Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 21 (2016)

Heft: 1

Artikel: Schiefergasgewinnung durch Fracking : Plädoyer für eine ehrliche Debatte

Autor: Kümpel, Hans-Joachim

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-658190

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 21/1, 2016 S. 107-119

Schiefergasgewinnung durch Fracking – Plädoyer für eine ehrliche Debatte

Hans-Joachim Kümpel[1]

1 Einleitung

Aus dem Grundwasser aufsteigendes Methan, Bohrplätze im Abstand von wenigen hundert Metern, Lastwagenkolonnen durch Kleinstädte im Stundenrhythmus, Konkurrenz um knappe Wasserressourcen, von brennenden Gasfackeln erleuchtete Nachthimmel. Dies sind nur einige der Horrorszenarien, die der Fracking-Technologie in Deutschland, wenn ihr Einsatz zugelassen wird, zugeschrieben werden und ihr das Attribut «umstritten» angeheftet haben. Nicht wenige Menschen glauben solchen Darstellungen oder sind zumindest verunsichert. Wer will es ihnen verdenken, da Medien alarmierende Berichte wirksamer verbreiten als nüchterne Sachinformationen. Unser Nachrichtenkonsumverhalten ist dadurch gekennzeichnet, dass wir aus der Fülle des Informationsangebotes oft das Aufregende und Kontroverse herausfiltern. Im Falle des Themas Fracking macht auch nachdenklich, dass viele Handelnde von Bürgerinitiativen, NGOs, Journalisten bis zu Entscheidungsträgern innerhalb weniger Jahre vermeintlich zu «Experten» in Sachen Hydraulic Fracturing geworden sind, ohne selbst elementare Grundkenntnisse in Hydrogeologie oder Gesteinsphysik zu besitzen.

Der vorliegende Artikel beleuchtet einige der Sachverhalte und Ungereimtheiten, die sich um das Thema Fracking ranken. Naturgemäß handelt es sich dabei um eine Auswahl, die nicht ohne Vereinfachungen auskommt. Keineswegs soll der Eindruck erweckt werden, man bräuchte sich beim Thema Fracking nicht um Fragen der Sicherheit und des Umweltschutzes kümmern. Dies ist hier genauso wichtig wie bei jeglichem Bohrbetrieb oder auch anderen geotechnischen Eingriffen in den Untergrund, seien es der Bergbau, die Errichtung von Talsperren oder der Bau von Verkehrswegen.

2 Erdgas im Energiemix

Fast jeder von uns nutzt täglich Erdgas. Knapp die Hälfte aller Haushalte in Deutschland heizt mit Erdgas und nutzt es zur Warmwasseraufbereitung. Auf dem Sektor der Wärmeversorgung ist Erdgas der mit Abstand wichtigste Energieträger. Industrie und Gewerbe benötigen Erdgas zur Erzeugung von Prozessenergie. In der chemischen und pharmazeutischen Industrie ist Erdgas ein wichtiger Grundrohstoff. Mit Erdgas angetriebene Fahrzeuge gehören zu unserem Straßenbild; Tendenz zunehmend. Und ein nicht unerheblicher Anteil des bei uns genutzten Erdgases dient der Stromerzeugung – grundlastfähig, unabhängig von Sonne und Wind. Mit einem Anteil von gut 20 Prozent am Primärenergieverbrauch (PEV) ist Erdgas nach Erdöl der in Deutschland zweitwichtigste Energieträger. Und das seit Mitte der 1990er Jahre, nahezu unbeeinflusst von dem bemerkenswerten Zuwachs der erneuerbaren Energien (Fig. 1).
Selbst vor dem Hintergrund eines raschen Fortschreitens der Energiewende wird Deutschland noch für Jahrzehnte auf diesen Rohstoff angewiesen sein (Andruleit et al.

[1] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, D-30655 Hannover, jetzt: Eichendorffstrasse 20, D-31303 Burgdorf, Deutschland

2015). Derzeit benötigen wir pro Jahr rund 90 Mrd. m^3; Schwankungen sind in erster Linie eine Folge des von Jahr zu Jahr ungleichen Wärmebedarfs in der kalten Jahreszeit. Ist der Winter kurz oder mild, wird weniger, ist er lang und frostig, wird mehr Erdgas benötigt. Den größten Teil seines Erdgasbedarfs muss Deutschland importieren – vor allem aus Russland, Norwegen und den Niederlanden.

