

Westsächsische Hochschule Zwickau
Fakultät Physikalische Technik und Informatik
Aufbaustudiengang Umwelttechnik und Recycling

**Fracking, Chancen und Probleme -
eine kritische Analyse**

eingereicht als Diplomarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieur (FH)

vorgelegt von:

Christian Hülsmann
KennNr.: 30259

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gemende
Westsächsische Hochschule Zwickau

Dr. Eberhard Schröter
Westsächsische Hochschule Zwickau

Februar 2017

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Was ist Fracking?	1
3 Wo wird Fracking eingesetzt?	3
3.1 Typen von unkonventionellen Lagerstätten	4
3.1.1 Shale Gas - Schiefergas, Erdgas in dichten Tongesteinen	5
3.1.2 Tight Gas - Erdgas in dichten Sand- oder Kalksteinformationen	5
3.1.3 CBM - Erdgas in Kohleflözen	6
3.2 Tiefengeothermie - Nutzung der natürlichen Erdwärme	6
4 Wie funktioniert Fracking?	8
4.1 Technische Aspekte des Frackings	8
4.2 Frack-Fluide	12
4.3 Flowback	17
5 Wann wurde mit Fracking begonnen?	20
6 Wie wirtschaftlich ist Fracking bei der Erdgas- und Erdölförderung?	23
7 Welche Risiken birgt der Einsatz von Fracking?	27
7.1 Potentielle Umweltauswirkungen und Gefahren von Fracking	28
7.2 Verunreinigung von Böden, Oberflächengewässern, Grund- und Trinkwasser	28
7.3 Seismische Ereignisse	35
7.4 Änderungen in der Treibhausgas-Bilanz durch Schiefergasproduktion	39
7.5 Raum- und Flächeninanspruchnahme	43
7.6 Gesundheitliche Risiken	46

8	Welche Chancen bietet die Fracking-Technologie?.....	48
8.1	Deckung der steigenden Energienachfrage	48
8.2	Niedrigere Emissionsintensität	52
8.3	Verringerung der Importabhängigkeit.....	54
8.4	Wirtschaftliche Vorteile	55
8.4.1	Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen.....	55
8.4.2	Verbesserung der Einnahmesituation – Steuern, Abgaben, Löhne.....	56
9	Fracking in den USA und in Deutschland.....	58
9.1	Fracking (-Boom) in den USA	58
9.2	Fracking in Deutschland.....	59
9.2.1	Umgang mit dem Thema Fracking	62
9.2.2	Gesetzliche Regelungen	63
10	Zusammenfassung und Fazit	64
	Literaturverzeichnis	75
	Eigenständigkeitserklärung	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielhafter Frack-Riss mit einer Breite von wenigen Millimetern, der mit keramischen Kügelchen offengehalten wird	2
Abbildung 2:	Schematische Darstellung von Kohlenwasserstoff-Lagerstättentypen	6
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der Erdgasgewinnung durch Fracking	8
Abbildung 4:	Fracking-Anlage in Michigan	10
Abbildung 5:	Aufbau eines Bohrlochs im Querschnitt bei einer Tiefe von 1.000 Metern	10
Abbildung 6:	Mehrere Horizontalbohrungen ausgehend von einem vertikalen Bohrloch	11
Abbildung 7:	Lagerung des Flowbacks aus dem Fracking in einem offenen Becken	18
Abbildung 8:	Entwicklung des Gaspreises in den USA	23
Abbildung 9:	Denkbare Pfade für die Freisetzung von Schadstoffen	29
Abbildung 10:	Anzahl der aktiven Ölbohrlöcher in den USA	45
Abbildung 11:	Flächenbedarf eines einfachen Fracking-Bohrplatzes	46
Abbildung 12:	Weltweite Ressourcen von Schiefergas und konventionellem Erdgas (Angaben in Billionen m ³)	49
Abbildung 13:	Erdgasreserven in Deutschland	50
Abbildung 14:	Weltweiter Primärenergieverbrauch	52
Abbildung 15:	Anzahl Fracks in Deutschland seit 1961	60
Abbildung 16:	Vermutete Lagerstätten und vergebene Erlaubnisfelder für eine Aufsuchung von Erdgas im nördlichen Nordrhein-Westfalen und westlichen Niedersachsen	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Chemische Additive und ihre Aufgaben	14
Tabelle 2:	Für den Einsatz bei zukünftigen Fracks in Schiefergaslagerstätten vorgesehene Stoffe (insgesamt im Schnitt 0,3 % Massenanteile in der Frack-Flüssigkeit)	16

Abkürzungsverzeichnis

AFP	<u>A</u> gence <u>F</u> rance- <u>P</u> ress
BGR	<u>B</u> undesanstalt für <u>G</u> ewissenschaften und <u>R</u> ohstoffe
BTEX	<u>B</u> enzol, <u>T</u> oluol, <u>E</u> thylbenzol, <u>X</u> ylol
BUND	<u>B</u> und für <u>U</u> mwelt und <u>N</u> aturschutz <u>D</u> eutschland
CBM	<u>C</u> oal <u>B</u> ed <u>M</u> ethane
EIA	U.S. <u>E</u> nergy <u>I</u> nformation <u>A</u> dministration
GENUK	<u>G</u> emeinnütziges <u>N</u> etzwerk für <u>U</u> mwelt <u>k</u> ranke
GFZ	Deutsches <u>G</u> eoforschungs <u>z</u> entrum
GuD	<u>G</u> as- und <u>D</u> ampfturbinenkraftwerk
GUS-Staaten	<u>G</u> emeinschaft <u>u</u> nabhängiger <u>S</u> taaten
IEA	Internationale <u>E</u> nergie- <u>A</u> gentur
IPCC	Intergovernmental <u>P</u> anel on <u>C</u> limate <u>C</u> hange
HOWCO	Halliburton <u>O</u> il <u>W</u> ell Cementing <u>C</u> ompany
HWWI	Hamburgisches <u>W</u> elt <u>W</u> irtschafts <u>I</u> nstitut
NGO	<u>N</u> on- <u>G</u> overnmental <u>O</u> rganisation
NORM	<u>N</u> atural <u>O</u> ccuring <u>R</u> adioactive <u>M</u> aterial
NRW	<u>N</u> ord <u>r</u> hein- <u>W</u> estfalen
OPEC	<u>O</u> rganization of the <u>P</u> etroleum <u>E</u> xporting <u>C</u> ountries
UBA	<u>U</u> mwelt <u>b</u> undes <u>a</u> mt
US-EPA	<u>U</u> nited <u>S</u> tates <u>E</u> nvironmental <u>P</u> rotection <u>A</u> gency
ZEW	<u>Z</u> entrum für <u>E</u> uropäische <u>W</u> irtschaftsforschung

1 Einleitung

„Fracking“ ist ein umweltpolitisches Reizthema, welches seit Jahren in den Medien heftig diskutiert wird. Befürworter verheißen technische Beherrschbarkeit, Versorgungssicherheit, größere Unabhängigkeit von Gas- und Ölimporten und sinkende Gas- und Ölpreise. Gegner sprechen von unkalkulierbaren und unbeherrschbaren Risiken für die Umwelt und unsere Gesundheit und fordern deshalb ein vollständiges Verbot (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 3). In Deutschland wird diese Debatte aktuell mit am schärfsten geführt, zumal im Hinblick auf seine Energiewende Überlegungen bestehen, Fracking in größerem Stil auch in Deutschland anzuwenden.

Aber was versteht man eigentlich unter „Fracking“, und wie funktioniert dieses Verfahren? Wie groß ist das Potenzial der betreffenden Energieressourcen, und wie sieht es mit der Wirtschaftlichkeit der Erdgas- und Erdölgewinnung aus? In welchen Ländern kommt das Fracking-Verfahren heute bereits zum Einsatz, und wo liegen die Chancen und Risiken dieses Verfahrens.

Mit Hilfe dieser Arbeit sollen diese und zahlreiche weitere Fragen erläutert, kritisch analysiert, diskutiert und abgewogen werden.

2 Was ist Fracking?

„Fracking“ ist eine Abkürzung, die sich vom englischen Begriff „*hydraulic fracturing*“ (to fracture – „aufbrechen“ oder auch „aufreißen“/ zu Deutsch: „hydraulisches Aufbrechen“ oder „hydraulische Frakturierung“) ableitet. Es bezeichnet ein Verfahren, bei dem Gesteinsschichten im tiefen Untergrund mittels eingepresster Flüssigkeit („Frack-Fluid“) aufgebrochen werden, um die Durchlässigkeit (Permeabilität) des Gesteins zu erhöhen und das eingelagerte Erdgas oder auch Erdöl zu extrahieren.

Durch die unter sehr hohem Druck in tiefe Gesteinsschichten eingepresste Flüssigkeit werden kleine Risse erzeugt oder vorhandene Risse und Öffnungen erweitert (siehe Abbildung 1, S. 2) und durch Zuführung von Stützmitteln (sogenannte „Proppants“) stabilisiert (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4). Ziel ist es, die Permeabilität der Lagerstättengesteine zu erhöhen. Durch das Aufbrechen werden künstlich Fließwege geschaffen, durch die im Gestein eingeschlossene Gase und Flüssigkeiten leichter zu einem Bohrloch wandern und von dort an die Erdoberfläche befördert werden können.

Das Fracking-Verfahren wurde in Amerika entwickelt. Das Verfahren ist nicht neu, sondern es stammt aus den 1940er Jahren. Seit dem Ende des 2. Weltkrieges wird es routinemäßig und - erstmals ab 1949 - auch kommerziell angewendet (AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ 2013: 5).

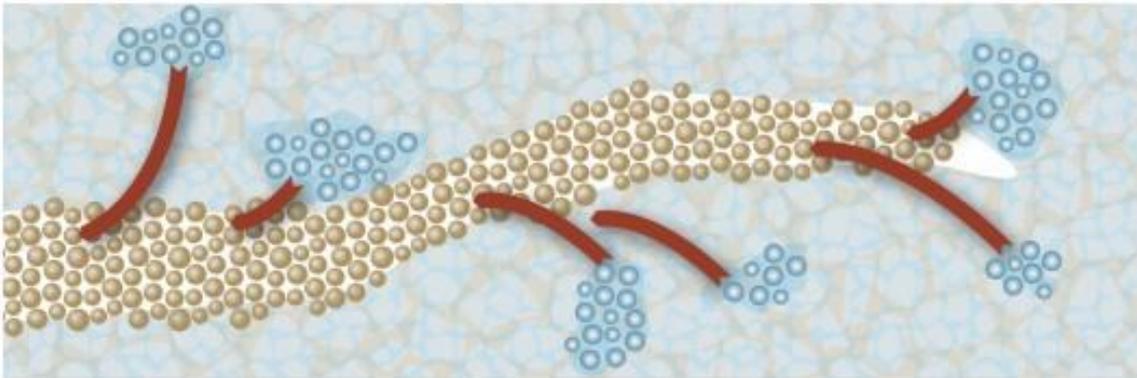


Abbildung 1: Beispielhafter Frack-Riss mit einer Breite von wenigen Millimetern, der mit keramischen Kügelchen offengehalten wird (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 14)

Die zum Fracking eingesetzte Flüssigkeit (Frack-Fluid) besteht im Wesentlichen aus Wasser, das je nach Anwendung mit Stützmitteln (z.B. Quarzsand und Keramikkügelchen) und verschiedenen Chemikalien versetzt wird. Mit Hilfe der Stützmittel und Chemikalien werden die entstandenen Risse offengehalten. Durch sie kann dann das gelöste Erdgas oder Erdöl zum Bohrloch strömen (WEBEL, S. 2013: 3). Die Chemikalien werden z.B. zur Verbesserung des Stützmitteltransports und zur leichteren Rückgewinnung der Frack-Fluide eingesetzt.

3 Wo wird Fracking eingesetzt?

Weltweit wird seit vielen Jahrzehnten Erdgas und Erdöl aus „konventionellen Lagerstätten“ gefördert. Dabei handelt es sich meist um Sandsteinformationen, in denen seit vielen Millionen Jahren die Kohlenwasserstoffe in großen Hohlräumen gespeichert sind („Speichergesteine“) (EXXONMOBIL).

Erdgas und Erdöl können in diesen konventionellen Lagerstätten aufgrund der großen Porosität und Permeabilität des Gesteins frei wandern. Wird eine konventionelle Lagerstätte angebohrt, strömt der Rohstoff ohne weitere aufbereitende Maßnahmen der Gewinnungsbohrung zu (WEBEL, S. 2013: 3) und entweicht in der Regel aufgrund des im Hohlraum bestehenden Überdrucks von selbst. Er kann dann ohne zusätzliche aufwendige technische Hilfe relativ leicht gefördert werden.

Das Fracking-Verfahren wurde zu Beginn seiner Entwicklung überwiegend dazu eingesetzt, bei konventionellen Erdgas- oder Erdöllagerstätten die Förder- und Fließrate zu verlängern. Ein weiterer Aspekt war die Erhöhung der Produktivität von Lagerstätten in der Spätphase ihrer Ausschöpfung zur Verringerung des natürlichen Absinkens der Förderrate (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 4).

Neben konventionellen Erdöl- und Erdgaslagerstätten gibt es auch die sogenannten „unkonventionellen Lagerstätten“ (siehe Abbildung 2, S. 6). Diese sind Erdgas- und Erdölvorkommen, die sich in Sedimenten aus dichten, feinkörnigen und gering durchlässigen Gesteinen oder Kohleflözen durch den Abbau organischen Materials gebildet haben (WEBEL, S. 2013: 3). Bei diesen besitzt das Speichergestein nur eine geringe Durchlässigkeit, so dass Erdgas und Erdöl nicht in ausreichendem Maße frei wandern und einer Bohrung zuströmen können (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 4). Die Gewinnung dieses Erdgases und Erdöls ist daher nur mit großem Aufwand und anspruchsvollen technischen Maßnahmen möglich. In der Vergangenheit galt daher die Ausbeutung unkonventioneller Lagerstätten als unwirtschaftlich.

Bisher gibt es keine klare Klassifizierung von „konventionellen“ oder „unkonventionellen“ Erdgaslagerstätten (BUNDESMINISTERIUM 2014). Das kann im Einzelfall dazu führen, dass in der Literatur Zahlenangaben (z.B. Mengenangaben) von Quelle zu Quelle differieren.

Technische Fortschritte - vor allem die Entwicklung des Fracking-Verfahrens - machen aber mittlerweile auch die Erschließung gering permeabler Lagerstätten rentabel (WEBEL, S. 2013: 3). Seit Ende der 1990er Jahre, Anfang 2000 wird Fracking daher mehr und

mehr auch zur Förderung fossiler Kohlenwasserstoffe aus unkonventionellen Erdgas- und Erdöllagerstätten eingesetzt, die mit den herkömmlichen Abbaumethoden bis dahin nicht wirtschaftlich zu erschließen waren. Fracking wird als vorbereitende Maßnahme vor der Förderung eingesetzt, mit der durch spezielle Bohrtechniken und Stimulationsmaßnahmen die notwendigen Fließwege zur Gewinnungsbohrung erst künstlich geschaffen werden (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/1).

Nicht nur zur Förderung von Erdgas und Erdöl wird gefrackt. Fracking wird in der Tiefengeothermie immer dann angewendet, wenn keine ausreichende Wasserzirkulation vorliegt. Analog wird auch bei der Erschließung tiefer Grundwasserleiter für die Wassergewinnung vorgegangen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

Bei der Nutzung der Geothermie spricht man jedoch eher von hydraulischer Stimulation und nicht von Fracking, auch wenn eine eindeutige Zuordnung der verwendeten Verfahren über die üblichen Begrifflichkeiten nicht widerspruchsfrei möglich ist (UMWELTBUNDESAMT 2014c).

Da die der Arbeit zugrundeliegenden Quellen überwiegend das Thema Fracking im Zusammenhang mit Erdgas behandeln, wird in den folgenden Abschnitten in den Formulierungen, Beispielen und Bildern ebenfalls bevorzugt das Fracking von Erdgas beschrieben.

3.1 Typen von unkonventionellen Lagerstätten

Sogenannte unkonventionelle Lagerstätten sind Gesteinsformationen, in denen Erdgas und Erdöl nicht nur enthalten, sondern ursprünglich auch entstanden sind. Man spricht dann auch von „Muttergestein“ (EXXONMOBIL).

Bei unkonventionellen Lagerstätten mit geringporösen und undurchlässigen Gesteinen unterscheidet man Primär- und Sekundärlagerstätten. Bei Primärlagerstätten befindet sich der Rohstoff (Erdgas oder Erdöl) noch am Ort der Entstehung in seinem Muttergestein. Dies können entweder Kohleflöze oder Tonsteine sein. Das aus Kohleflözen gewonnene Gas wird als Kohleflözgas („CBM - Coal Bed Methane“), das aus den Tonsteinen gewonnene Gas und Öl als Schiefergas („Shale Gas“) bzw. Schieferöl („Shale Oil“) bezeichnet. „Der Begriff Schiefergas rührt von der umgangssprachlichen und fachwissenschaftlich falschen Verwendung des Begriffes Schiefer für Tonsteine her“ (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.).

Befindet sich die Lagerstätte nicht mehr im Muttergestein in dem der Rohstoff entstanden ist, sondern das Erdgas oder das Erdöl ist in ein ausreichend permeables Speichergestein gewandert, so spricht man von Sekundärlagerstätten. Das hierbei gewonnene Gas und Öl wird als „Tight Gas“ und „Tight Oil“ bezeichnet (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.).

In Deutschland finden sich unkonventionelle Erdgaslagerstätten in schieferigen Tongesteinen, dichten Sand- und Kalksteinen und Kohleflözen (siehe Abbildung 16, S. 63) (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

3.1.1 Shale Gas - Schiefergas, Erdgas in dichten Tongesteinen

Schiefergas (Shale Gas) hat sich in schieferigen Tongesteinen gebildet und ist daraus nicht diffundiert. Es entstand im Laufe der Erdgeschichte unter hohen Temperaturen und Drücken aus ursprünglich pflanzlichen Bestandteilen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

Das Gestein (Muttergestein), in dem das Gas adsorbiert ist, ist feinkörnig und oft tonmineralhaltig. Es weist eine sehr geringe Durchlässigkeit auf. Für die Gewinnung solcher Gasvorkommen müssen die Bindungen zwischen Gas und Gestein gelöst werden (AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ 2013: 3).

Im Fokus der momentanen Entwicklung und daher auch der öffentlichen Diskussionen steht primär die Aufsuchung und Gewinnung von Schiefergas (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Schiefergasvorkommen werden in Deutschland zwischen 1050 und 5000 m Tiefe vermutet (z.B. südwestliches Niedersachsen), liegen jedoch deutlich oberflächennaher als konventionelle Lagerstätten, welche in einer Tiefe von bis zu 5000 m liegen können (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4) (EXXONMOBIL).

3.1.2 Tight Gas - Erdgas in dichten Sand- oder Kalksteinformationen

Das sogenannte Tight Gas ist aus Muttergesteinsformationen (z.B. dichte Tongesteine) in Sand- oder Kalksteinformationen eingewandert, die für Gase nur wenig durchlässig sind. Tight Gas Lagerstätten finden sich in Deutschland in der Regel in Tiefen von mehr als 3500 m (z.B. in Niedersachsen im Raum Cloppenburg) (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

3.1.3 CBM - Erdgas in Kohleflözen

Kohleflözgas (CBM - Coal Bed Methane) entsteht bei der Umwandlung von organischem Material in Kohlevorkommen und ist in den Poren der Kohleflöze gespeichert. Der größte Teil dieses Gases ist an den Kohlepartikeln adsorbiert. Zielhorizonte für die Suche nach Flözgas sind z.B. Steinkohleflöze des Oberkarbons. Die entsprechenden Vorkommen liegen in Deutschland in unterschiedlichen Tiefen, zum Beispiel in Randgebieten des Münsterlands in 300 bis 500 m Tiefe und am südlichen Niederrhein in 1000 bis 5000 m Tiefe (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

Für eine Gewinnung von Erdgas aus Schiefergesteinen ist die Anwendung des Fracking-Verfahrens in jedem Fall erforderlich. Bei Kohleflözen hängt dies jedoch von der jeweiligen Struktur der Lagerstätte ab (EXXONMOBIL). Ob gefrackt werden muss und ob man dafür Chemie einsetzen muss, ist ohne vorherige Erkundungen meist nicht zu klären (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 16).

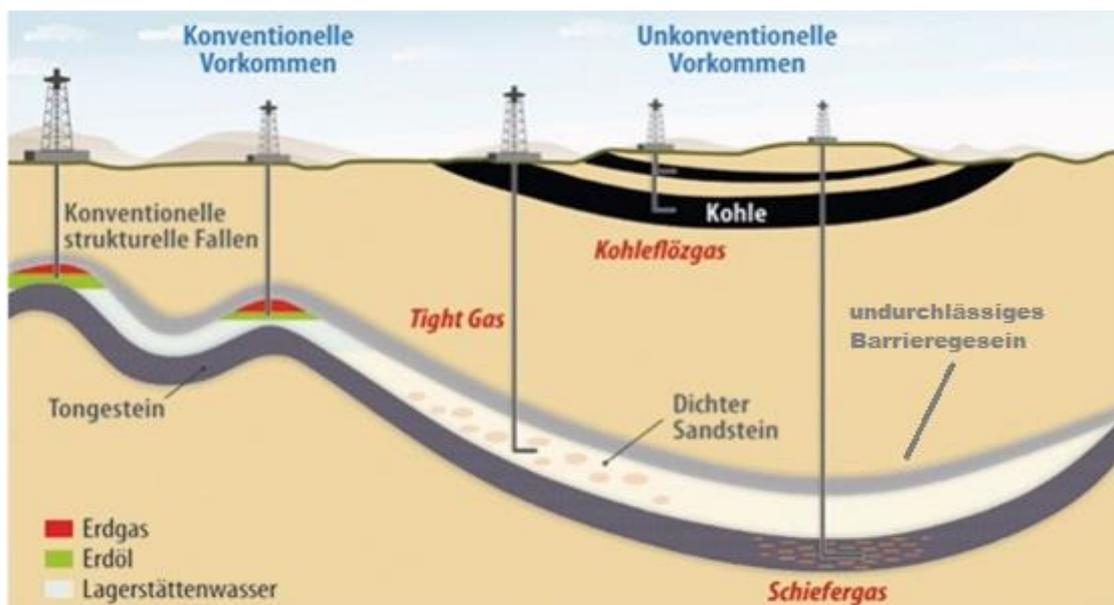


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Kohlenwasserstoff-Lagerstättentypen (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 4)

3.2 Tiefengeothermie - Nutzung der natürlichen Erdwärme

In der Tiefengeothermie wird das Fracking-Verfahren zur Aufweitung von kristallinem Gestein genutzt. Es dient der Nutzung und Verbesserung des Wärmetransports, indem mit dem Trägermedium Wasser natürliche Erdwärme aus der Tiefe gewonnen wird. Üblicherweise wird hier der Fachbegriff „hydraulische Stimulation“ verwendet, aber im Prinzip handelt es sich technisch um das gleiche Verfahren. Fracking bzw. hydraulische Stimulation ist nur in

solchen Fällen erforderlich, in denen die natürliche Wasserzirkulation zur Erdwärmegewinnung nicht ausreicht. Es werden jedoch keine oder nur wenige Stützmittel oder chemischen Zusätze benötigt, in der Regel wird nur reines Wasser verwendet (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5). Für die bessere Erschließung von Tiefengrundwasser aus Kalkschichten wird oft Salzsäure eingesetzt, um die Porenräume durch Einpressen von Säure zu erweitern. Diese wiederum wird durch die Reaktion mit dem Kalk neutralisiert (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2).

Für eine Stromerzeugung ausreichende Temperaturen, sind mittels Tiefengeothermie in Deutschland nur in ca. 4000 m Tiefe zu finden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

4 Wie funktioniert Fracking?

4.1 Technische Aspekte des Frackings

Grundsätzlich werden beim Fracking über Bohrlöcher Flüssigkeiten (Frack-Fluide) unter hohem Druck in tiefe Gesteinsformationen gepresst, um Risse zu erzeugen oder bestehende Klüfte zu öffnen (siehe Abbildung 3). Aus den so erzeugten Bruchstellen kann dann Erdgas, Erdöl oder heißes Wasser zum Bohrloch strömen und an die Oberfläche gefördert werden (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2).

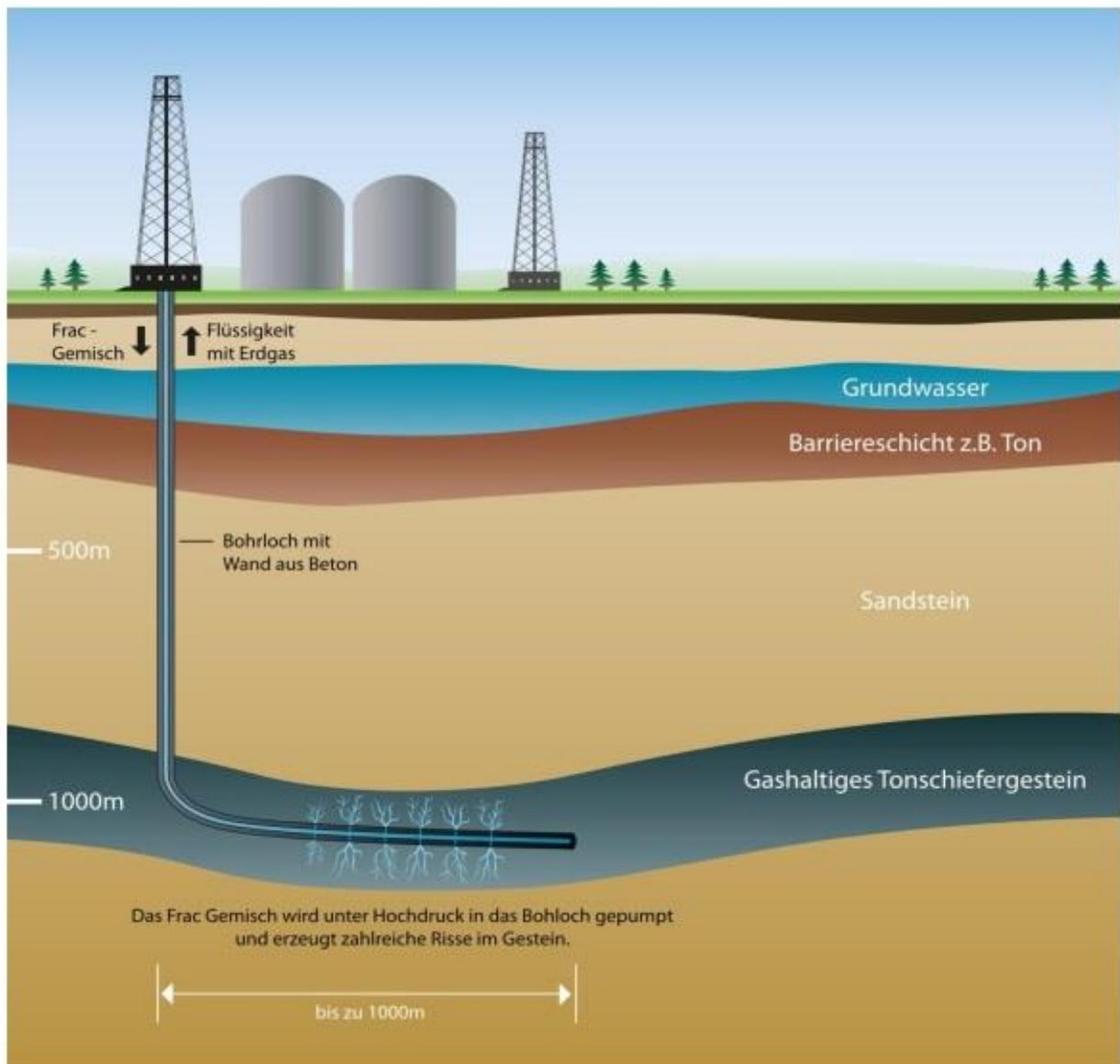


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Erdgasgewinnung durch Fracking (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3)

Die ständige Verbesserung des Fracking-Verfahrens für die Gewinnung von Erdgas, Erdöl oder Wasser ist in der Förderindustrie ein wichtiges Thema. Die Wahl der Förder- und Fra-

cking-Methode hängt immer von den spezifischen geologischen Verhältnissen ab, und die Techniken sind auch einem permanenten Entwicklungsprozess unterworfen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2).

