

GEOFOKUS



Schiefergas – Potenzial in Deutschland

Roberto Pierau, Stefan Ladage, Dieter Franke, Harald Andruleit, Ulf Rogalla*

Einleitung

Schiefergas (engl. Shale Gas) wird weltweit als bedeutende neue Erdgasressource angesehen. Auslöser hierfür war die wirtschaftliche Erschließung zahlreicher Schiefergas-Vorkommen in Nordamerika. Mittelfristig werden die USA deswegen ihren Erdgasbedarf voraussichtlich aus eigenen Quellen decken können. Deutschland hingegen versorgt sich derzeit zu über 80 % aus Importen mit Erdgas. Aufgrund der fortschreitenden Erschöpfung der konventionellen heimischen Erdgas-Lagerstätten kann mit einem weiteren Anstieg der Erdgasimporte gerechnet werden. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) untersucht derzeit im Projekt „NiKo“ (Nicht-konventionelle Kohlenwasserstoffe) das heimische Nutzungspotenzial von Erdgas aus Tongesteinen. Neben den ersten Ergebnissen der Ressourcenabschätzung für Deutschland werden im vorliegenden Beitrag mögliche Schiefergasvorkommen in anderen europäischen Sedimentbecken dargestellt sowie kurz auf das Fracking-Verfahren und mögliche Umweltauswirkungen eingegangen.

Überblick über nicht-konventionelle Kohlenwasserstoffe

Bei Kohlenwasserstoffen (Erdöl & Erdgas) ist eine Unterscheidung nach konventionellen und nicht-konventionellen Vorkommen üblich (Abb. 1). Nicht-konventionelles Erdöl ist nicht einheitlich definiert. Nach BGR-Definition handelt es sich um Kohlenwasserstoffe, die nicht mit konventionellen Methoden gefördert werden können, sondern aufwändigerer Technik bedürfen, um sie zu gewinnen. In der Lagerstätte sind sie nur bedingt oder nicht fließfähig mit einem spezifischen Gewicht über 1 g pro cm³ (Schwerstöl, Bitumen) oder liegen als Leichtöl vor, das auf Grund der Dichtheit des Speichergesteins nicht fließfähig ist (Schieferöl, Erdöl in dichten Gesteinen). Im Fall von Ölschiefer liegt

Erdöl erst in einem Vorstadium als Kerogen vor. Beim nicht-konventionellen Erdgas ist die Definition klarer und bezieht sich auf den Typ des Vorkommens bzw. der Lagerstätte und wird daher auch in korrekter Weise als Erdgas aus nicht-konventionellen Vorkommen bezeichnet. Es strömt einer Förderbohrung nicht ohne weitere technische Maßnahmen (Fracking-Verfahren) in ausreichender Menge zu, weil es entweder nicht in freier Gasphase im Gestein vorkommt oder das Speichergestein nicht ausreichend durchlässig ist. Beim Einsatz des Fracking-Verfahrens wird unter hohem Druck eine Flüssigkeit durch das Bohrloch über Perforationen im Bohrstrang in die Zielformation gepresst. Dabei werden künstliche Risse in der Zielformation erzeugt, die als Wegsamkeiten für den Zustrom von Gas oder Öl zum Bohrloch dienen. Nach Definition der BGR kann man bei nicht-konventionellem Erdgas unterscheiden zwischen Schiefergas, Tight Gas und Kohleflözgas, die bereits zur Erdgasproduktion genutzt werden sowie Aquifergas und Erdgas aus Gashydrat, die bislang nicht wirtschaftlich gewonnen werden können (Abb. 2).