Die heimische Förderung steuert derzeit etwa zehn Prozent zu unserem Verbrauch bei – Tendenz rasch sinkend. Ohne moderne Bohrverfahren, dazu gehört die Fracking-Technologie, werden wir das bei uns im Untergrund reichlich vorhandene Erdgas nicht einmal mehr zehn Jahre lang fördern können (siehe Verlauf der Kurve «Eigenförderung» in Fig. 1). Deutschland wäre dann komplett auf ausländische Erdgaslieferungen angewiesen, ähnlich wie annähernd bereits beim Erdöl und ab 1. Januar 2019 bei der Steinkohle (Fig. 2).

Der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie ist beschlossen. Über den im Energiemix anteilig nach wie vor hohen Beitrag der heimischen Braunkohle gibt es Diskussionen wegen der Kohlendioxid-Emissionen. Ein Abscheiden des Kohlendioxids und dauerhaftes Verbringen in den geologischen Untergrund mittels Carbon-Capture Storage (CCS) hat in Deutschland bisher keine Akzeptanz gefunden. Und das, obwohl die große Mehrheit sachkundiger Geowissenschaftler/innen in der CCS-Anwendung nicht nur keine nennenswerte Gefährdung der Umwelt erkennt, sondern CCS als unverzichtbaren Beitrag für eine globale Reduktion der Treibhausgas-Emissionen ansieht (z. B. CO_2GeoNet 2009). Die Deckung des Energiebedarfs Deutschlands reduziert sich damit in den kommenden Jahrzehnten im Wesentlichen auf die Braunkohlenutzung ohne CCS-Option, die Nutzung der importierten fossilen Energieträger Erdgas, Erdöl und Steinkohle und der weiter zunehmenden, ohne immensen Ausbau von Speicheroptionen aber nicht jederzeit verfügbaren erneuerbaren Energien. Vor diesem Hintergrund erscheint es fahrlässig, die Förderung von inländischem Schiefergas nicht ernsthaft zu prüfen (zu den Begriffen Schiefergas, Tightgas, Kohleflözgas siehe z. B. BGR 2012). Dies bedeutet aber auch, zur Kenntnis zu nehmen, welch entstelltes Bild von der Fracking-Technologie die öffentliche Debatte bei uns dominiert, und zu hinterfragen, warum.

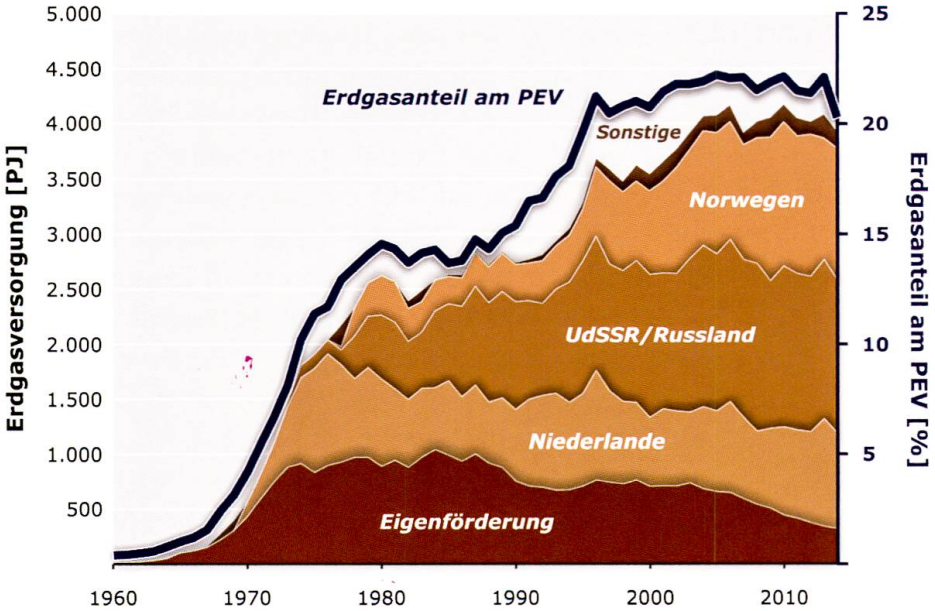

Fig. 1: Erdgasversorgung Deutschlands von 1960 bis 2014. PEV: Primärenergieverbrauch; PJ: PetaJoule. Aus BGR (2015).