Mit der Frakturierung des Gesteins lässt sich in konventionellen Erdgas- und Erdöllagerstätten die Ausschöpfung bereits erschlossener Lagerstätten verbessern. Das Verfahren wurde aber auch schon relativ früh für die Förderung von Tight Gas Vorkommen aus unkonventionellen Lagerstätten eingesetzt.

Mit steigenden Gaspreisen und der Verbesserung der Fördertechniken wurde auch die Förderung der umfangreichen Shale Gas Vorkommen (Schiefergas) wirtschaftlich interessant. Einen wesentlichen Beitrag dazu lieferte die zielgenaue horizontale Ablenkung von Bohrungen. Die Schiefergasförderung ist jedoch deutlich aufwändiger als die von Tight Gas: Die Adsorption von Schiefergas in weniger durchlässigem Gestein erfordert mehr Bohrungen, um genügend Fließwege zu schaffen. Außerdem werden dabei große Mengen an Fracking-Flüssigkeit benötigt. Die hydraulische Frakturierung der Vorkommen von Tight Gas und Shale Gas unterscheiden sich durch den bei Schiefergas höheren (Ober-)Flächenbedarf. Ferner ist die Zusammensetzung der Bohrflüssigkeiten bei den unterschiedlichen Vorkommen verschieden (AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ 2013: 5).

Bei unkonventionellen Gasvorkommen sinkt die Förderrate rasch ab. Ein rascher Rückgang der geförderten Gasmenge kann daher nur durch ständig neue Bohrungen kompensiert werden (AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ 2013: 5).

Jeder Förderung von Erdgas geht zunächst eine vertikale Bohrung voraus unabhängig davon, ob es sich um konventionelle oder unkonventionelle Lagerstätten handelt (BIZER, K. & BOBMEYER, C. 2012). Das bedeutet, dass bei unkonventionellen Lagerstätten vor dem „eigentlichen“ Fracken die gleiche Bohrtechnologie wie bei Bohrprojekten in konventionellen Erdgaslagerstätten angewandt wird, indem zunächst mehrere hundert Meter bis auf maximal ca. 5000 m senkrecht in die Tiefe gebohrt wird (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3).



Abbildung 4: Fracking-Anlage in Michigan (TAGES-ANZEIGER 2013)

Grundsätzlich gilt, dass der Schutz des Trinkwassers oberste Priorität zu haben hat. Dazu sollte der Bohrplatz vollständig gegenüber dem Untergrund abgedichtet und mit einem umlaufenden Rinnensystem versehen sein. Ferner ist zwischen Bohrloch und trinkwasserführenden Schichten eine undurchdringliche Barriere einzubringen (siehe Abbildung 5). Dies geschieht durch zusätzlich zur üblichen Bohrlöchauskleidung eingebrachte weitere Ummantelungen aus Zement und Stahl (EXXONMOBIL).



Abbildung 5: Aufbau eines Bohrlochs im Querschnitt bei einer Tiefe von 1.000 Metern (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 32/33)

Durch Fortschritte in der Bohrtechnik können gasführende Gesteinsschichten heute über Hunderte von Metern auch horizontal erschlossen werden. Durch Weiterentwicklungen der Bohrtechnik können heute zunächst vertikal geführte Bohrungen im Zielbereich bis in die Horizontale abgelenkt oder sogar leicht aufwärts in die Lagerstätte (gasführende Gesteinsschicht) hineingeführt werden. Anschließend kann mit dem eigentlichen Fracking-Prozess begonnen werden (EXXONMOBIL).

Durch horizontale Bohrungen wird eine wesentlich größere Bohrlochlänge in der Lagerstätte erreicht (siehe Abbildung 6). Die Bohrungen werden dann einzeln oder abschnittsweise, entsprechend den geologischen und geomechanischen Untergrundbedingungen, mehrfach gefrackt. Das führt dann zu einer erhöhten Ausbeute der Lagerstätte.

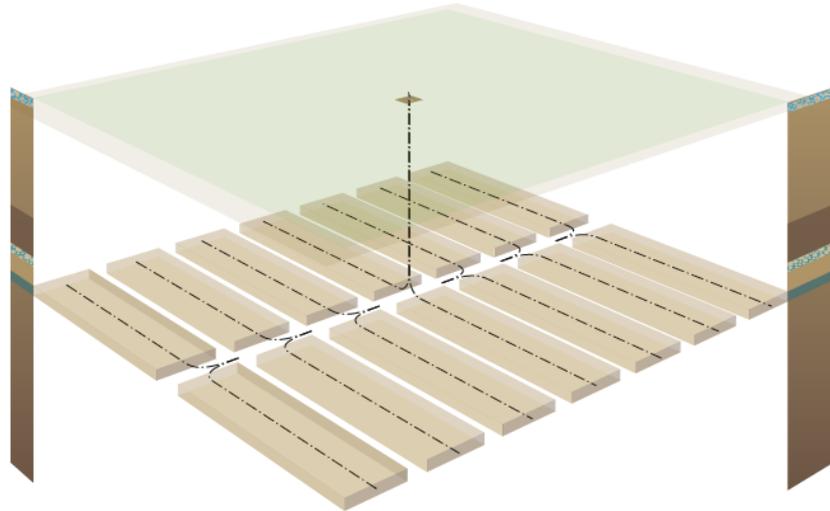


Abbildung 6: Mehrere Horizontalbohrungen ausgehend von einem vertikalen Bohrloch
(NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 15)

Das Fracking nimmt in der Regel nur einige Tage in Anspruch, abhängig von der Länge des zu behandelnden Abschnitts des horizontalen Bohrlochs und der Anzahl der Fracking-Vorgänge (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Abhängig von lokalen Gegebenheiten werden bis zu 30 Fracks in einer einzigen Bohrung vorgenommen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6). Zunächst werden dazu im Zielhorizont kleine Löcher von 30 bis 40 cm in die Bohrlochummantelung gebracht (HEINRITZI, J. 2013). Anschließend wird die Fracking-Flüssigkeit mit hohem Druck (ca. 250-1000 bar am Bohrlochkopf) (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3) in den geologischen Horizont gepresst, aus dem gefördert werden soll, um durch Riss- und Bruchbildung neuen Porenraum zu schaffen.

Beim „Hochvolumen-Hydrofracking“ in Schiefergaslagerstätten werden sehr große Flüssigkeitsmengen eingesetzt. Der Wasserbedarf ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig, er kann mehr als 1000 m³ je Frack-Phase (laut ExxonMobil 1.600 m³) (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6) betragen. Zum Vergleich: Die United States Environmental Protection Agency (US-EPA) geht bei der Gewinnung von Schiefergas von einer erforderlichen Wassermenge von 7.500 bis 15.000 m³ pro Bohrung aus (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Laut einer Quelle vom Umweltbundesamt ist aber auch der Einsatz von Flüssigkeitsmengen von bis zu 50.000 m³ möglich (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3).

Der im zu frackenden Bereich erreichte Druck der eingepressten Flüssigkeit muss die geringste im Gestein anliegende Spannung und die Zugfestigkeit des Gesteins überschreiten, um das Gestein aufbrechen zu können. Tritt dieser Fall ein, drückt die Flüssigkeit das Gestein auseinander (Zugriss).

Der gesamte Vorgang wird kontinuierlich überwacht, und laut ExxonMobil kann die Rissausbreitung sowohl in der Breite als auch in der Höhe über das Druckniveau gesteuert werden (EXXONMOBIL). So können horizontale Rissflächen von bis zu 100 m und eine vertikale Ausdehnung dieser von einigen zehn Metern erreicht werden (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Die Angaben zu den Ausdehnungen differieren je nach Quelle, so können laut einer Studie des Neutralen Expertenkreises die Risse je nach Tiefe der Bohrung sogar bis zu 300 m, in Ausnahmefällen (in großen Tiefen) gar bis 600 m weit nach oben reichen, wenn sie nicht vorher an einer Schichtgrenze enden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 38).

4.2 Frack-Fluide

Beim Fracking werden Flüssigkeiten, sogenannte „Frack-Fluide“, mit hohem Druck in den Untergrund eingebracht, um in der gasführenden Zielformation künstliche Risse zu erzeugen (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.). Unter dem Begriff Frack-Fluid werden neben dem Trägermedium Wasser auch alle Stoffe (Stützmittel, Chemikalien) verstanden, die zusammen mit dem Wasser in die Bohrung verpresst werden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6).

Die eingesetzten Frack-Fluide bestehen, je nach geologischer Beschaffenheit des Untergrundes, zu rund 90 - 95 % aus Wasser, welches je nach Anwendung mit rund 5 % Stützmitteln und mit bis zu 2 % chemischen Additiven versetzt wird (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3).

Die Stützmittel sorgen dafür, dass sich die entstandenen offenen Risse nach Druckabfall nicht wieder schließen. Stützmittel gelangen nur dann in die feinen Risse, wenn ein Gel erzeugt wird, das man anschließend mit Lösungsmitteln wieder auflöst (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34). Das Erdgas kann dann durch diese künstlich geschaffenen Fließwege aus dem Gestein entweichen und durch das Bohrloch an die Oberfläche strömen. Mit Hilfe dieser Maßnahme kann die Durchlässigkeit des Speichergesteins und somit die Förderrate von Erdöl und Erdgas um ein Vielfaches gesteigert werden (EXXONMOBIL).

Die Chemikalien (z.B. Stabilisatoren, Geliermittel, Biozide, Korrosionsschutzmittel, Säuren, ... usw.) (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2) erfüllen beim

Fracking verschiedene Funktionen. Unter anderem transportieren und verteilen sie das Stützmittel, verhindern oder hemmen das Bakterienwachstum, lösen hinderliche Mineralien auf, verhindern Korrosion an den Förderanlagen, regulieren den pH-Wert und dienen als Schmier- und Verflüssigungsmittel (HEINRITZI, J. 2013).

Zu den gängigsten Chemikalien zählen:

- *Kaliumchlorid* (Tonstabilisator)
→ Verhinderung und Verminderung der Quellung von Tonmineralen
- *Isopropanol* (Korrosionsschutzmittel)
→ Schutz der Anlagen; EU-Gefahren-Bezeichnung = reizend
- *Zitronensäure* (Eisenchelator)
→ Verhinderung der Ausfällung von eisenhaltigen Mineralien;
EU-Gefahren-Bezeichnung = reizend
- *Boratsalze* (Quervernetzer)
→ Erhöhung der Viskosität; EU-Gefahren-Bezeichnung = Reproduktionstoxizität,
giftig
- *Dimethylformamid* (Biozid)
→ Amid der Ameisensäure, EU-Gefahren-Bezeichnung = ätzend, giftig
- *Glutaraldehyd* (Biozid)
→ Verhinderung von Bakterienwachstum; EU-Gefahren-Bezeichnung = stark giftig

(HEINRITZI, J. 2013)

Weitere Beispiele für mögliche eingesetzte chemische Additive und ihre Aufgaben und Funktionen können der Tabelle 1, Seite 14, entnommen werden (detailliertere Angaben siehe auch Tabelle in (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.)).

Tabelle 1: Chemische Additive und ihre Aufgaben (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 14)

Additiv	Aufgabe
Biozide	Verhinderung von Bakterienwachstum an organischen Bestandteilen
Brecher (Säuren, Oxidationsmittel, Enzyme)	Verringerung der Viskosität des Frac Fluids und Rückholung der Fluide
Gele	Erhöhung der Viskosität zum besseren Sandtransport
Korrosionsschutzmittel	bei Zugabe von Säuren zum Schutz der Anlage
Reibungsminderer	Verringerung der Reibung innerhalb der Fluide
Säuren	Reinigung der perforierten Abschnitte der Bohrung von Zement und Bohrschlamm vor dem Frac
Schäume	Transport und Ablagerung des Sandes
Scale Inhibitor	Verhinderung der Ablagerung von Karbonaten und Sulfaten

Die chemischen Zusätze machen im Durchschnitt nur einen Anteil von ca. 1 % der gesamten Fracking-Flüssigkeit aus (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2). Anfänglich betrachtet wirkt dieser Wert verschwindend gering. Bei einem modellhaft angenommenen Wasserbedarf von 11.500 m³ pro Bohrung bedeutet dies jedoch einen Anteil von 115 Tonnen Chemikalien, die mit in den Untergrund eingeleitet werden (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Die Zusammensetzung der Fracking-Flüssigkeiten variiert dabei - wie oben schon erwähnt – sehr stark, und sie ist abhängig von der Beschaffenheit der einzelnen Lagerstätte bzw. von den angetroffenen Gesteinen. Je nach den mineralogisch-geologischen Eigenschaften des Zielhorizontes und den in der Lagerstätte vorherrschenden Druck- und Temperaturverhältnissen wird die Zusammensetzung mit Hilfe von Entscheidungsmatrizen und/oder Computerprogrammen für jede Bohrung individuell zusammengestellt und muss daher auch individuell beurteilt werden (BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.).

Die Zusammensetzung der verwendeten Additive wird laut Bundesverband Geothermie e.V. normalerweise zwar von den Bohr- und Servicefirmen gegenüber den Aufsichtsbehörden benannt, sie wird gegenüber der Öffentlichkeit aber geheim gehalten (BUNDESVER-

BAND GEOTHERMIE E.V.). Über Anzahl und Art der eingesetzten Substanzen sowie ihre Toxizität, ihre Abbaubarkeit und ihre Auswirkungen auf die Umwelt gibt es daher meist nur unvollständige oder gar sehr widersprüchliche Angaben (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 15).

Die Anzahl der eingesetzten Stoffe schwankt, je nach Quelle, zwischen einigen Dutzend und einigen hundert Chemikalien von denen einige als akuttoxisch, kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch und wassergefährdend bekannt sind (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 15). Um wie viele und um welche Chemikalien es sich genau handelt, das bleibt vorläufig meist ein Geheimnis der Gasunternehmen. Denn der Chemikalien-Mix, den sie in die Gesteinsschichten pressen, unterliegt in den USA sowie in Deutschland bisher keiner Veröffentlichungspflicht. So sind selbst die Gutachter des Umweltbundesamtes bei der Beurteilung der Giftigkeit der eingesetzten Stoffe auf freiwillige Auskünfte von Herstellern angewiesen (CARSTENS, P. 2015).

Der Einfluss der Chemikalien und ihre möglichen Wechselwirkungen im Untergrund sowie die Stabilität und Haltbarkeit der Bohrabdichtungen über einen längeren Zeitraum sind bisher noch nicht ausreichend untersucht (Peterwitz, U. 2012: 27/6).

Nach einem Gutachten des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2012 wurden bei der Probebohrung „Damme 3“ in Niedersachsen unter Anwendung des Fracking-Verfahrens im Schiefergestein bei drei Fracks rund 12.000 m³ Wasser, 588 Tonnen Stützmittel und 20 Tonnen Additive (davon knapp 0,5 Tonnen Biozide) verpresst. „Die Auswertung der verfügbaren 80 Sicherheitsdatenblätter ergab, dass 6 Zubereitungen als giftig, 6 als umweltgefährlich, 25 als gesundheitsschädlich, 14 als reizend und 12 als ätzend eingestuft sind“ (CARSTENS, P. 2015).

Über die Frage, welche Stoffe (z.B. Additive) in den Untergrund eingebracht werden dürfen, wird in Deutschland im Rahmen eines wasserrechtlichen Genehmigungsverfahrens durch die zuständige Wasserbehörde entschieden (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/7).

Der Mineralölkonzern ExxonMobil gibt nach eigenen Angaben als einziges deutsches Gasunternehmen freiwillig Auskunft über die von ihnen beim Fracking verwendeten Substanzen (CARSTENS, P. 2015). Die Menge und die Gefährlichkeit der beim Fracking eingesetzten Stoffe ist seitens ExxonMobil in den vergangenen Jahren deutlich reduziert worden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34). So konnte in jüngster Zeit bei Bohrungen die Zahl der chemischen Beimischungen mittlerweile von 150 auf etwa 30 verschiedene Zusätze, die bei der Gewinnung von Tight Gas und in konventionellen Lagerstätten eingesetzt werden, verringert werden (HEINRITZI, J. 2013). Die Fracking-Flüssigkeit sei weder giftig noch umweltgefähr-

dend und nach Chemikalienrecht nicht kennzeichnungspflichtig und auch kein Gefahrgut (CARSTENS, P. 2015). Sollten zukünftig in Schiefergaslagerstätten Frack-Maßnahmen durchgeführt werden, so plant das Unternehmen den Einsatz von nur noch fünf verschiedenen Stoffen, die Tabelle 2 zu entnehmen sind (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34).

Tabelle 2: Für den Einsatz bei zukünftigen Fracks in Schiefergaslagerstätten vorgesehene Stoffe (insgesamt im Schnitt 0,3 % Massenanteil in der Frack-Flüssigkeit) (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34)

Stoffe in Frackflüssigkeit für Schiefergas	Massenanteil	Funktion
Ethylenglykol(bis)hydroxymethylether	0,06 – 0,1 %	Biozid
Butyldiglycol	0,02 – 0,035 %	Reibungsreduzierer
Cholinchlorid	0,07 – 0,075 %	Tonstabilisator
Kohlenhydratderivat	0,108 – 0,18 %	Wasser-Gel-Bildner
Polyethylenglykolmonohexylether (optional)	0,007 – 0,013 %	Tensid/Lösungsmittel

ExxonMobil gab 2014 bekannt, dass Butyldiglycol (EU-Gefahren-Bezeichnung „reizend“) zusammen mit Cholinchlorid Additive ihrer nach eigenen Aussagen umweltfreundlichen und in der verwendeten Dosierung für Menschen ungefährlichen Fracking-Flüssigkeit sind (FOCUS 2014). Die Wirkung der in der Fracking-Flüssigkeit enthaltenen Chemikalien hängt wie bei allen Gefahrenstoffen natürlich von der Konzentration und der Chemikalienmischung ab (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34).

ExxonMobil weist auf seiner Internetseite darauf hin, man arbeite daran, in Zukunft auch die (in ihrer Reinform) giftigen Fracking-Chemikalien zu ersetzen (CARSTENS, P. 2015). Auch Verfahren ganz ohne Chemikalien werden laut Angaben von ExxonMobil mittlerweile schon getestet (HEINRITZI, J. 2013). Für Schiefergasgestein ist es ihnen gelungen eine Flüssigkeit zu entwickeln, bei der die Zusätze weder giftig noch umweltgefährlich sind. Neben Wasser und Sand besteht die Fracking-Flüssigkeit aus einem Vitamin-Vorprodukt und einem Alkohol. Beide sind biologisch leicht abbaubar und nicht wassergefährdend (EXXONMOBIL). Derzeit ist nicht absehbar, ob in Schiefergaslagerstätten in Zukunft ganz ohne den Einsatz von Chemikalien gefrackt werden kann. In Kohleflözen kann man laut (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 34) möglicherweise auf chemische Zusätze verzichten.

Ein sogenanntes „Clean-Fracking“, d.h. der Einsatz einer Fracking-Flüssigkeit, der keine in Reinform gefährlichen Additive beigefügt sind, erscheint heutzutage durchaus als möglich. So arbeiten verschiedene Förderfirmen wie z.B. Schlumberger schon an technischen Verfahren, die nur mit Wasser und Sand und somit ohne Chemie auskommen (WEBEL, S. 2013: 4). Der-

artige Anwendungsverfahren ohne Einsatz von Chemikalien erwiesen sich zwar als umweltschonender, sie wurden jedoch bisher aufgrund ihrer Unwirtschaftlichkeit nicht im größeren Maße angewendet und daraufhin meist ganz eingestellt (DIE GRÜNE BILDUNGSWERKSTATT) (GAS-FRACKING.DE).

Da die Chemikalien der in der Vergangenheit in Deutschland sowie in den USA eingesetzten Frack-Fluide zum Teil hohe human- und ökotoxikologische Gefahrenpotenziale aufwiesen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6), lässt sich folglich für jeden Fracking-Vorgang mit Chemikalien ein gewisses Gefährdungspotenzial annehmen. Zumal auch in neu zum Einsatz kommenden Fluiden weiterhin Stoffe mit bedenklichen Eigenschaften enthalten sind, deren toxikologische Bewertung bisher nicht bzw. nur eingeschränkt möglich war (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 15). Umweltschützer fürchten daher nicht zu Unrecht, dass aufgrund des Chemikalieneinsatzes eine Verunreinigung des Grundwassers zu Stande kommen könnte.

4.3 Flowback

Wenn im Fracking-Prozess die Risserzeugung abgeschlossen ist, wird der Einpressdruck reduziert. Es kommt zu einer Umkehr der Fließrichtung (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 3). Die eingepresste Fracking-Flüssigkeit, die in der Gesteinsschicht unter Druck steht, wird teilweise wieder an die Erdoberfläche transportiert. Als Backflow oder auch Flowback wird das Rückflusswasser bezeichnet, welches anfänglich während des Frackens oberflächlich am Bohrloch austritt und später dann aktiv gefördert wird.

Generell kommen mit dem Flowback nicht nur Teile der Spülungsflüssigkeit mit den darin enthaltenen Chemikalien, im Gestein vorhandenen Gasen und gelösten Mineralien wieder an die Oberfläche, sondern möglicherweise auch in Gesteinsporen gehaltenes Grundwasser, sogenanntes Lagerstättenwasser. Dieses ist das in den gefrackten Bereichen natürlicherweise vorfindbare oder in diese eindringende Grundwasser (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Die Zusammensetzung des Wassers hängt von der jeweiligen Gesteinsschicht ab. In Norddeutschland besteht es in der Regel aus stark salzhaltigen Lösungen sowie geringen Mengen an Kohlenwasserstoffen (Dieselöl und Petroleum). Je nach Lagerstätte können aber auch andere Stoffe wie Schwermetalle (z.B. Quecksilber), Methangas oder natürliche schwach radioaktive Stoffe, sogenannte NORM-Stoffe, enthalten sein (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012) (PETERWITZ, U. 2012: 27/6).

Nur etwa 20 - 50 % des in die Tiefe eingebrachten Frack-Fluids werden als Flowback wieder an die Oberfläche zurückgefördert und dann bis zur Entsorgung auf der Bohrstelle gelagert (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Das Stützmittel verbleibt zum Großteil in den Rissen und hält diese offen. Aber auch erhebliche Mengen der Fracking-Flüssigkeit mit ihren chemischen Additiven bleiben durch Adhäsionswirkung im stimulierten Gestein zurück (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 35).



Abbildung 7: Lagerung des Flowbacks aus dem Fracking in einem offenen Becken (Schattenblick 2014)

Das an den Förderstellen anfallende Lagerstättenwasser wird per Rohrleitung oder Tanklastwagen meist zu Versenkbohrungen befördert und dort nach vorheriger Aufbereitung, inklusive Abscheidung der enthaltenen Kohlenwasserstoffe, wieder in den tiefen Untergrund eingebracht.

All diese Maßnahmen müssen - zumindest in Deutschland - von der zuständigen Aufsichtsbehörde zunächst genehmigt werden und unterliegen regelmäßigen Kontrollen (EXXONMOBIL). So ist z.B. in Deutschland die in den USA teilweise noch übliche offene Lagerung des Flowbacks und des Lagerstättenwassers in offenen Teichen oder Becken (siehe Abbildung 7) nicht erlaubt (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 42). Für die Lagerung des Flowbacks gelten die allgemein üblichen wasserrechtlichen Anforderungen, die gegebenenfalls besonders stabile Behälter oder doppelwandige Tanks vorsehen. Damit soll verhindert werden, dass diese Flüssigkeiten in den Boden versickern können (BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2012a: 36).

In Niedersachsen erfolgt die Verpressung derzeit in Gesteinsschichten in 350 bis 4000 Metern Tiefe in den Umgebungen von Sulingen und Cloppenburg (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 46). Im Schiefergestein in Deutschland ist laut ExxonMobil dagegen kein Lagerstättenwasser zu erwarten. Damit fallen kein Transport und keine Entsorgung an (EXXONMOBIL).

Von den Behörden in den USA wird dort, wo es keine Versenkbohrungen gibt, die Wiederverwendung des austretenden Frack-Fluids und Lagerstättenwassers gefordert. Dazu wird der Flowback chemisch-physikalisch behandelt, gefiltert und dann beim nächsten Frack wiederverwendet. Rückstände wie z.B. Filtrate und Schlämme kommen auf die Sonderabfalldéponie (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 46).

Das Problem der Entsorgung des Flowbacks ist generell noch nicht hinreichend gelöst. Einen einheitlichen Standard für die Behandlung und Entsorgung des Flowbacks wurde bisher nicht festgelegt.

5. Seit wann gibt es Fracking?

Die Technik der hydraulischen Frakturierung ist keineswegs neu. Erste Fracking-Maßnahmen unternahm man schon 1947 im amerikanischen Bundesstaat Kansas in einer konventionellen Lagerstätte im Hugoton-Erdgasfeld im Grant County. Ziel war es, das Gasvorkommen besser auszubehuten und somit die Förderrate zu erhöhen. Die ersten Versuche waren jedoch noch nicht besonders erfolgreich, da sie zu keiner deutlichen Steigerung der Förderrate führten. Nach der Patentierung des Verfahrens erhielt zwei Jahre später die Halliburton Oil Well Cementing Company (Howco) eine Lizenz, und das Geschäft begann zu florieren (KÜFFNER, G. 2014: 1).

Der Weg für die kommerzielle Anwendung von Hydraulic Fracturing war geebnet. In den ersten Jahren nach der Patentierung kommt es dann verstärkt zu hydraulischen Stimulationsmaßnahmen bei Erdölbohrungen. Nutzte man anfangs beim Fracking-Prozess noch ein Gemisch aus Napalm (Napthensäure mit Palmöl) und Benzin, um den Glasfluss zu stimulieren (HÄNNI, A. 2016), so wurde ab 1953 mehr und mehr auf Wasser als Basis für die Fracking-Flüssigkeit gesetzt, dem sogenannte Additive beigemischt wurden. Deren Aufgabe bestand nun darin, die Eigenschaften des Wassers so zu verändern, dass die Stützmittel leicht in die erzeugten Risse transportiert werden konnten. Ursprünglich diente als Stützmittel Bausand oder gesiebter Sand aus Flüssen. Heutzutage werden vor allem Quarzsand oder Keramikkügelchen als Stützmittel verwendet (ERDÖL UND ERDGAS IN DEUTSCHLAND (a)).

Schon Mitte der 1950er Jahre wurden weltweit monatlich mehr als 3000-mal Fracking-Maßnahmen durchgeführt (KÜFFNER, G. 2014: 1). Im Jahr 2008 waren es allein in den USA schon ca. 50.000. Bis 1988 wurde das Fracking-Verfahren beinahe eine Million Mal angewendet. Das in Schiefergesteinen gebundene Erdgas und Erdöl blieb jedoch noch außer Reichweite (HÄNNI, A. 2016). Schätzungen gingen sogar soweit, dass Fracking im Jahr 2010 schon bei rund 60 % aller neuen Gas- und Ölförderprojekte eingesetzt wurde, und dass dieser Prozentsatz seitdem von Jahr zu Jahr weiter gestiegen ist (TRADIMO 2013).

Auch in Deutschland kam das Fracking-Verfahren in Erdgaslagerstätten - wenn auch nicht in Schiefergaslagerstätten - zum Einsatz. So wurden seit 1961 rund 300 Fracking-Maßnahmen durchgeführt, vor allem in den tiefgelegenen, dichten Erdgasvorkommen, dem sogenannten Tight Gas (EXXONMOBIL). Den ersten Fracking-Test in Tongesteinen führte die Firma ExxonMobil erst 2008 in der Nähe der niedersächsischen Ortschaft Damme durch. Gefördert wurde hier aber bis heute noch nichts (CARSTENS, P. 2015).