Schiefergas ist natürlich vorkommendes Erdgas in dichten Tongesteinen und unterscheidet sich in seiner Zusammensetzung nicht vom Gas aus konventionellen Vorkommen. Tongesteine entstehen durch die Ablagerung von feinkörnigen Mineralkomponenten in Gewässern mit geringer Strömung (z.B. in Meeren und tiefen Seen). Unter bestimmten Bedingungen, wie etwa massiven Algenblüten, können in diesen Ablagerungen auch größere Mengen an organischem Material eingebettet werden. Durch die Absenkung über geologische Zeiträume gelangen Tongesteine in Tiefenbereiche mit erhöhten Temperaturen, wodurch die organische Substanz so verändert wird, dass sich daraus Erdöl und Erdgas abspalten. Solche Tongesteine werden als Muttergesteine für Erdöl und Erdgas bezeichnet. Aus dem enthaltenen organischen Material

Abb. 1: Schematische Übersicht von konventionellen und nicht-konventionellen Erdgas-Vorkommen

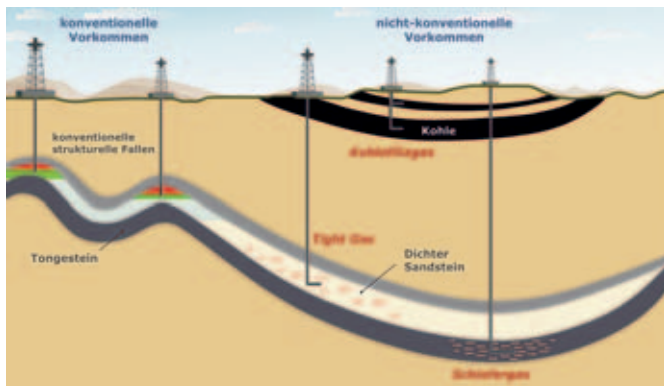
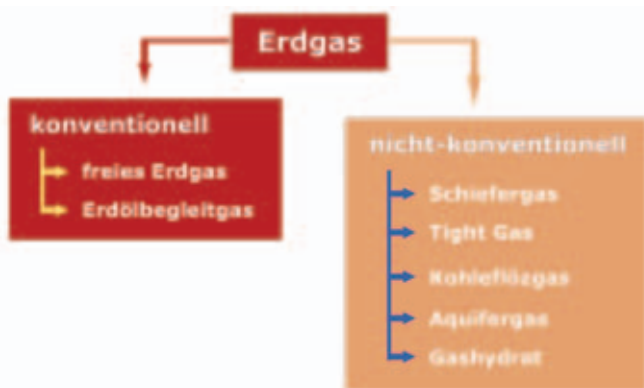


Abb. 2: Gebräuchliche Einteilung für konventionelle und nicht-konventionelle Erdgasvorkommen



bilden sich mit der Temperaturerhöhung die verschiedenen Kohlenwasserstoffe, zunächst überwiegend Erdöl. Mit zunehmender Subsidenz kann bereits entstandenes Erdöl zu Erdgas umgebildet werden. Das Endprodukt der chemischen Umwandlung des organischen Materials ist u.a. Methan, das bis zu relativ hohen Temperaturen stabil ist. Anteile der gebildeten Kohlenwasserstoffe können aus diesen Muttergesteinen entweichen und konventionelle Erdöl- und Erdgaslagerstätten bilden, jedoch verbleiben immer noch große Mengen im Muttergestein, die als Schiefergas bezeichnet werden.

Erdgasvorkommen aus gering durchlässigen Sand- und Karbonatgesteinen werden als Tight Gas bezeichnet. Tight Gas stellt einen Sonderfall dar. Es ist als nicht-konventionell definiert, wird

aber mittlerweile vielfach nur noch gemeinsam mit dem konventionellen Erdgas ausgewiesen. Kohleflözgas (Coalbed Methane – CBM) ist Erdgas, das in Kohleflözen adsorbiert ist bzw. in Mikroklüften und -poren vorhanden ist. Als Aquifergas wird im tiefen salinaren Grundwasser gelöstes und dispers verteiltes Erdgas bezeichnet, das bei der Förderung des Wassers durch Druckentlastung freigesetzt wird. Gashydrat ist eine feste, eisförmige Verbindung aus Methan und Wasser, das unter niedriger Temperatur und hohen Druckbedingungen stabil ist. Im Weiteren fokussieren sich die Ausführungen auf Schiefergas.