3 Das Fracking-Verfahren

Um Bodenschätze aus der Tiefe zu gewinnen, muss Bergbau betrieben werden; in Form von Tagebau, untertägig oder durch Bohrungen, was man auch als Bohrlochbergbau bezeichnen kann. Feststoffe wie Erze oder Kohle lassen sich nicht durch Bohrungen ans Tageslicht fördern. Man muss Schächte, Stollen, Streben auffahren, durch Einsatz von Sprengmitteln das Gestein auflockern, Abraum und taubes, nicht verwertbares Gestein auf Halden ablagern. Der Eingriff in den Untergrund ist in jedem Fall ungleich massiver als das Niederbringen von Bohrungen. Diese erlauben das Fördern von Fluiden aus dem Untergrund, also von Flüssigkeiten oder Gasen. Der geologische Untergrund ist voll davon, aber die meisten sind unbrauchbar: Tiefenfluide mit hohem Salzgehalt und von Natur aus belastet mit Schwermetallen, Kohlenwasserstoffen, z. T. auch radioaktiven Substanzen. Andere sind nützlich, in manchen Gegenden sogar lebensnotwendig: Grundwasser, das zu Trink- oder Brauchwasser aufbereitet wird, Heil-, Thermal-, Mineralwässer und Solen und schließlich Erdöl und Erdgas, als Energieträger und als Ausgangsstoff für viele Produkte der Chemie- und Pharmabranche.
Die große Nachfrage nach solchen Fluiden hat seit den Anfängen im 18. Jahrhundert zu einer erstaunlichen Entwicklung der Bohrtechnologie geführt (vgl. Baker 2001, Springer 2009, Reich 2015). Bis vor wenigen Jahren war das Bohren in Deutschland eine selbstverständlich akzeptierte Technik. Die meisten Menschen haben sich wenig für einzelne Verfahrensschritte, Sicherheitsstandards, technische Weiterentwicklungen oder die Praxis der Genehmigung von Bohrungen durch die Bergbehörden interessiert. Dies hat sich mit der «Konjunktur», die das Wort Fracking seit etwa fünf Jahren erfährt, geändert.