Am 26.07.1961 war die Bohrung „Rehden 15“ die erste deutsche Erdgasbohrung, bei der Fracking zum Einsatz kam (LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE). In den folgenden Jahren bis zum Ende der 1970er / Anfang der 1980er Jahre wurden bei Erdgasbohrungen nur vereinzelt Fracking-Maßnahmen durchgeführt. Danach war dann aber ein positiver Trend zu verzeichnen, der im Jahr 2008 schließlich zu fast 30 durchgeführten hydraulischen Bohrlochbehandlungen führte (siehe auch Abbildung 15, S.60). Obwohl in Deutschland noch zahlreiche Anträge laufen, wurde aufgrund der anhaltenden und sehr kontrovers geführten Debatten seit 2011 keine weitere Fracking-Maßnahme mehr genehmigt (ERDÖL UND ERDGAS IN DEUTSCHLAND (b)). Das letzte Mal wurde in Deutschland am 27.07.2011 in der Bohrung „Buchhorst T12“ gefracked (LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE: S. 4).

Erst seit 2005 wird Fracking in großem Stil eingesetzt, um Schiefergas zu fördern. Seitdem erlebt Nordamerika einen regelrechten Gas-Boom (CARSTENS, P. 2015). So wurde allein in der Bakken-Formation, (einer Mineralöl führenden geologischen Formation) in den US-Bundesstaaten North Dakota und Montana, mit Hilfe von Fracking-Maßnahmen die Tagesproduktion im Zeitraum 2006 bis 2012 von 0 auf mehr als 650.000 Barrel Öl gesteigert (GEOLOGY.COM). Damit wurde in North Dakota bereits mehr Öl gefördert als in Alaska. Mit diesen Fördermengen übertraf die USA aber auch viele andere Ölförderländer.

Durch die Weiterentwicklung des Verfahrens wurde Fracking erst vor einigen Jahren auch wirtschaftlich einsetzbar. George Mitchell und seine Firma Mitchell Energy & Development führten 1991 zunächst die horizontale Erdgasbohrung ein, mit der mehr Kontakt zwischen dem Bohrloch und der Erdgas- oder Erdöl führenden Schicht hergestellt wird. Mitchells nächste Entwicklung war das „slick-water fracturing“. Verschiedene Chemikalien wurden dem Wasser beigemischt um den Fluss in den Lagerstätten zu erhöhen. Nach Mitchells Erfindungen entwickelte die Industrie komplexere Fracking-Mixturen aus Sand, Wasser und chemischen Schmierstoffen (HÄNNI, A. 2016).

Mit dem Preisanstieg bei Erdgas und Erdöl ab ca. 2000 (siehe Abbildung 8, S. 23) kommt - vor allem in den USA - bei Bohrungen zunehmend Fracking zum Einsatz. Es wird angenommen, dass heute etwa 90 % aller Gasbohrungen in den USA gefracked werden (GAMON, J. 2013). Im Vordergrund der Rohstoffförderung mittels Fracking steht dabei seit Anfang der 1990er Jahre - und ab etwa dem Jahr 2000 insbesondere auch in den USA - das sogenannte unkonventionelle Erdgas (Schiefergas) und Erdöl. Aufgrund des Fracking-Booms mit seinem Gasüberangebot veränderte sich der US-Energiemarkt erheblich und führte

so zu einem Einbruch der dortigen Gaspreise, was wiederum zwangsläufig eine Debatte über die Rentabilität des Fracking-Verfahrens auslöste. Seit etwa 2013 gibt es Bestrebungen zum verstärkten Export von Flüssigerdgas nach Europa und Asien. Die US-Regierung erteilt dazu auch vereinzelte Genehmigungen zur Lieferung an Länder ohne Freihandelsabkommen (z.B. Frankreich und Japan) (SEEGER, D. 2014).

6. Wie wirtschaftlich ist Fracking bei der Erdgas- und Erdölförderung

Da die Förderung von Erdgas und Erdöl mittels Fracking aus nur gering durchlässigen Gesteinen auf die unmittelbare Umgebung des horizontalen Bohrlochs im Gestein begrenzt ist, sinkt die Förderrate eines Bohrloches bei unkonventionellen Lagerstätten schneller als bei konventionellen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe schätzt, dass ein Bohrloch nach maximal zwei Jahren zu rund 90 % ausgeschöpft ist. Um vergleichbare Mengen wie bei konventionellen Lagerstätten fördern zu können, muss bei unkonventionellen Lagerstätten daher eine höhere Anzahl von Bohrungen pro Fläche und Zeiteinheit niedergebracht werden. So können im Jahr Hunderte von Bohrungen mit Kosten von jeweils bis zu zehn Millionen Dollar erforderlich sein. Folglich ist die Förderung unkonventioneller Kohlenwasserstoffe teurer als die von konventionellen Kohlenwasserstoffen.

Nach hohen Anfangsinvestitionen waren die Förderkosten - zumindest beim Erdgas in den USA – dann durchaus konkurrenzfähig mit den Produktionskosten (einschließlich Exploration und Erschließung) bei konventionellen Kohlenwasserstoffen.

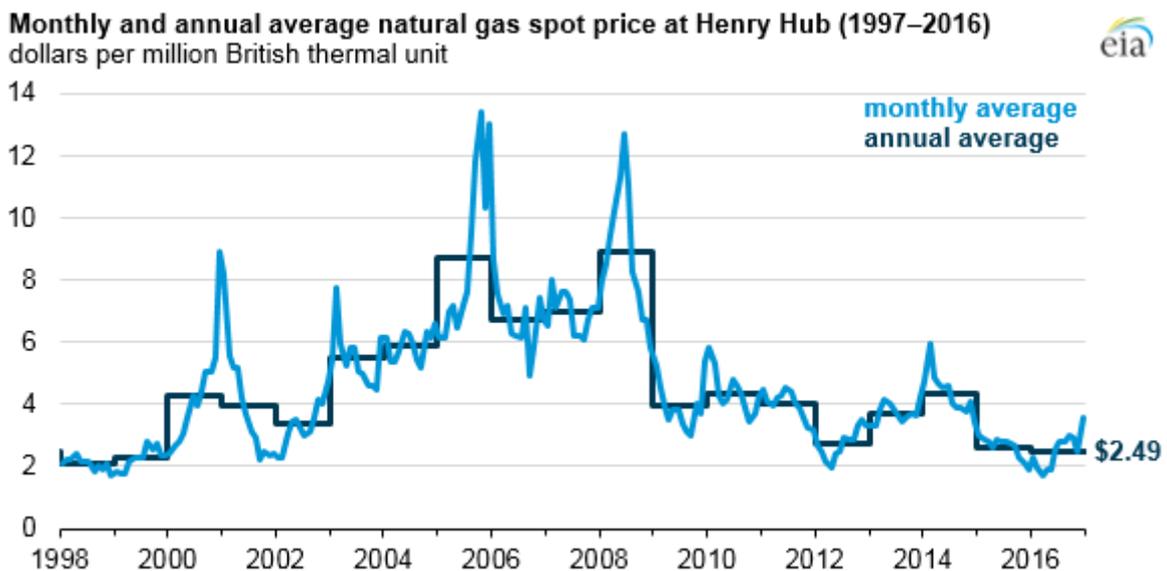


Abbildung 8: Entwicklung des Gaspreises in den USA
(EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION 2017)

2008 setzte auf dem US-Markt aber ein Rückgang des Erdgaspreises ein, der 2012 schließlich in einem Tief mündete. Der Abwärtstrend führte dazu, dass sich mehr und mehr Investoren aus Fracking-Projekten zurückzogen. Das Investitionsvolumen in die Fracking-Förderung fiel von 35 Mrd. \$ in 2011 bis auf zuletzt 3,4 Mrd. \$ in 2013 (JUNGE, B. 2014) (OBERHUBER, N. 2015: 2).

Auch zum Umfang der abgeschätzten Reserven unkonventioneller Kohlenwasserstoffe gibt es in neuerer Zeit weniger gute Nachrichten. Neben der Warnung von US-Ökonomen vor einer systematischen Überschätzung der Vorräte unkonventioneller fossiler Kohlenwasserstoffe meldete die Los Angeles Time im Mai 2014, dass die Statistikabteilung des US-Energieministeriums, die Energy Information Administration (EIA), die in 2011 erhobene Schätzung der möglichen Ausbeute des wichtigsten Schieferöl-Vorkommens der USA in Monterey, Kalifornien, um 96 % nach unten korrigiert hat. Die bisherige Schätzung für das genannte Vorkommen entsprach etwa zwei Drittel der gesamten geschätzten Schieferölreserven der USA (SAHAGUN, L. 2014).

Der deutliche Preisverfall und nicht erfüllte Erwartungen führten im Jahr 2013 dazu, dass mehrere Unternehmen milliardenschwere Investitionen in unkonventionelle Förderprojekte abschreiben mussten. Die niedrigen Gaspreise sowie ein Ende 2014 erneut einsetzender Preissturz beim Erdöl machen vor allem kleineren Unternehmen zu schaffen. Die Schulden der US-Fracking-Industrie wuchsen innerhalb von rund 5 Jahren um 55 % auf ca. 200 Mrd. US\$. Weil ihre Förderanlagen nicht mehr wirtschaftlich arbeiteten, konnten manche Unternehmen ihre Kredite oft nicht mehr bedienen. So mussten auch schon Fracking-Firmen Konkurs anmelden (STEINER, E. 2015).

In Europa ist die Lage eine andere, denn dort liegen die Kosten und damit der Schwellenwert für eine wirtschaftliche Förderung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten höher als in den USA. Dies ergibt sich schon aufgrund der komplizierteren geologischen Gegebenheiten sowie der im Allgemeinen höheren Bohr- und Wasserkosten. Für das Jahr 2010 wurden für 1000 m³ unkonventionelles Erdgas Produktionskosten von ca. 330 € in Deutschland angenommen. Für die kommenden Jahrzehnte ist nicht mit niedrigeren Kosten zu rechnen. Für die USA waren es für 2010 entsprechend 138 € mit gering fallender Tendenz für die Zukunft (DEYMANN, J. 2014, S. 89).

Eine vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung im Jahr 2013 durchgeführte Expertenbefragung ergab, dass ein deutlicher Anstieg der Förderung unkonventionellen Erdgases in Europa aber erst bei einem stabilen Großhandelspreis von mindestens 30 € pro Megawattstunde zu erwarten ist. 19 % der Befragten sahen den Schwellenwert sogar erst bei 60 € (ZENTRUM FÜR EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG 2013: 1).

Vom Energie-Experten Hans-Josef Fell, Präsident der Energy Watchgroup und Autor des Erneuerbare-Energien-Gesetzes aus dem Jahr 2000, kommt eine Erklärung, dass die fossile Energiewirtschaft in einer „doppelten Falle“ stecke. Falle 1: „Der Erdgas-Handel in den USA

ist schon seit 2009 rückläufig.“, so Fell. Auslöser dafür sei der Rückgang der Gas- und Ölpreise. Daraufhin erfolgten Insolvenzen in der Fracking-Industrie, die für ihre aufwendigen und kostspieligen Bohrungen zu wesentlichen Teilen Kredite aufgenommen hatte, die sie nun nicht mehr zurückzahlen könne. Fall 2: Steigende Energiepreise als Folge knapperer Rohstoffe. Dann rentiert sich das Fracking zwar eher, aber gleichzeitig werde dann wahrscheinlich schneller in den Ausbau Erneuerbarer Energien investiert – womit dann die Konkurrenz zur konventionellen Energieförderung wachse (SAGENER, N. 2015).

Fracking-Kritiker befürchten, dass in Deutschland Ähnliches passieren könnte, was vor einigen Jahren in den USA geschehen ist. Präsident George W. Bush hatte 2005 die Umweltsetze gelockert, um das Fracken von Erdgas und Erdöl zu ermöglichen. Daraufhin stieg die Gasförderung anfangs zwar steil an, doch die Hoffnung, dies könnte über Jahrzehnte für steigende Renditen sorgen, bewahrheitete sich aber nicht. Die Fracking-Industrie der USA leidet schon seit einiger Zeit unter schmerzhaften Verlusten (SAGENER, N. 2015).

Neue Technologien sowie permanente Verbesserungen und Fortschritte in der Bohrtechnik erlauben es heute weltweit, Erdgas-Ressourcen zu nutzen, die zwar schon seit längerem bekannt sind, die bisher aber nur schwer zugänglich oder wirtschaftlich nicht rentabel waren (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/1). Aufgrund sinkender Förderkosten und steigender Energiepreise wurde es wirtschaftlich, „um die Ecke“ und auch über viele Hundert Meter horizontal zu bohren und dann die Fracking-Methode einzusetzen. Damit lassen sich nun auch dünne erdgasführende Schichten großflächig nutzen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 14). Durch den Einsatz horizontaler Bohrungen ist die zur Verfügung stehende Bohrlochlänge in der Lagerstätte wesentlich größer, was im Allgemeinen die Ausbeute der Förderung erhöht. In wieweit Erdgas- und Erdölvorkommen in Deutschland unter wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Gesichtspunkten gewinnbar sind, lässt sich erst nach eingehenden Untersuchungen feststellen (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/10).

Beobachtungen zeigen, dass durch den niedrigen Gaspreis in den USA bereits der dortige Ausbau und die Produktion alternativer Energien zurückgedrängt wird. So erfreulich für viele Menschen zunächst die Aussicht auf vorübergehend niedrigere Energiepreise ist, wird das Ende aber abrupt kommen, und die Auswirkungen werden umso heftiger sein. Niedrige Energiepreise sind zunächst erfreulich, doch ist deren Ende abzusehen, und dass kann ganz plötzlich kommen. Die gegenüber konventionellen Gasbohrungen geringeren Fördermengen je Bohrloch gehen beim Fracking-Gas schon nach rund einem Jahr auf nur noch etwa 50 % der

Ausgangsmenge zurück. Bohrlöcher werden dadurch recht schnell unwirtschaftlich und müssen zur Deckung eines steigenden Gasbedarfs in immer kürzeren Zeitabständen durch neue Bohrungen ersetzt werden. Dieser Vorgang beschleunigt sich noch, da bisher nur die produktivsten Erdgasfelder erschlossen wurden. Viele Experten sind gar der Meinung, dass der Gasrausch in den USA aufgrund steigender Förderkosten und der zum Teil gravierenden Umweltschäden schon in relativ naher Zukunft enden könnte. Es blieben vom Boom dann - ähnlich wie nach der Immobilienblase - neben erheblichen Schulden und einer das ganze Land treffenden Wirtschaftskrise zusätzlich noch eine zerstörte Umwelt zurück (GOETZ, D. 2013).

Die Risiken für Mensch und Umwelt sind gewichtige Argumente gegen das umstrittene Fracking-Verfahren. Es sind aber nicht die einzigen Risiken, denn auch an ihrer auf längere Zeit gesehenen Rentabilität gibt es Zweifel, so die Meinung von Hans-Josef Fell. Dazu sagt Fell: „Anders als in den USA, das bislang als einziges Land Fracking in kommerziell relevantem Umfang durchführt, ist in Europa mit der Methode kein ausreichender Fördererfolg zu erreichen“ (SAGENER, N. 2015).

In Deutschland fehlen einfach die infrastrukturellen Voraussetzungen für das Fracken. Während in Amerika in zum Teil großen menschenleeren oder nur dünn besiedelten Gebieten gefördert werden kann, wäre in Deutschland die Umwandlung mehr oder weniger dicht besiedelter Gebiete in Industrielandschaften nötig: zum Bau von Straßen sowie zur Lagerung und zum Transport des nötigen Wassers und Spezialsand. Außerdem würde das viel Geld und Land verschlingende Fracken nach bisherigen Schätzungen in Europa lediglich für nur etwa zehn Jahre Energie liefern können (SAGENER, N. 2015).

7 Mit welchen Risiken ist der Einsatz von Fracking verbunden?

Die Gewinnung von Kohlenwasserstoffen (Erdgas und Erdöl) mit Hilfe des Fracking-Verfahrens ist weltweit – trotz ihrer allgemein bewerteten wirtschaftlichen Vorteile – alles andere als unumstritten. Die Diskussion möglicher Umweltrisiken verläuft oft sehr kontrovers und wird zum Teil auch sehr emotional geführt (WEBEL, S. 2013: 4). Je nach Interessenlage scheinen die Risiken des Frackings beherrschbar (Fracking-Befürworter) bis unkalkulierbar (Fracking-Gegner) zu sein.

Umweltschützer befürchten vor allem eine Verunreinigung des Grundwassers durch die der Fracking-Flüssigkeit beigemischten Chemikalien. Fachleute argumentieren hingegen, dass der Bohrschacht auszementiert wird, und so keine Schadstoffe in die durchquerten grundwasserführenden Schichten gelangen können. Ein weiteres Risiko stellen seismische Ereignisse dar, wobei unklar ist, ob Fracking Erdbeben auslösen kann, oder ob nur Mikrorisse im Gestein erzeugt werden. Als ein weiterer Nachteil des Fracking-Verfahrens wird der enorm hohe Wasserverbrauch gesehen, was besonders für wasserarme Regionen problematisch ist (WEBEL, S. 2013: 4).

Für Deutschland liegen bisher – auch mangels größerer Aktivitäten aufgrund der nicht zulässigen kommerziellen Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten – keine gesicherten Kenntnisse zu möglichen Folgen vor. Daher wird zurzeit mit verschiedenen Forschungsvorhaben versucht, diese Wissenslücke zu schließen. Dabei wird auch überprüft, ob die bestehenden gesetzlichen Regelungen für die neuen Gewinnungsmethoden und die Maßnahmen zur Abwehr von Umweltgefahren noch ausreichen (PETERWITZ, U. 2012: 27/7)

Das Umweltbundesamt, das Land Nordrhein-Westfalen und ExxonMobil Deutschland haben aber eine Risikostudie in Auftrag gegeben, die zeigt, dass bei der Erschließung von Schiefergaslagerstätten mit Hilfe des Frackings Umweltrisiken bestehen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5), nicht zuletzt deshalb, weil bei der Förderung der fossilen Kohlenwasserstoffe der Fracking-Flüssigkeit Chemikalien (u.a. Biozide) beigemischt werden.

Einige der potenziellen Risiken und Probleme bei der Erdgasförderung mittels Fracking stellen keine spezifische Eigenheit der unkonventionellen Erdgasförderung dar. Sie sind zum Teil in identischer Form auch bei konventionellen Lagerstätten mit und ohne Einsatz von Fracking zu beobachten (z.B. Entsorgung des Lagerstättenwassers) (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Eine weitere Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes zeigt, dass Umweltauswirkungen bei Stimulationen in der Geothermie als weit weniger gravierend anzusehen sind (UMWELTBUN-

DESAMT 2014a: 5). Bei der hydraulischen Stimulation für die Geothermie-Nutzung im Kristallin werden der eingepumpten Flüssigkeit keine oder nur wenig Chemikalien beigelegt. Bei der Tiefengeothermie in Sedimentgesteinen werden aber gegebenenfalls zur Verbesserung der Durchlässigkeit und zur Beseitigung von Mineralneubildungen Säuren verwendet (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3).

7.1 Potentielle Umweltauswirkungen und Gefahren von Fracking

Die unkonventionelle Erdgasförderung mit Hilfe des Fracking-Verfahrens birgt bestimmte potentielle Risiken und Probleme für die Umwelt und die Gesundheit. Die Erfahrungen diesbezüglich wurden hauptsächlich in den USA gemacht (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Aufgrund der Erfahrungen, die man weltweit aus den bisherigen Bohrtechniken sowie aus aktuellen Erkundungs- und Gewinnungsaktivitäten sammeln konnte, sind beim Fracking neben den üblichen Beeinträchtigungen wie Lärm, schädliche Abgase, erheblicher LKW-Verkehr, die Beanspruchung von Kulturland usw. insbesondere die nachfolgenden Umweltrisiken und -auswirkungen grundsätzlich als möglich zu betrachten (PETERWITZ, U. 2012: 27/7) (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 2):

- Verunreinigung von Böden sowie Grund- und Oberflächengewässern durch Frack-Fluide und die darin enthaltenen Chemikalien.
- Verletzung von Deck- und Trennschichten, daraus folgend ggf. Migration von Stoffen aus Lagerstätten in andere Gesteinsschichten (z.B. in Grundwasser führende Schichten).
- Auslösen von seismischen Störungen (Erdbeben) durch Fracking-Vorgänge.
- Hoher Flächen- und Wasserverbrauch.
- Unkontrollierte Methangasaustritte (PETERWITZ, U. 2012: 27/7).

7.2 Verunreinigung von Böden, Oberflächengewässern, Grund- und Trinkwasser

Ein Kritikpunkt beim Fracking ist die mögliche Verunreinigung des Grundwassers. Die größten Bedenken beziehen sich dabei auf die beim Fracking eingesetzten Chemikalien. Konkret wird befürchtet, dass diese in das Grundwasser einer Region gelangen und somit den Produktionsfaktor Wasser sowie die Trinkwasserversorgung belasten und gefährden (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Beim Fracking werden nach Angaben der beteiligten Unternehmen im Mittel bei jeder Bohrung neben üblicherweise rund 10 Millionen Litern Wasser (10.000 m³ bzw. Tonnen) auch ca. 45-50 Tonnen an verschiedenen Chemikalien zugesetzt (davon alleine 45 Kilogramm an Bioziden) (PETERWITZ, U. 2012: 27/7), die zum Teil als giftig oder wassergefährdend eingestuft sind, und über deren Wechselwirkungen untereinander noch recht wenig bekannt ist.

Aufgrund der absolut gesehen großen Chemikalienmengen, die in Form der Frack-Fluide in den Untergrund gepumpt werden, kommt es in der Öffentlichkeit wiederholt zu kontroversen Diskussionen, zumal einige der eingesetzten Chemikalien toxisch beziehungsweise laut deutscher Gefahrstoffverordnung kanzerogen, giftig oder anderweitig gesundheitsschädigend sind. In den folgenden Absätzen werden die zuvor genannten möglichen Umweltrisiken, Umweltbelastungen und -auswirkungen sowie die potentiellen Verschmutzungspfade (siehe Abbildung 9) näher erläutert.

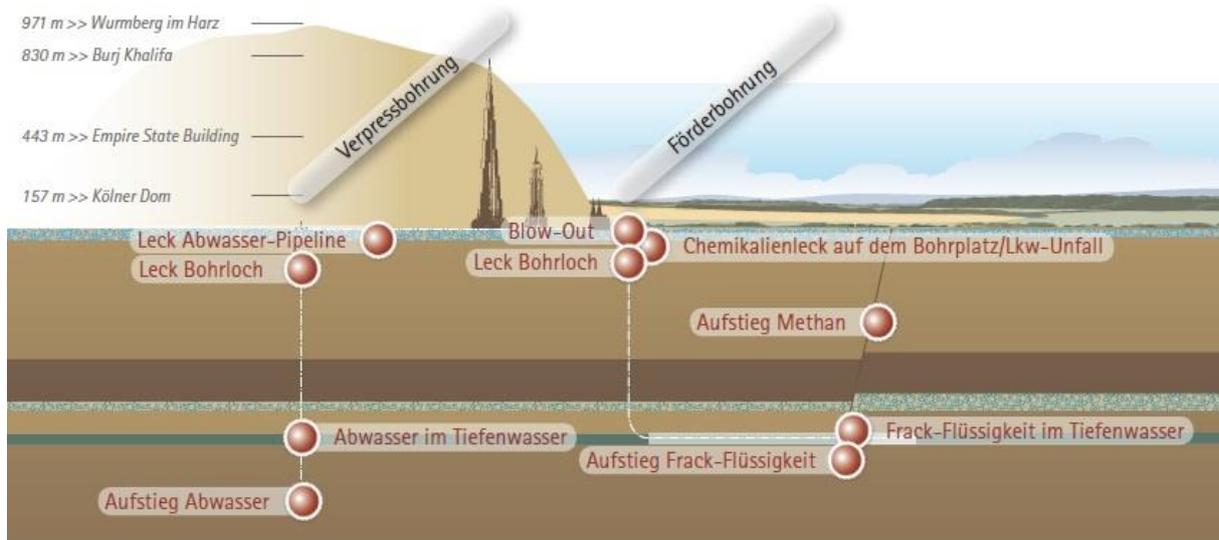


Abbildung 9: Denkbare Pfade für die Freisetzung von Schadstoffen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 28)

Potentielle Verschmutzungspfade (Wegsamkeiten)

Oberirdische Gewässer und oberflächennahes Grundwasser:

Unbemerkte Leckagen von Leitungen und Abwasser-Pipelines, Havarien auf dem Bohrplatz oder beim Fracken sowie Unfälle beim Lagern, Behandeln und Abtransport des Flowbacks können den Boden und über vorhandene Wegsamkeiten auch das oberflächennahe Grundwasser mit Frack-Fluiden und den darin enthaltenen Chemikalien verunreinigen. In den USA wurden z.B. schon unzureichend gereinigtes Frack-Abwasser in Oberflächengewässer eingeleitet.

Besondere Beachtung ist daher dem Grundwasserbereich, d.h. den obersten 200 bis 500 Metern der Erd- und Gesteinsschichten zu schenken. Durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen können Verschmutzungen dieses Bereichs weitestgehend vermieden werden. Dazu muss beim Einsatz von wassergefährdenden Chemikalien die Verrohrung des Bohrlochs absolut sicher abgedichtet sein. Außerdem sind die Bohrplätze umweltgerecht zu entwässern (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3). Aber auch, wenn das Bohrloch mit mehreren Schichten einzementierter Stahlrohre gesichert ist, um das Grundwasser vor einer Verunreinigung zu schützen, besteht das grundsätzliche Risiko einer schadhaften Bohrchummantelung („Leck im Bohrloch“ durch Korrosion, fehlerhafte Ausführung oder fehlende Qualitätskontrolle) sowie Lecks in Entsorgungsleitungen und dadurch die Gefahr von in obere Grundwasser führende Schichten eindringender Fracking-Flüssigkeit (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Außerdem muss belastetes Wasser beim Rückfluss an die Oberfläche umweltgerecht auffangen, behandelt und entsorgt werden (siehe Flowback, Kap. 4.3) (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3).

Die Risiken aus den Übertageaktivitäten sind vergleichbar mit denen verschiedener anderer oberirdischer Industrieprozesse. Zur Minimierung solcher Risiken existieren in Deutschland bereits rechtliche und technische Vorschriften. Danach müssen auch die Bohrplätze ausgeführt und die Pipelines ausgelegt werden. Konsequente Überwachung soll die Einhaltung der Vorschriften absichern (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

Betrachtet man mögliche Auswirkungen auf das Grundwasser in Abhängigkeit von der Zeit, so liegen Auftreten und Auswirkung von oberirdischen Risiken normalerweise eng beieinander, d.h. die Verschmutzung tritt üblicherweise recht schnell nach der Havarie ein (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5).

Verschmutzungen von Oberflächen- und oberflächennahen Gewässern können durch verschiedene Vorsorgemaßnahmen in weitestgehend vermeiden werden. Teil dieser Maßnahmen sind z.B. abgedichtete und umweltgerecht entwässerte Bohrplätze sowie fachgerecht ausgeführte Verrohrung und Zementation der Bohrlöcher (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3).

Obertägig geht vom Flowback noch ein weiteres Risiko aus: Mit der aus dem Bohrloch wieder an die Oberfläche geförderten Fracking-Flüssigkeit werden nicht nur ein Teil des eingepressten Wassers und der eingesetzten Chemikalien, sondern möglicherweise auch zusätzliche

Stoffe an die Oberfläche gebracht, die im mitgeförderten Lagerstättenwasser enthalten sind (siehe Flowback, Kap. 4.3). Daher muss der Flowback umweltgerecht aufgefangen, behandelt und entsorgt werden (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3).

Der Flowback könnte auch durch einen sogenannten Blowout, einen unkontrollierten Austritt von Flowback und Erdgas aus einem Bohrloch, direkt in die Landschaft gelangen. (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Der Boden ist dann weiträumig verunreinigt und muss saniert oder entsorgt werden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 33).