Nicht-konventionelle Vorkommen besitzen aufgrund ihrer großen räumlichen Ausdehnung ein hohes Potenzial für Erdöl- und Erdgas-Lagerstät-

ten. Dieses Potenzial wird auch als „In-Place-Ressource“ bezeichnet und umfasst die Gesamtmenge der in einem Vorkommen enthaltenen Kohlenwasserstoffe. Als Ressourcen werden nachgewiesene, aber derzeit technisch oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Rohstoffmengen bezeichnet. Reserven hingegen sind nachgewiesene, zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbare Energierohstoffmengen. Angaben zu Ressourcen aus nicht-konventionellen Vorkommen sind oft sehr hoch. Allerdings ist die technisch und wirtschaftlich förderbare Menge (Reserve) aus diesen Vorkommen aufgrund der geologischen Verhältnisse wesentlich geringer.

Schiefergas als „game changer“

Die wirtschaftliche Erschließung von Schiefergasvorkommen in den USA hat zu einer Neuordnung des nordamerikanischen Erdgasmarktes geführt. Nicht-konventionelles Erdgas (inklusive Schiefergas, Tight Gas und Flözgas) hat in den USA mittlerweile einen Anteil von rund 60 % an der Gesamtproduktion an Erdgas erreicht (EIA 2012). Ein Ende dieses Booms ist derzeit nicht absehbar. Eine ähnliche Entwicklung wird für die Produktion von Erdöl aus Tongesteinen (Shale Oil) postuliert. Durch die Förderung dieser heimischen Vorkommen sind die Erdgaspreise in den USA stark gefallen. Dieser Trend wird nach heutigem Kenntnisstand auch längerfristig Bestand haben, da enorme Ressourcen an nicht-konventionellem Erdgas in den USA nachgewiesen sind. Außerhalb der USA findet derzeit noch keine kommerzielle Produktion von Schiefergas statt. Allerdings wird Schiefergas weltweit ein hohes Potenzial mit derzeit rund 157 Bill. m³ an technisch gewinnbaren Ressourcen zugerechnet (BGR 2012a). Die Entwicklung der USA hin zu einem Netto-Erdgasexporteur hat bedeutende Auswirkungen auf die globalen Energiemärkte. Der einst prognostizierte Importbedarf der USA von Flüssiggas (liquefied natural gas – LNG) könnte beispielsweise nach Europa und Asien umge-

leitet werden und dort die Versorgungssituation verbessern bzw. günstigere Preise für Erdgas ermöglichen.

Vorkommen nicht-konventioneller Erdgas-Lagerstätten in Europa

In Europa steckt die Erkundung und Entwicklung von Schiefergasvorkommen noch in einem frühen Stadium. Die intensivsten Aktivitäten gibt es bisher in Polen, das derzeit zu ca. 60 % von Erdgasimporten aus Russland abhängig ist und durch die Erschließung von Schiefergasvorkommen die Erdgasversorgung zu diversifizieren versucht. In verschiedenen Abschätzungen und Studien wurden Bewertungen der Ressourcen von organik-reichen ordovizischen und silurischen Schiefern in der Polnisch-Ukrainischen Senke durchgeführt – mit zum Teil sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Der Geologische Dienst der Vereinigten Staaten (USGS) in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst Polen (PGI) wies in den aktuellsten Studien ein Potenzial von ca. 0,56 Bill. m³ (PGI) sowie von 0,038 Bill. m³ (USGS) aus. Eine Abschätzung der U.S. Energy Information Administration (EIA) im Jahr 2010 hatte die polnischen Vorkommen hingegen mit ca. 5,3 Bill. m³ bewertet. Dieses Beispiel zeigt die erhebliche Unsicherheit der Potenzialabschätzungen in Gebieten, in denen es bislang keine praktischen Erfahrungen zur wirtschaftlichen Gewinnung von Schiefergas gibt. Die Potenzialangaben zu Schiefergasvorkommen in den USA gelten als vergleichsweise gesichert, da sich die Ermittlung der Potenziale auf Zahlen aus der Förderung stützt (BGR 2012a).

