Die Definition der verschiedenen Raumansprüche (Nutzungskategorien) sind den Textteilen zu den Regionalplänen Nord- und Mittelhessen zu entnehmen.

Als Vorranggebiete ausgewiesene Bereiche „sind für alle öffentlichen Stellen bei ihren Planungen und Maßnahmen gemäß § 4 Abs. 1 HPLG verbindlich. Gegenüber der kommunalen Bauleitplanung begründen sie gemäß § 1 Abs. 4 BauGB eine Anpassungspflicht. Die Vorranggebiete schließen entgegenstehende raumbedeutsame Nutzungen aus“ (Zitat aus dem Regionalplan Nordhessen 2009). Die „als Vorbehaltsgebiete ausgewiesenen Bereiche sind nach § 4 Abs. 2 HPLG bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen zu berücksichtigen - sie unterliegen also der Abwägung“ (Regionalplan Nordhessen 2009).

Bei Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten (Stand Februar 2013) wurden durch Verordnung festgesetzte und im Antragsverfahren befindliche Schutzgebiete zusammengefasst.

Die Mineralwasservorkommen sind zur Information nur als Übersicht dargestellt. Nach derzeitigem Datenstand im HLUG handelt es sich um punktförmige Objekte, die natürlich austretende oder durch Bohrungen erschlossene Vorkommen mit höher mineralisiertem Grundwasser darstellen. Größtenteils werden sie von Firmen zur Abfüllung von Mineralwasser genutzt. Teilweise befinden sich auch Heilquellen darunter, die bereits in dem Datenlayer „Heilquellenschutzgebiete“ flächenmäßig abgegrenzt sind. Für die meisten Mineralwasservorkommen existieren jedoch keine Schutzgebiete bzw. Abgrenzungen ihres Einzugsgebiets. Daher wurde pauschal ein kreisförmiger Puffer von 1 km Radius um die Punkte gelegt, um einer Vorstellung der flächenhaften Verbreitung näher zu kommen.

Ähnlich wurde bei Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten zur Rohstoffsicherung mit Flächengrößen < 10 ha verfahren, die in den Regionalplänen nur punktförmig dargestellt werden. Ihnen wurde ein Puffer mit der Flächengröße 7 ha zugewiesen.

Tab. 6.2: Absolute und relative Flächenanteile der in Kap. 5.2 definierten Schiefergas-Potenzialflächen im beantragten Aufsuchungsfeld, jeweils mit Flächenanteilen relevanter Schutzgebiete und konkurrierender Flächennutzungsansprüche.

Aufsuchungsfeld	Adler South							
Potenzialfläche lt. Kap. 5.2.		5.2.1: Rheinisches Schiefer- gebirge	5.2.2: Reinhardswald- Zierenberg- Nethe- Schollen- komplex	5.2.3: Korbach- Arolsener Schollen- komplex	5.2.4: Franken- berger Scholle	5.2.5: Istha- Emsthaler Schollen- komplex	5.2.6: Nieder- hessische Senke	5.2.7: Fuldalauf- Tiefscholle
Rangfolge Potenzialfläche		3	1	2	2	2	2	3
Fläche gesamt [km ²]	5212,5	1109,0	864,6	836,2	486,3	153,9	708,6	169,2

Fläche [km ²] / Anteil [%]	km ²	%														
Trinkwasserschutzgebiete, Zonen I und II	113,8	2,18	12,19	1,10	21,29	2,46	44,28	5,29	5,27	1,08	3,26	2,12	7,94	1,12	4,52	2,67
Trinkwasserschutzgebiete, Zonen III, IIIA und IIIB	1494,0	28,66	116,4	10,50	199,3	23,05	350,6	41,93	258,6	53,18	95,29	61,92	173,6	24,50	69,34	40,98
Trinkwasserschutzgebiete gesamt	1607,8	30,85	128,6	11,60	220,6	25,51	394,9	47,23	263,9	54,27	98,6	64,07	181,5	26,61	73,9	43,68
Heilquellenschutzgebiete, Schutzzonen I, II, A sowie A-C (nach alter Abgrenzung)	74,3	1,43	34,77	3,14	1,94	0,22	33,19	3,97		0,00	0,004	0,003		0,00		0,00
Heilquellenschutzgebiete, Schutzzonen III, III/1, III/2, B sowie IV und D (nach alter Abgrenzung) IIIB	918,9	17,63	184,5	16,64	68,32	7,90	244,3	29,22		0,00	148,3	96,36	208,1	29,37	4,29	2,54
Heilquellenschutzgebiete, gesamt	993,2	19,05	219,3	19,77	70,3	8,13	277,5	33,19		0,00	148,3	96,36	208,1	29,37	4,3	2,54

Stellungnahme des HLUG vom März 2013, Az.: 89-0400-01/13 zu vorliegenden „Fracking-Gutachten“

Aufsuchungsfeld	Adler South															
Potenzialfläche lt. Kap. 5.2.			5.2.1: Rheinisches Schiefer- gebirge		5.2.2: Reinhardtswald- Zierenberg- Netheschollen- komplex		5.2.3: Korbach- Arolsener Schollen- komplex		5.2.4: Franken- berger Scholle		5.2.5: Isthathaler Schollen- komplex		5.2.6: Nieder- hessische Senke		5.2.7: Fuldalauf- Tiefscholle	
Rangfolge Potenzialfläche			3		1		2		2		2		2		3	
Fläche [km²] / Anteil [%]	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
<i>Wasserschutzgebiete (Trinkwasser- und Heilquellen-), gesamt nach Überlagerung</i>	2281,0	43,76	313,8	28,30	287,6	33,26	558,3	66,77	263,9	54,27	149,0	96,81	331,9	46,84	75,4	44,56
Vorbehaltsgebiet Grundwasserschutz	816,3	15,66	112,5	10,14	188,1	21,76	163,3	19,53	221,1	45,47	1,22	0,79	2,00	0,28		0,00
Vorranggebiet für den vorbeugenden Hochwasserschutz	80,06	1,54	22,08	1,99	4,14	0,48	10,17	1,22	7,88	1,62		0,00	23,38	3,30	6,78	4,01
Vorbehaltsgebiet für den vorbeugenden Hochwasserschutz	232,8	4,47	46,1	4,16	29,49	3,41	37,22	4,45	9,93	2,04	5,71	3,71	51,47	7,26	8,74	5,17
Vorranggebiet Siedlung Bestand	317,8	6,10	42,08	3,79	62,37	7,21	41,58	4,97	19,56	4,02	10,55	6,86	68,91	9,72	23,61	13,95
Vorbehaltsgebiet Siedlung Planung	12,85	0,25	1,79	0,16	3,3	0,38	1,93	0,23	1,32	0,27	0,38	0,25	2,12	0,31	0,95	0,56
Vorranggebiet Industrie und Gewerbe Bestand	49,08	0,94	3,87	0,35	7,69	0,89	6,8	0,81	1,25	0,26	0,24	0,16	12,84	1,81	9,56	5,65
Vorbehaltsgebiet Industrie und Gewerbe Planung	9,55	0,18	0,80	0,07	2,76	0,31	1,83	0,22	0,20	0,04	0,16	0,10	3,04	0,43	0,50	0,30
Vorranggebiet Bund	23,63	0,45		0,00		0,00		0,00	1,58	0,32	1,56	1,01	9,51	1,34		0,00
<i>Festgesetzte Wasserschutzgebiete (Trinkwasser- und Heilqu.-), Vorranggebiete Hochwasserschutz, Siedlung und Industrie, Gewerbe sowie Bund; gesamt nach Überlagerung</i>	2559,0	49,09	366,4	33,04	345,6	39,97	573,6	68,60	279,5	57,47	150,5	97,79	385,7	54,33	104,7	61,88

Stellungnahme des HLUG vom März 2013, Az.: 89-0400-01/13 zu vorliegenden „Fracking-Gutachten“

Aufsuchungsfeld	Adler South															
Potenzialfläche lt. Kap. 5.2.			5.2.1: Rheinisches Schiefer- gebirge		5.2.2: Reinhardtswald- Zierenberg- Netheschollen- komplex		5.2.3: Korbach- Arolsener Schollen- komplex		5.2.4: Franken- berger Scholle		5.2.5: Istha- Emsthaler Schollen- komplex		5.2.6: Nieder- hessische Senke		5.2.7: Fuldalauf- Tiefscholle	
Rangfolge Potenzialfläche			3		1		2		2		2		2		3	
Fläche [km ²] / Anteil [%]	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vorranggebiet Natur und Landschaft	563,2	10,80	206,8	18,65	125,5	14,41	50,96	6,09	28,01	5,76	7,66	4,98	65,41	9,23	11,62	6,87
Vorbehaltsgebiet Natur und Landschaft	1699,0	32,59	525,2	47,36	277,3	32,07	135,0	16,14	182,4	37,51	12,6	8,19	174,5	246,26	40,2	23,76
Vorranggebiet Regionaler Grünzug	294,6	5,65		0,00	104,9	12,13		0,00		0,00	4,94	3,21	75,95	10,72	54,43	32,17
Geopark Grenzwelten	2875,0	55,16	1051,0	94,77	144,0	16,66	784,3	93,79	449,8	92,49	127,6	82,10	189,0	26,67		15,76
Nationalpark Kellerwald-Edersee	57,39	1,10	57,39	5,17		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00
<i>Festgesetzte Wasserschutzgebiete (Trinkwasser- und Heilqu.-), Vorranggebiete Hochwasserschutz, Siedlung und Industrie, Gewerbe sowie Bund, Vorranggebiete Natur und Landschaft; Geo- und Nationalpark; gesamt nach Überlagerung</i>	4151,0	79,64	1095,0	98,74	560,0	64,77	811,6	97,06	485,0	99,73	152,7	99,22	458,6	64,72	125,3	74,05
Mineralwassergewinnung (Buffer mit 1 km Radius)	155,9	2,99	30,74	2,77	40,47	4,68	34,17	4,09	7,59	1,56	6,5	4,22	15,01	2,12	4,49	2,65
Vorbehaltsgebiet für besondere Klimafunktionen	595,63	11,43	104,1	9,38	100,7	11,65	71,6	8,56	37,75	7,76	3,17	2,06	117,2	16,54	48,63	28,74
Vorranggebiet Landwirtschaft	1634,0	31,35	233,32	21,04	251,8	29,12	336,9	40,29	183,39	37,71	75,39	48,99	307,7	43,42	41,08	24,28
Vorbehaltsgebiet Landwirtschaft	352,56	6,76	59,87	5,40	53,31	6,17	54,88	6,56	46,20	9,50	15,86	10,31	56,40	7,96	11,77	6,96

Stellungnahme des HUG vom März 2013, Az.: 89-0400-01/13 zu vorliegenden „Fracking-Gutachten“