So kam es z.B. im April 2011 in Bradford County, Pennsylvania, zu einem Blowout. Danach ergoss sich zwölf Stunden lang ein giftiges Gemisch auf die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen (CARSTENS, P. 2015).

Der umweltgerechte Umgang mit dem Flowback ist derzeit noch nicht ausreichend geregelt, es bestehen da noch erhebliche Defizite.

Zum einen gibt es beim Fracken bisher noch keine aussagekräftigen Analysen und belastbaren Massenbilanzierungen, so dass genaue Kenntnisse über die jeweiligen Mengenanteile von Frack-Fluiden, Lagerstättenwasser und möglichen Reaktionsprodukten im Flowback noch nicht vorliegen. Außerdem fehlen Aussagen und Erfahrungen über das Verhalten und den Verbleib der eingesetzten Additive- und im Untergrund verbliebenen Additive der Frack-Fluide.

Zum anderen liegt für das Entsorgungsproblem der Fracking-Abwässer bisher leider keine akzeptable Lösung vor, es gibt für Behandlung und Entsorgung des Flowbacks zurzeit weder auf nationaler noch auf europäischer Ebene (geschweige denn auf internationaler Ebene) einen „Stand der Technik“ (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6).

Wegen der kritischen Inhaltsstoffe der Fracking-Abwässer sind kommunale Kläranlagen für deren Reinigung nicht geeignet (PETERWITZ, U. 2012: 27/6). Das gegenwärtig gängige - weil auch kostengünstigste - Verfahren ist die sogenannte Disposal-Bohrung, d.h., die den Chemie-Cocktail der Fracking-Flüssigkeit enthaltenden Abwässer werden einfach über eine ausgediente Bohrung in den Untergrund verpresst.

Eine Behandlung des Flowbacks sollte differenziert und entsprechend den Aufbereitungszielen (Anteile Wiedereinsatz und/oder Anteile Entsorgung) erfolgen. Ein „Stand der Technik“ sollte national in Form eines Anhangs zur Abwasserverordnung und entsprechend auch auf europäischer Ebene definiert und dann überwacht werden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6). Das Umweltbundesamt (UBA) bemerkt dazu: "Aus Sicht der Gutachter sind mit der Entsor-

gung des Flowbacks durch Verpressung in den Untergrund Risiken verbunden, die nur im Rahmen von standortspezifischen Risikoanalysen fundiert analysiert und bewertet werden können" (CARSTENS, P. 2015).

Luftverschmutzungen:

Während des Bohrens kann man auf Erdgas stoßen, das unter höherem Druck steht als erwartet. Das Gas kann unter Umständen auch natürlichen – aber giftigen – Schwefelwasserstoff enthalten. Früher geschah es dann schon mal, dass die gesamte Bohrspülung aus dem Bohrloch herausgeschleudert wurde (Blowout) und das Erdgas zu brennen anfang. Damit das heute nicht mehr geschieht, setzt die Erdgasindustrie gesetzlich vorgeschriebene Blowout-Preventer ein (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 32/33).

Aber wie jede technische Sicherheitsvorkehrung kann auch ein Blowout-Preventer versagen. Dann kann sich das gegebenenfalls giftige Gasgemisch kilometerweit in der Umgebungsluft ausbreiten, was dann den größten anzunehmenden Unfall der Erdgasindustrie darstellt. Blowouts sind seltene Ereignisse, sie geschehen nach Angaben der Erdgasindustrie weniger als einmal pro 1.000 Bohrungen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 32/33). Blowouts bedrohen vor allem die Mitarbeiter auf und um den Bohrplatz.

Unterirdische Bereiche, Tiefenwasser:

Aus geologischer Sicht kommt als eine weitere mögliche Art der Verschmutzung von Grundwasser die unkontrolliert aufsteigende Migration von Chemikalien aus den Frack-Fluiden in darüber liegende Grundwasserschichten hinzu. Auch können durch eine mögliche Freisetzung Gas (z.B. Methan), Radioaktivität und andere Schadstoffe wie z.B. Quecksilber aus den Lagerstätten durch Risse im Gestein in die tiefen grundwasserführenden Schichten eindringen, die auch für die Trinkwassergewinnung oder die landwirtschaftliche Bewässerung genutzt werden. Bei den Prozessen der Migration ist zwischen künstlichen/technischen Pfaden (z.B. Bohrungen, Fracken) und natürlichen/geologischen Pfaden (z.B. geologische Störungen im Gestein) zu unterscheiden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6). Durch das Fracking können im Gestein eventuell Wegsamkeiten, erzeugt werden, die eine Wanderung von Fracking-Flüssigkeiten oder Lagerstättenwasser ermöglichen (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Bohrungen oder auch Verfahren bei der Kohlenwasserstoffförderung dürfen die Dichtheit von Deckschichten oder von im Untergrund vorhandenen Trennschichten nicht verletzen, denn durch Fracking-Vorgänge verunreinigtes Grundwasser kann über vorhandene Wegsamkeiten leicht zu einer Gefährdung des Trinkwassers führen (PETERWITZ, U. 2012: 27/7).

Untersuchungen in den USA zeigen, dass erkannte Grundwasser-Verunreinigungen überwiegend durch Schäden während der Arbeiten an den Bohrungen und einer mangelhaften Ausführung vor Ort verursacht wurden (z.B. fehlerhafte Zementierung, schlechte Technik, ungenaue Arbeit). Deshalb ist sicherzustellen, dass Bohrlöcher auch bei längerer Beanspruchung dicht bleiben (die sogenannte Bohrlochintegrität). Die Verrohrung selbst sowie deren Zementierung zur Abdichtung gegenüber Flüssigkeiten und Gasen müssen den Einflüssen von Korrosion, hohen Drücken, wechselnden Temperaturen sowie jeglichen mechanischen Beanspruchungen dauerhaft standhalten (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6).

Die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung des Grundwassers ist aber immer von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig und somit in jedem Einzelfall zu bewerten.

Bei den unterirdischen Risiken können Ursache und Auswirkung zeitlich deutlich auseinanderliegen, so dass mögliche Verunreinigungen erst Jahre nach ihrer Verursachung auftreten (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 5). „Es kann sein, dass die Chemikalien erst in einigen Monaten oder Jahren ins Grundwasser dringen, wenn die Erdgasunternehmen schon längst weitergezogen sind“, sagt Sebastian Schönauer vom Arbeitskreis Wasser des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (CARSTENS, P. 2015).

In einem Gutachten des Bundesumweltamtes (UBA) liest sich das so: "Nach aktuellem Erkenntnisstand kann die Möglichkeit großräumiger, dauerhafter und irreversibler nachteiliger Auswirkungen [...] auf die Trinkwasserversorgung und den Naturhaushalt nicht von der Hand gewiesen werden" (CARSTENS, P. 2015).

Fracking ist aus den vorgenannten Gründen eindeutig mit Risiken für das Grundwasser verbunden. In Gebieten, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, sind daher entsprechende Bohrungen zur Erdgasgewinnung aus Gründen der Vorsorge ganz zu versagen (PETERWITZ, U. 2012: 27/8).

Verschmutzungen durch Frack-Rückstände

Nur ein Teil der beim Fracking mit Chemikalien versetzten Frack-Fluide kann mit dem sogenannten Flowback als Abwasser wieder an die Oberfläche gepumpt und zurückgewonnen werden. Ein Großteil der Frack-Fluide bleibt jedoch lange Zeit als Rückstände in den Spalten und Rissen im Untergrundgestein zurück. Ob und wie viel Schaden durch die Rückstände angerichtet werden kann, darüber gehen die Meinungen auseinander. Befürworter des Fracking-Verfahrens glauben, dass die restlichen Frack-Fluide unter dem Deckel dicker, un-

durchdringlicher Gesteinsschichten verschlossen bleiben. Der Einfluss des zurückbleibenden Wassers bleibt jedoch abschließend nicht geklärt (CARSTENS, P. 2015).

Mögliche Folgeschäden durch Versenkbohrungen

Bei der Förderung von Erdgas kommt nach einem Frack-Vorgang ein Teil des verwendeten Frack-Fluids und gegebenenfalls auch Lagerstättenwasser an die Oberfläche. Dieses Wasser muss für eine Wiederverwendung aufbereitet oder aber entsorgt werden. Es gibt derzeit noch kein allgemeingültiges Konzept für eine umweltgerechte Entsorgung der beim Fracken anfallenden Abwässer. Laut Förderunternehmen werden diese Wässer „sachgerecht entsorgt“, was aber überwiegend bedeutet: Zurückverpressung der mehr oder weniger intensiv aufbereiteten, gegebenenfalls aber auch noch mit vielen Giftstoffen versetzten Abwässer in viele hundert Meter tiefe - zum Teil auch behördlich zugelassene - Versenkbohrungen (z.B. stillgelegte Bohrstellen) (BÜRGERINITIATIVE GEGEN FRACKING).

Damit besteht die Gefahr, dass Grund- und Oberflächengewässer nicht nur durch undichte Bohrungen oder Wegsamkeiten im Gestein, sondern auch durch eine unsachgemäße Entsorgung der mit Chemikalien versetzten Fracking-Abwässer und die im Lagerstättenwasser eventuell vorhandenen Schwermetalle verschmutzt werden können.

Aus Sicht der zuständigen Behörden und der Förderunternehmen birgt das Verpressen von Abwässern über Bohrlöcher in den tiefen Untergrund aber keine Risiken. Für Außenstehende ist das jedoch schwer nachvollziehbar, vor allem deshalb, weil das verpresste Abwasser noch Chemikalien aus dem Fracking-Prozess enthält (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 46).

Behandlungstechniken als Alternativen zum Versenken stehen bei den spezifischen Inhaltsstoffen bisher nicht immer zur Verfügung. Daher sollte es vorläufig das Ziel sein, Lagerstättenwasser nur noch in solche Untergundhorizonte rückzuverpressen, aus denen es ursprünglich stammt, oder die natürlicherweise noch Lagerstättenwasser enthalten (EXXONMOBIL).

Untersuchungen haben gezeigt, dass in Versenkbohrungen auch Abwässer aus der konventionellen Erdgas- und Erdölförderung versenkt werden (BARWANIETZ, U. & KÖLBEL, R. 2015).

Wasserentnahme

Neben den chemischen Zusätzen stellt beim Fracking zunehmend auch der immense Wasserbedarf eine große Belastung dar, speziell in tendenziell trockenen Regionen oder Gebieten mit ohnehin nur geringem Grundwasservorkommen (BIZER, K. & BOBMEYER, C. 2012). Die Anzahl der Bohrungen zur Erschließung eines Fördergebietes und die Anzahl der in der Stimula-

tionsphase durchgeführten Fracking-Operationen bestimmen den bei der Gasgewinnung erforderlichen Wasserbedarf (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6).

So werden in den USA je Bohrloch bis zu 20 Millionen Liter Wasser benötigt. Bei etwa 50.000 Quellen, die jährlich in den USA gebohrt werden, liegt der Wasserbedarf damit bei bis zu 1.000 Milliarden Litern Wasser (= 1.000 Millionen m³ bzw. Tonnen) (HEINRITZI, J. 2013). Das entspricht dem Volumen eines Würfels mit einer Kantenlänge von 1.000 Metern.

Schiefergasbohrungen bedienen sich heute einer Kombination von Horizontalbohrungen und Multifracks. Bei der flächenhaften Erschließung von Schiefergaslagerstätten mittels Hochvolumen-Hydrofracking sind daher mögliche kumulative Effekte des Wasserbedarfs (qualitativ und quantitativ) und konkurrierende Nutzungen (z.B. Landwirtschaft) oder die Anforderungen von Schutzgütern (Trinkwasserspeicher) zu berücksichtigen (BIZER, K. & BOBMEYER, C. 2012). So sind zum Beispiel auch mögliche Auswirkungen auf vom Grundwasser abhängige Ökosysteme wie Feuchtwiesen, Sumpfbereiche und Moore zu bedenken (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6). Die Versorgung der in den jeweiligen Regionen lebenden Bevölkerung mit sauberem Trinkwasser hat aber immer höchste Priorität (BIZER, K. & BOBMEYER, C. 2012).

Mit Hilfe einer Aufbereitung von Teilen des Abwassers und dessen Wiederverwendung können der Wasserverbrauch und die Menge des zu entsorgenden Abwassers jedoch vermindert werden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 47).

7.3 Seismische Ereignisse

Seismische Ereignisse aufgrund des Frackings:

Beim Fracking wird Wasser unter hohem Druck in das Gestein gepresst und somit dessen Porendruck lokal sehr stark erhöht. Jede Veränderung des Porendrucks im Gestein hat aber auch Veränderungen der Spannungsverhältnisse zur Folge. Diese sind relativ gering und nur auf wenige Kilometer im Umkreis um die Bohrung beschränkt. Dies geschieht bei jedem Eingriff in den Untergrund, sei das im Tunnelbau, im Untertagebau, bei Tiefbohrungen oder eben beim Fracking. Eine Porendruckerhöhung bewirkt in einem schon gespannten Gestein eine Herabsetzung der Scherfestigkeit, was möglicherweise zu spontanem Aufreißen von Klüften und zu Bruchbildungen führt.

Konkret bedeutet dies, dass in Formationen mit großflächigen Störungen, die schon unter tektonischen Spannungen stehen, der Fracking-Prozess potenziell seismische Ereignisse (Erdbeben) auslösen kann (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 3/4). Aber

nur in eher seltenen Fällen sind diese für die Erzeugung spürbarer Erschütterungen verantwortlich (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACH-KOMMISSION EGK 2014: 4).

Bruchprozesse in der Erdkruste sind die Ursachen für Erdbeben. Analoge Vorgänge – nur in entsprechend kleinerem Maßstab - treten auch beim Fracken auf. Doch liegen die dabei freigesetzten Energien mindestens um den Faktor 1.000 unter der Fühlbarkeitsschwelle (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 48). Es handelt sich dabei um messbare, nicht spürbare Mikrobeben, deren Magnitude in der Regel kleiner als 1,0 auf der Richterskala ist. Die Stärke dieser künstlich erzeugten Mikrobeben entspricht etwa der Stärke der natürlich auftretenden Mikrobeben, die zum Beispiel in der Niederrheinischen Bucht praktisch täglich mit Messgeräten nachweisbar sind (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/10). Durch den Einpressdruck des Frack-Fluids werden in erster Linie Zug- und weniger Scherrisse erzeugt (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACH-KOMMISSION EGK 2014: 4).

Die hervorgerufenen Veränderungen der Spannungsverhältnisse im betroffenen Gestein sind relativ gering und nur auf wenige Kilometer im Umkreis um die Bohrung beschränkt. Nur in eher seltenen Fällen sind sie für die Erzeugung spürbarer Erschütterungen verantwortlich (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACH-KOMMISSION EGK 2014: 4).

Tongesteine besitzen nur eine geringe innere Festigkeit. Sie können daher kaum größere differenzielle Spannungen im Gestein aufbauen–Die Wahrscheinlichkeit für stärkere seismische Ereignisse in Tongesteinen ist folglich entsprechend geringer als in kristallinen Gesteinen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 4).

Es ist derzeit noch Gegenstand von Fachdiskussionen, ob seismische Ereignisse, die durch Fracking-Vorgänge ausgelöst werden, auch an der Erdoberfläche spürbar sind. In (BUNDESMINISTERIUM 2014) wird unter Hinweis auf die Fachliteratur ein Zusammenhang zwischen seismischen Ereignissen und Frack-Vorgängen als möglich beschrieben. Von spürbaren Beben, die unmittelbar im Zusammenhang mit einer „Frack-Operation“ auftraten, wurde in Einzelfällen auch schon berichtet. Von durch diese Beben verursachten Schäden ist jedoch nichts bekannt (SPIEGEL ONLINE 2016) (RADEMACHER, H. 2015).

Um Schäden durch induzierte Erdbeben auszuschließen, die als Folge von Fracking-Vorgängen ausgelöst werden können, hat der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen zusammen mit der Bergverwaltung für zukünftige Frack-Versuche ein Konzept zum „Seismischen Monitoring“ erarbeitet. Demzufolge müsse beim Erreichen entsprechender Schwellen-

werte die Fracking-Maßnahme umgehend eingestellt werden (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/10).

Experten schätzen jedoch die Wahrscheinlichkeit stärkerer Erdbeben (Magnitude > 4,0) als sehr gering ein, denn solche Erdbeben können nur dort ausgelöst werden, wo das Gestein bereits vor dem Fracking unter erhöhter mechanischer Spannung stand. Nur beim Zusammentreffen an sich schon seltener Einzelumstände kann Fracking ein Beben in tektonisch vorgepannten Zonen auslösen – so geschehen z.B. 2011 in Blackpool, Großbritannien (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 48).

Seismische Auswirkungen sind in mehrfacher Hinsicht von den spezifischen regionalen geologischen Gegebenheiten abhängig. Sofern bestimmte geologische Voraussetzungen erfüllt sind, z.B. spröde Gesteine mit tektonischen Trennflächen, die – unabhängig vom Fracking – so schon unter erhöhter mechanischer Spannung stehen, können während eines Frack-Vorgangs bzw. beim Verpressen von Abwässern schon im Gestein bestehende Spannungen gelöst werden. Das kann auch zu Erdbebenschwärmen mit einzelnen, auch deutlich stärkeren Erschütterungen führen (SPIEGEL ONLINE 2016).

Beispielsweise wurden bei Frack-Vorgängen im Zusammenhang mit Geothermie Tiefenbohrungen im Oberrheingraben spürbare Erdbeben festgestellt, laut Umweltbundesamt verursacht durch Herabsetzen der Reibung auf vorhandenen tektonischen Trennflächen aufgrund der eingepressten Fracking-Flüssigkeit (KLOSTERMANN, J. ET AL. 2012: 24/10).

Auch wenn für Deutschland das Auftreten von Erderschütterungen in Zusammenhang mit Fracking als höchst unwahrscheinlich angesehen wird, bleibt diesbezüglich wegen verschiedener Vorfälle an zahlreichen US-amerikanischen Fracking-Standorten trotzdem eine gewisse Verunsicherung bestehen (BIZER, K. & BOBMEYER, C. 2012). In zahlreichen Gebieten Nordamerikas, in denen fossile Kohlenwasserstoffe gefördert werden, kam es im Zuge des Fracking-Booms der vergangenen Jahre zu einer drastisch gestiegen seismischen Aktivität (SPIEGEL ONLINE 2016).

Generell sagt aber eine hohe seismische Aktivität nichts über die Auftretenswahrscheinlichkeit von schweren oder sehr schweren Erdbeben aus, wie sie in Kalifornien in der Vergangenheit bekanntermaßen schon aufgetreten sind (z.B. San Francisco 1906, 1989).

Seismische Ereignisse aufgrund der Verpressung von Fracking-Abwässern:

Seit Jahrzehnten bebte im US-Bundestaat Oklahoma, in dem das Fracking-Verfahren im vergangenen Jahrzehnt in großem Maßstab genutzt wurde, bislang durchschnittlich zweimal im

Jahr die Erde. Seit einiger Zeit registrieren die Wissenschaftler jedoch tägliche Erdbeben, im Jahr 2014 waren das 585. 2015 soll die seismische Aktivität sogar höher gewesen sein als in Kalifornien, also in jenem US-Bundesstaat, der von der San-Andreas-Verwerfung durchzogen wird. Das bisher heftigste Beben erschütterte die von der Ölindustrie geprägte Stadt Crescent mit einer Stärke von 4,5. Seismologen haben nun als Auslöser für den dramatischen Anstieg die Verpressung von Fracking-Abwässern in mehrere hundert Meter tiefe Bohrlöcher ausgemacht (KEEPING, J. 2015).

Anders als beim punktuellen Fracking handelt es sich hier um die Einpressung noch größerer Flüssigkeitsmengen in teilweise leergeförderte Reservoirs zum Zwecke der Entsorgung (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 48). Die eingepressten Flüssigkeiten verbleiben dauerhaft im Untergrund und verändern die Druckverhältnisse entlang von Gesteinsnähten. Sie bringen - teils mutmaßlich teils nachweislich - unter speziellen geologischen Voraussetzungen die Erde zum Beben, erklärt der Seismologe George Choy vom Geologischen Dienst der Vereinigten Staaten. Wie stark auf diese Weise ausgelöste Beben im Einzelfall sein können, darüber streiten die Wissenschaftler noch (KEEPING, J. 2015).

So wurden im Jahre 2011 östlich der Rocky Mountains fünf seismische Ereignisse registriert, bei deren Hauptbeben die Momenten-Magnitude 4,0 oder mehr betrug. Nachweislich standen diese Beben mit der Kohlenwasserstoffförderung in Zusammenhang, wobei zwei relativ sicher und eines wahrscheinlich auf die Verpressung von Abwasser zurückzuführen waren (RADEMACHER, H. 2015).

Damit birgt diese in den USA weitverbreitete industrielle Art der Abwasserentsorgung auf jeden Fall ein höheres Risikopotenzial in sich als der eigentliche Fracking-Vorgang. In unmittelbarer Umgebung von Verpressungsbohrungen wurden in den USA bereits einige wenige Beben mit Magnitude $> 5,0$ registriert, die auch geringfügige Schäden angerichtet haben. Bei einer Anzahl von mehr als 140.000 bisher für Gas- und Öl-Fracking angelegten sowie für deren Abwasserverpressung genutzten Bohrungen in den USA ist die Anzahl der bislang registrierten, nachweislich direkt dem Fracking oder indirekt der Abwasserverpressung zuzuordnenden seismischen Ereignisse mit einer Magnitude $> 4,0$ jedoch verschwindend gering (SPIEGEL ONLINE 2016) (RADEMACHER, H. 2015).

Auch bei der hydraulischen Stimulation, die bei der Geothermie ebenfalls der Erhöhung der Durchlässigkeit des Gesteins dient, können spürbare Erdbeben ausgelöst werden. Inwieweit natürlich vorhandene Spannungen durch hydraulische Stimulation vorzeitig spontane Erdbe-

ben auslösen können, ist schwierig zu beurteilen und bis heute noch Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 4). Kritiker befürchten jedoch, dass neben kleinen, gewollten Mikrobeben beim Fracken aufgrund der hydraulischen Stimulation auch größere, ungewollte Beben ausgelöst werden können.

Eingriffe in den Untergrund rufen häufig seismische Ereignisse hervor. Die durch den Menschen herbeigeführte Seismizität kann als eine Variation der natürlichen Seismizität angesehen werden. Sie erreicht aber in der Regel nicht die Stärken, die in Abhängigkeit der geologisch-tektonischen Gegebenheiten möglich sind. Die meisten von Menschen ausgelösten seismischen Ereignisse führen jedoch nicht zu spürbaren Erschütterungen an der Erdoberfläche.

Personenschäden kommen auch bei natürlichen Beben in Deutschland so gut wie nicht vor. Vergleicht man die - insbesondere in den bisher betroffenen Regionen in Niedersachsen - induzierte Seismizität mit anderen bergbaulichen Tätigkeiten, so ist sie beim Fracking laut (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 8) eher gering.

Aufgrund der möglichen seismischen Ereignisse sollte im Zusammenhang mit Fracking-Maßnahmen wie Einpressen von Fracking-Flüssigkeiten bzw. Verpressen von Fracking-Abwässern in allen Phasen der Planung und Durchführung ein Monitoring durchgeführt werden. Außerdem wäre eine Begleitung aller Vorgänge durch unabhängige seismologische Gutachter wünschenswert. Mit einem geeigneten Messprogramm können etwaige Ereignisse festgestellt, eine Zuordnung zu Aktivitäten am und im Bohrloch und somit auch eine Beweissicherung vorgenommen werden. Fracking-Maßnahmen können dann mit Hilfe einer im Voraus festgelegten Vorgehensweise bei Planabweichungen, das heißt über sogenannte Reaktionsschemata beherrschbar gemacht werden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 8).

Bei der Gasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten sind neben der Erschließungsphase, in der das Fracking stattfindet, noch weitere Betriebsphasen zu berücksichtigen. Dazu zählen die Gasproduktion und die parallel dazu verlaufende Entsorgung mitgeförderter Abfallprodukte. Für die beiden letztgenannten Phasen ist nach allen bisher vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen aus seismologischer Sicht keine Gefährdungssteigerung gegenüber der konventionellen Gasförderung festzustellen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 8).

7.4 Änderungen in der Treibhausgas-Bilanz durch Schiefergasproduktion

Die Universität Innsbruck fand heraus, dass Fracking die Luft mit gesundheits- und klimaschädlichen Gasen belastet. Die Reinheit der Luft ist also ein weiterer Anteil der Umwelt, der durch das Fracking-Verfahren beeinflusst wird. Wenn beim Fracking unkontrolliert übermäßige Mengen an Methangas aus dem Boden strömen, ist das nicht direkt unbedingt ein Problem für die menschliche Gesundheit, aber Methan trägt erheblich zum Treibhauseffekt bei (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 42). Kritisiert wird zudem, dass durch Abfackeln überschüssiges, wertvolles Gas oft einfach umweltschädlich verschwendet wird (TRADIMO 2013).

Bislang ist noch nicht bekannt, ob die gesamte durch das Fracking freigewordene Methanmenge auch vollständig durch das Bohrloch nach oben gefördert wird, da Methan auch am Bohrloch vorbei durch den Untergrund nach oben steigen kann. Über den Aufstieg von Methan weiß man aber noch zu wenig. So ist bisher nicht bekannt, welche Mengen an Methan schon heute ganz ohne Fracking aufsteigen. Man weiß ebenfalls nicht, ob die Menge durch Fracking mehr wird, und um wieviel es sich dabei gegebenenfalls handelt (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 42).

Das Thema Methan ist ja auch in den Diskussionen über das Fracking nicht ohne Brisanz, Speziell in den USA ist die mögliche Verunreinigung von Grundwasser durch Methan und andere Bestandteile von Erdgas infolge von Fracking kontrovers diskutiert worden. Der umstrittene, gut 90minütige Dokumentarfilm „Gasland“ aus dem Jahr 2010 widmet sich ausführlich dieser Thematik (Schultz, S. 2010). Darin wird unter anderem gezeigt, dass die Konzentration des Gases in Wasserleitungen sehr hoch sein kann. Auch wenn die dortigen Bilder die Thematik sehr einseitig und reißerisch darstellen, haben doch Untersuchungen z.B. im Münsterländer Becken gezeigt, dass in mehr als der Hälfte der untersuchten Hausbrunnen Methan nachweisbar ist, obwohl in der Nähe nicht gefrackt wurde (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 42).

Untersuchungen aus den USA zeigen aber, dass in der Luft in der Umgebung von Bohrungen Methan nachzuweisen ist. Als mögliche Verursacher kommen dabei in Frage:

- Undichte Bohrlöcher, etwa wenn die Zementierung nicht optimal mit dem Umgebungsgestein verbunden ist.

- Die in den USA teilweise noch übliche - aber in Deutschland nicht erlaubte - offene Lagerung von Abwässern in Becken, die dazu führt, das im Abwasser gelöste Methan freigesetzt wird.
- Undichtigkeiten in Transport-Pipelines.
- Störungszonen im Untergrund, über die Methan bis in die Umgebungsluft aufsteigen kann.

(NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 42)

Ob beim Vorhandensein von Methan im Grundwasser im Einzelfall ein Zusammenhang mit dem Fracking besteht, ist noch umstritten und meist nicht eindeutig nachgewiesen, da verstreut im Gestein befindliches Erdgas/Methan auch durch Diffusion in Trinkwasser führende Gesteinsschichten gelangen kann (RIES, G. 2015).

Ob Erdgas wirklich als ein vergleichsweise sauberer fossiler Energieträger gesehen werden kann, hängt auch von seiner Treibhausgas-Bilanz ab. Um diese beurteilen zu können, wird die Methodik der Öko-Bilanz eingesetzt. Es werden alle Schritte auf dem „Lebensweg“ des Energieträgers bilanziert: Die Förderung, die Aufbereitung, der Transport und letztlich die Verbrennung. Klassisches Erdgas ist bei all diesen Schritten Energieträgern wie Kohle und Öl überlegen. Neben dem Kohlendioxid wird auch das in die Atmosphäre freigesetzte Methan in die Bilanz eingerechnet.