Prinzipiell könnten alle bekannten europäischen Kohlenwasserstoff-Provinzen ein Schiefergas-Potenzial besitzen (Abb. 3). In einer ersten, allerdings nicht vollständigen Studie der EIA wurde für verschiedene Regionen außerhalb der USA das Potenzial für Schiefergas bewertet (EIA 2011). In Osteuropa gibt es mehrere Sedimentbecken mit einem möglichen Schiefergasvorkommen. Diese liegen im Polnisch-Ukrainischen Becken, im Lublin-Becken in der Ukraine, im Pannonischen Becken in Ungarn und Rumänien,



Abb. 3: Übersichtskarte europäischer Sedimentbecken, die ein mögliches Schiefergaspotenzial besitzen könnten (vereinfacht nach EIA 2011)

im Karpaten-Balkan-Becken in Rumänien und Bulgarien sowie im Baltischen Becken (Abb. 3). Weitere große Vorkommen an Schiefergas werden in Frankreich im Pariser Becken vermutet. Dort ist der jurassische Schwarzschiefer, ähnlich dem in Deutschland bekannten Posidonien-schiefer, ein möglicher Zielhorizont. Neben dem Pariser Becken könnten auch die liassischen Schwarzschiefer aus dem „Südost-Becken“ ein Schiefergaspotenzial besitzen. In Frankreich wurde allerdings vor dem Hintergrund der Besorgnisse möglicher Umweltgefahren ein gesetz-

liches Verbot der Fracking-Technologie verhängt, was die Exploration auf Schiefergas praktisch zum Erliegen kommen ließ.

Erste Arbeiten zur Erkundung von Schiefergasvorkommen sind in Großbritannien angelaufen, eine kommerzielle Förderung ist aber bisher nicht absehbar. Hier sind insbesondere der Bowland Shale aus dem Namur in Mittelengland und die liassischen Sedimente des Wessex-Weald-Beckens von Interesse (Abb. 3). In Großbritannien wurde Ende 2012 angekündigt, dass das hydraulische Fracking-Verfahren wieder ein-

geführt werden könne, wenn definierte Regeln zur Verminderung des seismischen Risikos eingehalten werden.

Eine Abschätzung zum Schiefergas-Potenzial wurde ebenfalls in den Niederlanden durchgeführt. Dort gibt es eine Reihe von Teilbecken, die ein Schiefergaspotenzial besitzen können (Abb. 3). Explorationstätigkeiten sind derzeit jedoch nicht bekannt. Untersuchungen von Explorationsfirmen zum Schiefergaspotenzial liefen auch in Schweden (Alaun Schiefer), in Österreich (Posidonienschiefer, Wiener Becken) sowie in geringem Umfang in Spanien und Portugal. In Schweden und Österreich finden gegenwärtig keine Explorationsaktivitäten statt.

Schiefergas-Ressourcen in Deutschland

Eine erste vorläufige Abschätzung zum möglichen Schiefergaspotenzial in Deutschland wurde von der BGR Mitte 2012 vorgelegt (BGR 2012b). Grundlage der Studie sind Auswertungen von frei zur Verfügung stehenden Daten wie Atlanten, Veröffentlichungen und offizielle Berichte. In dieser ersten Abschätzung wurden die Tongesteine des Unterkarbon, des jurassischen Posidonienschiefers sowie des Wealden (Bückeberg-Formation; Unterkreide) bewertet. Zur Abschätzung des Potenzials wurde ein volumetrischer Ansatz gewählt, um die „In-Place“ Menge an Erdgas berechnen zu können (Gas-in-Place, GIP).