Aufsuchungsfeld	Adler South															
Potenzialfläche lt. Kap. 5.2.			5.2.1: Rheinisches Schiefer- gebirge		5.2.2: Reinhardtswald- Zierenberg- Netheschollen- komplex		5.2.3: Korbach- Arolsener Schollen- komplex		5.2.4: Franken- berger Scholle		5.2.5: Isthale- Emsthaler Schollen- komplex		5.2.6: Nieder- hessische Senke		5.2.7: Fuldalauf- Tiefscholle	
Rangfolge Potenzialfläche			3		1		2		2		2		2		3	
Fläche [km ²] / Anteil [%]	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vorranggebiet Forstwirtschaft	2225,5	42,70	630,55	56,86	347,22	40,16	317,88	38,01	212,85	43,77	41,23	26,79	151,32	21,35	52,4	30,97
Vorbehaltsgebiet Forstwirtschaft	26,98	0,52	5,86	0,53	7,28	0,84	4,43	0,53	3,46	0,71	0,46	0,39	1,73	0,24	0,8	0,47
Vorranggebiet für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten Bestand	10,77	0,21	0,98	0,08	0,76	0,09	0,84	0,10	0,04	0,008	0,43	0,28	5,38	0,76	0,58	0,34
Vorranggebiet für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten Planung	6,35	0,12		0,01	0,58	0,07	0,18	0,02		0,00	0,12	0,08	4,52	0,64		0,00
Vorbehaltsgebiet oberflächennaher Lagerstätten	205,6	3,94	14,59	0,35	45,98	5,32	16,53	1,98	4,37	0,90	6,82	4,43	80,38	11,34	8,63	5,10
Vorranggebiet für Windenergienutzung Bestand	11,36	0,22	2,28	0,21	2,04	0,24	3,42	0,41	0,96	0,20	1,66	1,08	0,05	0,01		0,00
Vorranggebiet für Windenergienutzung Planung	10,64	0,20	0,2	0,02	3,4	0,39	3,73	0,45	1,31	0,27	1,43	0,93	0,5	0,07		0,00

7. Kurzfassung und Empfehlungen

	Inhalt	Seite
7.1.	Einleitung	105
7.2.	Aufgabenstellung der Gutachten	106
7.3.	Rechtliche Rahmenbedingungen	107
7.4.	Bohrtechnik und Bohrungsausbau	107
7.5.	Rissausbreitung	108
7.6.	Seismizität	109
7.7.	Eingesetzte gefährliche Stoffe	110
7.8.	Beschaffenheit von Formationswasser und Grundwasser im Deckgebirge	111
7.9.	Grundwassergefährdung	111
7.10.	Methodik der geologisch-hydrogeologischen Beschreibung, Datengrundlagen und betrachtete geologische Einheiten	113
7.11.	Geologische und hydrogeologische Situation im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“	114
7.12.	Geologisch-hydrogeologische Bewertung der Schiefergas-Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“	114
7.13.	Quantitative Bewertung der Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ und konkurrierender Nutzungsansprüche	118
7.14.	Empfehlungen	119

7.1. Einleitung

Das HLUG hat im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz eine Bewertung der drei in Deutschland existierenden Gutachten zu den Risiken bei Aufsuchung und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus sogenannten nicht-konventionellen Lagerstätten vorgenommen und ihre Anwendbarkeit auf den vorliegenden Antrag der Fa. BNK Deutschland GmbH auf Aufsuchung im Erlaubnisfeld „Adler South“ in Nordhessen geprüft. Es handelt sich um folgende Gutachten (alle aus 2012):

- Risikostudie des Expertenkreises aus dem Informations- und Dialogprozess der ExxonMobil Production Deutschland GmbH (Risikostudie Fracking)
- Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA-Gutachten)
- Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen (Studie NRW)

Alle drei Gutachten sind grundsätzlich als Hilfe bei der Beurteilung des Antrages der BNK Deutschland GmbH für das Erlaubnisfeld auf Aufsuchung „Adler South“ verwendbar, obwohl einige Aspekte unbe-

handelt bleiben oder nur gestreift werden. Der inhaltliche Schwerpunkt der Studien liegt auf den Umweltrisiken. Dagegen werden die primären geologischen Fragen nach der Existenz und Verbreitung unkonventioneller Lagerstätten nur untergeordnet behandelt. In keinem der Gutachten werden die rohstoffgeologischen Rahmenbedingungen für eine wirtschaftliche Gewinnbarkeit von Schiefergas näher behandelt. Auch Einschätzungen zu den politischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen möglicher unkonventioneller Gas-Förderung kommen nur am Rande vor.

Die Gutachten schließen die Förderung aus nicht konventionellen Lagerstätten in Deutschland mit Hilfe des Frac-Verfahrens nicht grundsätzlich aus, sondern stellen fest, dass Fracking prinzipiell mit den Anforderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes vereinbar sein kann. Sofern intensive Voruntersuchungen zu Ressourcen und Risiken durchgeführt, entsprechend der Ergebnisse erforderliche Maßnahmen nach dem Stand der Technik getroffen wurden und die bestehenden gesetzlichen Regelungen eingehalten werden, erscheint ein umweltverträglicher Einsatz der Technologie realisierbar. Detaillierte geowissenschaftliche Vorstudien unter Berücksichtigung des lokalen geologischen Aufbaus des tieferen Untergrundes, der grundwasserführenden Schichten und der hydraulischen Barrieren in der Überdeckung des Zielhorizontes betrachten die Gutachten als Grundvoraussetzungen.

In anderen Ländern wie beispielsweise in den USA wird die Frac-Technologie seit langem eingesetzt. In Deutschland gibt es auch langjährige Erfahrungen mit dieser Technologie, allerdings nur bei Tight-Gas-Lagerstätten. Bei Schiefergas-Lagerstätten hat es hierzulande bislang lediglich an einer Bohrung Frac-Behandlungen gegeben (Bohrung Damme 3 im Erdgasfeld Söhlingen, Niedersachsen). Insofern befindet sich die Anwendung dieser Technologie bei Schiefergaslagerstätten in Deutschland noch in der Erprobungsphase.

Für Hessen stehen derzeit noch keine belastbaren Daten bezüglich des Potenzials von Schiefergaslagerstätten und deren wirtschaftlicher Gewinnbarkeit zur Verfügung. Der derzeitige Kenntnisstand zur geologisch-hydrogeologischen Situation im Bereich des beantragten Aufsuchungsfeldes kann der Langfassung der HLUG-Stellungnahme zu den drei Gutachten entnommen werden.

Nach Ansicht des HLUG kommt dem Monitoring von Risikoparametern vor, während und nach einem möglichen Fracking höchste Priorität zu. An den Nachweis der Barrierefunktion und des geologisch-hydrogeologischen Aufbaus des Deckgebirges über dem Zielhorizont müssen daher bei Schiefergaslagerstätten von vorneherein besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

7.2. Aufgabenstellung der Gutachten

Die Aufgabenstellung der drei Gutachten konzentriert sich auf die Risiken, die von der Förderung von Erdgas aus nicht-konventionellen Lagerstätten ausgehen. Die bearbeiteten Themenfelder erstrecken sich daher von den rechtlichen Grundlagen einschließlich raumplanerischer Aspekte über die Toxizität und Wassergefährdung der eingesetzten Frac-Fluide bis zu Fragen der Geosystembeschreibung und der Möglichkeiten des Versagens natürlicher geologischer und technischer Barrieren. Nicht behandelt wird das Rohstoffpotenzial unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten in Deutschland. Dieses Thema wurde jedoch in einer weiteren Studie von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe unter dem Titel „Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland“ (BGR, 2012) bearbeitet.

7.3. Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtlichen Ausführungen in den drei Gutachten sind hinsichtlich der behördlichen Vorgehensweise und der rechtlichen Beurteilung bei der Bearbeitung von Anträgen im Zusammenhang mit der Aufsuchung und Gewinnung unkonventioneller Kohlenwasserstoffe in Hessen hilfreich. Es bleiben aber noch einige Fragen offen.

Endgültig geklärt bzw. festgelegt werden sollte, ob unterirdisches Wasser auch dann noch als Grundwasser bezeichnet werden kann, wenn es bergrechtlich als Sole einzustufen ist.

Im Zusammenhang mit den Empfehlungen aus der Risikostudie Fracking sollte rechtlich geklärt werden, inwieweit die Erlaubnis schon dann aus Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses zu versagen ist, wenn von vorneherein Nutzungskonflikte auf einem großen Teil der Fläche vorliegen (wie im Fall des Antragsfeldes „Adler South“ z.B. mit seiner großen Fläche von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten). Zur Anwendung von § 11 Nr. 10 BBergG wird derzeit im Auftrag des HMUELV ein Rechtsgutachten angefertigt.

Für die einzelnen in Hessen entstehenden behördlichen Aufgaben im Zusammenhang mit der Aufsuchung und Gewinnung von Gas aus unkonventionellen Lagerstätten sollte eine spezielle Aufstellung der behördlichen Zuständigkeiten und Beteiligungen erarbeitet werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu klären, ob eine obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung mit Öffentlichkeitsbeteiligung stattfinden soll oder ob eine standortspezifische UVP mit Öffentlichkeitsbeteiligung bei Bedarf nach allgemeiner Vorprüfung des Einzelfalls durchzuführen ist. Erkundungsbohrungen auf Erdgas sind nach § 55 Abs. 1 BBergG von der Bergverwaltung zu genehmigen. Hinsichtlich der Eingriffe in den Untergrund nimmt das HLUG hier regelmäßig Stellung. Aus Sicht des HLUG ist damit eine obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung a priori nicht erforderlich. Die bisherige UVP-Pflicht greift erst ab einem Erdgasfördevolumen von 500.000 m³/Tag. Bei der Gewinnung unkonventionellen Erdgases würde dieses Volumen von einzelnen Bohrungen voraussichtlich nicht erreicht, obwohl die Umweltauswirkungen mit denen konventioneller Erdgasbohrungen vergleichbar und an der Erdoberfläche sogar noch größer sind. Ob bei geringeren Fördermengen im Fall von unkonventionellen Lagerstätten eine obligatorische Umweltverträglichkeitsprüfung stattzufinden hat, sollte daher geprüft werden. Eine UVP für alle bergbaurechtlichen Verfahren, wie z.B. solche zu Steine und Erden-Rohstoffen, wird seitens des HLUG nicht empfohlen. Die Beteiligung der Kommunen ist im Sinne eines transparenten Verfahrens zu begrüßen.

Nach dem Vorbild des Leitfadens Tiefengeothermie (RP Darmstadt und HLUG, 2011) und der LBEG-Rundverfügung zur Durchführung hydraulischer Bohrlochbehandlungen (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2012) ist es vorstellbar, eine ähnliche Arbeitshilfe zur Planung und Durchführung von Projekten zur Aufsuchung und Gewinnung nicht konventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten in Hessen zu entwickeln.

7.4. Bohrtechnik und Bohrungsausbau

Die für die Schiefergas-Exploration und -Förderung in den USA und in Deutschland zum Einsatz kommende Tiefbohrtechnik ist grundsätzlich seit mehreren Jahrzehnten für die TIGHT Gas- und Schiefer-

gas-Nutzung in praktischem Einsatz und wird ständig weiter entwickelt. Die Gutachten stellen fest, dass die Risiken technischer und ökologischer Art grundsätzlich bekannt und beherrschbar sind und es keinen Grund gibt, Tiefbohren einschließlich Fracking zu verbieten. Sie sagen aber auch aus, dass die geologischen Bedingungen der Schiefergas-Lagerstätten der USA und Deutschland sehr unterschiedlich sind, so dass eine Übertragbarkeit der Verhältnisse nur begrenzt möglich ist. Auch innerhalb Deutschlands treten regionale Unterschiede auf. Die Bedingungen der für Hessen in Kap. 5.2 diskutierten Potenzialräume sind beispielsweise nicht auf diejenigen in NRW (hier Geosysteme genannt) übertragbar.