Um es vorweg zu nehmen: Aus geowissenschaftlicher Sicht spricht nichts gegen die

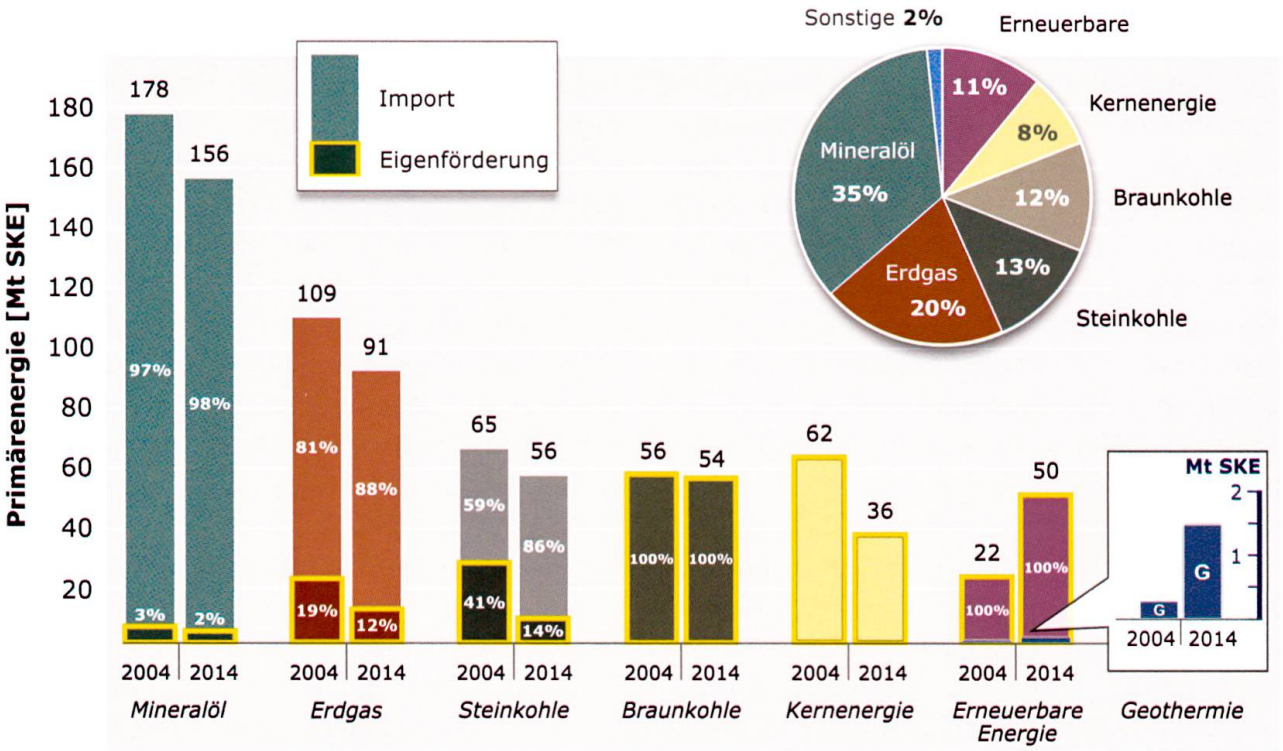

Fig. 2: Importabhängigkeit und Selbstversorgungsgrad Deutschlands bei einzelnen Primärenergierohstoffen in den Jahren 2004 und 2014. Aus BGR (2015) mit Daten von AGEB (2015), LBEG (2015) und BMWi (2015).

Fracking-Technologie. Sie ist nachgewiesenermaßen beherrschbar und für Bohrleute Routine. Weltweit wird das Verfahren seit vielen Jahrzehnten eingesetzt. Beim Fracking werden Tiefengesteine durch Einpressen einer Fracking-Flüssigkeit (kurz Fracfluid) – überwiegend Wasser – aufgebrochen, um entlang natürlich angelegter Schwächezonen im Gestein millimeterdünne Fließwege für Erdöl oder Erdgas frei zu legen. Die Länge der Risse (Fracs) liegt typischerweise im Meter- bis Zehnermeterbereich. (Um größere Rissweiten zu erreichen, was bei der Erschließung von Erdwärme aus größeren Tiefen in der Regel beabsichtigt ist, bedarf es besonderer Anstrengungen.) Seit den 1960er Jahren wurden in Deutschland auf diese Weise etwa 350 Fracking-Maßnahmen durchgeführt, überwiegend in dichten Sandsteinformationen zur Gewinnung von so genanntem Tightgas; vereinzelt auch bei Vorhaben zur Erdwärmegewinnung oder zu Forschungszwecken in wissenschaftlichen Bohrungen, meist in Tiefen von mehr als 3000 Meter. In flacheren Tiefen wird Fracking auch zur Ertüchtigung von Grundwasserförderbrunnen eingesetzt, Maßnahmen, die zahlenmäßig nicht erfasst sind.
Bei herkömmlichen Fördermethoden ist man darauf angewiesen, dass Wasser, Erdgas oder Erdöl frei zur Bohrung fließen. Dies erfolgt aufgrund natürlicher oder künstlich angelegter Druckunterschiede. Durch gezielte Stimulationsmaßnahmen kann das Fließen zur Bohrung unterstützt werden, jedoch nur, wenn die Fluide in Formationen mit ausreichend hoher Gebirgsdurchlässigkeit vorkommen. Wertvolle Nutzfluide sind aber auch in undurchlässigen geologischen Formationen eingeschlossen, und das in großen Mengen. Sie zu erschließen erfordert das Schaffen hinreichender Wegsamkeiten in entsprechenden Tiefenabschnitten der Bohrung. Grundsätzlich lässt sich das, ähnlich wie beim Untertagebergbau, durch Einsatz von Sprengstoff erreichen, oder aber, und gewissermaßen schonender, hydraulisch.
Vor diesem Hintergrund wurde die Fracking-Technologie entwickelt. «Fracking» passiert auch in der Natur, und zwar immer dort, wo der Fluiddruck im Gebirge größer wird als die Gebirgsfestigkeit. Ein bekanntes Beispiel sind Frostsprengungen.
In Deutschland sind bisher keine Schadensfälle oder Umweltbeeinträchtigungen durch Fracking bekannt geworden, nirgendwo konnte eine Grundwasserkontamination festgestellt werden. Aufgrund umfangreicher Vorsorgemaßnahmen und bewährter Praxis bei Bohrlochoperationen war und ist das auch nicht zu erwarten. Mittlerweile ist als neue Technologie, die den Zugang zum Gebirge wesentlich erleichtert, das Horizontalbohren hinzugekommen (Fig. 3). Lange Zeit undenkbar, ist es heute möglich, dem lateralen Verlauf einer höffigen Formation durch gerichtetes Bohren kilometerweit zu folgen. Dadurch kann der Abstand zwischen zwei Bohransatzpunkten an der Erdoberfläche erheblich vergrößert werden.