Eine Übersicht der Verbreitung der möglichen prospektiven Gebiete ist in Abb. 4 dargestellt. In der Abbildung sind alle Sedimentbecken eingezeichnet, die grundsätzlich die Voraussetzung für die Bildung von Schiefergas besitzen. Die Flächen zeichnen im Wesentlichen die bekannten Kohlenwasserstoff-Provinzen in den großen Sedimentbecken nach. Potenziale für Schiefergas finden sich demnach am Südrand und im östlichen Teil des Nordwestdeutschen Beckens, in Nordostdeutschland sowie im mittleren Bereich des Oberrheingrabens.

Die insgesamt vorhandenen Schiefergasmengen in den untersuchten Formationen liegen zwischen 6,7 Bill. m³ und 22,7 Bill. m³ mit einem Mittel von ca. 13 Bill. m³ GIP (Abb. 5). Die Ergeb-

nisse der probabilistischen Abschätzung (angegeben in Perzentilen p05, p25, p50, p75 und p95) geben die Wahrscheinlichkeit an, dass ein bestimmter Wert nicht unter- bzw. überschritten wird (Minimum p05 – mit 95 % Wahrscheinlichkeit nicht unterschrittener Wert; Mittel p50 – durchschnittlicher (Median-) Wert; Maximum p95 – zu 95 % Wahrscheinlichkeit nicht überschrittener Wert).

Die Tongesteine des Unterkarbon weisen mit einem Mittelwert von etwa 8 Bill. m³ dabei das größte Potenzial auf. Die Menge liegt damit deutlich über denen des Posidonienschiefers (Unterjura) und des Wealden (Unterkreide) mit jeweils rund 2 Bill. m³ GIP. Allerdings stehen für das Unterkarbon gegenwärtig nur wenige Daten zur Verfügung, was die Genauigkeit der Aussage stark einschränkt. Das Potenzial für Schiefergas im Posidonienschiefer wird in Norddeutschland aufgrund der geochemischen Parameter und der relativ homogenen Ausbildung der Sedimente als relativ hoch eingeschätzt. Potenziale im Posidonienschiefer befinden sich am Südrand des Nordwestdeutschen Beckens sowie im mittleren Bereich der Oberrheingrabens. Die Tongesteine des Wealden besitzen ebenfalls ein relativ hohes Schiefergaspotenzial und finden sich im Süden des Nordwestdeutschen Beckens.

In Deutschland wurde bereits seit 2008 mit Explorationstätigkeiten auf Schiefergas begonnen, aber bislang gibt es keine Schiefergasförderung und deshalb auch keine Erfahrungswerte zum technisch gewinnbaren Anteil aus den GIP-Mengen. Produktionsdaten aus den USA zeigen, dass der Gewinnungsfaktor zwischen 10 % und 35 % der GIP-Mengen schwanken kann. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird in dieser Studie von einem technischen Gewinnungsfaktor von 10 % der GIP-Mengen ausgegangen. Entsprechend würde sich die technisch gewinnbare Erdgasmenge auf 0,7 bis 2,3 Bill. m³ belaufen. Diese Menge liegt damit deutlich über Deutschlands konventionellen Erdgasressourcen mit 0,15 Bill. m³ und Erdgasreserven mit 0,146 Bill. m³.

Weltweit gibt es inzwischen für eine Reihe von Ländern Angaben zu den dortigen Schiefergas-

Abb. 4: Verbreitung von bituminösen Tongesteinen, die grundsätzlich die Voraussetzung für die Bildung von Schiefergas aufweisen können, (graue Fläche) sowie prospektive Gebiete (rot schraffierte Flächen)



ressourcen. Trotz unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen und noch erheblicher Unsicherheiten ergibt sich ein grober Überblick der weltweiten Ressourcen an Schiefergas (Abb. 6). Die größten Vorkommen befinden sich demnach in Nord- und Lateinamerika (Mittel- und Südamerika) sowie in China, Südafrika und Australien. Angesichts des voranschreitenden Kenntniserwerbs sind Korrekturen im Ranking aufgrund von Neubewertungen auch in anderen Ländern zu erwarten. Vorbehaltlich der noch lückenhaften Datenlage weist die BGR derzeit ca. 157 Bill. m³ weltweiter Schiefergasressourcen aus (BGR 2012a).