Nach Ansicht des HLOG wäre im Erlaubnisfall die eventuell zum Einsatz kommende Technik grundsätzlich nach eingehender Erkundung und Risikoabwägung der standortgebundenen geologischen Situation anzupassen und zu begründen. Jede Bohrung und geplante Frac-Behandlungen müssten in gesonderten Einzelfallbetrachtungen abhängig von der lokalen geologischen Situation bewertet werden, wie es im bergrechtlichen Betriebsplanverfahren vorgegeben ist. Neben der firmeneigenen Qualitätskontrolle ist die Überwachung durch die Bergbehörden elementarer Bestandteil der Qualitätssicherung bei Tiefbohrmaßnahmen. Im Hinblick auf die technischen Einrichtungen müssten geeignete, auf die spezielle Standortsituation abgestimmte Konzepte entwickelt werden, so dass die Langzeitsicherheit durch Monitoring und regelmäßige Überprüfungen sicher gestellt werden kann.

Die internationalen Regeln für Bohrungen, Bohrlochmessungen, Verrohrung, Zementation und deren Qualitätssicherung sollten nach Möglichkeit einheitlich in Deutschland beachtet, als Stand der Technik definiert und in den Auflagen der Bergbehörden berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Bohrtechnik und Bohrplatzgestaltung existieren in Deutschland eine Reihe von Standards, internationale Normen (insb. API) und rechtlichen Vorgaben. Hierzu gehören die Tiefbohrverordnungen der Bundesländer (BVOT), die hessische Bergverordnung sowie Technische Leitfäden und Industriestandards (WEG 2006).

Durch ein gestuftes Verfahren unter Bergrecht wird sichergestellt, dass beim Bohren die aktuellsten Kenntnisse und die Fortschritte beim Stand der Technik in den Explorationsprozess einfließen. In Hessen existieren in dieser Hinsicht seit August 2012 die neue Bergverordnung und mehrere Leitfäden für Tiefbohrungen (z.B. „Leitfaden Tiefengeothermie“ von RP Da/HLOG, 2011, „Empfehlungen für die Anlage von Bohrplätzen und Empfehlungen für die Erstellung eines Sonderbetriebsplanes für die Errichtung eines Bohrplatzes und das Niederbringen einer Bohrung“ des RP Kassel, 2011). Desweiteren besteht seit 2012 die Rundverfügung des LBEG „Mindestanforderungen an Betriebspläne, Prüfkriterien und Genehmigungsablauf für hydraulische Bohrlochbehandlungen in Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Niedersachsen“, in der auch auf die wichtigen Aspekte der Bohrlochintegrität eingegangen wird.

Aus Sicht des HLOG ist das bestehende Instrumentarium zur Prüfung und Genehmigung von Tiefbohrungen ausreichend und lässt sich dynamisch an die technische Entwicklung und auftretende Risiken anpassen.

7.5. Rissausbreitung

Das Thema Rissausbreitung wird am ehesten von der BGR-Studie genauer nachvollzogen, nicht jedoch von den hier zu betrachtenden Gutachten. Dies wird an einem Berechnungsbeispiel aus der

BGR-Studie deutlich (Simulation der Rissausbreitung mit der Software FieldPro): In Anlehnung an bereits durchgeführte Frac-Maßnahmen bei der Schiefergas-Exploration wurde bei extremen Randbedingungen ein Riss in einer Größenordnung von rund 540 m horizontal und 370 m vertikal modelliert (Rissöffnungsweite max. 3,1 cm). Nach 1000 m³ Fluidmenge wird hier bereits eine Risshöhe von 250 m erreicht. Die weiteren 100 m Höhe werden dann nur mit den angenommenen weiteren 4000 m³ Fluid erzeugt. Das Risswachstum kann demnach über das injizierte Fluidvolumen kontrolliert werden. Diese standortunabhängige Einschätzung sollte mit ermittelten standortbezogenen Daten jeweils im Vorfeld einer Stimulation modelliert werden. Dabei wird nicht beabsichtigt, eine möglichst große Rissausbreitung zu erzeugen, sondern diese ausschließlich auf die Zielformation zu begrenzen. Die Art der zum Einsatz kommenden Technik, die Rissausbreitung beim Fracking unter genauester Berücksichtigung des natürlichen Spannungszustandes und in diesem Zusammenhang das Monitoring sind genau und fachlich nachvollziehbar von den Antragstellern vor Beginn einer Frac-Maßnahme zu beschreiben.

Grundsätzlich müssen ein ausreichender vertikaler Abstand (z.B. ein Mehrfaches der Rissausdehnung) zwischen der Obergrenze des hydraulisch erzeugten Risses und der Untergrenze des tiefsten nutzbaren Grundwasserleiters und die Existenz geologischer Barrieren dazwischen gewährleistet sein. Gleiches gilt auch für den Abstand zu Störungen. Die Abstände zu den Grundwasserleitern und Störungen sind in Abhängigkeit von der lokalen geologisch-hydrogeologischen Situation in jedem Einzelfall vom Antragsteller durch Daten und Modellrechnungen zu definieren und von der Fachbehörde zu prüfen.

In Gebieten, in denen sich Störungen durch die Barrierehorizonte in Richtung von Grundwasserleitern fortsetzen, sollte Fracking ausgeschlossen werden, solange nicht die hydraulische Unwirksamkeit der Störungen stichhaltig nachgewiesen ist.

7.6. Seismizität

Grundsätzlich ist im Vorfeld einer Stimulierung das Erdbebenrisiko zu untersuchen. In Nordhessen ist das natürliche seismische Risiko gering. Die natürliche Seismizität kann unter Umständen bei den Frac-Maßnahmen beeinflusst werden. Es besteht die theoretische Möglichkeit, dass die entstehenden Erschütterungen die Wahrnehmbarkeitsschwelle an der Erdoberfläche überschreiten. Das Auftreten von induzierter Seismizität hängt im Einzelnen von der geologischen Umgebung, den tektonischen Spannungen, Injektionsdrücken bzw. Fließraten und wahrscheinlich auch von der Größe des stimulierten Riss-Systems ab. Es wird aber bis zu einem gewissen Grad als beurteilbar, prognosefähig und zum Teil als beeinflussbar angesehen. Schlüssel hierzu sind laufende Messungen und die Kontrolle des in die Tiefe eingebrachten Injektionsdrucks und ein seismologisches Monitoring in der Umgebung der Bohrung. Gegebenenfalls sind die Injektionsdrücke bzw. Injektionsmengen zu reduzieren.

Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft kann hinsichtlich der Möglichkeit von durch Frac-Maßnahmen ausgelösten Erdbeben (induzierte Seismizität) zusammenfassend Folgendes festgestellt werden:

- Auch in Gebieten mit schwacher seismischer Aktivität ist es empfehlenswert, Untersuchungen durchzuführen, um eine mögliche Gefährdung durch Erdbeben im Zusammenhang mit dem Fracking auszuschließen.

- Da mögliche durch das Fracking ausgelöste Ereignisse in vergleichsweise geringen Herdtiefen stattfinden, sind deren Auswirkungen an der Erdoberfläche größer als bei gleichstarken natürlichen Erdbeben in größeren Tiefen.
- Das von BNK Deutschland GmbH beantragte Aufsuchungsfeld „Adler South“ liegt in einem Bereich schwacher seismischer Aktivität. Würde die Aufsuchung erlaubt, müsste diese bei geplantem Bohren und Stimulieren mit einem seismischen Monitoring und mit einem Eingreifplan (Ampelsystem) nach dem Stand der Wissenschaft begleitet werden.

7.7. Eingesetzte gefährliche Stoffe

Die Bewertung ausgewählter, in Deutschland eingesetzter Frac-Fluide lässt in allen Gutachten ein erhebliches Gefährdungspotenzial erkennen.

In Anbetracht der aufgezeigten Wissenslücken und Datendefizite wurden spezielle Handlungsempfehlungen ausgesprochen, mit deren Hilfe die vollständige Bewertung der Frac-Fluide ermöglicht werden soll [UBA-Gutachten]:

- Vollständige Offenlegung aller eingesetzten Stoffe bezüglich Stoffidentität und Stoffmengen.
- Bewertung der human- und ökotoxikologischen Gefährdungspotenziale der eingesetzten Stoffe und Bereitstellung aller hierfür notwendigen physikochemischen und toxikologischen Stoffdaten durch den Antragsteller. Datendefizite müssen ggf. unter Durchführung geeigneter Laborversuche oder Modellrechnungen behoben werden. Die Wirkung von Stoffgemischen ist zu berücksichtigen.
- Substitution von besorgniserregenden Stoffen (insbesondere sehr giftige, kanzerogene, mutagene sowie reproduktionstoxische Stoffe), Reduktion bzw. Ersatz der Biozidwirkstoffe, Verringerung der Anzahl eingesetzter Additive, Reduktion der Einsatzkonzentrationen.
- Erfassung und Bewertung der Beschaffenheit der standortspezifischen Formationswässer bzgl. trinkwasserrelevanter Wasserinhaltsstoffe.
- Erfassung und Bewertung der Beschaffenheit des standortspezifischen Flowback bzgl. trinkwasserrelevanter Wasserinhaltsstoffe und bzgl. der eingesetzten Additive sowie von deren Transformationsprodukten; Erfassung und Bewertung des Anteils des zurückgeführten Frac-Fluids.
- Nachweis über Verhalten und Verbleib der Stoffe im standortspezifischen Untergrund durch Massenbilanzierungen der eingesetzten Additive.
- Stofftransportmodellierung zur Bewertung einer möglichen Gefährdung des Grundwassers im wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasserleiter durch möglicherweise aufsteigende Formationswässer und Frac-Fluide.
- Technische Aufbereitung und ‚umweltgerechte‘ Entsorgung des Flowback inkl. Darstellung der technisch möglichen Aufbereitungsverfahren und der Möglichkeiten einer Wiederverwendung der eingesetzten Stoffe. Im Fall einer Untergrundverpressung standortspezifische Risikobetrachtung und Darstellung der räumlichen und zeitlichen Summenwirkungen auf den Wasserhaushalt.
- Monitoring und Systemerkundung inkl. Errichtung von oberflächennahen Grundwassermessstellen zur Erfassung des Referenzzustands bzgl. der Additive und Methan und evtl. Bau tiefer

Grundwassermessstellen zur Erfassung der Beschaffenheit der Formationswässer und der Potenziale.

Diesen Handlungsempfehlungen schließt sich das HLUG grundsätzlich an. Im Falle der Betrachtung einer Untergrundverpressung von Flowback ist nach den in Hessen vorliegenden Erkenntnissen und Erfahrungen einschränkend festzuhalten, dass an die Risikobetrachtung von Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt allerhöchste Anforderungen zu stellen wären.

Eine detaillierte Risikobewertung der verwendeten Chemikalien/Additive erfolgt bei der eventuellen Erteilung einer Aufsuchungserlaubnis jedoch noch nicht. Sie ist Bestandteil der Zulassung eines im weiteren Verfahren zu erstellenden entsprechenden Betriebsplanes. In diesem weiteren Verfahrensschritt wird eine konkrete Benennung der im Einzelfall vorgesehenen Stoffe für erforderlich gehalten. Ohne eine substanzbezogene Benennung (Einzelstoffe) kann eine Risikobewertung nicht durchgeführt werden.

7.8. Beschaffenheit von Formationswasser und Grundwasserbeschaffenheit im Deckgebirge

Insbesondere die Risikostudie Fracking zeigt beispielhaft, wie wichtig die Kenntnis der natürlichen Formationswasserbeschaffenheit und der Grundwasserbeschaffenheit im Deckgebirge ist, um mögliche stoffliche Auswirkungen zu simulieren und so Veränderungen rechtzeitig erkennen zu können. Vor der Erschließung durch Fracking ist eine genaue Kenntnis der Grundwasserbeschaffenheit oberhalb und auch seitlich des Schiefergashorizontes mit einiger Zeit Vorlauf notwendig, um Veränderungen durch Wasserwegsamkeiten im Gebirge oder über Bohrungen rechtzeitig erkennen zu können. Hierfür muss ein konzeptionelles hydrogeologisches Modell (hydrogeologische Systembeschreibung) vorliegen, um ein an die geologischen Verhältnisse angepasstes Monitoringnetz rechtzeitig installieren zu können.