Die konventionelle Erdgasgewinnung verursacht in Deutschland derzeit jährlich direkte Emissionen von unter 0,05 % der gesamten nationalen Treibhausgas-Emissionen. Dieser Anteil kann in weiteren Betrachtungen vernachlässigt werden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 6).

Im zweiten UBA-Gutachten wurden für eine mögliche Schiefergasgewinnung in Deutschland verschiedene Szenarien simuliert. Berücksichtigung dabei fand sowohl ein erhöhter Mehraufwand für Bohrungen bei Exploration und Förderung von Schiefergas als auch vermiedene Emissionen, die beim ansonsten notwendigen Transport von Erdgas aus Norwegen und Russland entstünden (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 7).

Auch wenn man davon ausgeht, dass eine Schiefergasproduktion mittels Fracking zunächst nur an einfach zu erschließenden Standorten in Deutschland erfolgt, würde dies keine wesentlichen Änderungen in der Treibhausgas-Bilanz ergeben. Selbst wenn man annimmt, dass Schiefergas in naher Zukunft auch aus weniger günstigen Lagerstätten gefördert wird, liegen die dann anfallenden Emissionen durch Förderung und Verstromung des Gases immer noch unter denen, die im Alternativfall durch Verstromung von Kohle entstehen würden.

Soll das Zwei-Grad-Ziel für die durchschnittliche globale Klima-Erwärmung bis 2050 mit einer Wahrscheinlichkeit von nur 50 % eingehalten werden, dürften in den Jahren ab 2011 nach Daten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nur etwa 1.100 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid ausgestoßen werden. Gegenüber dem aktuellen Stand bedeutet dies für die Zukunft eine beträchtliche Verminderung der Treibhausgas-Emissionen, was dann zwangsläufig eine drastische Einschränkung der Nutzung fossiler Energieträger bedeutet. Umgerechnet auf die weltweit verfügbaren Reserven sind das etwa ein Drittel der Erdölreserven, rund 50 % der Erdgasreserven und mehr als 80 % der Kohlereserven, die in Zukunft nicht mehr verbrannt werden dürfen (McGlade, Ch. & Etkins, P. 2015).

Der Einsatz von Fracking bei der Tiefengeothermie hilft aufgrund der ergiebigeren Wärmegewinnung den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu reduzieren und damit auch Treibhausgas-Emissionen zu verringern. Die Förderung fossiler Kohlenwasserstoffe mittels Fracking sowie erst recht die Verbrennung von Gas und Öl verursachen naturgemäß hohe Treibhausgas-Emissionen. Der überwiegende Teil des Treibhausgas-Überschusses der unkonventionellen Erdgasförderung entsteht zum einen Teil durch Kohlendioxidemissionen zum anderen Teil allerdings auch durch die Emission von Methangas. Der überwiegende Anteil des Kohlendioxids bei der Verbrennung des gefördertem Gases wird jedoch durch den Endverbraucher freigesetzt. Der restliche Anteil gelangt bei der Verbrennung anderer mitgeförderter fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre. Das Methan hingegen ist Hauptbestandteil des unverbrannten Rohgases und entweicht aus Förderanlagen (z.B. über Überdruckventile) und Leckagen in Transport-Pipelines.

Das Methan in kohleführenden Schichten des Oberkarbons wird durch ein kreidezeitliches Deckgebirge am Diffundieren und Aufsteigen in die Luft gehindert. Dort, wo Gas führende Steinkohleflöze aber angebohrt und durch Fracken aufgelockert werden, kann es zu örtlichen Methanaustritten kommen (KLOSTERMANN, J. et al. 2012: 24/4).

Die Mengenangaben zu Methanaustritten bei der Förderung unkonventioneller Erdgaslagerstätten sind in der Literatur so unterschiedlich, dass sich da keine eindeutigen Zahlen nennen lassen.

Methan ist als ein 25-mal wirksames Treibhausgas anzusehen als Kohlendioxid. Daher tragen Methan-Emissionen erheblich stärker zum Treibhausgas-Überschuss bei als Kohlendioxid (HERMINGHAUS, H. 2012).

Das Ablassen von Gas über Überdruckventile während der eigentlichen Förderung sowie das Entweichen von Gas aus Transport-Pipelines tritt bei konventionellen (d.h. nicht gefrackten)

und unkonventionellen (d.h. gefrackten) Erdgaslagerstätten gleichermaßen auf und ist damit nicht methodenspezifisch.

Der überwiegende Anteil des Methans entweicht zu Beginn der eigentlichen Förderung beim sogenannten „Drill Out“, dem Aufbohren von Verschlüssen im horizontalen Förderrohr, welche die einzeln gefrackten Abschnitte bis dahin voneinander abgeriegelt hatten, sowie im Anschluss an das Fracking während des Austritts des Flowbacks. In Summe können die Methanemissionen aber bis zu 10 % der gesamten Förderung bei einer einzelnen unkonventionellen Bohrung ausmachen (Howarth, R.W. 2011).

Zur genauen Treibhausgasbilanz der unkonventionellen Kohlenwasserstoffförderung mittels Fracking liegen bisher kaum Forschungsergebnisse vor. Zudem sind die Beurteilungen der Treibhausgas-Bilanz unkonventioneller Kohlenwasserstoffe gegenüber anderen fossilen Energieträgern wie z.B. Kohle bisher widersprüchlich und auch umstritten.

Für einen Beispielfall aus den USA, bei dem es sich um die Stromerzeugung aus Schiefergas der Marcellus-Formation in Grundlastkraftwerken handelt, wird z.B. geschätzt, dass die Treibhausgas-Emissionen nur um 3 % höher ausfallen als bei konventionellem in den USA gefördertem Erdgas, dass sie jedoch um bis zu 50 % niedriger ausfallen, als bei einer Stromerzeugung aus USA-Kohle (JIANG, M. ET. AL. 2011).

Eine andere Studie kommt zu dem Ergebnis, dass aufgrund der hohen Methanemissionen bei der Erschließung von Lagerstätten unkonventionell geförderten Erdgases dieses auch bei einer konservativen Schätzung eine schlechtere Treibhausgas-Bilanz hat als Kohle. Der Studie nach würde unkonventionell gefördertes Erdgas erst bei einer unrealistisch langen Förderphase pro Bohrstelle von etwa 100 Jahren weniger „klimaschädlich“ sein als Kohle.

Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass für eine sichere Beurteilung der Vergleiche von Treibhausgas-Bilanzen noch genauere empirische Daten notwendig sind. Beispielsweise sind Angaben notwendig über die Zusammensetzung des geförderten Gases, die Mengen des im Frack-Fluid gebundenen Methans sowie über die der Produktivität der Bohrstellen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 7).

7.5 Raum- und Flächeninanspruchnahme

Bei der Erschließung und Förderung von Schiefergas werden – anders als bei anderen unterirdischen Nutzungen – sowohl unter- als auch oberirdisch erhebliche Räume und Flächen beansprucht. Zusammen mit dem – den geologischen Gegebenheiten geschuldeten – dichten Netz

von einzelnen Bohrplätzen (siehe Abbildung 10, S. 45) führt das zu einer raumgreifenden Nutzung von Untergrund und Oberfläche (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 7).

Unterirdisch: Vor der Förderung von Schiefergas sind großräumig Wegsamkeiten zu schaffen. Dazu ist eine Vielzahl an Bohrungen und Fracks nötig.

Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen des unterirdischen Raums sind weitestgehend irreversibel. Das bedeutet, dass auch nach Abschluss der Gasförderung in der Lagerstätte und möglicherweise auch in angrenzenden geologischen Formationen Wegsamkeiten erhalten bleiben. Diese können nun bestimmte Folgenutzungen verhindern. Wird zudem noch der Flowback in den Untergrund verpresst und/oder werden Leitungen für den Transport von gefördertem Gas, Wasser oder Abwasser unterirdisch verlegt, ist der Untergrund durch weitere Beanspruchungen und Beeinflussungen belegt. Der von den Veränderungen im Untergrund betroffene Raum ist dabei sehr viel größer als die von oberirdischen Aktivitäten (z.B. Bohr- und Lagerplätze, Zufahrtswege, usw.) in Anspruch genommenen Flächen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 7).

Oberirdisch: Spezifisch für die unkonventionelle Erdgasförderung ist der sehr hohe Oberflächenverbrauch (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Ferner ist die Gewinnung von Schiefergas im Vergleich zur Gewinnung von Erdgas aus konventionellen Lagerstätten mit einem höheren Aufwand an Ressourcen und vielfachen Bohraktivitäten verbunden.

Der oberirdische Flächenbedarf setzt sich aus Bohrplätzen, Lagerflächen, Zufahrtswegen, Leitungen, Gasaufbereitungsanlagen und gegebenenfalls weiterer Infrastruktur zusammen (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). So werden für einen Bohrplatz mit Horizontalbohrungen umfangreiche Tank-, Lager-, Sand- und sonstige Speicherflächen benötigt, gegebenenfalls auch Platz für große Mengen an kontaminiertem Wasser. Zusätzliche Fläche ist für den abgetragenen Oberboden erforderlich, der üblicherweise für eine spätere Rekultivierung aufgeschoben und in Halden am Rand des Bohrplatzes gelagert wird.

In verschiedenen Quellen, insbesondere auch aus den USA, finden sich Angaben zum Flächenverbrauch. Diese differieren in Abhängigkeit von den jeweils berücksichtigten Flächen für Bohrplätze, Lagerflächen, Infrastruktur usw. Sie betragen unter Berücksichtigung der Nebenflächen zwischen ca. 1 ha und ca. 5 ha (3 ha entsprechen etwa 4 Fußballfeldern) (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 8).

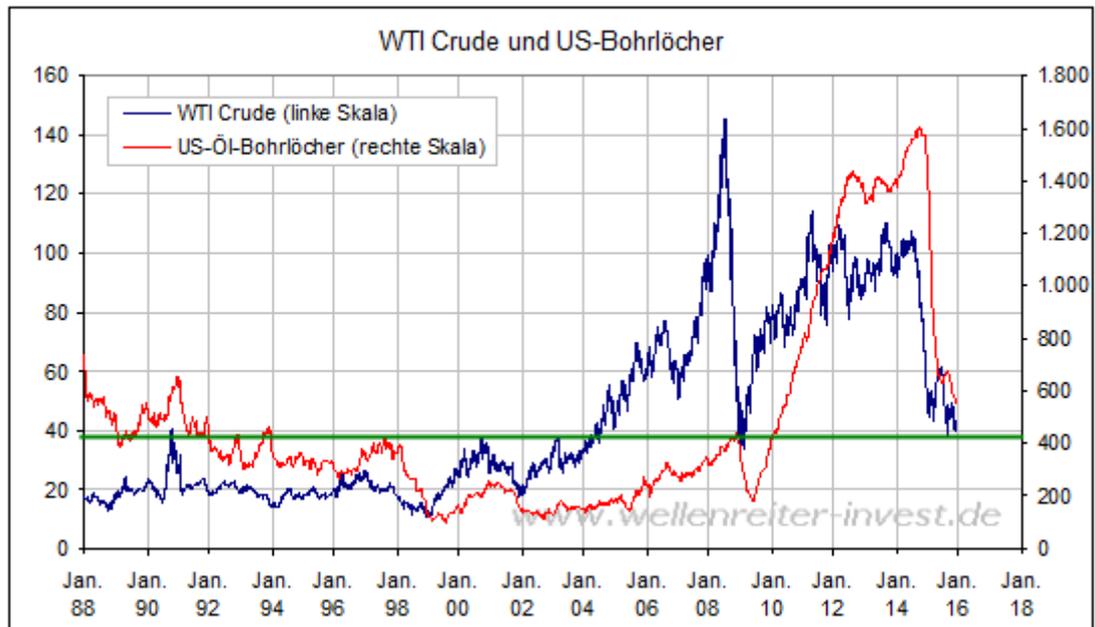


Abbildung 10: Anzahl der aktiven Ölbohrlöcher in den USA (RETHFELD, R. 2015)

Durch die hohe Flächeninanspruchnahme wird das ursprüngliche Landschaftsbild gestört, eine Umwandlung ganzer Landstriche in Industrielandschaften ist zu befürchten. Problematisch ist nicht der einzelne Bohrplatz, sondern die große Anzahl von Bohrplätzen auf kleiner Fläche (z.B. 22 Bohrplätze auf einer Fläche von 10x20 Kilometern), die zu einer industriellen Zersiedelung der Landschaft führen kann (siehe Abbildung 11, S. 46).

Die Landwirtschaft verliert durch die Einrichtung von Bohrplätzen Teile seiner Nutzflächen und konkurriert beispielsweise um die knapper werdenden Wasserressourcen. Bei einer starken Landschaftsveränderung lässt gegebenenfalls auch deren touristische Attraktivität nach (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 26). Wird in der Nähe von Siedlungen gebohrt, können Lärm, Erschütterungen und Dieselabgase die Lebensqualität der Einwohner erheblich belasten (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 25).



Abbildung 11: Flächenbedarf eines einfachen Fracking-Bohrplatzes (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 24)

Aufgrund des Zusammenwirkens zahlreicher Einzel-Aktivitäten ist die Förderung von Schiefergas ein typischer Anwendungsfall für die Raumordnung. Um die zu erwartenden räumlichen Veränderungen in einem dicht besiedelten Land wie Deutschland angemessen steuern zu können, ist es notwendig qualifizierte Raumordnungsregeln in das Bergrecht aufzunehmen. Damit könnte sichergestellt werden, dass sich Ziele der Raumordnung bezüglich Zulässigkeit oder Unzulässigkeit von Vorhaben auch in bergrechtlichen Entscheidungen gegenüber anderen Belangen durchsetzen können (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 8).

7.1.6 Gesundheitliche Risiken

In verschiedenen Ländern werden schon seit längerem mögliche und teilweise bereits bekannte Risiken im Zusammenhang mit der Förderung fossiler Kohlenwasserstoffe diskutiert und zum Teil auch untersucht. Fest steht aber, dass das bei der Förderung von Kohlenwasserstoffen eingesetzte Fracking-Verfahren aus medizinischer Sicht neue Risiken mit sich bringt. Zudem wurden in der Vergangenheit schon von verschiedenen Gruppierungen in der Nähe von

Fracking-Operationen Fälle von Krankheiten und erhöhtem Risiko gesundheitliche Schäden zu erleiden aufgezeigt und studiert (EKN 2014) (EKN 2015).

Mögliche, vermutlich eng mit dem Fracking zusammenhängende Gefährdungen entstehen vornehmlich aus der Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser mit Frack-Fluiden. Verantwortlich für diese Verunreinigung des Wassers dürften die in den Frackflüssigkeiten enthaltenen Additive sein.

Aufgrund der karzinogenen Wirkung von Benzol vermutet das Gemeinnützige Netzwerk für Umweltkranke (GENUK), dass dieser Stoff die Ursache für eine statistisch relevante Steigerung von „Krebsneuerkrankungen des lymphatischen, blutbildenden und verwandten Gewebes“ bei älteren Männern im Landkreis Rotenburg/Wümme in Niedersachsen ist. Der Landkreis gilt als eines der Zentren der Gasförderung in Deutschland. Die Untersuchungen beziehen sich auf den Zeitraum 2003 bis 2012 (EKN 2014) (EKN 2015). Zumindest für das Jahr 2012 ist dokumentiert, dass dort Kontaminationen mit BTEX-haltigem Lagerstättenwasser aus leckgeschlagenen Pipelines vorgekommen sind (MINISTERIUM NIEDERSACHSEN (2012).

Breitet sich aufgrund eines verstärkten Einsatzes von Fracking die Förderung fossiler Kohlenwasserstoffe in relativ dicht besiedelten Regionen stark aus, so steigt zwangsläufig auch die damit verbundene Schadstoffbelastung. Als Folge erhöht sich damit dann auch die (potenzielle) Gesundheitsgefährdung der dort ansässigen Bevölkerung. Dabei spielt es letztlich keine Rolle, ob die Schadstoffemissionen spezifisch für die unkonventionelle Förderung fossiler Kohlenwasserstoffe mittels Fracking sind, oder ob sie auch bei konventioneller Förderung auftreten. Entscheidend ist letztlich, dass sie auftreten, und dass sie ohne den Einsatz von Fracking nicht auftreten würden, sofern in den betroffenen Regionen ausschließlich unkonventionelle Förderung möglich ist.

8. Welche Chancen bietet die Fracking-Technologie

Schon seit vielen Jahren wird über Chancen und Risiken von Fracking diskutiert, und durch neue zur Verfügung stehende Erkenntnisse und Informationen werden solche Diskussionen immer mehr angeheizt. Doch bei einer Sache sind sich Gegner und Befürworter jedoch einig: Würden alle Fracking-Operationen sofort gestoppt werden, wären die daraus sich ergebenden negativen wirtschaftlichen Auswirkungen bald darauf weltweit spürbar.

Fracking ist nach Meinung von Ökonomen für die meisten Volkswirtschaften mit bei weitem mehr Vorteilen als negativen Folgen (für Gesundheit und Umwelt) verbunden. Sie begründen das mit der Behauptung, dass Fracking ein sicheres Verfahren ist, welches sowohl Staaten als auch Privatpersonen außergewöhnliche Möglichkeiten bietet (TRADIMO 2013).

8.1 Deckung der steigenden Energienachfrage

In den vergangenen Jahrzehnten gab es beim weltweiten Energieverbrauch stetige Steigerungen, so lag die Zunahme seit 1965 bei rund 225 %. Ein Trend, der sich in den kommenden Jahren und Jahrzehnten kontinuierlich fortsetzen wird. Die wachsende Nachfrage kommt vor allem von den Schwellenländern mit ihren stark wachsenden Volkswirtschaften (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 1).

Trotz des Ausbaus der erneuerbaren Energien mit einem Anteil von ca. 13 % am weltweiten Energieverbrauch wird damit immer noch der Großteil des heutigen Primärenergieverbrauchs aus den fossilen Brennstoffen Kohle, Gas und Öl gewonnen. Da in den letzten Jahren weltweit große Schiefergasvorkommen entdeckt wurden, könnte Gas in Zukunft auf dem Energiemarkt eine noch bedeutendere Rolle spielen.

Eine Studie des HWWI (Hamburgischen WeltWirtschaftsInstitut) und der Berenberg Bank aus dem Jahr 2013 analysiert die weltweiten Chancen und Risiken von Fracking für die Energiegewinnung. Danach hat Kohle nach heutigem Stand die größten Reserven weltweit. Für Erdöl werden – ausgehend vom heutigen Verbrauch – die bekannten Reserven noch rund 51,5 Jahre reichen, und bei Erdgas wird von etwa 64 Jahren ausgegangen. Trotz steigenden Verbrauchs sind diese Werte in den letzten 30 Jahren weitgehend konstant geblieben, da durch verbesserte Exploration und neue Produktionstechnologien, wie z.B. das Fracking, bisher umfangreiche unerschlossene Erdgas- und Erdölreserven genutzt und somit weiterhin in erheblichen Mengen fossile Energieträger gefördert werden können (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 1).

Die Internationale Energieagentur geht sogar davon aus, dass die vorhandenen Gas-Reserven aus konventionellen Lagerstätten den derzeitigen und zukünftigen weltweiten Bedarf der nächsten 130 Jahre decken könnten. Mit den neuen Reserven aus unkonventionellen Lagerstätten ließe sich dieser Zeitraum laut PETERWITZ, U. gar auf insgesamt 250 Jahre verlängern (PETERWITZ, U. 2012: 27/7).

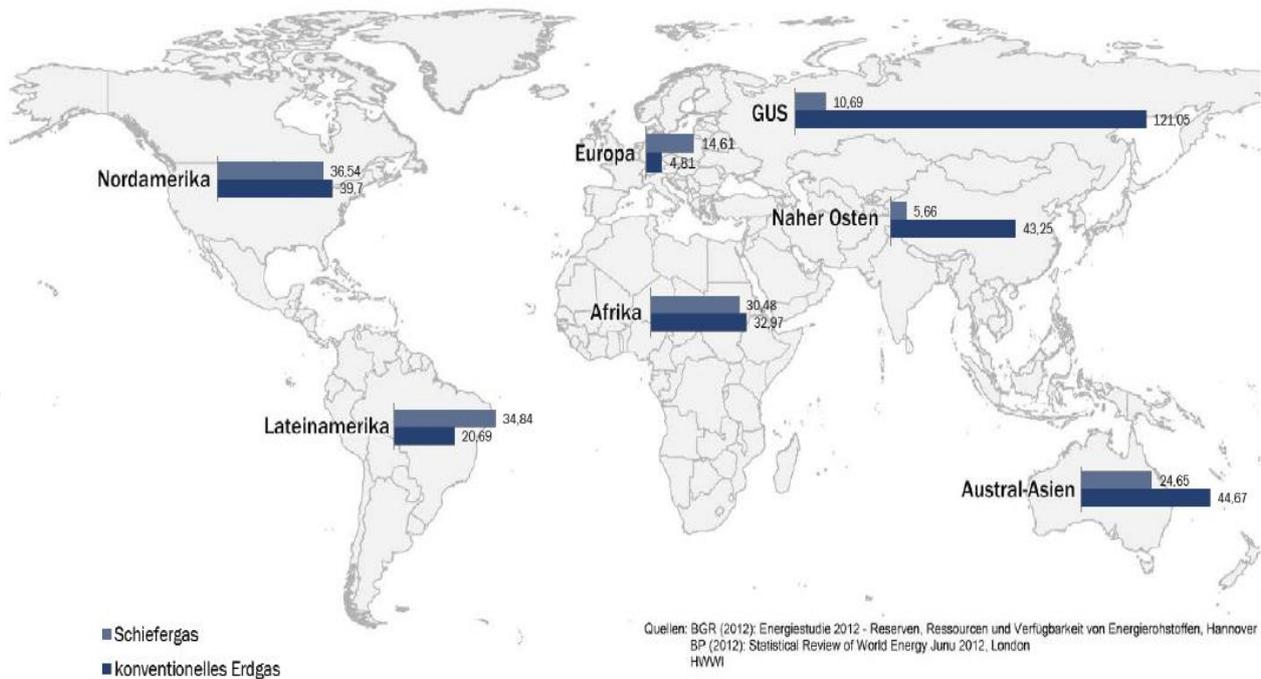


Abbildung 12: Weltweite Ressourcen von Schiefergas und konventionellem Erdgas (Angaben in Billionen m³) (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 1)

Bei der Betrachtung konventioneller und unkonventioneller Erdgasressourcen (siehe Abbildung 12) ist zu berücksichtigen, dass die Angaben für unkonventionelles Erdgas (Schiefergas) bisher nur für die USA ausreichend sicher sind. Für den Rest der Welt besteht noch eine große Unsicherheit bezüglich der Schätzungen ihrer Mengen, da diese Vorkommen erst in den letzten Jahren entdeckt wurden. Nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sind mit 36,5 Bio. m³ die weltweit größten Schiefergasvorkommen in Nordamerika (USA, Kanada, Mexiko) zu finden. Insbesondere in Mexiko ist erhebliches Potenzial vorhanden, da sich hier der Gesamtbestand an Erdgasressourcen aufgrund von entdeckten Schiefergasvorkommen um mehr als das 9-fache auf 21,6 Bio. m³ erhöht hat. In Lateinamerika (ohne Mexiko) hat Argentinien mit 21,9 Bio. m³ die größten Vorkommen. In Afrika würde sich durch Hinzurechnen von Schiefergas der Bestand an Gasvorkommen auf rund 30,5 Bio. m³ nahezu verdoppeln. Die meisten Schiefergasvorkommen werden dabei in Südafrika vermutet. Austral-Asien kann nur mit einem Schiefergaspotenzial in Höhe von 24,7 Bio. m³

rechnen, was das Gesamtvorkommen dann nur um knapp die Hälfte auf 69,3 Bio. m³ erhöht (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

In Europa werden Schiefergasvorkommen von 14,6 Bio. m³ vermutet. In Frankreich sind dabei mit 5,1 Bio m³ die größten Ressourcen zu erwarten (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

In Deutschland wird Schätzungen zufolge ein Schiefergaspotenzial von rund 13 Bio. m³ vermutet (siehe Abbildung 13), von dem jedoch nur 10 % förderbar sind. Somit werden die verwertbaren Vorkommen Deutschlands mit nur 1,3 Bio. m³ angegeben (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

Unter konservativen Annahmen schätzt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, dass in Deutschland von einem technisch förderbaren Schiefergasvolumen von 0,7 bis 2,3 Billionen m³ ausgegangen werden kann (EXXONMOBIL). Zum Vergleich: Deutschlands geschätzte konventionelle Erdgasressourcen liegen laut BGR bei 0,15 Billionen m³ (BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2012a: 6). Umgerechnet auf den Verbrauch könnten in Deutschland mit Hilfe des Frackings Gasreserven erschlossen werden, die den Gasbedarf Deutschlands für etwa 15 Jahre decken könnten (WEBEL, S. 2013: 5). Durch Nutzung dieser potentiellen Reserven könnte Deutschland theoretisch die Importabhängigkeit zur Deckung seines Primärenergieverbrauchs für diesen Zeitraum um rund 27 % senken (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 3).



Abbildung 13: Erdgasreserven in Deutschland (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 5)

Vor allem für den Bereich Münsterland in Nordrhein-Westfalen und den Raum Cloppenburg in Niedersachsen wird von erheblichen Schiefergasvorkommen ausgegangen. Weitere unkonventionelle Erdgaslagerstätten werden in Nord-Hessen und im Oberrheingraben vermutet. Ob diese Vorkommen unter technischen, wirtschaftlichen und besonders ökologischen Gesichtspunkten aber gewinnbar sind, lässt sich erst nach eingehenderen Untersuchungen feststellen. Eine ausführliche Darstellung zu den unkonventionellen Erdgasvorkommen in Nordrhein-Westfalen ist auf der Internetseite des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen zu finden.

In den GUS-Staaten (Gemeinschaft unabhängiger Staaten) befinden sich mit ca. 121,1 Bio. m³ die weltweit größten konventionellen Gasreserven. Im Vergleich dazu ist der Bestand an Schiefergas mit rund 10,7 Bio. m³ jedoch relativ gering. Und in Nahost werden ebenfalls nur geringe Schiefergasvorkommen von etwa 5,7 Bio. m³ vermutet.

Zu den weltweiten Energiereserven zählen auch noch unkonventionelle Ölvorkommen wie Ölsande, Schwerstöl oder Schieferöl, die vor allem in China, Venezuela und Kanada gefunden wurden (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

Vorreiter bei der Einführung des Fracking-Verfahrens sind die USA. Im Jahr 2005 lag in den USA die Produktion pro Tag bei 122 Mio. m³, sie stieg bis Ende 2011 um das 8-fache auf über 984 Mio. m³ an. Die weltweite Steigerung der Schiefergasförderungen in den vergangenen Jahren hatte weitreichende Veränderungen der Energiemärkte zur Folge. Davon waren nicht nur die Entwicklung fossiler Brennstoffpreise betroffen, sondern auch die sich laufend ändernden Aussagen über die zu erwartenden Reserven der Energieträger Erdgas und Erdöl sowie die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

Es kann von stetig wachsendem Energieverbrauch ausgegangen werden, und die Energiereserven werden dann trotz neuer Funde weltweit entsprechend zurückgehen (siehe Abbildung 14, S. 52). Laut Dr. Volkmar Pflug, oberster Marktanalyst des Energiesektors von Siemens, spricht vieles dafür, dass Erdgas künftig eine noch wichtigere Rolle als Energieträger spielen wird (WINTERHAGEN, J. 2012). Die IEA ist der Meinung, das Erdgas im Jahr 2035 etwa ein Viertel der weltweiten Energieversorgung sicherstellen könnte. 2012 deckte Erdgas erst ein Fünftel ab. Bei weiter rückläufigem Anteil der Kernkraft könnte Erdgas bereits vor dem Jahr 2035 den Energieträger Kohle überholen (WINTERHAGEN, J. 2012).