Umweltaspekte zum „Fracking“

Der Einsatz der hydraulischen Stimulation (Fracking) bei der Erschließung von nicht-kon-

ventionellen Kohlenwasserstoff-Vorkommen hat eine kontroverse Debatte über mögliche Umweltauswirkungen und die Sicherheit dieses Verfahrens ausgelöst.

Die Fracking-Technik ist ein Standard-Verfahren der Erdöl-Erdgas-Industrie und wird sowohl zur Stimulierung konventioneller als auch nicht-konventioneller Kohlenwasserstoff-Lagerstätten eingesetzt. Der Einsatz dieser Technik ist notwendig für die Förderung von Schiefergas, da in Tongesteinen nur sehr geringe natürliche Permeabilitäten vorherrschen. In konventionellen Lagerstätten kann durch den Einsatz dieser Technik die Ausbeute erhöht werden. Darüber hinaus wird das Verfahren auch in der tiefen Geothermie zur Erschließung petrothermaler Systeme eingesetzt.

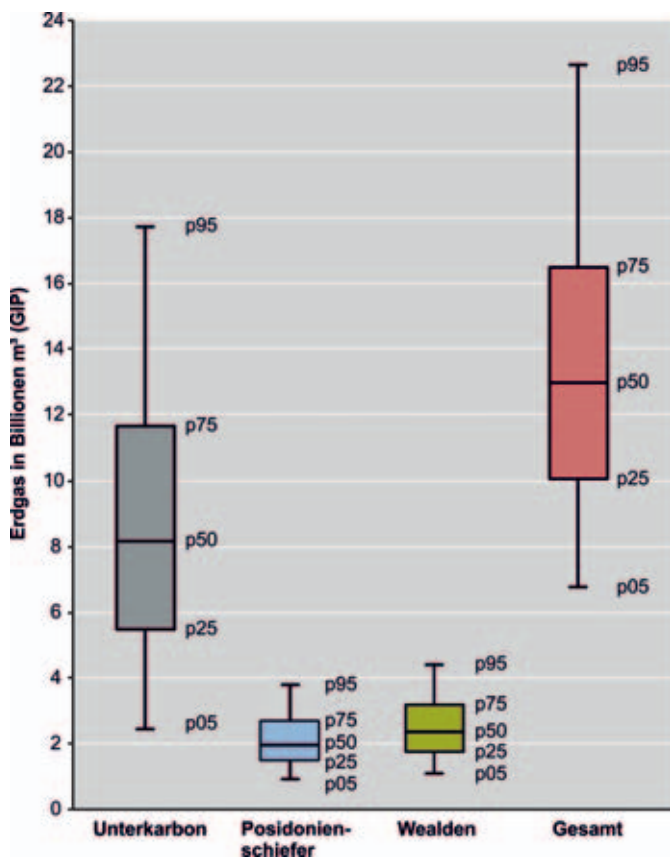


Abb. 5: Gas-in-Place-Mengen (GIP) an Erdgas in den untersuchten Tongesteinen sowie die Gesamtmenge

Das Fracking-Verfahren wurde erstmalig in den USA 1949 eingesetzt und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. In Deutschland wurde das Verfahren erstmals 1961 angewendet. Seither wurden rund 300 Fracking-Maßnahmen, vor allem in tiefen und dichten Erdgasspeichern (Tight Gas) durchgeführt. Grundwasserverunreinigungen durch diese Fracking-Maßnahmen sind in Deutschland nicht bekannt.