Wenn höher mineralisierte Grundwässer von dem Benutzungstatbestand des WHG betroffen sind, können in den meisten Fällen nicht mehr die Geringfügigkeitsschwellenwerte (LAWA 2004) zur Beurteilung von Auswirkungen herangezogen werden. Das HLUG empfiehlt für solche Fälle, den natürlichen Hintergrundwert zu ermitteln und daraus entsprechend des „Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment“ (European Commission, DG Environment, 2009) Schwellenwerte abzuleiten.

Im Hinblick auf die Behandlung und Entsorgung von Flowback-Wässern ist die Kenntnis der natürlichen Fluidbeschaffenheit im Zielhorizont (Formationswasser) sowie der geochemischen und mineralogischen Parameter des erdgasführenden Tonsteins schon in der Anfangsphase einer Erkundung (z.B. bei ersten Erkundungsbohrungen) wichtig. So können frühzeitig Hinweise auf mögliche Reaktionsprodukte mit den Frac-Fluiden und auf die mögliche Bildung von schwermetallhaltigen oder radioaktiven Ausfällungen (Scales) in den Anlagenteilen erhalten werden und in die Planungen eingehen.

7.9. Grundwassergefährdung

Hinsichtlich der Grundwassergefährdung sagen alle Gutachten aus, dass die obertägigen Anlagen und somit Transport, Lagerung und Umfüllen grundwassergefährdender Stoffe die größten Gefährdungspotenziale darstellen. Ein hieraus entstehendes Risiko ist bei Einhaltung der hiesigen technischen Standards und Gesetze, Verordnungen und Regelwerke aber vermeidbar.

Das Gefährdungspotenzial durch eine wider Erwarten ungenügende natürliche Barrierefunktion der geologischen Überdeckung des Zielhorizontes (trotz vorheriger genauer Untersuchungen) oder durch eine mangelhafte Dichtigkeit der Bohrungen ist geringer. Ton- und Salzgesteine sind grundsätzlich wichtige Barrieregesteine im Deckgebirge. Störungen können einerseits einen negativen Einfluss auf die Integrität der Barrieregesteine ausüben, andererseits ebenfalls abdichtende, d.h. barrierewirksame Eigenschaften aufweisen. Die Klärung der geologischen, speziell der strukturgeologischen und geomechanischen Fragen in einem Zielgebiet ist unabdingbar für die Risikoeinschätzung und Genehmigungsfähigkeit einer möglichen Schiefergas-Förderung, insbesondere mittels Fracking.

Im Zuge von Erkundungsbohrungen mit nachfolgendem Probe-Fracking ist eine Gefährdung des Grundwassers denkbar, wenn wassergefährdende Stoffe zum Einsatz kommen und Teile der technischen Einrichtungen versagen. Auch ist ein Übertritt von Frac-Flüssigkeit in einen Grundwasserleiter möglich, wenn eine vom zu stimulierenden Gesteinskörper ausgehende Wegsamkeit besteht. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Szenarien ist als sehr gering zu bewerten, wenn die Anlagen dem Stand der Technik entsprechen und es die Kenntnis der geologischen Situation erlaubt, Wasserwegsamkeiten sicher auszuschließen. Bei der Durchführung der Erkundungsbohrungen gelten die Vorgaben der Hessischen Bergverordnung, der Gefahrstoffverordnung, des Wasserhaushaltsgesetzes, der Grundwasserverordnung und der Schutzgebietsverordnungen der Wasserschutzgebiete. Bei Einhaltung dieser bestehenden gesetzlichen Regelungen gehen von den Bohrungen keine Gefährdungen für das Grundwasser aus.

Auch das Problem der Entsorgung von Flowback-Wasser (Wasser mit Anteilen von Frac-Fluiden und Formationswasser) wird von den Gutachten richtigerweise sehr hoch bewertet, ohne allerdings praktikable Lösungswege aufzuzeigen. Die speziellen Erfahrungen in Hessen mit der Tiefversenkung von Salzabwasser der Kaliindustrie in den Plattendolomit lassen bei Betrachtung der Untergrundverhältnisse im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ die Alternative einer Versenkung von Flowback-Wasser allerdings als indiskutabel erscheinen. Es sei in diesem Zusammenhang auch auf die Rechtsgutachten zur Salzabwasserversenkung (Böhm 2008; Reinhardt 2011) hingewiesen. Im Gegensatz zur Injektion von Begleitwässern aus der konventionellen Erdöl-/Erdgasförderung, die in dasselbe Speichergestein erfolgt, aus dem gefördert wurde, ist dies im Falle unkonventioneller Lagerstätten nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Bei der Einleitung in natürliche Grundwasserleiter an anderer Stelle würden Stoffe in das Grundwasser eingebracht, die nach jetzigem Stand der Technik einen großen Anteil chemischer Stoffe aus den Frac-Flüssigkeiten enthalten, die nicht natürlich vorkommen.

Bei einer Förderung von Flowback-Wasser aus dem Zielhorizont müssen nach Ansicht des HLUG bereits im Antrag auf Aufsuchung Vorstellungen präsentiert werden, wie eine geregelte Entsorgung realisiert werden kann.

Die Risikostudie Fracking sieht bei der rechtlichen Bewertung eine klare Priorität des Grund- und Trinkwasserschutzes vor der Energiegewinnung. Um dies sicherzustellen, schließt sie die Anwendung der Frac-Technologie und die Versenkung von Abwasser in den Trinkwasserschutzzonen I und II sowie in Heilquellenschutzgebieten aus. Zudem sieht sie einen Ausschluss bei tektonisch kritisch gespannten Störungen oder starken tektonischen Zerrüttungen im Untergrund sowie bei Auftreten artesisch gespannten Tiefenwassers und natürlichen oder anthropogen verursachten durchgängigen Transportwegen vor.

Dieser Auffassung schließt sich das HLUG an. Ein grundsätzliches Verbot von Errichtung und Betrieb von Frac- oder Verpressbohrungen in Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten (auf der gesamten Fläche; also auch in der Weiteren Schutzzone und entsprechenden Heilquellenschutzzonen) sieht das UBA-Gutachten vor. Allerdings sieht das UBA-Gutachten auch eine Möglichkeit der Befreiung aus Gründen des Allgemeinwohls, wenn ein Verfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung und Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt worden ist. Auch dieser Auffassung kann sich das HLUG anschließen.

In Ausnahmefällen ist es denkbar, dass Bohrungen und eventuell auch Fracking auch in einer Weiteren Schutzzone (Zone III) eines Trinkwasserschutzgebiets stattfinden können: Gerade im gebirgigen Nordhessen gibt es oftmals Einzugsgebiete von hoch gelegenen Grundwasserstockwerken, die weit oberhalb eines Hauptvorfluters liegen und daher keine hydraulische Verbindung zu tiefem Grundwasser haben können. Wenn in Trinkwasserschutzgebieten innerhalb derartiger Vorkommen der übliche anlagenbezogene Gewässerschutz an der Oberfläche eingehalten wird, wären hier bei günstigen geologischen Verhältnissen (Vorhandensein einer hydraulischen Barriere im tiefen Untergrund) durchaus auch in Weiteren Schutzzonen Bohrungen und auch Frac-Maßnahmen vorstellbar. Die fachliche geologische Prüfung der örtlichen Verhältnisse obliegt dem HLUG, das durch seine Stellungnahme bei Sonderbetriebsplänen ausreichend eingebunden ist.

Andererseits ist (auch rechtlich) zu klären, wie eine Bohrung und eine Frac-Maßnahme zu sehen sind, wenn sie von außerhalb eines Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebietes durch die horizontale Ablenkung in der Tiefe unter das Schutzgebiet reichen. Ein solcher Fall könnte unter ungünstigen geologischen Umständen eine höhere Gefährdung verursachen als eine Bohrung innerhalb eines Wasserschutzgebietes unter günstigen geologischen Umständen. Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete werden in erster Linie unter dem Gesichtspunkt der Grundwassergefährdung von der Erdoberfläche abgegrenzt.

7.10. Methodik der geologisch-hydrogeologischen Beschreibung, Datengrundlagen und betrachtete geologische Einheiten

Die Vorgehensweisen der geologisch-hydrogeologischen Beschreibung in allen drei Gutachten sind geeignet, ein Vorhaben zur Erschließung und Gewinnung unkonventioneller Kohlenwasserstofflagerstätten hinsichtlich seiner Risiken und Umweltauswirkungen auf Geosysteme zu beschreiben und zu beurteilen. Insbesondere ist dies der Fall, wenn sie kombiniert werden und im Ablauf des Verfahrens zunehmend an Detailschärfe gewinnen. Dies entspricht der im hessischen Leitfaden Tiefengeothermie (2011) vorgenommenen stufenweisen Verfeinerung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells im Verlaufe des Fortschritts einer Maßnahme. Die Risikostudie Fracking veranschaulicht dabei am besten, wie in der Praxis die fachlichen Beurteilungen vorgenommen werden können.

So ist es gut vorstellbar, innerhalb der „geologischen Potenzialräume“ (bzw. „hydrogeologischen Teilräume“) Hessens anhand „geologischer Settings“ oder „Typlokalitäten“ zu definieren, wie die Datenlage ist und welche Daten erhoben werden müssen, um eine Risikoanalyse vorzunehmen. Die „hydrogeologischen Systeme“ aus der Risikostudie Fracking und die „Geosysteme“ aus der Studie NRW und dem UBA-Gutachten entsprechen dabei den Potenzialräumen, die das HLUG in der vorliegenden Stellungnahme für Hessen definiert hat.

Die Beschreibungen der Geosysteme bzw. der hydrogeologischen Systeme aus den vorliegenden Gutachten sind allerdings nicht auf Hessen übertragbar, da die geologischen Verhältnisse im beantragten Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH erhebliche Unterschiede aufweisen. Hier müsste ggf. mit der in den Gutachten empfohlenen Vorgehensweise eine spezielle Beschreibung erfolgen. Beispiele, wie eine solche Beschreibung aussehen kann, wurden im Kap. 5 detailliert aufgeführt.

Neben der Darstellung der Geosysteme ist es von großer Wichtigkeit, konkurrierende Nutzungen des Untergrundes schon in der Frühphase in die Planung einer eventuellen Aufsuchung einzubeziehen. Abb. 4.1 auf S. 56 zeigt beispielhaft die Überlagerung des beantragten Feldes durch geowissenschaftlich begründete konkurrierende Flächenansprüche. Eine detaillierte quantitative Analyse und Verschneidung der geologischen Situation mit der vorhandenen Schutzgebiets- und Planungskulisse ist Kap. 6 (bzw. 7.13., Kurzversion) zu entnehmen

7.11. Geologische und hydrogeologische Situation im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“

In Anbetracht des komplexen strukturellen geologischen Baus im beantragten Aufsuchungsfeld, insbesondere im Rheinischen Schiefergebirge, sind Informationen, vor allem zur Integrität des Deckgebirges, hinsichtlich eventueller Frac-Maßnahmen nur mit außerordentlich hohem Aufwand zu erzielen. Demzufolge würde eine Explorationsphase zum Nachweis geologischer Barrieren über den Zielhorizonten im Unterkarbon sehr aufwendig sein und entsprechend lange dauern, auch wenn dort bereits eine Fündigkeit nachgewiesen sein sollte. Im beantragten Aufsuchungsfeld sind Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter und Grundwasserstockwerkssysteme ausgebildet. Entlang von tektonischen Störungssystemen stehen Grundwasserstockwerke bis in größere Tiefen miteinander in Verbindung. Es sind örtlich Aufstiegswege von höher mineralisierten Grundwässern vorhanden, die lokal als Heilquellen geschützt sind.