Im Vergleich zu Öl und Kohle galt Erdgas bisher als weniger belastend für die Umwelt. Es deckt knapp ein Viertel unserer Energie in Deutschland ab, und gewinnt nach dem Atomausstieg mehr und mehr an Bedeutung (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 14).

Da unser Energiebedarf durch heimisches Erdgas aus konventionellen Quellen nicht gedeckt werden kann, könnte Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Rahmen der „Energie- wende“ benötigt werden, um im Zeitalter der erneuerbaren Energien das Stromnetz zum Zwecke der Versorgungssicherheit stabil zu halten (WINTERHAGEN, J. 2012).

Bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien, schätzt man die hohe Flexibilität von Gas- kraftwerken, deren Leistung sich sehr schnell herauf- und herunterregeln lässt, wenn Sonnen- schein oder Wind nachlassen oder wieder zunehmen (WINTERHAGEN, J. 2012). Dieser not- wendige Beitrag an heimischem Erdgas würde in absehbarer Zeit versiegen, wenn man nicht auf unkonventionelle Lagerstätten setzen kann (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 14).

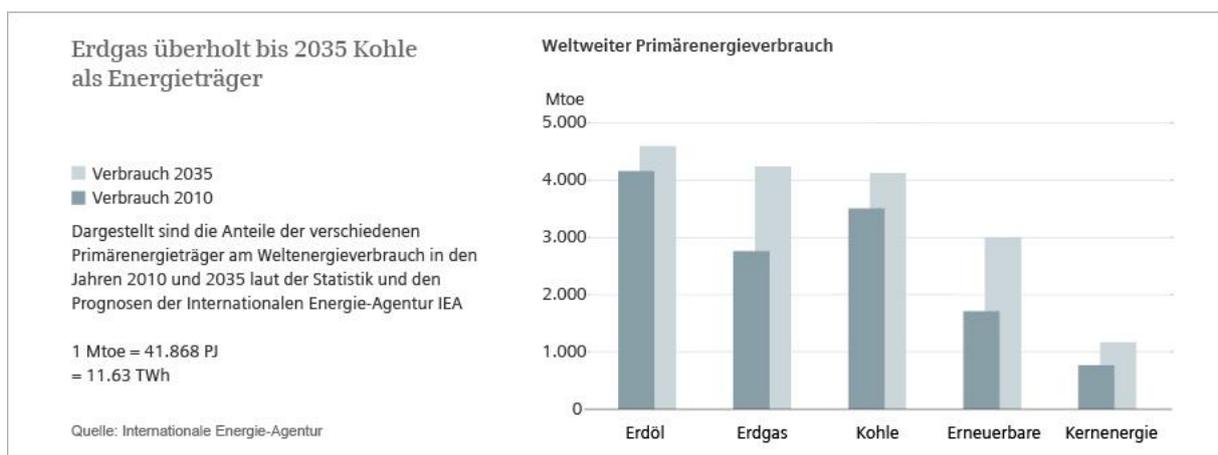


Abbildung 14: Weltweiter Primärenergieverbrauch (WINTERHAGEN, J. 2012)

Nicht ganz zu Unrecht behaupten jedoch Umweltschützer, dass Fracking und die dadurch erreichte Verfügbarkeit von billigem Erdgas zu einem großen Hindernis bei der Einführung von erneuerbaren Energien geworden sind. Das äußert sich zum Beispiel darin, dass Investoren nicht mehr bereit sind, in den Bau teurer neuer Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien zu investieren, solange Erdgas sehr preisgünstig verfügbar ist (TRADIMO 2013).

8.2 Niedrigere Emissionsintensität

Durch Einsatz des Fracking-Verfahrens bei der Erdgas- und Erdölförderung können umfangreiche neue Energiereserven erschlossen werden, was bisher schon zu einer erheblichen Veränderung auf dem Energiemarkt geführt hat und dieses in den nächsten Jahren auch weiterhin tun wird. Mit dem Fracking dürften die Energieträger Erdgas und Erdöl in Zukunft noch billi-

ger werden als sie es bereits heute teilweise schon sind (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 5).

Seitdem die „Schiefergasrevolution“ in den USA eingesetzt hat, sind die amerikanischen Gaspreise im internationalen Vergleich überdurchschnittlich stark gesunken mit dem Ergebnis, dass es momentan finanziell attraktiver ist, in Gas- als in Kohlekraftwerke zu investieren (WINTERHAGEN, J. 2012). Aufgrund seines günstigen Preises setzen Industrieunternehmen und Energieversorger in den USA vermehrt auf Gas, weil sie dadurch ihre Produktionskosten senken können, was die USA auch für Investoren wieder deutlich interessanter macht. Gleichzeitig sinkt damit der Kohleanteil in der Energiegewinnung, was aus umweltpolitischer Sicht auf den ersten Blick erst einmal von Vorteil ist.

Die USA können so ihre Klimabilanz verbessern und werden durch das eigene Erdgas zudem auch mehr und mehr unabhängiger von Energieimporten (HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT 2013: 2).

Moderne Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD) setzen mit rund 330 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde nur etwa die Hälfte dessen frei, was bei den derzeit besten Kohlekraftwerken an Ausstoß (WINTERHAGEN, J. 2012).

Da die Nachfrage nach Kohle in den USA gesunken ist, gab der Kohlepreis weltweit nach. Das wiederum hatte bei den Stromerzeugern in Europa den Anreiz diesen Rohstoff weiterhin zu nutzen, was sich natürlich negativ in der Klimabilanz niederschlägt. Zusätzlich verstärkt wird dieser Trend noch durch den niedrigen CO₂-Zertifikatspreis von derzeit weniger als 5 Euro pro Tonne CO₂ (BÖRSE ONLINE 2017).

Durch niedrige Gas- und CO₂-Zertifikatspreise werden die Anreize zur Verminderung der Kohlenwasserstoffverbrennung für Transport und Stromerzeugung sowie zur Investition in klimafreundliche und innovative Technologien, um deren Ausbau zügiger voran zu bringen, geringer (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 5). Als Folge dieses Verhaltens dürfte dann der CO₂-Ausstoß weltweit noch weiter zunehmen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 5).

Einerseits könnte der Einsatz von preisgünstigem, mittels Fracking gefördertem Erdgas das Zeitalter der fossilen Energieträger verlängern und damit auch den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid. Andererseits könnte aber die mit noch höheren CO₂-Emissionen verbundene Verbrennung von Kohle reduziert werden. „Eine Bilanzierung des daraus resultierenden

CO₂-Ausstoßes ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch mangels abgesicherter Daten noch nicht möglich“ (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 4).

Einen Beitrag zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes auf dem Weg hin zu sauberen und erneuerbaren Energien könnte auch die Geothermie leisten (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 4). Die Technologie der hydraulischen Stimulierung muss noch weiterentwickelt werden. Sie ist derzeit noch nicht marktreif und daher preislich auch nicht konkurrenzfähig. Eine massive Förderung mit öffentlichen Geldern könnte da kurz- oder mittelfristig Erfolge bringen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 7).

Durch die Nutzung der deutschen Schiefergasressourcen ist weder kurz- noch mittelfristig mit einer wesentlichen Minderung der Treibhausgas-Emissionen aus dem Bereich der Energieversorgung zu rechnen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4) (siehe auch Kap. 9.2).

8.3 Verringerung der Importabhängigkeit

Dank des größeren Angebots sind die Preise für Gas und Öl deutlich gesunken. Welche Auswirkungen Fracking auf den Markt haben kann, zeigt sich derzeit in den USA: Laut der Internationalen Energieagentur sind die Vereinigten Staaten 2014 vor Russland und Saudi-Arabien zum größten Ölproduzenten und 2015 auch zum größten Gasproduzenten der Welt aufgestiegen. Dies ist vorrangig der Erschließung bisher schwer zugänglicher Gas- und Öllagerstätten mittels Fracking zu verdanken (WEBEL, S. 2013: 3) (MIERKE, M. & SCHNETTLER, D. 2013) (MITTERMEIER, A. 2015).

Durch den großen Erfolg bei der Förderung von Schiefergas und Schieferöl sind die USA vom Nachfrager zum Produzenten geworden. Das hatte u.a. auch einen Machtverlust der OPEC zur Folge, die als Vereinigung von Öl-Produzenten immer wieder erfolgreich den Preis für den Energierohstoff Öl beeinflussen konnte (NACHTWEH, C. & STEINER, S. 2016).

Verschiedenen Experten zufolge (z.B. auch EIA) könnten die Vereinigten Staaten je nach Szenario zwischen 2019 und 2030 vom Importeur zum Exporteur von Energie werden. Damit wäre die zurzeit noch größte Volkswirtschaft der Welt so gut wie energieautark. Im Jahr 2013 deckten die USA noch etwa 20 % ihres Energieverbrauchs aus Importen. Global könnte die Wirtschaft der USA der große Gewinner sein. Niedrige Energiepreise locken immer energieintensive Industrien an. Da spielt es dann eine geringere Rolle, in welchem Land ein Werk aufgebaut wird, solange nur geringe Energiekosten anfallen. So werden auch neue Arbeitsplätze ins Land gebracht. Hinzu kommt ein weiterer Punkt: Weil die Konkurrenz aus den

USA nun günstiger produzieren kann, verschärft sich damit der Wettbewerb für europäische Konzerne (WEBEL, S. 2013: 3).

Für die USA hat Fracking auch eine geostrategische Bedeutung, da es seine Unabhängigkeit von den fossilen Energieträgern aus dem vorderen und mittleren Osten fördert. Es ist daher also nicht nur ökonomisch sondern auch geopolitisch von Vorteil, immer weniger Erdöl von dort importieren zu müssen. Damit verbessert sich nicht nur die Handelsbilanz deutlich, es macht auch die Konjunktur weniger „von etwas abhängig, was auf der anderen Seite der Welt passiert“, wie etwa Unruhen in Nahost (MIERKE, M. & SCHNETTLER, D. 2013).

Eine Unabhängigkeit von Erdölimporten aus dieser unruhigen Region könnte die USA auch dazu verleiten ihr sicherheitspolitisches Engagement dort herunter zu fahren. Ein solcher Schritt zeichnet sich im Augenblick aber noch nicht ab. Auswirkungen des durch Fracking ausgelösten Booms sind bislang überwiegend auf den Erdgasmarkt beschränkt.

Wegen der in Deutschland nur relativ geringen unkonventionellen Erdgaslagerstätten ist hier nicht mit einem längerfristigen Gas-Boom zu rechnen (siehe auch Kap. 9.2.). Die Abhängigkeit Deutschlands von Energieimporten bleibt damit auf jedem Fall weiterhin bestehen (GOETZ, D. 2013). Diese kann auch zukünftig allein durch den Ausbau alternativer regenerativer Energiequellen reduziert werden.

8.4 Wirtschaftliche Vorteile

8.4.1 Schaffung und Erhaltung von Arbeitsplätzen

Die mit Fracking arbeitenden Unternehmen stellen das Verfahren als eine sichere Fördermethode dar, die eindeutige Ergebnisse und hohe Erträge liefert. Eines der wichtigsten Argumente der Befürworter ist, dass durch Fracking Arbeitsplätze geschaffen werden, auch wenn dies offensichtlich nicht der einzige Weg ist, wirtschaftlichen Erfolg zu messen. Mit dem Einsatz von Fracking gaben die Preise für Erdgas und Erdöl deutlich nach, wobei besonders Erdgas aufgrund der höheren Verfügbarkeit durch die verstärkte Gewinnung von Schiefergas deutlich stärker nachgefragt und billiger wurde. Fracking ist eindeutig mitverantwortlich für die Senkung der Energiepreise und die Reduzierung der Produktionskosten. (TRADIMO 2013).

Das häufig genannte Argument der Fracking-Befürworter, dass in Deutschland der Verlust von Arbeitsplätzen in der Gas-Industrie drohe und Europa von russischen Energielieferungen abhängen, lässt Andy Gheorghiu, Fracking-Aktivist und Energie-Experte, nicht gelten. „Sechs bis sieben Prozent der Primärenergie in Deutschland werden aktuell aus Russland importiert,

aber schon jetzt beträgt der Anteil der Erneuerbaren Energien zehn bis zwölf Prozent“, so seine Aussage. Darum ist es dringend nötig, die erneuerbaren Energien weiter auszubauen und so gleichzeitig neue Arbeitsplätze und mehr Energieunabhängigkeit zu schaffen (SAGENER, N. 2015).

Dass der Verzicht auf die Gewinnung von unkonventionellem Erdgas in Deutschland hier zu so hohen Energiepreisen gegenüber anderen Ländern, wie z.B. den USA, führen könnte, dass die energieintensiven Industrien mit Hunderttausenden von Arbeitsplätzen dann dorthin abwandern könnten, diesen Vorstellungen stehen doch einige gewichtige Realitäten gegenüber. Durch den freien Welthandel mit Angebot und Nachfrage spielt es heute eher eine untergeordnete Rolle, wo etwas gefördert, wo es verarbeitet und wo es letztendlich verbraucht wird. Auch für die Annahme, dass durch Fracking viele neue Arbeitsplätze in Deutschland geschaffen würden, fehlen die entsprechenden Voraussetzungen und Belege (GOETZ, D. 2013).

Fracking-Gegner sehen angesichts der eher marginalen industriewirtschaftlichen Bedeutung von Fracking arbeitsmarktpolitisch keine spürbaren Wirkungen. Stattdessen sehen sie aber Arbeitsplätze in Branchen gefährdet, die Produkte zur Gewährleistung sauberen Trinkwassers produzieren (AFP – AGENCE FRANCE-PRESS 2015). Fracking-Gegner hoffen, durch den Verzicht auf weitere Fracking-Vorgänge negative Auswirkungen auf die Umwelt verhindern zu können (TRADIMO 2013).

8.4.2 Verbesserung der Einnahmesituation – Steuern, Abgaben, Löhne

Die Erdgasförderung mittels Fracking wirkt sich in zwei Richtungen auf die regionale Wirtschaft aus. Einerseits fließen Gelder in Form von Abgaben, Steuern, Löhnen und Gehältern direkt in die Region. Andererseits werden die regionalen Wirtschaftsaktivitäten beeinflusst, indem möglicherweise zahlreiche Aufträge, die mit der Erdgasförderung oder dem Fracking verbunden sind, an Unternehmen in der Region gehen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 26).

Die USA haben gezeigt, dass Gemeinden mit mehr Arbeitsplätzen und mehr Steuereinnahmen von den Bohr- und Fracking-Aktivitäten auf bzw. im Untergrund ihres Gemeindegebiets profitieren. Direkt profitieren können Gemeinden, die einen Standort für eine Bohrstelle aufweisen, durch die sich daraus ergebenden Gewerbesteuererinnahmen. Aber es können auch die Gemeinden profitieren, unter deren Gemeindegebiet sich die vertikale Bohrung befindet. In solchen Fällen müssen sich alle Beteiligten auf eine gerechte Aufteilung der anfallenden Gewerbesteuer einigen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 26).

Von der Erdgasförderung aus unkonventionellen Lagerstätten profitieren in Deutschland Bund, Länder und Gemeinden in unterschiedlicher Weise. Das Land profitiert direkt von der Feldes- und Förderabgabe, aber in geringerem Umfang auch von Wasserentnahmeentgelten.

Die Feldesabgabe wird nach § 30 BBergG (Bundesberggesetz) jährlich fällig für Inhaber einer Erlaubnis zur Aufsuchung zu gewerblichen Zwecken.

Auf Länderebene fallen noch Einkommensteuer, Körperschaftssteuer, Umsatzsteuer usw. an. Die direkten Einnahmen aus Gewerbesteuer und Grundsteuer stehen den Gemeinden zu. Diesen Einnahmequellen stehen aber die Einnahmen reduzierenden Effekte in Form des Finanzausgleichs gegenüber (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

9. Fracking in den USA und in Deutschland

9.1 Fracking (-Boom) in den USA

Als Vorreiter beim Einsatz des Frackings bei der Förderung unkonventioneller fossiler Kohlenwasserstoffe gelten die USA. Hier werden bereits seit mehreren Jahren zahlreiche unkonventionelle Erdgas- und Erdöllagerstätten mit Erfolg unter Einsatz dieses neuartigen Gewinnungsverfahrens erschlossen und ausgeschöpft. Vor rund 15 Jahren begann ein regelrechter Fracking-Boom. Seitdem sind in Amerika bereits zigtausende von Bohrungen niedergebracht worden (PETERWITZ, U. 2012: 27/5) International steht so ein Boom vielleicht noch bevor. Die IEA schätzt, dass es bis 2035 auf bis zu einer Million Bohrungen kommen wird, denn weltweit finden sich noch erhebliche Ressourcen an unkonventionellen Lagerstätten (WINTERHAGEN, J. 2012).

Der Marcellus Shale in Pennsylvania, der Niobrara Shale in Colorado und Wyoming, der Barnett Shale in Texas, der New Albany Shale in Illinois, der Bakken Shale in Montana und North Dakota sowie der Monterey Shale in Kalifornien sind die wichtigsten Gebiete in Amerika, in denen unkonventionell mit dem Fracking-Verfahren gefördert wird. Nachgebende Preise und eine Verringerung der Importe waren die logische Folge eines vermehrten Angebotes an insbesondere unkonventionellem Erdgas. Mit der sich 2007 anbahnenden weltweiten Wirtschaftskrise sank jedoch die Nachfrage, worauf die Preise weiter fielen, und der Boom deutlich abebbte. Ab Mitte 2015 ging aufgrund des fallenden Ölpreises schließlich die Shale-Öl Produktion um mehr als 400.000 Barrel pro Tag zurück. Gleichzeitig aber stieg die Anzahl der Fracks (THE ECONOMIST 2016).

Nachdem in den USA diverse Schäden im Zusammenhang mit der Förderung mittels Fracking-Verfahren bekannt wurden, wie beispielsweise die Zerstörung von Deckschichten, die Gefährdung von Wasserversorgungsanlagen oder das unkontrollierte Austreten von Gas (PETERWITZ, U. 2012: 27/5), wurden schließlich - auch aufgrund heftig geführter Kontroversen - 2012 in Vermont und 2014 im Bundesstaat New York offizielle Verbote des Frackings zur Kohlenwasserstoffgewinnung, erlassen (KULS, N. 2014).

Die aus den USA geschilderten Problemfälle beim Fracking beziehen sich allesamt auf Shale Gas Vorkommen. Soweit bekannt, scheint bei den Schadensfällen auch weniger der eigentliche Frack-Prozess der Auslöser gewesen zu sein, sondern die größten Probleme sind wohl immer bei der Entsorgung des Abwassers oder durch unzureichend gesicherte Bohrplätze entstanden.

Im Zusammenhang mit der Förderung von Flözgas ist es in den USA wohl nicht zu entsprechenden Problemen gekommen, obwohl dort aus einigen Lagerstätten bereits seit mehr als 30 Jahren gefördert wird (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 26).

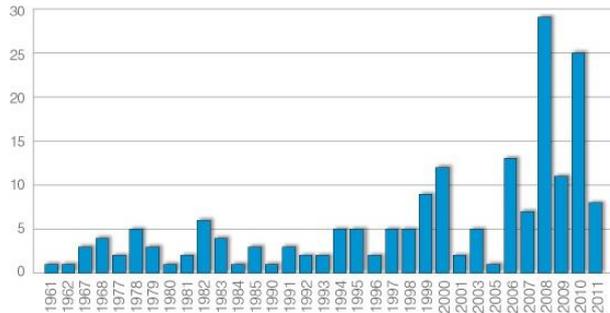
So ist eine wichtige, bisher noch unbeantwortete Frage, ob die beobachteten Methan-Belastungen des Grundwassers in den USA tatsächlich durch die Gasförderung ausgelöst wurden, oder ob es sich um natürliche Belastungen handelt, wie sie in Deutschland aus dem Münsterland bekannt sind. Die in der Presse dargestellten Szenarien und Probleme mit Methan bei der Shale Gas Förderung haben teilweise keine objektiv belegbaren Quellen. Es hat eher den Anschein, dass sie aus dem Spielfilm „Gasland“, dessen Inhalt wohl nur teilweise dokumentarisch ist, entstammen (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 27).

Für Problemfelder, wie die Wasserversorgung der Bohrplätze, Abwasserlagerung und -entsorgung, die Wiederherstellung der Bohrplätze nach Beendigung der Bohrarbeiten, Lärm- und sonstige Umweltbelastungen durch die Bohr- und Förderaktivitäten, gibt es in Deutschland umfangreiche und detaillierte gesetzliche Vorschriften und Regelungen. Diese sind erheblich strenger als in den USA oder anderen Gasförderländern (z.B. Russland, die arabischen Staaten) (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 27).

Von der amerikanischen Umweltbehörde werden seit 2012 in einer großangelegten Studie die Folgen der Erdgasgewinnung durch Fracking geprüft (PETERWITZ, U. 2012: 27/5).

9.2 Fracking in Deutschland

Zahlen von 2013 besagen, dass es in Deutschland so viel unkonventionelles Erdgas gibt, dass man damit den deutschen Erdgas-Bedarf ein bis zwei Jahrzehnte decken könnte. Fracking ist daher vor allem für die Förderung von Erdgas interessant (FOCUS 2013). Schon seit 1961 wird Fracking angewendet zur Erhöhung oder Konstanthaltung der Förderraten bei der konventionellen Erdgas- und Erdölförderung, zur Trinkwassergewinnung, für Altlastensanierung und bei Geothermie-Bohrungen. Bisher wurden in Deutschland rund 300 Fracking-Maßnahmen durchgeführt, die meisten davon in Niedersachsen (siehe Abbildung 15, S. 62). Anfangs wurde ausschließlich bei vertikalen Bohrungen gefracked (CARSTENS, P. 2015).



Quelle: ExxonMobil, 2012

	Tight Gas- und konventionelle Lagerstätten	Schiefergas-Lagerstätten	Kohleflözgas-Lagerstätten
Niedersachsen	mind. 325 Fracks* (mind. 148 Bohrungen)	3 Fracks (Damme 3 – 2008)	0
NRW	0	0	2 Fracks (Natarp – 1995)
Andere Bundesländer	nicht bekannt	0	0

Abbildung 15: Anzahl Fracks in Deutschland seit 1961 (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 6)

Seit dem Jahr 2010 planten ExxonMobil und andere Unternehmen auch in Deutschland unkonventionelle Kohlenwasserstoffvorkommen (speziell Erdgas) zu erkunden und zu fördern. Die Lagerstätten dieser Vorkommen sind ohne das Fracking-Verfahren in den meisten Fällen überhaupt nicht zugänglich, weil das Erdgas in dichtem Gestein eingeschlossen ist. Die ersten Erfahrungen mit Fracking bei einer horizontalen Bohrung wurden schon im Jahre 1994 im Erdgasfeld Söhlingen Z10 in Niedersachsen gewonnen. In Söhlingen (Region Cloppenburg) handelt es sich um eine Lagerstätte von Tight Gas. ExxonMobil brachte dort bereits 5 Erkundungsbohrungen nieder. Im Bereich von Schiefergasvorkommen (Shale Gas) hat ExxonMobil bisher insgesamt 6 Erkundungsbohrungen durchgeführt (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Die großen Aufsuchungs- und Untersuchungsgebiete befinden sich in den Bundesländern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Dort werden große Schiefergasvorkommen vermutet (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012). Darüber hinaus gibt es noch einzelne Aufsuchungserlaubnisse in Baden-Württemberg, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

In Nordrhein-Westfalen soll die Erkundung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten in großem Stil betrieben werden. Es lässt sich aber wohl erst nach weiteren eingehenden Untersuchungen feststellen, ob das Gas, das in Nordrhein-Westfalen vorwiegend in Schiefergesteinen oder Kohleflözen eingeschlossen ist und nur durch das Fracking-Verfahren erschlossen werden kann, technisch und wirtschaftlich gewinnbar ist (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 27). Bisher wurde in Deutschland kommerziell noch kein Schiefergas gewonnen, so dass eine Beurteilung der Erschließung der Lagerstätten dieser Rohstoffart nur aufgrund nationaler wis-

senschaftlicher Analysen besteht und auf Erfahrungen aus den USA basieren (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 3).

Abbildung 16 zeigt die bekannten Förderorte und Gebiete mit gewährter Aufsuchungserlaubnis für die Erdgassuche.

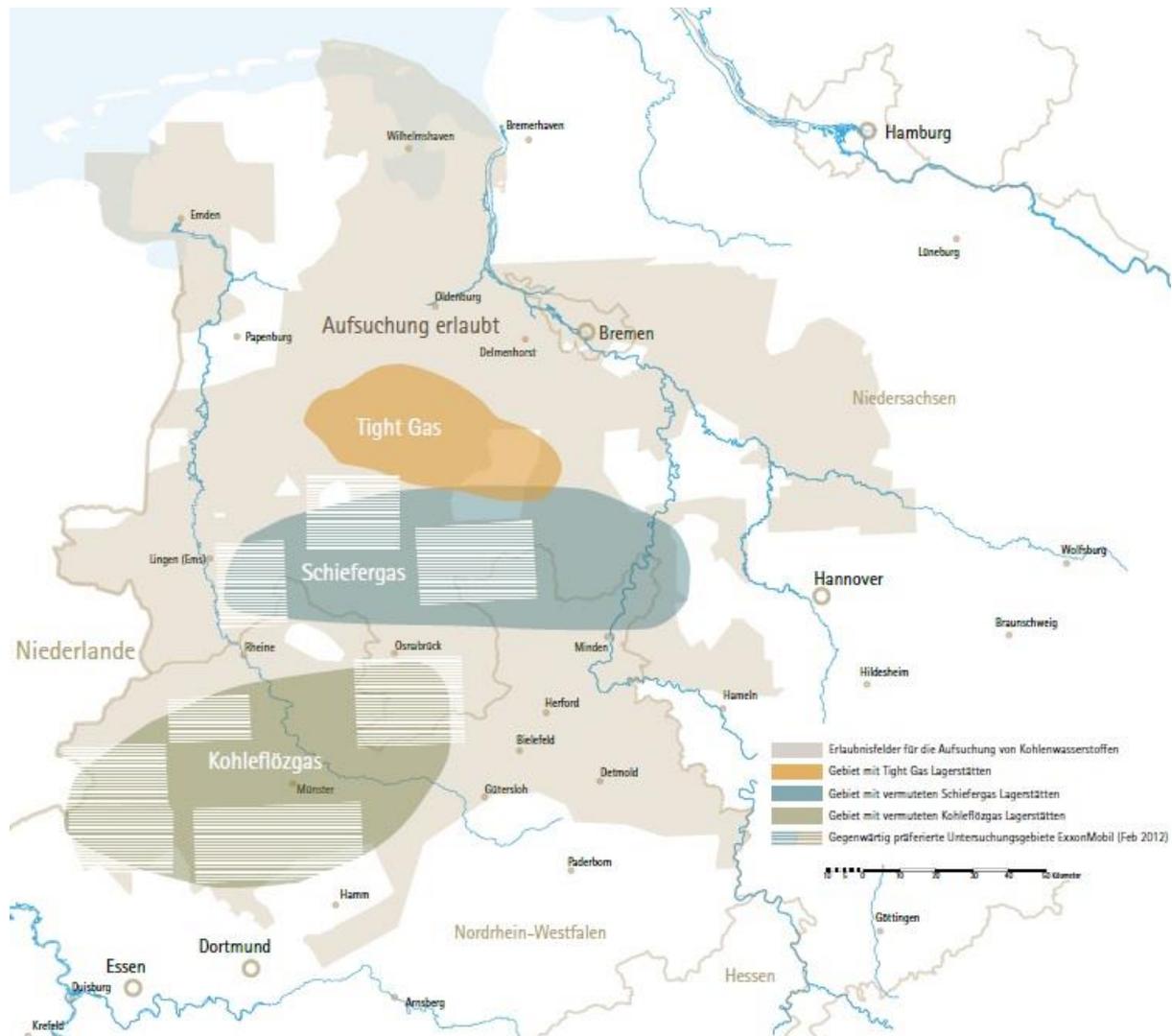


Abbildung 16: Vermutete Lagerstätten und vergebene Erlaubnisfelder für eine Aufsuchung von Erdgas im nördlichen Nordrhein-Westfalen und westlichen Niedersachsen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 17)

Trotz großer Schiefergasvorkommen in verschiedenen Regionen (z.B. in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen) bezweifeln Experten, dass Deutschland einen Fracking-Boom erleben wird, der mit dem in den USA vergleichbar ist (WEBEL, S. 2013: 5).