Die eingepressten Flüssigkeiten bestehen aus einer Mischung von Wasser, einem Stützmittel (meist Quarzsand) zum Offenhalten der Risse sowie chemischen Begleitstoffen (Abb. 7). Die Verwendung von Begleitstoffen, wie z.B. Bioziden und Lösungsmitteln, die in die Wassergefährdungsklassen 1–3 eingestuft werden und

die zum Teil nach Gefahrstoffrecht als gesundheitsschädlich oder giftig einzustufen sind, hat in der Öffentlichkeit zu großer Besorgnis geführt. Eine Kontamination von grundwasserführenden Schichten und des Trinkwassers wird befürchtet. Weithin bekannt sind auch die Bilder „brennender Wasserhähne“ aus dem Film „Gasland“, die eine Kontamination des Trinkwassers mit Erdgas auf Grund von Gasbohrungen und Fracking suggerieren. In dem geschilderten Fall war bereits vor den Bohraktivitäten bekannt, dass Methan auf Grund natürlicher Einträge in den Grundwasserleitern vorhanden ist. Auch in Deutschland gibt es vergleichbare Phänomene, wie etwa natürliche Gasaustritte in offenen Gewässern des Münsterländer Beckens. Trotzdem

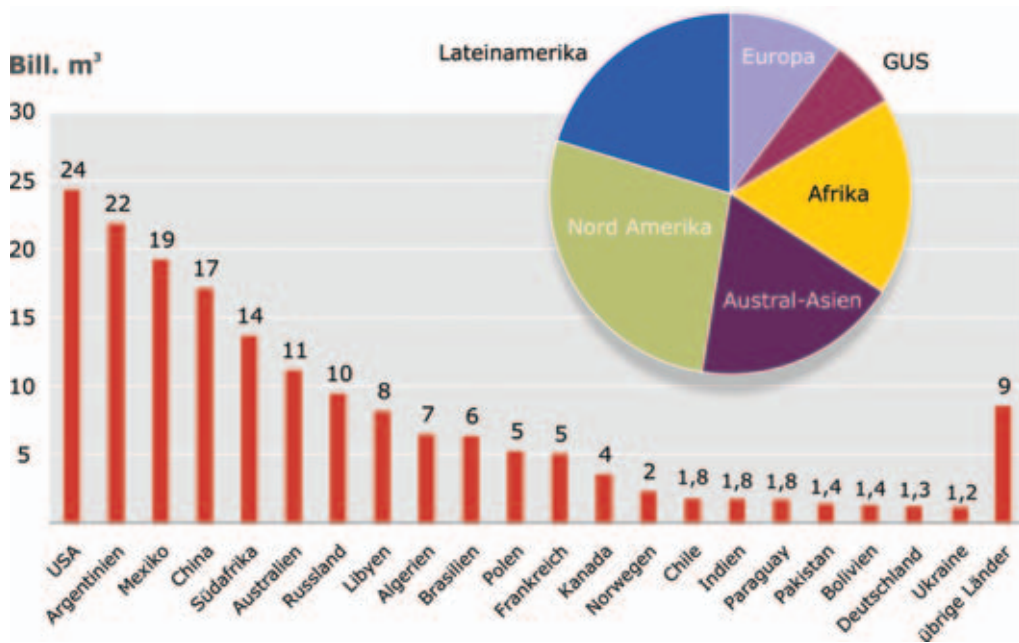


Abb. 6: Gesamtressourcen an Schiefergas sowie Verteilung nach Regionen (BGR-Datenbank, Stand 2010, die Zahlen für Polen stammen aus EIA 2011, die Zahl für Deutschland aus BGR 2012b)

bleibt die Besorgnis, Methan könnte durch Fracking und Bohrungen in das Grundwasser gelangen.

An dieser Stelle kann keine umfassende Betrachtung der diskutierten Umweltauswirkungen erfolgen. Zahlreiche Studien hierzu sind im letzten Jahr erschienen, die darüber hinaus neben dem Grundwasserschutz weitergehende Fragestellungen aufgreifen, wie etwa die Treibhausgas- und Klimabilanz von Schiefergas, induzierte Seismizität, den Flächen- und Wasserverbrauch oder den Umgang und die Entsorgung von Lagerstättenwasser sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen. In Deutschland sind hier die in Auftrag gegebenen Studien des Umweltbundesamtes, des Landes Nordrhein-Westfalen sowie die Studie des Expertenkreises des „Exxon-Dialog“-Prozesses zu nennen. Auf EU-Ebene sind ebenfalls zahlreiche Studien zum Thema erschienen (siehe weiterführende Literatur). Allen Studien gemeinsam ist, dass sie

grundsätzlich den umweltverträglichen Einsatz des Fracking-Verfahrens nicht ausschließen. Allerdings wird die Einführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung für diese Verfahren empfohlen. Diese könnte nicht zuletzt einen Beitrag zu einer größeren Akzeptanz in der Öffentlichkeit leisten.