In den Antragsunterlagen der BNK Deutschland GmbH fehlt vollständig eine Definition der Mindestkriterien derjenigen Parameter, die einen Zielhorizont als hoffig erscheinen lassen. Dazu zählen zumindest Total Organic Carbon (TOC), Mächtigkeit, Mindest- und Maximalteufe und thermische Reife (R_o , Vitrinitreflexion). Ebenso müsste die Firma erst noch für die überdeckenden und lateral begrenzenden geologischen Einheiten Mindestkriterien definieren, die sie zur Beurteilung ihrer Eignung als geologische Barrieren heranzieht (Permeabilität, Porosität, Schichtlagerung, Klüftigkeit, Spannungszustand, Mächtigkeit, Tiefenlage).

Der in der BNK-Vorstudie mehrfach angestrebte Vergleich mit den Schiefergas-Lagerstätten der Schwarzschiefervorkommen in Nordamerika ist aus Sicht des HLUG auf Hessen nicht ohne weiteres zulässig. Der angesprochene Zielhorizont ist hier auf Grund der komplexen und kleinräumigen tektonischen Überprägung in seiner Lage sehr kompliziert aufgebaut. Im Rheinischen Schiefergebirge ist die Schichtenfolge, in der sich der Zielhorizont befindet, intensiv gefaltet. Der Verlauf des Horizontes ist demnach schlecht vorhersehbar, auch wenn punktuelle Daten auf Grund von Bohrungen vorliegen würden.

7.12. Geologisch-hydrogeologische Bewertung der Schiefergas-Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ (siehe Abb. 5.2, S. 73)

Für die Systemanalyse möglicher Erdgas-Potenziale im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH werden infrage kommende Strukturräume oder deren Kombinationen bezüglich der potenziellen

Gas-Höffigkeit als Potenzialräume benannt und charakterisiert sowie eine Rangfolge (1 – 3) ihrer möglichen Eignung unter Berücksichtigung von Höffigkeit und Eignung von Deckgebirgsschichten als geologische Barrieren erstellt. Diese Wertung ist vor dem Hintergrund der spärlichen Informationen in den Potenzialräumen nur relativ zueinander zu verstehen und nicht absolut im Sinne einer Benotung. Rangfolge 1 bedeutet also noch nicht, dass hier eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, Schiefergas finden zu können und ausreichende Barrieren nachweisen zu können. Die Situation in den sieben ausgehaltenen Potenzialräumen stellt sich im Einzelnen wie folgt dar:

7.12.1. Potenzialraum Rheinisches Schiefergebirge:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
3	21,3 %	Geringe Tiefenlage des Zielhorizonts: flächenhaft eher nicht	Weitgehend barrierefrei, daher sehr schlecht geeignet	Komplexe Mineralwasseraufstiege, Trinkwassergewinnung lokal bedeutend

Aufgrund der geringen Teufenlage des Zielhorizonts (in der Regel deutlich < 1000 m) und des weitgehend barrierefreien Deckgebirges wird eine Erkundung mit dem Ziel der Schiefergas-Förderung nicht befürwortet. Die hydraulischen Verhältnisse der höher mineralisierten Grundwasseraufstiege sind sehr komplex und bedürfen eines besonderen Schutzes. Dagegen würde im Rahmen einer eventuellen Aufsuchung die petrographische, geochemische und mineralogische Erkundung der hier wegen geringer Teufe ohne aufwändige Tiefbohrungen zugänglichen bituminösen Kulmschiefer-Serie sowie die tektonische Analyse im Rheinischen Schiefergebirge als sinnvoll erachtet.

7.12.2. Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
1	16,6 %	Theoretisch ja, aber keinerlei Daten	Aufgrund Tiefenlage und Deckgebirgsmächtigkeit ziemlich wahrscheinlich	Trinkwassergewinnung Großraum Kassel

Der Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex ist aufgrund prognostizierter Zielhorizonte in Teufen > 1000 m und seiner mächtigen Deck- und Barriere-Schichten sowohl für Schiefergas- als auch unter Umständen für Tight Gas-Erkundungen der primäre Zielraum in Hessen. Aufgrund der Beckenstruktur ist hier mit einem extensions-dominierten Spannungssystem zu rechnen. Über die möglichen Zielhorizonte selbst liegen keine Daten vor. Bituminöse Gesteinsimprägnationen in Zechstein-Lagen geben jedoch Hinweise auf eine mögliche Kohlenwasserstoffentwicklung in vermutlich paläozoischen Gesteinen. In diesem Gebiet befinden sich die Trinkwassergewinnungsanlagen für den Großraum Kassel. Die Barrierewirkung der Deckschichten und die Störungssysteme wären in Hinsicht auf den Grundwasserschutz sorgfältig zu erkunden.

7.12.3. Potenzialraum Korbach-Arolsener Schollenkomplex:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
2	16,0 %	Wahrscheinlich nur im Osten und Süd-osten Deckgebirge mächtig genug	Am ehesten möglich im Osten und Südosten	Bedeutende Trinkwasserförderung und Heilquellennutzung

Deckgebirge- und Barrierschichten erreichen wahrscheinlich nur im E und SE des Potenzialraums eine Mächtigkeit, die eine Exploration auf Schiefergas und/oder unter Umständen auch auf Tight Gas sinnvoll erscheinen lassen. Bedeutende zur Trinkwasserversorgung und als Heilquellen genutzte Grundwasservorkommen stellen einen besonderen Nutzungskonflikt in diesem Potenzialraum dar.

7.12.4. Potenzialraum Frankenberger Scholle:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
2	9,3 %	Nach heutiger Kenntnis ungeeignet. Theoretische Eignung nur bei Überschiebungstektonik. Nachweis fehlt.	Örtlich devonische Tonschiefer sowie tonig ausgebildeter Zechstein möglich. Flächenhafter Nachweis fehlt.	Überregional bedeutende Trinkwassergewinnung aus dem Buntsandstein

Die Überschiebungstektonik könnte sowohl die Ursache für mögliche Gas-Potenziale in geeigneten Teufen, als auch für mächtige paläozoische Barrierschichten sein. Im ersten Schritt einer Erkundung müsste die geotektonische Situation der Frankenberger Scholle durch Seismik und Bohrerkundung geklärt werden. Nach heutigem Kenntnisstand sind jedoch die Deckschichten-Mächtigkeit und Barriereigenschaften für Erdgas-Förderung nicht geeignet. Das große, überregional genutzte Grundwasservorkommen im Mittleren Buntsandstein würde intensive Untersuchungen der Barrierefunktion innerhalb des Deckgebirges erfordern.

7.12.5. Potenzialraum Isthä-Emsthaler Schollenkomplex:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
2	3,0 %	Keinerlei Informationen über den Zielhorizont vorhanden.	Deckgebirgsmächtigkeit örtlich hoch, aber nicht flächenhaft. Von Gräben und Störungen durchsetzt.	Bedeutende Grundwasservorkommen für Großraum Kassel-Fritzlar

Der Isthä-Emsthaler Schollenkomplex besitzt eine hohe Deckgebirgsmächtigkeit mit möglichen Barriereigenschaften, die aber wahrscheinlich nicht flächenhaft 1000 m erreicht. Der unterkarbonische Zielhorizont ist nicht erkundet. Auch gibt es keine Hinweise, ob Kulm-Grauwacken und Zechstein-Schichten in ausreichender Mächtigkeit vorkommen und Gas-höflich sind. Für eine Erkundung wäre das Gebiet jedoch geeignet. Für den Großraum Kassel-Fritzlar existieren bedeutende genutzte

Grundwasservorkommen. Durch Grabentektonik bedingte mögliche vertikale Durchlässigkeiten des Deckgebirges und die Barriereigenschaften des Deckgebirges wären ggf. intensiv zu erkunden.

7.12.6. Potenzialraum Niederhessische Senke:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
2	13,6 %	Möglich im westlichen und nordöstlichen Teil: Hohe Deckgebirgsmächtigkeit	Barrieregesteine unterhalb genutzter Grundwasserleiter geringmächtig und selten	Lokal bedeutend und gut geschützt wegen guter Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung

Die Niederhessische Senke ist insbesondere in ihrem westlichen und nordöstlichen Teil (Raum Kassel) durchaus für eine Erkundung auf Erdgas interessant. Hierfür spricht die erbohrte hohe Deckgebirgsmächtigkeit über dem prognostizierten Zielhorizont der Kulmschiefer-Serie. Allerdings sind die Barrieregesteine unterhalb der genutzten Grundwasserleiter geringmächtig und selten. Nach E wird der Einfluss der permzeitlichen Hunsrück-Oberharz-Schwelle deutlicher. Hier existieren die paläozoischen Aufbrüche in der Osthessischen Buntsandstein-Scholle. Mit unterkarbonischen Gesteinen ist hier kaum noch zu rechnen.

7.12.7. Potenzialraum Fuldalauf-Tiefscholle:

Rangfolge	Flächenanteil	Möglichkeit des Vorkommens von Schiefergas	Vorhandensein von ausreichenden Barrieren	Wasserwirtschaftliche Nutzung
3	3,3 %	Nur ein kleiner Flächenanteil kommt im W und NW in Betracht (Fazies, Tiefenlage).	Nach Osten nimmt Deckgebirgsmächtigkeit schnell und stark ab.	Bedeutende Trinkwassergewinnung, Neubildungsgebiet für Niederhessische Senke

Der Potenzialraum ist für eine Erdgas-Erkundung nur im W und NW (Raum Kassel) geeignet. In Richtung E ist ein mögliches Erdgas-Potenzial durch die permzeitliche Hunsrück-Oberharzschwelle und Mächtigkeitsabnahme im Deckgebirge limitiert. Im Potenzialraum befinden sich intensiv genutzte Grundwasservorkommen im Mittleren und Unteren Buntsandstein; es ist zudem das Grundwasserneubildungsgebiet für Grundwasservorkommen in der Niederhessischen Senke. Die mögliche Barrierefunktion in Schichten des Deckgebirges sowie Störungen und mögliche vertikale Durchlässigkeiten wären ggf. intensiv zu erkunden.

Es erscheint insgesamt möglich, dass in den abgesenkten und von jüngeren Sediment- und Vulkangesteinen überdeckten Bereichen des Rheinischen Schiefergebirges Gesteine vorkommen, die lokal oder regional die Kriterien der BGR-Studie für eine Schiefergashöflichkeit erfüllen. Von einer räumlich weit aushaltenden, sich über größere Gebiete erstreckenden Gaslagerstätte in Schwarzschiefern des Unterkarbons im Aufsuchungsfeld „Adler South“ ist nach Einschätzung des HLUG nach dem aktuellen Kenntnisstand jedoch nicht auszugehen. Es bleibt festzuhalten, dass bislang Kenntnisse über die de-

taillierten geologischen Verhältnisse und damit auch der Lagerstättenverhältnisse der Zielhorizonte im Aufsuchungsfeld der BNK Deutschland GmbH fehlen. Überlegungen zu einer Quantifizierung des Gasgehaltes der schiefergashöflichen Horizonte sowie der Gasverteilung innerhalb dieser Schichten sind spekulativ.