Einerseits ist das in Deutschland technisch förderbare Schiefergasvolumen im Vergleich zu dem in den USA deutlich begrenzt, so dass vor allem kurz- und mittelfristig nicht davon auszugehen ist, dass aufgrund des erhöhten preisgünstigen Angebots eine verstärkte Nutzung von

Gas und somit eine Verdrängung anderer fossiler Energieträger erfolgen würde. So war und ist es in den USA der Fall. Ein Grund hierfür ist, dass diese Quellen technisch nicht sofort, sondern nur langsam und zeitlich versetzt erschlossen werden können (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

Folglich ist auch durch die Nutzung der deutschen Schiefergasressourcen weder kurz- noch mittelfristig mit einer wesentlichen Minderung der Treibhausgas-Emissionen aus dem Bereich der Energieversorgung zu rechnen (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

Andererseits liegen die relevanten Kosten für deutsches Schiefergas nach Meinung des Energiewirtschaftlichen Institutes an der Universität Köln in etwa im Bereich der Grenzübergangspreise für konventionelles Erdgas im Jahr 2013. „Ein spürbarer Effekt auf die deutschen Gaspreise durch heimische Schiefergasförderung würde daher allenfalls bei zukünftig steigenden Gaspreisen für konventionelles Erdgas eintreten“ (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 3).

Deshalb ist davon auszugehen, dass eine Gewinnung von Schiefergas mittels Fracking aus inländischen Ressourcen kurzfristig keinen relevanten Einfluss auf die deutsche Versorgungssicherheit, die Importabhängigkeit und die Brennstoffpreise haben wird. Dies ließe sich analog für die weiteren in der Diskussion stehenden unkonventionellen Gaslagerstätten in Deutschland feststellen. Selbst mittel- und langfristig ist ein möglicher Beitrag schon allein wegen der limitierten Ressourcen sehr begrenzt (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

9.2.1 Umgang mit dem Thema Fracking

Nicht nur in Deutschland, sondern auch auf europäischer Ebene und in den USA, wird seit Jahren kontrovers über die Vor- und Nachteile des Frackens diskutiert. Die dabei vorgebrachte Kritik am Fracking gründet aber überwiegend auf den Erfahrungen in den USA. In Deutschland formieren sich die Kritiker und deren Widerstand vornehmlich in Bürgerinitiativen. Förderfirmen, wie beispielsweise ExxonMobil, möchten die Diskussionen beeinflussend steuern, indem sie versuchen, die vorgetragenen Bedenken durch einen Expertenkreis unabhängiger Wissenschaftler klären zu lassen (EXXONMOBIL).

Über die Risiken des Frackings für Menschen und Umwelt gehen die Meinungen sehr auseinander. Zur besseren Bewertung wurden vom Deutschen Geoforschungszentrum (GFZ), dem Umweltbundesamt (UBA), dem Sachverständigenrat für Umweltfragen sowie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zwischen 2010 und 2015 Gutachten zu den möglichen Auswirkungen des Fracking-Verfahrens beim Abbau unkonventioneller Lagerstätten erstellt. Trotz verschiedener Betonung kamen alle Gutachten zu dem Schluss, dass die aktuel-

le Datenlage für eine abschließende Bewertung der Möglichkeiten und Risiken ungenügend ist, und dass der gesetzliche Rahmen für den Genehmigungs- und auch den späteren Überwachungsprozess nicht ausreichend und klar genug definiert ist. Daher wurde angeregt, mittels transparenter, schrittweiser und kontrollierter Pilotbohrungen und weiterer Untersuchungen die bestehende Datenlage zu verbessern und einen gesetzlichen Rahmen für die notwendigen Umweltauflagen zu schaffen. Auch die volkswirtschaftliche Rentabilität der Erschließung der Schiefergasbestände in Deutschland wurde in dem Gutachten kritisch diskutiert (UMWELTBUNDESAMT (2014d).

9.2.2 Gesetzliche Regelungen

Drei Jahre dauerte es und war von zahlreichen Kontroversen begleitet, der Entstehungsprozess für das „Gesetz zur Änderung wasser- und naturschutzrechtlicher Vorschriften zur Untersagung und zur Risikominimierung bei den Verfahren der Fracking-Technologie“ (BGBI. I S. 1972), allgemein auch „Fracking-Gesetz“ genannt. Das Gesetz wurde am 4. August 2016 verabschiedet. Dieses Artikelgesetz, das auch Änderungen insbesondere des Wasserhaushaltsgesetzes und des Bundesnaturschutzgesetzes umfasst, erlässt ein generelles Verbot von Fracking in unkonventionellen Lagerstätten (betrifft damit Schiefergas und Kohleflözgas).

Das bereits seit Langem praktizierte Tight-Gas-Fracking in tiefen Schichten dichten Sandsteins bleibt dagegen weiterhin erlaubt. Ausgenommen davon sind z.B. Gebiete, die für die Gewinnung von Trinkwasser von Bedeutung sind. Zudem dürfen zu wissenschaftlichen Zwecken bundesweit vier Testbohrungen in unkonventionellen Lagerstätten niedergebracht werden, denen die betroffenen Bundesländer jedoch ausdrücklich zustimmen müssen. Eine unabhängige Expertenkommission soll laufend über die dabei gewonnenen Erkenntnisse berichten. Im Jahr 2021 soll dann der Bundestag „auf der Grundlage des bis dahin vorliegenden Standes von Wissenschaft und Technik“ überprüfen, ob das Fracking-Verbot aufgehoben, gelockert oder endgültig zementiert werden soll (MEIRITZ, A. & GATHMANN, F. 2016).

10 Zusammenfassung und Fazit

Das Fracking-Verfahren erlaubt es heute, Erdgas-Ressourcen zu nutzen, die zwar schon längere Zeit bekannt sind, die bisher aber nur schwer zugänglich oder wirtschaftlich nicht rentabel waren (KLOSTERMANN, J. et al. 2012: 24/1). Diese sogenannten unkonventionellen Erdgaslagerstätten spielen weltweit eine immer größere Rolle bei der Deckung unseres Energiebedarfs. Ihre Förderung würde den bisher bekannten Umfang der global nachgewiesenen Ressourcen sehr stark erhöhen (WEBEL, S. 2013: 1).

Unter dem Eindruck des stetigen Klimawandels besteht heute eine allgemeine Übereinstimmung darin, dass der Nutzung regenerativer Energien die Zukunft gehört. Andererseits besteht aber auch kein Zweifel daran, dass für eine Übergangszeit die weitere Nutzung fossiler Energien zur Deckung des Energiebedarfs der Weltwirtschaft noch notwendig ist. Dabei ist Erdgas als ein relativ „sauberer“ fossiler Energieträger von besonderer Bedeutung (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 1). Weltweit schlummern noch enorme Reserven an Erdgas in Schiefergesteinen. Das Fracking-Verfahren bietet hier die Chance diese Reserven zu fördern. Sie birgt aber auch nicht unerhebliche Risiken für Umwelt und Gesundheit.

In mehreren Regionen der USA wird Fracking bei unkonventionellen Lagerstätten von Erdgas bereits seit vielen Jahren flächendeckend eingesetzt. Medienberichte über Verunreinigungen von Gewässern und Grundwasser durch beim Fracken eingesetzte Chemikalien, über (brennbares) Methan im Grundwasser und über Erdbeben sind aber beunruhigend. Die Sorge, dass natürliche Ressourcen (vor allem Trinkwasser) gefährdet sind, ist deshalb auch bei uns in Deutschland in den letzten Jahren deutlich gewachsen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 3). An vielen Orten formiert sich steigender Protest. Viele Bürger, Bürgerinitiativen, Wasserversorger, Umweltverbände und Politiker wenden sich gegen das Fracking und gegen neue Erkundungsbohrungen und Erdgasprojekte, da sie aufgrund der dabei eingesetzten Chemikalien negative Folgen für die Umwelt, das Trinkwasser und ihre Gesundheit befürchten (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 10).

Chancen und Risiken des Frackings sowie dessen Auswirkung auf Wirtschaft und Umwelt werden von der Bevölkerung, der Politik, der Wirtschaft und in Fachkreisen sehr unterschiedlich beurteilt. Sie teilen Betroffene und Außenstehende in Befürworter und Gegner des Verfahrens und seiner Anwendung ein. Während Umweltschützer Fracking verdammen, weil in ihren Augen damit unvorhersehbare Risiken für Mensch und Natur verbunden sind, „lieben“ Industrievertreter das Fracking, denn mehr Erdgas bedeutet niedrigere Preise.

Wissenschaftlich fundierte Untersuchungen zu den Auswirkungen des Frackings auf Mensch und Umwelt sind bislang noch selten, obwohl in den USA, wo Fracking schon weit verbreitet ist, teils schwere Umweltschäden beobachtet wurden. Wissenschaftliche Untersuchungen belegen zudem, dass Fracking die Gefahr von Erdbeben erhöht (SAGENER, N. 2015).

Eine von der NGO Energy Watch Group veröffentlichte Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Vorteile, die mit in Deutschland und Europa gefördertem Schiefergas verbunden sind, in keinem guten Verhältnis stehen zu den mit dieser Förderverfahren womöglich zu erwartenden Gesundheits- und Umweltschäden.

Die strukturellen Bedingungen in Deutschland sind mit denen in den USA nicht zu vergleichen. Anders als in den USA, wo Schiefergas in oft menschenleeren Gebieten abgebaut wird, findet man Lagerstätten in Deutschland fast überall nur in relativ dicht besiedelten Gebieten. Deutschland ist generell schon viel dichter besiedelt als die USA, das Risiko für Mensch und Umwelt nahe der Fördergebiete ist allein schon daher höher (SAGENER, N. 2015).

Für die aus den USA bekannten Schadensfälle sieht der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch weniger die Durchführung der Fracking-Maßnahmen als Ursache, sondern vielmehr die nicht sachgerechte Entsorgung des Abwassers sowie unzureichend gesicherte Bohrplätze. Trotz aller geschilderten Erkenntnisse aus den USA ist die Einschätzung der spezifischen Situationen in Deutschland schwierig und verbleibt vorerst noch auf einer modellhaften Ebene (BIZER, K. & BOßMEYER, C. 2012).

Durch ein Gutachten im Auftrag der Landesregierung sollte 2012 geklärt werden, ob und unter welchen Voraussetzungen eine umweltverträgliche Gewinnung unkonventioneller Erdgasvorkommen z.B. im Land Nordrhein-Westfalen möglich sein wird (KLOSTERMANN, J. et al. 2012: 24/10). In dem Gutachten wurde dann festgehalten, dass beim Fracking wegen der eingesetzten Frack-Fluide immer noch von einem hohen Gefährdungspotenzial ausgegangen werden muss, und dass in allen untersuchten Bereichen noch erhebliche Informations- und Wissensdefizite bestehen (MINISTERIUM NRW 2013).

Ausreichend gesicherte Kenntnisse zu möglichen negativen Folgen einer Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten liegen demnach für Deutschland nur zum Teil vor. Daher wird in weiteren Forschungsvorhaben versucht vorhandene Wissenslücken zu schließen und auch zur Lösung der Frage beizutragen, ob die bestehenden gesetzlichen Regelungen ausreichen (PETERWITZ, U. 2012: 27/7).

Viele Fragen in Zusammenhang mit der Förderung von Energieträgern aus unkonventionellen Erdgasvorkommen sind noch offen. Besonders die Auswirkungen der Frack-Flüssigkeiten, die zum Aufbrechen des Gesteins oder zwecks Entsorgung tief unter der Erde in das Gestein gepresst werden, müssen weiter untersucht werden. Aber auch Fragen zu Themen wie potenzielle Erderschütterungen in Folge der Fracking-Prozesse müssen geklärt werden. Bezogen auf Deutschland geht das BGR in einer neuen in 2016 veröffentlichten Studie davon aus, dass z.B. Grundwasser weniger durch aufsteigende Frack-Fluide verunreinigt wird als durch Aktivitäten an der Erdoberfläche oder eine nicht ausreichend vorhandene „Bohrlochintegrität“. Dieses wurde auch in weiteren Studien schon berichtet (BGR –BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2016c: 11).

Erst wenn all diese Fragen im Rahmen eingehender Explorationsarbeiten (Gutachten und Stellungnahmen) geklärt sind, kann entschieden werden, ob eine unkonventionelle Erdgaslagerstätte unter technischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten auch tatsächlich nutzbar und wirtschaftlich rentabel ist, und ob beim Fracking-Verfahren die Chancen oder eher die Risiken überwiegen (GEOLOGISCHER DIENST NRW: 27).

Nachfolgend sind in Kurzform noch einmal die wichtigsten Argumente „pro“ und „kontra“ Fracking zusammengestellt:

Pro Argumente:

- Herstellen von Versorgungssicherheit einschließlich Deckung einer steigenden Energienachfrage.
- Verbesserung der Klimabilanz durch Verringerung von CO₂-Ausstoß (Schiefergas ersetzt Braun- und Steinkohle).
- Reduzierung der Importabhängigkeit von Erdgas- und Erdöl (z.B. Minderung politischer Erpressbarkeit).
- Steigerung von Arbeitsplätzen und Steuereinnahmen durch neue Industriezweige.
- Niedrigere Energiepreise für Industrie und Verbraucher.

Relativierte „Kontra“-Argumente

- Verdünnung der Chemikalien in den Frack-Fluiden so hoch, dass die Wahrscheinlichkeit von Schädigungen gering ist.
- Aufbereitung und Wiederverwendung von Fracking-Wässern zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und der Vermeidung von Umweltschäden.

- Versenkung von Abwässern (Frack-Fluiden und Lagerstättenwasser) als vertretbare Entsorgung.
- Technisch sichere Abdeckung von Bohrloch und Bohrung gegen Leckagen zwecks Vermeidung von Eindringen der Frackfluide in das Grundwasser.
- Erdbeben bleiben meist unter der Fühlbarkeitsschwelle und sind nicht mit Schäden an der Erdoberfläche verbunden.
- Fracking-Vorgang an sich wenig risikoreich. „Unfälle“ mit Gefahrenpotenzial meist aufgrund oberirdischer Ursachen durch menschliches oder technisches Versagen, das über einschlägige Regelungen für Sicherheit und Umweltverträglichkeit nach Stand der Technik zum Schutz von Mensch und Natur weitestgehend vermieden werden kann.

Kontra-Argumente:

- Hydraulic Fracturing ist mit Risiken durch die mit Chemikalien versetzten Frack-Fluide verbunden, die ggf. für Mensch und Natur toxisch sind und den Boden, das Grundwasser und damit auch für die Trinkwassergewinnung kontaminieren können. Die unkonventionellen Vorkommen liegen in Deutschland in der Regel weniger tief als konventionelle Lagerstätten. Der Abstand zum nutzbaren Grundwasser und zu grundwasserabhängigen Ökosystemen ist geringer.
- Hoher Flächenverbrauch, der z.B. im dicht besiedelten Europa problematisch ist und schnell zu industrieller Zersiedlung führt.
- Hoher Wasserverbrauch für das Fracken, was zu großen Mengen an zu entsorgendem, verschmutzten Abwassers führt mit allen damit in Zusammenhang stehenden Problemen und Risiken. Der Wasserverbrauch steht in Konkurrenz zur Landwirtschaft und birgt in wasserarmen Regionen erhebliche Gefahren.
- Trotz ausgereifter Technik und umfassender Qualitäts- und Sicherheitsmaßnahmen sind Lecks in Pipelines und bei der Entsorgung (generell „Störfälle“) nicht auszuschließen und führen ggf. zu nicht unerheblichen Risiken.
- Verletzung von Deck- und Trennschichten, die für die Sicherung des Grundwassers unerlässlich sind.
- Gefahr der Verunreinigung von Oberflächen, Untergrund und Grundwasser führenden Schichten durch Chemikalien (Auslösung durch Verpressung und die Migration von Schadstoffen).

- Mangelhafte Datenlage hinsichtlich unterirdischer Vorgänge als Folge einer größeren Anzahl von Frack-Vorgängen in einem begrenzten Raum wie z.B. auch über die Beschaffenheit des Flowbacks und der Lagerstättenwässer. Insbesondere ist zu wenig über mögliche Abbauprodukte der eingesetzten Chemikalien bekannt.
- Fehlen von Studien und genauen Analysen zu den Folgen des Verpressens der mit Chemikalien versetzten Abwässer und deren Langzeitverhalten im Boden.
- Auslösen von Erdbeben, die, auch wenn sie an der Erdoberfläche nicht spürbar sind, ggf. zu geologischen Störungen mit Folgen wie Wegsamkeiten und neuen Spannungen im Untergrund führen.
- Unkontrollierte Methangasaustritte, die über das Bohrloch oder durch Diffusion an die Erdoberfläche gelangen und bei Verbrennung zu verstärktem CO₂ in der Umgebungsluft führen.
- Belästigung durch Abgase, Lärm, erhöhtes Verkehrsaufkommen und den Bohrstellenbetrieb, die besonders im dicht besiedelten Europa die Bevölkerung beeinträchtigen und die Lebensqualität schmälern.
- Potentielle Wertminderungen von Immobilien der Bewohner im Einzugsbereich von Bohrungen.

Relativierte „Pro-“Argumente

- Kein wesentlicher Einfluss auf die Versorgungssicherheit wegen fehlender Notwendigkeit für den Einsatz des Frackings bei sinkendem Energiebedarf aus fossilen Energieträgern angesichts des vermehrten Einsatzes regenerativer Energien.
- Keine großen Erwartungen an eine Verbesserung der Klimabilanz bei vermehrtem Einsatz fossiler Energieträger (trotz Schiefergas statt Kohle), wenn aus Preis- und Kostengründen Schiefergas verbrannt wird statt in regenerative Energien zu investieren.
- Erhöhte Freisetzung von Methan, einem sehr viel stärker klimaschädlichen Gas als Kohlendioxid.
- Die große Anzahl von Bohrlöchern und Bohrvorgängen erfordert einen höheren Energieeinsatz. Damit fällt die Ökobilanz schlechter aus.
- Importabhängigkeit Deutschlands wird zwar vermindert durch Energieeinsparungen, Effizienzsteigerungen sowie die Nutzung einheimischer erneuerbarer Energien. Die letzteren können langfristig aber wesentlich größere Beiträge leisten und zudem noch die Treibhausgas-Emissionen stärker senken als der Einsatz neuer fossiler Ener-

gieträger.

Die Schiefergasförderung durch Fracking wird dafür nicht benötigt.

- Wahrscheinlich wenig Auswirkungen auf die Zahl der Arbeitsplätze und Steuereinnahmen, da ein Zuwachs in der „Fracking-Industrie“ mit einer Minderzahl in der Industrie für regenerative Energiegewinnung erkaufte wird.
- Niedrige Energiepreise verleiten dazu bei den umweltschädlichen fossilen Energieträgern zu bleiben und alle damit verbundenen Nachteile weiterhin in Kauf zu nehmen.

Der Schutz der Umwelt muss ganz klar vor dem Ziel der Energiegewinnung stehen.

Es scheint jedoch heute technisch möglich, respektive es entspricht dem Stand der Technik, das Fracking-Verfahren - speziell den Frack-Vorgang - beherrschbar zu machen und dadurch Umweltverschmutzungen weitestgehend zu vermeiden. So können laut dem Neutralen Expertenkreis beschriebene Unfälle und Störfälle bzw. ihre nachteiligen Folgen durch moderne Technik und ein umfassendes Sicherheitsmanagement deutlich „entschärft“ werden und sind somit als mehr oder weniger kontrollierbar anzusehen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 68).

Das Niederbringen von Explorations- und Förderbohrungen durch Grundwasser führende Schichten ist bei Beachtung der einschlägigen Regelungen zum Schutz des Grundwassers sicher möglich und Stand der Technik. Durch Einbringen einer zementierten Verrohrung, also einen Zementverschluss zwischen Gestein und Metallrohr über die gesamte Bohrlochlänge, wird sichergestellt, dass es keinen Kontakt zwischen Bohrloch und durchstoßenen Grundwasserleitern gibt. Sollte eine hydraulische Stimulation des Gesteins oder der Kohle durch Einsatz des Frackings erforderlich werden, sind jedoch besondere Anforderungen an die Sicherheit und Umweltverträglichkeit des Verfahrens zu stellen. Laut Wissenschaft ist Fracking beherrschbar, speziell der „Frack-Vorgang“. Die dazugehörigen weiteren Arbeitsgänge und speziell die Behandlung der beim Fracken anfallenden Abfälle dürften problematisch sein. Eine Verunreinigung von Grund- und Trinkwasser muss auf jeden Fall dauerhaft wirksam verhindert werden (PETERWITZ, U. 2012: 27/7).

Seismische Ereignisse – verursacht durch Fracking oder durch die Versenkung von Abwässern - sind grundsätzlich möglich. Durch eine geeignete Standortauswahl und durch sorgfältige Beobachtung (Monitoring) kann jedoch die Wahrscheinlichkeit fühlbarer Ereignisse auf die in Deutschland vorhandene seismische Gefährdung durch natürliche Erdbeben gesenkt werden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 48).

Wegen der noch offenen gesundheits- und umweltpolitischen Risiken haben verschiedene Länder, wie z.B. Deutschland, das Fracking bei der Förderung von unkonventionellen fossilen Energieträgern vorerst einmal gesetzlich verboten.

Ohne die potenziellen Gefährdungen für die Umwelt jedoch genau zu kennen, ist von einer Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten abzusehen. Verschiedenste vorausgehende und begleitende Untersuchungen müssen noch erfolgen und sind zwingend erforderlich. Von diesen Untersuchungen ist abhängig zu machen, wo die Aufsuchung und Gewinnung zugelassen werden kann, und in welchen Gebieten aus Gründen der Gesundheits- und Umweltvorsorge von Fracking-Aktivitäten abgesehen werden muss. (PETERWITZ, U. 2012: 27/9).

Vor einem unbedenklichen generellen Einsatz von Fracking sollten deshalb noch verschiedene Bedingungen erfüllt werden: Es sind Umweltschutzanforderungen zu definieren und vor allem dann auch einzuhalten und zu überwachen. Dazu sind noch Haftungsfragen zu klären, und außerdem ist bei den Förderabgaben, Besteuerungen und Eigentumsrechten Transparenz herzustellen. Ferner müssen sichere Schätzungen über den Umfang förderbarer Reserven vorliegen, was besonders für Deutschland von Bedeutung ist, wo wahrscheinlich nur beschränkte Ressourcen zur Verfügung stehen. Die Vorbehalte der Menschen wegen möglicher Risiken bzw. Gesundheits- und Umweltschäden sind zu berücksichtigen.

Wegen der möglichen Risiken wird Fracking hierzulande sehr kontrovers diskutiert. Die Schaffung gesetzlicher Regelungen zur Energieförderung mittel Fracking ist daher gegebenenfalls nicht einfach, sie muss aber eindeutig und nachvollziehbar sein.

Andererseits entstehen durch Fracking erhebliche Potenziale, denen sich Deutschland nicht generell verschließen sollte (Hwwi – Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut 2013: 2).

Die Arbeit eines Neutralen Expertenkreises sollte unter anderem klären: „Unter welchen Bedingungen sind Fracking und die Förderung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten mit dem Schutz von Mensch und Umwelt vereinbar? Oder sollte man ganz auf Fracking und auf die Erschließung von unkonventionellen Ressourcen verzichten?“ Allerdings gibt es bisher in Deutschland, abgesehen von vereinzelt Untersuchungen, keine konkreten Fracking-Maßnahmen in Schiefer und in Kohleflözen, bei denen man hätte messen und untersuchen können (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 20).

In naher Zukunft ist eine zusätzliche Erschließung neuer fossiler Energiequellen vor dem Hintergrund von stetig mehr werdenden regenerativen Energien eventuell gar nicht mehr nötig. Sollten trotzdem Erdgas-Vorkommen gefördert werden, und wenn dies nur mit Hilfe des Fracking-Verfahrens möglich ist, dann sollten die nachfolgend zusammengestellten Kriterien und Empfehlungen des Neutralen Expertenkreises beachtet und angewendet werden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 55):

- Ausschluss von sensiblen Gebieten d.h. von Wasserschutzgebieten, Gebieten zur Trinkwassergewinnung und Gebieten mit tektonisch kritisch gespannten Störungen im Untergrund.
- Der Einsatz wassergefährdender und gesundheitsgefährdender Substanzen in der Frack-Flüssigkeit ist zu vermeiden. Die für das Fracking eingesetzten Chemikalien sollten daher zwecks geringerer Gefährdung soweit wie möglich vermindert und durch umweltverträglichere Stoffe ersetzt werden.
Ist das nicht möglich, sind die eingesetzten Chemikalien nach Art und Menge offenzulegen und Notfallpläne aufzustellen.
- Ausreichende Kenntnisse des geologischen Untergrundes sind eine Voraussetzung für die Erschließung der tieferliegenden Rohstoffe. Entsprechende Wissenslücken und Defizite müssen vermindert werden. Anstrengungen für seismische Messkampagnen, tiefe Bohrungen und Pilotbetriebe sind notwendig.
- Im Vorfeld sind intensive Erkundungsarbeiten unumgänglich. Nur so können Risiko-standorte und –gebiete ausgeschlossen werden. Für einen einzelnen Bohrplatz der Demonstrationsvorhaben sollte eine standortbezogene Risikoanalyse durchgeführt werden. Hier muss auch die Frage des Mindestabstandes von Siedlungsflächen und anderen Schutzobjekten geklärt werden.
- Prüfung eines gesetzlichen Rahmens, der eine umweltschonende volkswirtschaftlich sinnvolle, nachhaltige und gefahrlose Förderung ermöglicht und dabei Sicherheit für Mensch und Umwelt gewährleistet (→ z.B. Umweltverträglichkeitsprüfung für jedes Projekt). Ein gesetzgeberisches Instrumentarium für die sachgerechte Beurteilung und Bewilligung von Fracking-Vorhaben sollte vorliegen.
- Zur Prüfung und intensiven Überwachung der Gasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten sind bei den zuständigen Landesbehörden Strukturen und Standards zu schaffen.
- Transparenz → Umweltverträglichkeitsprüfungen sind obligatorisch.

- Der Flowback ist in Abhängigkeit seiner weiteren Verwendung nach dem Stand der Technik zu behandeln, wiederzuverwerten und - wenn nicht anders möglich - umwelt-sicher zu entsorgen. Dabei sollte auf eine Verpressung der Abwässer wegen fehlender Erkenntnisse über die damit verbundenen Risiken in tiefere Gesteinsschichten verzichtet werden.
- Ängste über eine Verschmutzung des Grundwassers, einer unserer Lebensgrundlagen, sowie die Erzeugung von Erdbeben müssen ernst genommen werden. Gut verständliche Informationen und transparente Kommunikation sind notwendig. Beteiligung der Öffentlichkeit sicherstellen. Ohne umfassende Aufklärung der Bevölkerung, insbesondere der direkt Betroffenen, wird die Nutzung lokaler Ressourcen schwierig sein. Die Interessen der Betroffenen vor Ort sind zu berücksichtigen.
- Bei den Einzelvorhaben mit Fracking ist angesichts der möglichen Auswirkungen eine Pflicht zur Vorprüfung im Einzelfall wenn nicht sogar zur vollumfänglichen Umweltverträglichkeitsprüfung gegeben.
- In Gebieten, die der Trinkwassergewinnung dienen, sind Maßnahmen mit Fracking derzeit nicht zu verantworten und aus Sicht der Trinkwasserversorgung und im Sinne des Gewässerschutzes konsequent abzulehnen. Wenn je ein mineralischer Rohstoff knapp werden und nicht ersetzt werden könnte, so ist es sauberes Wasser in ausreichender Menge.
- Bohrungen oder auch Verfahren bei der Kohlenwasserstoffförderung dürfen die Dichtheit von Deckschichten oder von im Untergrund vorhandenen Trennschichten nicht verletzen,

Angesichts der vielen noch offenen Fragen und Kenntnislücken sollte zu deren Schließung vor einem flächendeckenden Einsatz der Fracking-Methode zunächst eine Herangehensweise in vorsichtigen Schritten erfolgen. Erstens die sorgfältige Erkundung von Lagerstätten und zweitens der Betrieb einzelner Demonstrationsvorhaben, die sorgfältig erprobt und überwacht werden müssen (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 75).