Ausblick

Deutschland verfügt über ein erhebliches Schiefergaspotenzial, wie die erste vorläufige Abschätzung gezeigt hat. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass heimisches Schiefergas zu einem „game changer“ wie in den Vereinigten Staaten wird. Vielmehr könnte Schiefergas aus heimischen Vorräten dazu beitragen, den Rückgang der Förderung aus den deutschen, konventionellen Erdgaslagerstätten aufzufangen.

Die Erkundung und Erschließung der hiesigen Schiefergasvorkommen werden nicht von heute auf morgen erfolgen. Daher sind Hochrechnun-

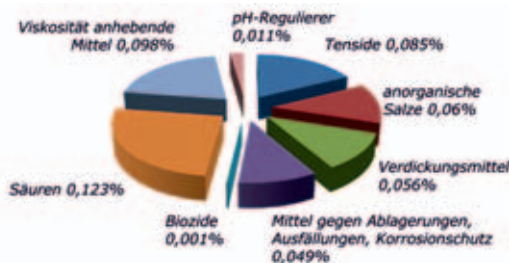
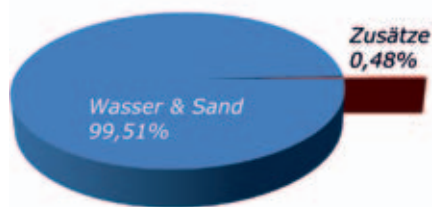


Abb. 7: Übersicht zur Zusammensetzung von Fracking-Flüssigkeiten (Beispiel)

gen unrealistisch, Deutschland könnte für mehr als 10 Jahre durch heimisches Schiefergas von Erdgasimporten unabhängig werden. Vielmehr könnten die Schiefergasressourcen über einen längeren Zeitraum zur Diversifizierung und Energieversorgungssicherheit Deutschlands beitragen. Eine breite gesellschaftliche Akzeptanz ist allerdings Voraussetzung für die Nutzung dieser Ressource. Hierzu müssen die Besorgnisse der Gesellschaft von den Geowissenschaften aufgegriffen und mit Hilfe von Information und Transparenz zur Meinungsfindung beigetragen werden.

Literatur

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2009): *Energierohstoffe 2009 – Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit*. - 284 S., Hannover

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2012a): *Energiestudie 2012. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2012*. - 92 S., Hannover

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2012b): *Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland*. - 56 S., Hannover

U.S. Energy Information Administration (EIA) (2011): *World Shale Gas Resources: an initial assessment of 14 Regions outside the United States*

U.S. Energy Information Administration (EIA) (2012): *Annual Energy Outlook 2012 with Projection to 2035*. - 239 S., Paris

Weiterführende Literatur

Umweltbundesamt (2012): *Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen*: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4346.pdf

Neutraler Expertenkreis im InfoDialog Fracking (2012) „Risikostudie Fracking“: <http://dialog-erdgasundfrac.de/risikostudie-fracking>

Risikogutachten des Landes Nordrhein-Westfalen (2012) „Fracking in unkonventionellen Erdgas-Lagerstätten in NRW“, www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/gutachten_fracking_nrw_2012.pdf

Studien der EU-Kommission (DG Environment) http://ec.europa.eu/environment/integration/energy/uff_studies_en.html

Studie der EU-Kommission (DG Energy) http://ec.europa.eu/energy/studies/doc/2012_unconventional_gas_in_europe.pdf

International Energy Agency (2012) „Golden Rules for a Golden Age of Gas“ www.worldenergyoutlook.org/goldenrules/