Unter Berücksichtigung dieses derzeitigen Wissensstandes erfüllt am ehesten der Potenzialraum Reinhardswald-Zierenberg-Nethe-Schollenkomplex die für eine Erdgas-Erkundung und -Förderung im Frac-Gutachten (Exxon-Studie) empfohlene Sicherheits- und Barriere-Schichtenmächtigkeit von > 1000 m. Als mögliche sekundäre Erkundungsräume werden die Potenzialräume Korbach-Arolsener Schollenkomplex, Frankenberger Scholle, Isthra-Emsthaler Schollenkomplex und Niederhessische Senke angesehen.

7.13. Quantitative Bewertung der Potenzialräume im beantragten Aufsuchungsfeld „Adler South“ und konkurrierender Nutzungsansprüche

Durch die Betrachtung der Potenzialräume (s. Abb. 5.2, S. 73) nach geologischen Gesichtspunkten in Kap. 5.2. (bzw. 7.12, Kurzfassung) hat sich eine Rangfolge hinsichtlich der Möglichkeit ergeben, förderwürdige Schiefergaslagerstätten aufzufinden und gleichzeitig die unabdingbar notwendigen geologischen Barrieren anzutreffen. Hierzu sei noch einmal betont, dass diese Einschätzung nur auf einer äußerst spärlichen Datenbasis steht, da –vereinfachend gesagt – genauere Kenntnisse des Untergrundes flächenhaft nur bis in Tiefen von ca. 100 m existieren.

Das geologische Potenzial wird von Schutzgebieten und weiteren, planerischen Nutzungsansprüchen an die Fläche überlagert.

Zur Quantifizierung dieser Überlagerungen werden für jeden der sieben Potenzialräume sowie für die Gesamtfläche des beantragten Erlaubnisfelds Adler South die Anteile von Flächennutzungen, Schutzgebieten und Betroffenheiten an der Gesamtfläche dargestellt (siehe Tab. 6.2, S. 101 ff.). Karten hierzu finden sich im Kartenanhang.

Zudem finden sich Angaben zur flächenhaften Ausdehnung von zusammengefassten, sich teilweise überlagernden Flächen der wichtigsten, meist durch Verordnung festgesetzten Schutzgebiets- und Planungskategorien.

Die Überlagerung erfolgte in der Rangfolge:

1. Überlagerung aller Schutzgebiete für den Grundwasserschutz (Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete)
2. Überlagerung der Flächen aus 1. mit Vorranggebieten Siedlung und Industrie, Gewerbe sowie Bund (i.d.R. militärische Nutzung)
3. Überlagerung der Flächen aus 2. mit Vorranggebieten Natur und Landschaft; Geo- und Nationalpark

Grundlage für die Auswertung sind für Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete, Mineralwassergewinnung, Geopark Grenzwelten und Nationalpark Kellerwald-Edersee Daten des HLUG. Alle übrigen Daten wurden den gültigen Regionalplänen Nord- und Mittelhessen entnommen. Linienhafte Raumannsprüche wurden nicht flächenhaft ausgewertet, sind aber zusammenfassend im Anhang der Langfassung als Karte dargestellt.

Die Definition der verschiedenen Raumannsprüche (Nutzungskategorien) sind den Textteilen zu den Regionalplänen Nord- und Mittelhessen zu entnehmen.

Als Vorranggebiete ausgewiesene Bereiche „sind für alle öffentlichen Stellen bei ihren Planungen und Maßnahmen gemäß § 4 Abs. 1 HPLG verbindlich. Gegenüber der kommunalen Bauleitplanung begründen sie gemäß § 1 Abs. 4 BauGB eine Anpassungspflicht. Die Vorranggebiete schließen entgegengesetzte raumbedeutsame Nutzungen aus“ (Zitat aus dem Regionalplan Nordhessen 2009). Die „als Vorbehaltsgebiete ausgewiesenen Bereiche sind nach § 4 Abs. 2 HPLG bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen zu berücksichtigen - sie unterliegen also der Abwägung“ (Regionalplan Nordhessen 2009).

Bei Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten (Stand Februar 2013) wurden durch Verordnung festgesetzte und im Antragsverfahren befindliche Schutzgebiete zusammengefasst.

Die Mineralwasservorkommen sind zur Information nur als Übersicht dargestellt. Nach dem derzeitigen Datenstand im HLUG handelt es sich um punktförmige Objekte, die natürlich austretende oder durch Bohrungen erschlossene Vorkommen mit höher mineralisiertem Grundwasser darstellen. Größtenteils werden sie von Firmen zur Abfüllung von Mineralwasser genutzt. Teilweise befinden sich auch Heilquellen darunter, die bereits in dem Datenlayer „Heilquellenschutzgebiete“ flächenmäßig abgegrenzt sind. Für die meisten Mineralwasservorkommen existieren jedoch keine Schutzgebiete bzw. Abgrenzungen ihres Einzugsgebiets. Daher wurde pauschal ein kreisförmiger Puffer von 1 km Radius um die Punkte gelegt, um einer Vorstellung der flächenhaften Verbreitung näher zu kommen.

Ähnlich wurde bei Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten zur Rohstoffsicherung mit Flächengrößen < 10 ha verfahren, die in den Regionalplänen nur punktförmig dargestellt werden. Ihnen wurde ein Puffer mit der Flächengröße 7 ha zugewiesen.

7.14. Empfehlungen

Grundsätzliche Empfehlungen:

- Alle drei Gutachten sind grundsätzlich als Hilfe bei der Beurteilung des Antrages der BNK Deutschland GmbH für das Antragsfeld „Adler South“ verwendbar. Der Kenntnisstand zur Geologie der hier in Rede stehenden Region wird in der vorliegenden Stellungnahme durch das HLUG dargelegt. Ohne vorherige weitere Erkundungsmaßnahmen ist daher die Anfertigung eines weiteren, hessenspezifischen Fracking-Gutachtens nicht angezeigt.
- Die Gutachten schließen die Förderung aus nicht konventionellen Lagerstätten in Deutschland mit Hilfe des Frac-Verfahrens nicht grundsätzlich aus, sondern stellen fest, dass Fracking prinzipiell mit den Anforderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes vereinbar sein kann. Eine pauschale Ablehnung solcher Vorhaben wird daher a priori nicht empfohlen. In Anbetracht des komplexen strukturellen geologischen Baus im Feld „Adler South“ können aber erforderliche Kenntnisse, insbesondere zur Integrität des Deckgebirges, hier nur mit außerordentlich hohem Aufwand zu gewinnen sein.

- Zunächst sollten die Ergebnisse des anhängigen Rechtsgutachtens abgewartet und die sich ggf. daraus ergebenden Konsequenzen gezogen werden.

Besondere Empfehlungen im Hinblick auf die im Antrag der BNK Deutschland GmbH beschriebenen geplanten Aufsuchungstätigkeiten:

- Bereits bei Antragstellung auf Aufsuchung ist ein auf allen erreichbaren Daten beruhendes konzeptionelles geologisch-hydrogeologisches Modell vorzulegen, das Informationen zur geologischen, tektonischen und hydrogeologischen Situation vom Zielhorizont bis zur Erdoberfläche beinhaltet. Es ist insbesondere auf die Kriterien zur Einstufung der Höffigkeit einer Lagerstätte, auf hydraulische Barrieren, mögliche Störungen, Grundwasserstockwerksgliederung und natürliche Seismizität einzugehen. Das Modell ist entsprechend dem zunehmenden Kenntnisstand während dem Projektverlauf kontinuierlich zu aktualisieren.
- Explorationsergebnisse aus Bohrungen oder geophysikalischen Untersuchungen sind dem HLUG nach Lagerstättengesetz ohne Zeitverzug nach deren Ermittlung und uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen, so dass sie in die Beurteilung der Einzelvorhaben und der Gesamtsituation einfließen können.
- Zur Beweissicherung wären im Erlaubnisfall bereits in der Aufsuchungsphase in Abstimmung mit dem HLUG im gesamten Raum oberhalb des Zielhorizontes Monitoringnetze zum Grundwasser und zu diffusen Gas (Methan)-Austritten sowie zur natürlichen Seismizität aufzubauen, spätestens dann, wenn Bohrungen beabsichtigt sind. Bei geplanten Frac-Behandlungen wären die Beobachtungsmöglichkeiten zu überprüfen und gegebenenfalls zu verfeinern.
- Die Öffentlichkeitsbeteiligung ist bereits bei Beginn einer Maßnahme zu gewährleisten.
- Eine Reduzierung der eingesetzten grundwassergefährdenden Stoffe in den Frac-Fluiden ist anzustreben. Es ist vorstellbar, dass zukünftig Frac-Versuche während der Aufsuchung auch lediglich mit Wasser vorgenommen werden können.
- Eine vollständige Offenlegung aller eingesetzten Stoffe bezüglich Stoffidentität, Stoffmengen, Gefährdungspotenzial, Verhalten und Verbleib der Stoffe im standortspezifischen Untergrund und im Flowback-Wasser wäre im Erlaubnisfall unbedingt erforderlich.
- Die Technische Aufbereitung und umweltgerechte Entsorgung des Flowback-Wassers müsste gewährleistet sein. Im Fall einer Untergrundverpressung müsste eine standortspezifische Risikobetrachtung und Darstellung der räumlichen und zeitlichen Summenwirkungen auf den Wasserhaushalt erfolgen.
- Lokale Schwellenwerte für tiefe Grundwasserstockwerke sind vor einer Frac-Behandlung anhand der natürlichen Hintergrundwerte neu zu ermitteln. Dafür müssen in jedem Grundwasserstockwerk oberhalb des Zielhorizonts Grundwassermessstellen existieren.
- Hinsichtlich der Bohrungsintegrität und der Langzeitsicherheit von Bohrungen beim Fracking sollte – möglichst gemeinsam von den Bergbehörden und den Staatlichen Geologischen Diensten in Deutschland – der derzeitige Stand der Technik definiert werden. Vergleiche mit langjährigen Erfahrungen aus anderen Ländern, insbesondere aus den USA (zu erwartender neuer Bericht der EPA), sind notwendig.
- Endgültig geklärt bzw. festgelegt werden sollte, ob unterirdisches Wasser auch dann noch als Grundwasser bezeichnet werden kann, wenn es bergrechtlich als Sole einzustufen ist, da es hierzu unterschiedliche Auffassungen gibt.

- Übertägige und untertägige Aktivitäten zur Aufsuchung und Gewinnung sind in Wasserschutzgebieten (Wasserschutzzonen I bis III), Wassergewinnungsgebieten der öffentlichen Trinkwasserversorgung (ohne ausgewiesenes Wasserschutzgebiet), in Heilquellenschutzgebieten sowie im Bereich von Mineralwasservorkommen in der Regel nicht zuzulassen und die genannten Gebiete für diese Zwecke daher auszuschließen. Ausnahmen können in der Wasserschutzzone III von Trinkwasserschutzgebieten nach sorgfältiger Prüfung der örtlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse möglich sein.
- Es muss eine Klärung der Frage erfolgen, wie eine horizontal abgelenkte Bohrung behandelt wird, die unter ein Trink- oder Heilquellenschutzgebiet reicht.
- In Bezug auf den flächendeckenden Grundwasserschutz und den Schutz von Trinkwassergewinnungsanlagen und Heilquellen wird eine Karte der Sensibilität gegenüber Einflüssen der Nutzung des tiefen Untergrundes angeregt.
- Es sollte für die einzelnen in Hessen entstehenden behördlichen Aufgaben im Zusammenhang mit Aufsuchung und Gewinnung von unkonventionellen Lagerstätten eine spezielle Regelung der Zuständigkeiten und Beteiligungen erarbeitet werden.
- Es wird vorgeschlagen, einen Leitfaden für das Vorgehen bei konkreten Projekten speziell für die hessischen Verhältnisse auszuarbeiten (nach dem Vorbild des Leitfadens Tiefengeothermie, Planung und Durchführung von Projekten, bergrechtlicher Teil).
- Hinsichtlich der künftigen Nutzung des tiefen Untergrundes wird eine Darstellung der möglichen Nutzungskonflikte (Kohlenwasserstoffgewinnung, CO₂-Verpressung im Untergrund, Gewinnung von Erzen, Salzen sowie Tiefengeothermie) und Risiken aus geowissenschaftlicher Sicht angeregt.