Für eine allgemeine Bewertung der Fracking-Methode fehlen derzeit noch wesentliche Kenntnisse. So ist das Systemverständnis über den Untergrund der Erde noch lückenhaft. Aufgrund von Überwachungsmaßnahmen wurden Erkenntnisse über die Wirkung und mögliche Kontrollierbarkeit des Scherverhaltens des Gesteins in großer Tiefe gewonnen (EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK 2014: 7). Es wird daher empfohlen bei Voruntersuchungen (bzw. einem Pilotprojekt) die Kenntnisgrundlage zur Bewertung durch

ein geeignetes und begleitendes Monitoring zu verbessern, indem man ausreichend Daten zur Beurteilung erhebt.

Ein wichtiger Bestandteil der rechtlichen Anforderungen sollte ein behördlich kontrolliertes Monitoring jedes Fracking-Projektes sein. Die Überwachung des laufenden Betriebs durch Behörden und Betreiber ist daher von zentraler Bedeutung:

- Prüfung von Gefährdungen im geologischen System (Störungen, Verwerfungen).
- Grundwasser Monitoring vor, während und nach der Erschließung der Lagerstätten.
- Gas-Monitoring.
- Seismisches Monitoring, begleitend beim Fracken und Verpressen.
- Überwachung der Dichtheit von Bohrlöchern sowie Ver- und Entsorgungsleitungen.
- Überwachung, Bilanzierung und Dokumentation sämtlicher Wasser- und Stoffströme sowie der eingesetzten Chemikalien.
- Überwachung der ordnungsgemäßen Entsorgung aller bei Bohrungen anfallenden Abfälle und Abwässer.

(NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 58).

Schiefergasgewinnung mittels Fracking aus deutschen Lagerstätten wird kurzfristig keinen maßgeblichen Einfluss auf die Brennstoffpreise, die Versorgungssicherheit und die Importabhängigkeit Deutschlands haben. Hauptgrund hierfür ist, dass diese Quellen technisch nicht sofort, sondern nur langsam und zeitlich versetzt erschlossen werden können. Selbst mittel- und langfristig ist der mögliche Beitrag insbesondere aufgrund der im weltweiten Vergleich begrenzten Ressourcen als eher gering anzusehen. Dagegen können Energieeinsparungen, Effizienzsteigerung sowie die verstärkte Nutzung heimischer erneuerbarer Energien, die Importabhängigkeit viel eher und dauerhaft senken (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

Deshalb, und auch wegen der teilweise noch ungeklärten Umweltrisiken, empfiehlt das Umweltbundesamt die weitere Erprobung des Frackings in Deutschland in einem stufenweisen Vorgehen. Zunächst müssen dazu die rechtlichen Rahmenbedingungen zum Schutz der Umwelt klar formuliert werden. Auf dieser Grundlage können dann die zahlreichen bisher nur theoretisch betrachteten Vorsorgemaßnahmen auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft werden. Erprobungsmaßnahmen sollten dann an geeigneten Demonstrationsprojekten wissenschaftlich begleitet werden. „Nur so kann die technische Machbarkeit einer (umwelt-)sicheren und nachhaltigen Gasförderung mittels Fracking samt aller Chancen und Risiken fachlich fundiert bewertet werden“ (UMWELTBUNDESAMT 2014a: 4).

Für ein grundsätzliches Verbot sehen Gutachter sowie auch der „Neutrale Expertenkreis“ derzeit keine sachliche Begründung (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 75) (UMWELTBUNDESAMT 2014b: 22). Ihrer Meinung nach ist die Fracking-Methode kontrollierbar und beherrschbar, sofern ihre Empfehlungen, Kriterien und Vorgehensweisen berücksichtigt werden (NEUTRALER EXPERTENKREIS 2012: 57).

Die Zeit wird zeigen, wo die Debatte des Fürs und Widers von Fracking letztlich hinführt. Auf jeden Fall müssen wir uns zwischenzeitlich Gedanken darüber machen, ob die zum Teil nur kurzfristigen wirtschaftlichen Vorteile am Ende die möglichen langfristigen negativen Folgen für unsere Gesundheit und Umwelt wert sind (TRADIMO 2013).

Die bekannten Kohlenwasserstoffreserven lassen uns noch genügend Zeit, um die Auswirkungen der Erdgas- und Erdölgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten zu ermitteln und um umweltgerechte Methoden zur Aufsuchung und Gewinnung dieser Reserven zu entwickeln (PETERWITZ, U. 2012: 27/9).

Ein Abbau der Erdgas- und Erdöllagerstätten durch Fracking sollte zukünftig – wenn überhaupt – nur unter strengsten Auflagen erfolgen, und zwar erst dann, wenn alle Gefahrenpotenziale geklärt sind. Durch Fracking darf zukünftig keine Gefahr für die Menschheit und Umwelt ausgehen. Der Schutz unserer Umwelt und der Gesundheit der Menschen ist das wichtigste Gut.

Literaturverzeichnis

AFP – AGENCE FRANCE-PRESS (2015): Bündnis gegen Fracking. In: Erlanger Nachrichten – Wirtschaft. (26.09.2015)

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN SCHWEIZ (2013): Eine Technik im Fokus: Fracking. Potenziale, Chancen und Risiken. Langfassung. 16 Seiten.
<http://www.naturwissenschaften.ch/service/publications/76344-eine-technik-im-fokus-fracking-langfassung-> (28.01.2017)

BARWANIETZ, U. & KÖLBEL, R. (2015): Erdbebenursache Mensch. In: SWR2 Wissen (Online-Ausgabe)
<http://www.swr.de/swr2/programm/sendungen/wissen/erdbebenursache-mensch/-/id=660374/did=16181802/nid=660374/4sakrn/> (16.02.2017)

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2012a):
Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland. Fachbereich B1.3 – „Geologie der Energierohstoffe, Polargeologie“. Geozentrum Hannover. 57 Seiten. 31.05.2012
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/BGR_Schiefergaspotenzial_in_Deutschland_2012.pdf?__blob=publicationFile (14.12.2016)

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2012b):
Stellungnahme der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zum Gutachten des Umweltbundesamtes (UBA). „Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen. August 2012. Hannover. 15 Seiten.
<http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/BGR-Stellungnahme-UBA2012.html> (19.11.2016)

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2016c):
Schieferöl und Schiefergas in Deutschland. Potenziale und Umweltaspekte. Autor: Ladage, S. Januar 2016. Hannover. 237 Seiten.
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Abschlussbericht_13MB_Schieferoelgaspotenzial_Deutschland_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (04.02.2017)

BIZER, K. & BOBMEYER, C. (2012): Regionalökonomische Auswirkungen der unkonventionellen Erdgasförderung (Hydraulic Fracturing). Vorstudie im Rahmen des Informations- und Dialogprozesses der ExxonMobil über die Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung. In: Sofia-Studien zur Institutionenanalyse Nr. 12-2. Göttingen. 115 Seiten.
<http://dialog-erdgasundfrac.de/sites/dialog-erdgasundfrac.de/files/Vorstudie-RegionaloekonomischeAuswirkungen.pdf> (13.05.2016)

BÖRSE ONLINE (2017): CO₂ EUROPEAN EMISSION ALLOWANCES.
<http://www.boerse-online.de/rohstoffe/co2-emissionsrechte> (17.02.2017)

BUHMANN, H. (2014): FRACKING - Suche nach Erdgas betrifft auch Eutin. In: Ostholsteiner Anzeiger. 16.08.2014

[http://www.shz.de/lokales/ostholsteiner-anzeiger/suche-nach-erdgas-betrifft-auch-
eutin-id7421491.html](http://www.shz.de/lokales/ostholsteiner-anzeiger/suche-nach-erdgas-betrifft-auch-
eutin-id7421491.html) (05.07.2016)

BUNDESMINISTERIUM (2014): Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenkommission – Radiologische Betrachtungen zu unkonventioneller Förderung von Erdgas (Hydraulic Fracturing – Fracking) – vom 17. Juli 2014. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Bonn. 9 Seiten.
https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/wexsservlet?page.navid=to_bookmark_official&bookmark_id=ZeozzS4UFEfRtHI6RVf (13.12.2016)

BUNDESVERBAND GEOTHERMIE E.V.: Wissenswelt. Lexikon der Geothermie.
<http://www.geothermie.de/wissenswelt/glossar-lexikon/f/fracfluid.html>
(28.11.2016)

BÜRGERINITIATIVE GEGEN FRACKING: Frack-loses Gasbohren im LK Rotenburg/Wümme
<http://frack-loses-gasbohren.de/fracking/ungeklarte-entsorgung/> (17.01.2017)

CARSTENS, P. (2015): Erdgasförderung - Fracking: Das sollten Sie wissen. GEO.
<http://www.geo.de/natur/oekologie/2906-rtkl-erdgasfoerderung-fracking-das-sollten-sie-wissen> (06.12.2016)

DEYMANN, J. (2014): Unkonventionelles Erdgas: Auswirkungen auf den globalen Erdgasmarkt. Hamburg. 143 Seiten.
<https://books.google.de/books?id=WKVPAwAAQBAJ&pg=PA89&lpg=PA89&dq=produktionskosten+unkonventionelles+gas&source=bl&ots=ZxkuGCrq1k&sig=Lk5LqA1OzOSuhbvba2AXpIg8EpA&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwiy89-8ypzSAhXGORQKHUXED6kQ6AEITjAH#v=onepage&q=produktionskosten%20unkonventionelles%20gas&f=false> 16.02.2017

DIE GRÜNE BILDUNGSWERKSTATT: Fracking – auch ein ökonomisches Desaster.
In: Die Grüne Bildungswerkstatt. Kärnten.
<https://www.gbw.at/oesterreich/artikelansicht/beitrag/fracking-auch-ein-oekonomisches-desaster/> (26.01.2017)

EIA – U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (2017): Independent Statistics & Analysis. Natural gas prices in 2016 were the lowest in nearly 20 years.
Autor: Tsai, K. & Upchurch, J. 13.01.2017
<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=29552> (04.02.2017)

EIDGENÖSSISCHE GEOLOGISCHE FACHKOMMISSION EGK (2014): Risiken, Potenziale und Chancen von Hydraulic Fracturing (Fracking). Beurteilung und Handlungsempfehlungen der Eidgenössischen Geologischen Fachkommission EGK. 8 Seiten.
24.11.2014
<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/37634.pdf>
(29.01.2017)

EKN (2014): Epidemiologisches Krebsregister Niedersachsen (EKN): *Auswertung des EKN zur Häufigkeit von Krebsneuerkrankungen in der Samtgemeinde Bothel*. Registrierstelle des EKN. Oldenburg 2014. (Juni 2015, aktualisiert 11.04.2016)
<http://www.krebsregister-niedersachsen.de/index.php/sonderauswertungen/36-daten/sonderauswertungen/95-samtgemeindebothel> (06.06.2017)

EKN (2015): Epidemiologisches Krebsregister Niedersachsen (EKN): *Auswertung des EKN zur Häufigkeit von Krebsneuerkrankungen in den Nachbargemeinden der Samtgemeinde Bothel*. Registrierstelle des EKN. Oldenburg 2015. (2016, aktualisiert 27.10.2016)

<http://www.krebsregister-niedersachsen.de/index.php/sonderauswertungen/36-daten/sonderauswertungen/111-nachbargemeinden-der-samtgemeinde-bothel-landkreise-rotenburg-verden-heidekreis> (06.06.2017)

ERDÖL UND ERDGAS IN DEUTSCHLAND (a): Hydraulic Fracturing („Fracking“).

In: Erdöl und Erdgas in Deutschland.

<http://www.erdoel-erdgas-deutschland.de/hydraulic-fracturing/> (20.01.2017)

ERDÖL UND ERDGAS IN DEUTSCHLAND (b): Hydraulic Fracturing in Deutschland - 2 Jahre Stillstand. In: Erdöl und Erdgas in Deutschland.

<http://www.erdoel-erdgas-deutschland.de/2013/05/30/hydraulic-fracturing-in-deutschland-2-jahre-stillstand/> (12.01.2017)

EXXONMOBIL: Erdgas aus Deutschland. Fracking.

<http://www.erdgas-aus-deutschland.de/> (21.10.2016)

FOCUS (2013): Einfach auf den Punkt gebracht. So funktioniert Fracking. In: Focus-Online. 27.06.2013

http://www.focus.de/wissen/videos/einfach-auf-den-punkt-gebracht-so-funktioniert-fracking_vid_39755.html (06.06.2016)

FOCUS (2014): Focus MAGAZIN. GIBT ES SAUBERES FRACKING? - DAS IST DIE NEUE FLÜSSIGKEIT. IN: FOCUS-Online.

http://www.focus.de/auto/neuheiten/gibt-es-sauberes-fracking-na-dann-prost_id_4179960.html (01.10.2016)

GAMON, J. (2013): Front gegen das Fracking wächst. In: WorldTimes Online Magazin. 21.02.2013

<http://worldtimes-online.com/imfocus/43-front-gegen-das-fracking-w%C3%A4chst.html> (10.02.2017)

GAS-FRACKING.DE: Fracking in Deutschland und Schiefergas in Polen (Erdgasförderung so wie Erdgasreserven). Herausgeber: Kleinert, A. In: Gas-Fracking.de.

http://www.gas-fracking.de/fracking_in_deutschland.html (03.01.2017)

GEOLOGISCHER DIENST NRW: Der Geologische Dienst NRW -Landesbetrieb- informiert: Unkonventionelle Erdgasvorkommen in Nordrhein-Westfalen. 32 Seiten.

http://www.gd.nrw.de/zip/ro_fragen_antworten.pdf (01.11.2016)

GEOLOGY.COM: Bakken Formation: News, Maps, Videos and Information Sources.

In: Geology.com – Geoscience News and Information.

<http://geology.com/articles/bakken-formation.shtml> (12.01.2017)

GOETZ, D. (2013): Fracking: Technik, Umweltbelastung und Wirtschaftlichkeit.

In: Bürgerinitiative FrackingFreies Hamburg.

<http://bi-ffh.de/fracking-technik-umweltbelastung-und-wirtschaftlichkeit/>
(17.09.2016)

HÄNNI, A. (2016): ASPO: Eine kurze Geschichte des Frackings – Von explodierenden Torpedos ins Gelobte Land. In: ee-news.ch – Die Newsplattform für erneuerbare Energien.

<http://www.ee-news.ch/de/article/32481/aspo-eine-kurze-geschichte-des-frackings-von-explodierenden-torpedos-ins-gelobte-land> (03.01.2017)

HEINRITZL, J. (2013): Kurz erklärt – Was ist Fracking? In: Focus-Money-Online.

http://www.focus.de/finanzen/news/kurz-erklart-was-ist-fracking_aid_914220.html (20.12.2016)

HERMINGHAUS, H. (2012): CO₂-Emissionen in verschiedenen Lebensbereichen - Anteil der Treibhausgase am Klimawandel. 09.03.2012

<http://www.co2-emissionen-vergleichen.de/Klimabilanz/Treibhausgase/Treibhausgase-CO2-Methan.html>
(12.02.2017)

HOWARTH, R.W. (2011): Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. In: Springer Link 12.April 2011

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0061-5> (10.02.2017)

HWWI – HAMBURGISCHES WELTWIRTSCHAFTSINSTITUT (2013): Fracking – Chancen und Risiken einer Zukunftstechnologie. In: Update Wissens-Service des HWWI. Ausgabe 07/2013. 4 Seiten.

http://www.hwwi.org/uploads/tx_wilpubdb/HWWI-Update_07_2013.pdf
(03.09.2016)

JIANG, M. ET. AL. (2011): Life cycle greenhouse gas emissions of Marcellus shale gas.

In: Environmental Research Letters. (05.08.2011)

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/6/3/034014/meta;jsessionid=616DE3505BBEA83754920B98CC0A3127.ip-10-40-1-105> (06.01.2017)

JUNGE, B. (2014): Der Fracking-Boom ist schon wieder vorbei. In: Der Tagesspiegel – Wirtschaft. (26.01.2014).

<http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/der-fracking-boom-ist-schon-wieder-vorbei/9384674.html> (05.02.2017)

KEEPING, J. (2015): Fracking im Ölstaat: Die Erde wehrt sich. In: Erlanger Nachrichten – Weltspiegel. (29.09.2015)

KLOSTERMANN, J. et al. (2012): Unkonventionelles Erdgas im Münsterland.

In: Pinnekamp, J. (Hrsg.) Gewässerschutz – Wasser – Abwasser. 45. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 14.03.-16.03.2012 in Essen. Aachen. 24/1 bis 24/11.

KÜFFNER, G. (2014): Fracking. - Die Angst vor den tiefen Löchern. In: Frankfurter Allgemeine. 10.05.2014

<http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/umwelt-technik/fracking-die-angst-vor-den-tiefen-loechern-12923097.html> (23.09.2016)

KULS, N. (2014): New York verbietet Fracking – Gefahr für Mensch und Umwelt.
In: Frankfurter Allgemeine – Wirtschaft 18.12.2014
<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/agenda/new-york-verbietet-fracking-wegen-gesundheitsrisiken-13328565.html> (17.01.2017)

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE: Tabelle der Fracking-Maßnahmen in Erdgasbohrungen Niedersachsen seit 1961. Geozentrum Hannover. 4 Seiten.
http://bohrplatz.gegen-gasbohren.org/wp-content/uploads/2015/03/20130228_Liste_der_Fracs_Nds_ab_1961.pdf
(17.11.2016)

MCGLADE, CH. & ETKINS, P. (2015): The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2° C. In: Nature – International weekly journal of science. Nature 517, page 187-190 (08 January 2015)
<http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7533/full/nature14016.html>
(15.02.2017)

MEIRITZ, A. & GATHMANN, F. (2016): Ein bisschen Fracken – Koalitionseinigung.
In: Spiegel-Online. Politik (22.06.2016)
<http://www.spiegel.de/politik/deutschland/fracking-was-steht-im-kompromiss-der-grossen-koalition-a-1099146.html> (26.01.2017)

MIERKE, M. & SCHNETTLER, D. (2013): Amerikaner im Ölrusch. In: Erlanger Nachrichten – Wirtschaft. (27.12.2013)

MINISTERIUM NRW (2012): Fracking in unkonventionellen Erdgaslagerstätten in Nordrhein-Westfalen. 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.
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Stand: 06.09.2012)
<https://www.umwelt.nrw.de/umweltschutz-umweltwirtschaft/umwelt-und-wasser/grundwasser/grundwasserschutz/hydraulic-fracturing-fracking/>
(09.02.2017)

MINISTERIUM NIEDERSACHSEN (2012): Fracking auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg/Wümme – Lagerstättenwasserschäden aufgrund von Permeation?
Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. (11.05.2012)
<http://www.mw.niedersachsen.de/aktuelles/presseinformationen/fracking-auf-dem-gebiet-des-landkreises-rotenburgwuemme---lagerstaettenwasserschaeden-aufgrund-von-permeation-105766.html> (06.02.2017)

MITTERMEIER MITTERMEIER, A. (2015): Die 10 größten Ölproduzenten – USA dank Fracking in Front.
In: GeVestor, Unternehmensbereich der Verlag für die Deutsche Wirtschaft AG 14.12.2015 <http://www.gevestor.de/details/die-10-groessten-oelproduzenten-usa-dank-fracking-in-front-757651.html> (27.01.2017)

- NEUTRALER EXPERTENKREIS (2012):** Risikostudie Fracking. Übersichtsfassung der Studie. „Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Quellen“. Autoren: Ewen, C., Borchardt, D., Richter, S., Hammerbacher, R.. 75 Seiten.
http://dialog-erdgasundfrac.de/sites/dialog-erdgasundfrac.de/files/Ex_Risikostudie_Fracking_120518_webansicht.pdf
 (13.12.2016)
- NACHTWEH, C. & STEINER, S. (2016):** Öl-Markt außer Kontrolle. In: Panorama 01/2016 - Anleger.
- OBERHUBER, N. (2015):** Der hohe Preis des billigen Öls. In: Zeit Online - Wirtschaft. 14.08.2015
<http://www.zeit.de/wirtschaft/2015-08/oelpreis-preissturz-china-konjunktur-erdoel-foerderlaender-gewinner-verlierer-venezuela-iran-russland-usa-saudi-arabien>
 (11.02.2017)
- PETERWITZ, U. (2012):** Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Bewertung und Folgerung aus Sicht der Trinkwasserversorgung. In: Pinnekamp, J. (Hrsg.). Gewässerschutz – Wasser – Abwasser. 45. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 14.03.-16.03.2012 in Essen. Aachen. S. 27/1 bis 27/10.
- RADEMACHER, H. (2015):** Erdbeben durch Fracking? - Abwasser lässt die Erde zittern. In: FAZ Wissen. 14.08.2015
<http://www.faz.net/aktuell/wissen/klima/erdbeben-durch-fracking-abwasser-laesst-die-erde-zittern-13743814.html> (14.02.2017)
- RETHFELD, R. (2015):** Öl-Boom / Bust mit Folgen. In: Wellenreiter-Kolumne vom 22.12.2015. <https://www.wellenreiter-invest.de/wochenendkolumnen/oel-boom-bust-mit-folgen> (12.1.2017)
- RIES, G. (2015):** Methan im Trinkwasser und Fracking – Besteht ein Zusammenhang? In: scilogs.spektrum.de (31.03.2015)
<http://scilogs.spektrum.de/mente-et-malleo/methan-trinkwasser-fracking-besteht-zusammenhang/> 12.02.2017
- SAGENER, N. (2015):** Studie zu Fracking in Europa: Unrentabel und gefährlich. In: EurActiv.de <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/studie-zu-fracking-in-europa-unrentabel-und-gefaehrlich/> (24.01.2017)
- SAHAGUN, L. (2014):** U.S. officials cut estimate of recoverable Monterey Shale oil by 96%. In: Los Angeles Times 20.05.2014
<http://www.latimes.com/business/la-fi-oil-20140521-story.html> (14.02.2017)
- SCHATTENBLICK (2014):** Ressourcen/143: Hoher Wasserverbrauch bei Förderung von Schiefergas (SB). Schiefergasförderung in den USA – wachsender Konkurrenzdruck um knappe Ressource Wasser. In: Schattenblick – eine elektronische Zeitung MA-Verlag. Stelle-Wittenwurth.
<http://www.schattenblick.de/infopool/umwelt/redakt/umre-143.html> (02.02.2017)

- SCHULTZ, S. (2010):** Riskante Gasförderung – Feuer aus dem Wasserhahn. In: Spiegel-Online – Wirtschaft. 17.08.2010
<http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/riskante-gasfoerderung-feuer-aus-dem-wasserhahn-a-711107.html> (10.01.2017)
- SCINEXX.DE. - DAS WISSENSMAGAZIN (2014):** Fracking: Wo treten die Luftschadstoffe aus? In: Karlsruher Institut für Technologie. 27.11.2014 – NPO
<http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-18298-2014-11-27.html> (11.10.2016)
- SEEGER, D. (2014):** US-Ministerium erlaubt sechsten LNG-Export In: bizz energy - Das Wirtschaftsmagazin für die Energiezukunft.
http://bizzenergytoday.com/us_ministerium_erlaubt_sechsten_lng_export
 (11.02.2017)
- SPIEGEL ONLINE (2016):** Öl- und Gasförderung lösen immer mehr Erdbeben aus. In Spiegel Online – Wissenschaft. 29.03.2016
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/erdbeben-in-den-usa-durch-abwasser-beim-fracking-a-1084480.html> (15.02.2017)
- STEINER, E. (2015):** Der gesunde Absturz der Fracker. In: Die Presse. 21.01.2015
<http://diepresse.com/home/wirtschaft/energie/4644073/> (11.02.2017)
- TAGES-ANZEIGER (2013):** Fracking treibt Gase ins Trinkwasser. 25.06.2013
<http://www.tagesanzeiger.ch/wissen/technik/Fracking-treibt-Gase-ins-Trinkwasser/story/26125838> (31.10.2016)
- THE ECONOMIST (2016):** The oil conundrum - Oil and the economy - Plunging prices have neither halted oil production nor stimulated a surge in global growth 23.01.2016
<http://www.economist.com/news/briefing/21688919-plunging-prices-have-neither-halted-oil-production-nor-stimulated-surge-global-growth> (14.02.2017)
- TRADIMO (2013):** Fracking: Müssen wir uns zwischen globaler Wirtschaft und Umwelt entscheiden.
http://de.tradimo.com/news/fracking-als-alternative-energiequelle_116369/
 (25.09.2016)
- UMWELTBUNDESAMT (2014a):** Fracking zur Schiefergasförderung. Eine energie- und umweltfachliche Einschätzung. Fachgebiet II 2.1 – Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden. Autoren: Bertram, A.; Böttcher, C.; Iyimen-Schwarz, S.; Kirschbaum, B.; Osiek, D.; Purr, K.; Rechenberg, J., Dessau-Roßlau. 11 Seiten.
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fracking-zur-schiefergasfoerderung>
 (22.06.2016)
- UMWELTBUNDESAMT (2014b):** Fracking – Chancen und Risiken. Für Mensch & Umwelt. Fortbildungsveranstaltung für den Gesundheitsdienst 2014. Autor: Kirschbaum, B. Fachgebiet II 2.1 / Grundsatzangelegenheiten Wasser und Boden. 25 Seiten.
<http://www.bfr.bund.de/cm/343/fracking-chancen-und-risiken.pdf> (03.08.2016)
- UMWELTBUNDESAMT (2014c):** Bei der Geothermie spricht man eher von hydraulischer Stimulation, nicht von Fracking. Warum? Service. UBA Fragen.

<http://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/bei-der-geothermie-spricht-man-eher-von> (13.12.2016)

UMWELTBUNDESAMT (2014d): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten. Autor: Dannwolf, U. Heckelsmüller. A. Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser & Boden. 634 Seiten.

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-2014-umweltauswirkungen-von-fracking-bei> (15.12.2016)

WEBEL, S. (2013): Fracking. Eine Fördermethode verändert den globalen Energiemarkt. Siemens Themenpapier. 5 Seiten. (17.05.2016)

WINTERHAGEN, J. (2012): Energieversorger geben Gas. Das Energie-Puzzle / Boom der Gaskraftwerke. In: Pictures of the Future – Die Zeitschrift für Forschung und Innovation / Herbst 2012 – Siemens. Seite 17-19.

<https://www.siemens.com/content/dam/internet/siemens.../pof-herbst-2012.pdf> (26.06.2016)

ZENTRUM FÜR EUROPÄISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (ZEW) MANNHEIM (2012): Traum oder Albtraum? Aussichten für die Förderung unkonventioneller Gase in Europa. In: ZEW-News (Sonderteil). Januar/Februar 2013 (PDF).

<http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/zn/schwerpunkte/energiemarkt/Energiemarkt0213.pdf> (02.02.2017)

Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit wahrheitsgemäß, dass ich

- die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe;
- außer den im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen keine weiteren benutzt habe und alle Zitate, die aus dem Literaturverzeichnis ganz oder in Teilen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht und einzeln durch die Angabe des Urhebers und des Erscheinungsjahres nachgewiesen habe;
- alle Personen und Stellen, die mir bei der Durchführung und Erstellung der Arbeit geholfen haben, genannt habe;
- die vorliegende Arbeit noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegt habe.

Erlangen, den

Christian Hülsmann