8. Literatur

- Antonow, P.L., Gladyschewa, G.A. & Koslow, W.P. (1958): Die Diffusion von Kohlenwasserstoffgasen durch Steinsalz. – Zeitschr. f. angew. Geologie, Heft 8, S. 387–388.
- Backhaus, E., Gramann, F., Kaefer, M., Lepper, J., Lohmann, H.J., Meiburg, P., Preuss, H., Rambow, D. & Ritzkowski, S. (1980): Geologische Karte des Reinhardswaldes 1: 50000; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Bauer, G. (1991): Kryogene Klüfte in norddeutschen Salzdiapiren? – Zbl. Geol.Paläontol., Teil 1, Heft 4: 1247–1261, 9 Abb.; Stuttgart.
- BGR (2007b): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland
Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen. – Hannover/Berlin, April 2007
- BGR (2007a): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland. Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten. Wirtsgesteinsformationen
(www.bgr.bund.de/.../Endlagerung/.../BGR_wirtsgest_dtl.pdf?__.)
- BGR (2012): Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tonsteinen (Schiefergas) in Deutschland.
(www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/BGR_Schiefergaspotenzial_in_Deutschland_2012.pdf;jsessionid=16011B1B940580BB73F21ED7BE848E3B.1_cid289?__blob=publicationFile&v=7)
- Blanckenhorn, M. (1925): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Blatt Borken; Berlin (Preußische Geologische Landesanstalt; faksimilierter Nachdruck 1995; Hessisches Landesamt für Bodenforschung [Blatt 4921]).
- Böhm, M. (2008): Rechtsgutachten zur Zulässigkeit der Versenkung von Salzabwässern in den Untergrund, erstellt für das Hessische Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (unveröffentlicht).
- Bond, D., Wignall, P.W. & Racki, G. (2004): Extent and duration of marine anoxia during the Frasnian-Famennian (Late Devonian) mass extinction in Poland, Germany, Austria and France. – Geol. Mag. 141, 2, 173–193.
- Bornemann, O. et al. (2008): Standortbeschreibung Gorleben, Teil 3: Ergebnisse der über und untertägigen Erkundung des Salinars. – Geol. Jb. C, 73, 50 Abb., 7 Tab. 5 Anl.; Hannover.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. – 48 S., 16 Tab., 5 Abb. 4 Anl., 1 Anhang 66 S., Hannover (BGR).
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2012): Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland. 1. Bericht des NIKO-Projekts, April 2012.
http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/BGR_Schiefergaspotenzial_in_Deutschland_2012.pdf?__blob=publicationFile&v=7

- Curtis, J.B. (2002): Fractured shale-gas systems. - AAPG Bulletin 86 (11), 1921–1938.
- Desbois, G., Urai, J.L. & Bresser, J. H. P. (2012): Fluid distribution in grain boundaries of natural fine-grained rock salt deformed at low differential stress (Qom Kuh salt fountain, central Iran): Implications for rheology and transport properties. – Journal of Structural Geology 43, 128–143.
- Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.) (Koordination/Redaktion: Amler, R.W. & Stoppel, D. für die Subkommission Karbon): Stratigraphie von Deutschland VI. Unterkarbon (Mississippium). – SDGG, 41: 590 S.; Hannover.
- Diederich, G. et al. (1991): Hydrogeologisches Kartenwerk Hessen 1: 300 000. – Geol. Abh. Hessen, 95, 83 S., 3 Abb. 4, Tab., 5 Kt., Wiesbaden.
- DoebI, F. & Teichmüller, R. (1979): Zur Geologie und heutigen Geothermie im mittleren Oberrhein-Graben. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 27: 1-27; Krefeld.
- Doublier M.P., Potel S., Franke W., Roache T. (2012): Very low-grade metamorphism of Rheno-Hercynian allochthons (Variscides, Germany) – facts and consequences. – International Journal of Earth Science , 101: 1229–1252; 23DOI 10.1007/s00531-011-0718-3
- European Commission, DG Environment (2009): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 18, Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, Technical Report - 2009 - 026
- Evans, M.A. & Fischer, M.P. (2012): On the distribution of fluids in folds: A review of controlling factors and processes. – Journal of Structural Geology 44 (2012) 2, S. 2–24.
- Everlien, G. (1997): Hydrous Pyrolysis of High-Maturity Paleozoic Coals and Black Shales from Central Europe and adjacent Areas – Thermodynamic Considerations. – Geol. Jb. D 103: 43–64; Hannover.
- ExxonMobil Production Deutschland GmbH (2012): Risikostudie des Expertenkreises aus dem Informations- und Dialogprozess der ExxonMobil Production Deutschland GmbH über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung, einschließlich der Arbeitsgruppen-Gutachten. <http://dialog-erdgasundfrac.de/>
- Fink, J. (2012): Petroleum engineer's guide to oil field chemicals and fluids, Chapter 17: Fracturing Fluids. - Elsevier, Waltham & Oxford.
- Fritsche, J.-G.; Hemfler, M.; Kämmerer, D.; Leßmann, B.; Mittelbach, G.; Peters, A.; Pöschl., W.; Rummohr, S. & Schlösser-Kluger, I. (2003): Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume in Hessen gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). – Geol. Jb. Hessen, 130, 5–19, 1 Abb., Wiesbaden (HLUG).
- Gerling, P., Kockel, F. & Krull, P. (1999): Das Kohlenwasserstoff-Potenzial des Präwestfals in norddeutschen Becken-Eine Synthese. – DGMK-Forschungsbericht 433, 107 S.
- Grübler, G. (1984): Gasvorkommen in den Schachtvorbohrungen Go 5001 und Go 5002. In Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT (Hrsg.): Bericht von einer Informations-

- veranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen, Salzstock Gorleben. – Entsorgung, Bd. 3: 165–181, 6 Folien; Bonn.
- Grübler, G. & Reppert, D (1983a): Bericht über die in den Schachtvorbohrungen Go 5001 und Go 5002 angetroffenen KW-Kondensate / -Gase und deren Untersuchungsergebnisse. – DBE-Bericht: 56 S., 11 Anl.; Peine [Unveröff.].
- GVBl Hessen (2012): Hessische Bergverordnung vom 30. August 2012. –Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen, 19. Sept. 2012, S. 277-286.
- Halliburton (2008): Coalbed Methane – Principles and Practices,
http://www.halliburton.com/public/pe/contents/Books_and_Catalogs/web/CBM/CBM_Book_Intro.pdf (13.06.2012).
- Hartwig, A., Könitzere, S., Boucsein, B., Horsfield, B. & Schulz, H.-M. (2010b): Applying classical shale gas evolution concept to Germany – Part II: Carboniferous in Northeast Germany. – Chemie. Erde – Geochem. 70, 93–106.
- Heggemann, H. (2003): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4818 Medebach; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie).
- Herrmann, A. G. (1987): Gase in marinen Evaporiten. – Univ. Clausthal-Zellerfeld, Inst. F. Miner. und Mineral. Rohst.: 137 S., 2 Abb., 3 Tab.; Clausthal-Zellerfeld [Unveröff.].
- Herrmann, A. G. (1980): Geochemische Prozesse in marinen Salzablagerungen: Bedeutung und Konsequenzen für die Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Band 131 (1980):433–459, Hannover.
- Hildebrand, A., Krooss, B.M., Busch, A. & Gaschnitz, R. (2006): Evolution of Methan sorption capacity of coal seams as a function of burial history – a case study from the Campine Basin, NE Belgium. – Int. J. Coal Geol. 66, 179–203.
- Hoffmann, N., Jödicke, H., Fluche, B., Jording, A. & Müller, W. (1998): Modellvorstellungen zur Verbreitung potentieller präwestfälischer Erdgas-Muttergesteine in Norddeutschland – Ergebnisse neuer magnetotellurischer Messungen. – Z. angew. Geol., 44 (1998) 3, 140–158.
- Hoth, P.; Wirth, H.; Reinhold, K.; Bräuer, V.; Krull, P.; Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen – Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen – 118 S., BGR, Hannover, Berlin.
- Huenges, E.; Engeser, B.; Erzinger, J.; Kessels, W.; Kück, J. (1997): The permeable crust: Geohydraulic properties down to 9100 m depth, Journal of Geophysical Research, 102, B8, 18255-18265.
- Jarvie, D.M., Hill, R.J., Ruble, T.E. & Pollastro, R.M. (2007): Unconventional shale-gas systems: the Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenetic shale-gas assessment. – American Association of Petroleum Geologists Bulletin 91 (4), 475–499.
- Jenkins, C.D. & Boyer Jr., C.M. (2008): Coalbed- and shale-gas reservoirs. – Journal of Petroleum Technology. Distinguished Author Series, 92–99.

- King, G.E. (2012), Hydraulic fracturing 101: what every representative, environmentalist, regulator, reporter, investor, university researcher, neighbours and engineer should know about estimating frac risk and improving frac performance in unconventional gas and oil wells. - Society of Petroleum Engineers.
http://www.kgs.ku.edu/PRS/Fracturing/Frac_Paper_SPE_152596.pdf
- Krebs, W. (1978): Aspekte einer potentiellen Kohlenwasserstoff-Führung in den devonischen Riffen Nordwestdeutschlands. – Erdöl Erdgas Zeitschrift 1, 15-25.
- Kulick, J. (1960): Zur Stratigraphie und Paläogeographie der Kulm-Sedimente im Eder-Gebiet des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westfalen, 3 (1): 243–288; Krefeld.
- Kulick, J. (1968): Erläuterungen zu Geologischen Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4719 Korbach: 272 S.; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Kulick, J. (1969): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4720 Waldeck; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Kulick, J. (1980): Zechstein. – In: Kupfahl, H.-G. mit Beiträgen von Anderle, H.-J., Busse, E., Ehrenberg, K.-H., Hahner, A., Janssen, J., Kulick, J., Plaumann, S., Rambow, D., Reichmann, H., Ritzkowski, S., Rösing, F., Strecker, G., Ulrich, H.-J. & Vaupel, O.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4723 Oberkaufungen: 15–17: Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Kupfahl, H.-J. (1985): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 5018 Wetter; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Kupfahl, H.-J., Mattheß, G., Rösing, F. & Thews, J.-D. (1980):): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4723 Oberkaufungen, 2. Auflage; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, http://www.lawa.de/documents/GFS-Bericht-DE_a8c.pdf (13.04.2012).
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2012): Mindestanforderungen an Betriebspläne, Prüfkriterien und Genehmigungsablauf für hydraulische Bohrlochbehandlungen in Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Niedersachsen. LBEG-Rundverfügung, http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=562&article_id=110051&psmand=4.
- Lippert, H.-J. unter Mitarbeit von Hentschel, H. & Rabien, A, mit Beiträgen von Kutscher, F., Stengel-Rutkowski, W., Wendler, R. & Zakosek, H. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 5215 Dillenburg: 550 S.; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Littke, R., Krooss, B., Uffmann, A.K., Schulz, H.-M. & Horsefield, B. (2011): Unconventional Gas Resources in the Paleozoic of Central Europe. – Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 66 (2011). No. 6, pp. 953–977.

- Nicolaus, H.-J. (1963): Zur Stratigraphie und Fauna der crenistria-Zone im Kulm des Rheinischen Schiefergebirges. – Beih. Geol. Jb., 53: 1–246; Hannover.
- NYSDEC – New York State Department of Environmental Conservation (2011): Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement. Chapter 5: Natural gas development activities & high-volume hydraulic fracturing, http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/rdsgeisch50911.pdf (01.03.2012)
- Oelsner, O. (1961): Ergebnisse neuer Untersuchungen an CO₂-führenden Salzen des Werra-Reviere. Freiburger Forschungshefte, A 183, 5–19, Berlin.
- Paul, J. (1986): Stratigraphy of the Lower Werra Cycle (Z1) in West Germany. In: Harwood, G.M & Smith, D.B. (eds.): The English Zechstein and Related Topics. Geological Society Special Publication **22**: 149-156
- Pater et al. 2011: Geomechanical Study of Bowland Shale Seismicity: <http://hwbpc.org.uk/Seismic%20Report%20Executive%20Summary%2002-11-11.pdf>
- Regierungspräsidium Darmstadt und HLOG (2011): Leitfaden Tiefengeothermie. Planung und Durchführung von Projekten – bergrechtlicher Teil. Download auf den Internetseiten des RP-Darmstadt und des HLOG
- Reinhardt, M. (2011): Wasserrechtliche Anforderungen an die Beseitigung salzhaltiger Abwässer im hessisch-thüringischen Kalirevier – Zur wasserrechtlichen Zulässigkeit der Zwischenlösung für die Bewirtschaftung des Untergrunds im Werragebiet durch die K+S KALI GmbH – Rechtsgutachten, erstellt für das Regierungspräsidium Kassel (unveröffentlicht).
- Reinhold, K. & Müller, C. (2011): Speicherpotenziale im tiefen Untergrund – Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland. – In: Müller, C. & Reinhold, K. (Hrsg.): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. – Schriftenreihe der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Heft 74, 9–27, Stuttgart 2011 (Schweizerbart Science Publishers).
- Richwein, J., Schuster, R., Teichmüller, R. & Wolburg, J. (1963): Überblick über das Profil der Bohrung Münsterland 1. – In: Andres, J., Arnold, H. & Beeg, H. (eds): Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen. Die Aufschlussbohrung Münsterland 1. – Fortschr. Geol. Rhld. u. Westf. 11, 9–18, Krefeld.
- Ricken, W., Schrader, S., Onken, O. & Plesch, A. (2000): Turbiditebasin and mass dynamics related to orogenic wedge growth: the Rheno-Hercynian case. – In: Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt, Franke, W., Haak, V., Onken, O. & Tanner, D. (eds), Geol. Soc. Spec. Publ. 179, 257–280.
- Rickman, R., Mullen, M., Petre, E., Grieser, B. & Kundert, D. (2008): A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett Shale. In: Society of Petroleum Engineers, SPE 11258.
- Rösing, F. (1969): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4622 Kassel West, 3. Auflage; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).

- Rösing, F. (1965): Geologische Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4621 Wolfhagen; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Rösing, F. mit Beiträgen von Busse, E., Hentschel, H., Kutscher, F., Pfeffer, P., Schönhals, E. & Udluft, H. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1: 25000, Blatt 4622 Kassel-West: 205 S.; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- Rosenwinkel, K.-H.; Weichgrebe, D.; Olsson, O. (2012): Gutachten Stand der Technik und fortschrittliche Ansätze in der Entsorgung des Flowback des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfall (ISAH) der Leibniz Universität Hannover zum Informations- und Dialogprozess über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking Technologie für die Erdgasgewinnung. <http://dialogerdgasundfrac.de/sites/dialogerdgasundfrac.de/files/Gutachten%20zur%20Abwasserentsorgung%20und%20Stoffstrombilanz%20ISAH%20Mai%202012.pdf>
- Rosleff-Sörensen, B., Timar-Geng, Z., Bruss, D. & Kemenyfy, J. (2012): Die Bohrungen in Kirchweidbach sind abgeschlossen – ein Rückblick zur Exploration. – Geothermische Energie, No. 74, S. 10 – 13.
- Ross, D.J.K. & Bustin, R.M. (2008): Characterizing the shale gas resource potential of Devonian Mississippian strata in the Western Canada sedimentary basin: application of an integrated formation evolution. – AAPG Bulletin 92 (1), 87-125.
- Schatzmann, S, F. Werunsky, F., Sattler, C.D., Görke, R., Wegner, J. und Ganzer, L. (2012): Anwendung bekannter und weiterführender Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung des Lias Epsilon (Posidonienschiefer) aus Süd-Deutschland. – Erdöl Erdgas Kohle 128.Jg 2012, Heft 10.
- Schindler, E. (1992): Kellwasser Horizont. – In: Zimmerle, W. & Stribrny, B. (eds): Organic Carbon-rich Pelitic Sediments in the Federal Republic of Germany. –Courier Forschungsinstitut Senckenberg 152, 56–58, Frankfurt.
- Schraft, A.; Fritsche, J.-G.; Hemfler, M.; Mittelbach, G.; Rambow, D. & Tangermann, H. † (2002): Die hydrogeologischen Einheiten Nordhessens, ihre Grundwasserneubildung und ihr nutzbares Grundwasserdargebot (Ldkrs. Waldeck-Frankenberg, Kassel, Schwalm-Eder, Werra-Meißner, Hersfeld-Rotenburg, Fulda und Stadt Kassel). – Geol. Jb. Hessen, 129: 27–54; Wiesbaden. (HLUG).
- Siebert, W. (1971): Abschlussbericht über die erdölgeologischen Untersuchungsarbeiten auf der Z-Struktur Rambow. (Strukturbericht Rambow – Suche und Forschung). VEB Erdöl und Erdgas Grimmen.
- Siegmund, H., Trappe, J. & Oschmann, W. (2002): Sequence stratigraphic and genetic aspects of the Tournaisian „Liegender Alaunschiefer“ and adjacent beds. – Int. J. Earth Sci. 91, 934-949.
- STATOIL (2005): Distribution of Hydrocarbons in Sedimentary Basins. The importance of temperature. – Research & Technology Memoir No. 7 (www.statoil.com/Technology).
- Stoppel, D., Korn, D. & Amler, M.R.W. (2006): Regionale Stratigraphie des Unterkarbons in Deutschland. Die Kulm-Fazies im Rhenoherynikum. Der Nord- und Nordostrand des Rheinischen Schiefergebirges und das zentrale Sauerland. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission

- (Hrsg.) (Koordination/Redaktion: Amler, R.W. & Stoppel, D. für die Subkommission Karbon): Stratigraphie von Deutschland VI. Unterkarbon (Mississippium). – SDGG, 41: 330–357; Hannover.
- Stoppel, D., Korn, D. & Amler, M.R.W. (2006): Regionale Stratigraphie des Unterkarbons in Deutschland. Die Kulm-Fazies im Rhenoherynikum. Der Nord- und Nordostrand des Rheinischen Schiefergebirges und das zentrale Sauerland. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.) (Koordination/Redaktion: Amler, R.W. & Stoppel, D. für die Subkommission Karbon): Stratigraphie von Deutschland VI. Unterkarbon (Mississippium). – SDGG, 41: 330–357; Hannover.
- Struckmeier, W. (1982): zur Geochemie, Mikroskopie und paläogeographischen Deutung der Liegenden Alaunschiefer (Dinantium II α) und eingelagerter Phosphorite im Belecker und Warsteiner Sattel (nördliches Rheinisches Schiefergebirge). – Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., 30, 312–339, 6 Abb, 1 Tab, 2 Taf., Krefeld.
- Stribrny, B., Urban, H. & Weber, H. (1988): The Lower Carboniferous Black Shale Formation, a Possible Source for Noble and Base Metal Deposits in the NE Rhenish Massif, Federal Republic of Germany. – Mineral. Petrol., 39: 129–143.
- Van Sambeek, L.L., Ratigan, J.L., Hansen, F.D. (1993): Dilatancy of rock salt in laboratory tests. – Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech., Abstr., Vol. 30, 735–773.
- Van Gent, H.W., Urai, J. & De Keijzer, M. (2011): The internal geometry of salt structures – a first look using 3D seismic data from Zechstein of the Netherlands. – Journal of Structural Geology 33, 292–311.
- Tissot, B.P. & Welte, D.H. (1984): Petroleum formation and occurrence. – 2nd rev. and enl. Ed., 1–699, 327 figs., tabs., Berlin, Heidelberg (Springer).
- Urban, H. & Stribrny, B. (1989): On the classification of black shales. – Terra abstracts 1, p. 13.
- US EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2004): Evaluation of impacts to underground sources of drinking water by hydraulic fracturing of coalbed methane reservoirs, Washington D.C., http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/wells_coalbedmethanestudy.cfm (04.01.2012)
- Uth, H.-J. (2012): Technische Sicherheit von Anlagen und Verfahren zur Erkundung und Förderung von Erdgas aus nichtkonventionellen Lagerstätten. – Gutachten für den Expertenkreis Fracking, AG Risiko, c/o Dr. Christoph Ewen, Ewen;Team, Ludwigshöhstrasse 31, 64285 Darmstadt; Lychen (externes Gutachten).
- Warren, J.K. (2006): Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbones. – Springer, 1035 pp.
- Weiskorn, B. (1987): Die Inkohlungsverhältnisse am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. – Dipl.-Arbeit, 98 S, RWTH Aachen.

Wolf, M. (1989): Die Inkohlungsverhältnisse im Dinantium der Wittgensteiner Mulde und ihrer Umgebung (Nordöstliches Rheinisches Schiefergebirge). – Soc. Belge Géol., Bull., 98–2, pp. 209–216, 4 figs, Brussel.

Wolf, M. (1978): Inkohlungsuntersuchungen im Hunsrück (Rheinisches Schiefergebirge). – Z. dt. geol. Ges., 129: 217–227, 1 Abb., 1 Tab, 1 Taf.; Hannover.

Yahi, N., Schaefer, R.G. & Littke, R. (2001): Petroleum generation and accumulation in the Berkine basin, eastern Algeria. – AAPG Bull. 85, (8): 1439–1467.

Zimmerle, W. & Stribny, B. (1992): Organic carbon-rich pelitic sediments in the Federal Republic of Germany. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 152, 142 S.n. Frankfurt a. M.

9. Kartenanhang

Schutzgebiete und konkurrierende Flächennutzungsansprüche im beantragen Aufsuchungsfeld „Adler South“ (Quellen siehe Kartenlegenden)

Nr.	Thema	Seite
1	Trinkwasserschutzgebiete	131
2	Heilquellenschutzgebiete	132
3	Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete	133
4	Grundwasserschutz	134
5	Vorbeugender Hochwasserschutz	135
6	Siedlung	136
7	Industrie und Gewerbe	137
8	Bund	138
9	Überlagerung der Themen 3 und 5–8 (Vorranggebiete)	139
10	Natur und Landschaft	140
11	Regionaler Grünzug	141
12	Nationalpark und Geopark	142
13	Überlagerung der Themen 3, 5–8 (Vorranggeb.) 10 (Vorranggeb.) und 12	143
14	Besondere Klimafunktionen	144
15	Landwirtschaft	145
16	Forstwirtschaft	146
17	Abbau oberflächennahe Lagerstätte	147
18	Oberflächennahe Lagerstätte	148
19	Windenergienutzung	149
20	Mineralwasser	150
21	Energieversorgung, Schienenverkehr, Nahverkehr	151