Rein technisch unterscheidet sich der Einsatz des Fracking-Verfahrens bei der Schiefergas- oder Tightgas-Gewinnung nur wenig. Maßgeblich sind die jeweiligen in-situ Bedingungen in der Zielformation, insbesondere Gebirgsdruck, Porendruck, Porosität, Permeabilität, Temperatur, Viskosität der Gesteinsfluide, Spaltbarkeit und andere Bruchbedingungen des Gesteins. Entsprechend können auch unterschiedliche Mengen von Fracfluid erforderlich sein, um in der Tiefe ein geeignetes Netz von Fließwegen für das eingeschlossene Erdgas zu generieren. Unterschiede in der Zusammensetzung der benötigten chemischen Additive oder in der Höhe des Drucks, mit der das Fracfluid in die Zielformation zu pressen ist, hängen von den lokalen Gegebenheiten ab. Generell sind die erforderlichen Drücke umso höher, je tiefer eine Lagerstätte ist, um den in der Tiefe herrschenden natürlichen Gebirgsdruck zu kompensieren. Der Umgang mit hohen Drücken ist im Bohrgeschäft tägliche Praxis. Die Mengen rückgeförderter Fluide (Flowback) fallen unterschiedlich aus,

bei der Schiefergasgewinnung sind sie im Allgemeinen deutlich geringer als bei der Produktion von Tightgas.

Fig. 3 vermittelt auch einen Eindruck, warum die Hydrogeologie und die Gesteinsphysik Schlüsseldisziplinen im Verständnis und der Bewertung von Fracking-Maßnahmen sind. Die Hydrogeologie beschäftigt sich mit dem Vorkommen von Grundwasser und anderen Fluiden in geologischen Formationen, ihrer räumlichen Verteilung, dem Alter der Fluide, ihrer Zusammensetzung und Migration (bis über geologische Zeiträume hinweg) und mit den chemischen Wechselwirkungen, denen sie unterliegen. Salzhaltige Tiefenfluide weisen meist ein sehr hohes Alter auf, sie nehmen nicht am meteorischen (den Niederschlag einbeziehenden) Wasserkreislauf teil – ein Beleg dafür, dass sie aufgrund ihrer hohen Dichte und/oder überlagernder Barriereschichten wirksam von den flachliegenden Grundwasserkörpern isoliert sind. Die Gesteinsphysik klärt über das Bruchverhalten von Gesteinen auf, das Entstehen von Rissen in Abhängigkeit vom räumlichen Feld der Gebirgsspannungen, von Porendrücken und deren zeitlich-räumlichen Gradienten, der Gesteinsfestigkeit, den spezifischen rheologischen Eigenschaften wie der Sprödigkeit der Gesteine, dem Vorhandensein von mechanischen Schwächezonen und anderer Inhomogenitäten im Gesteinsver-

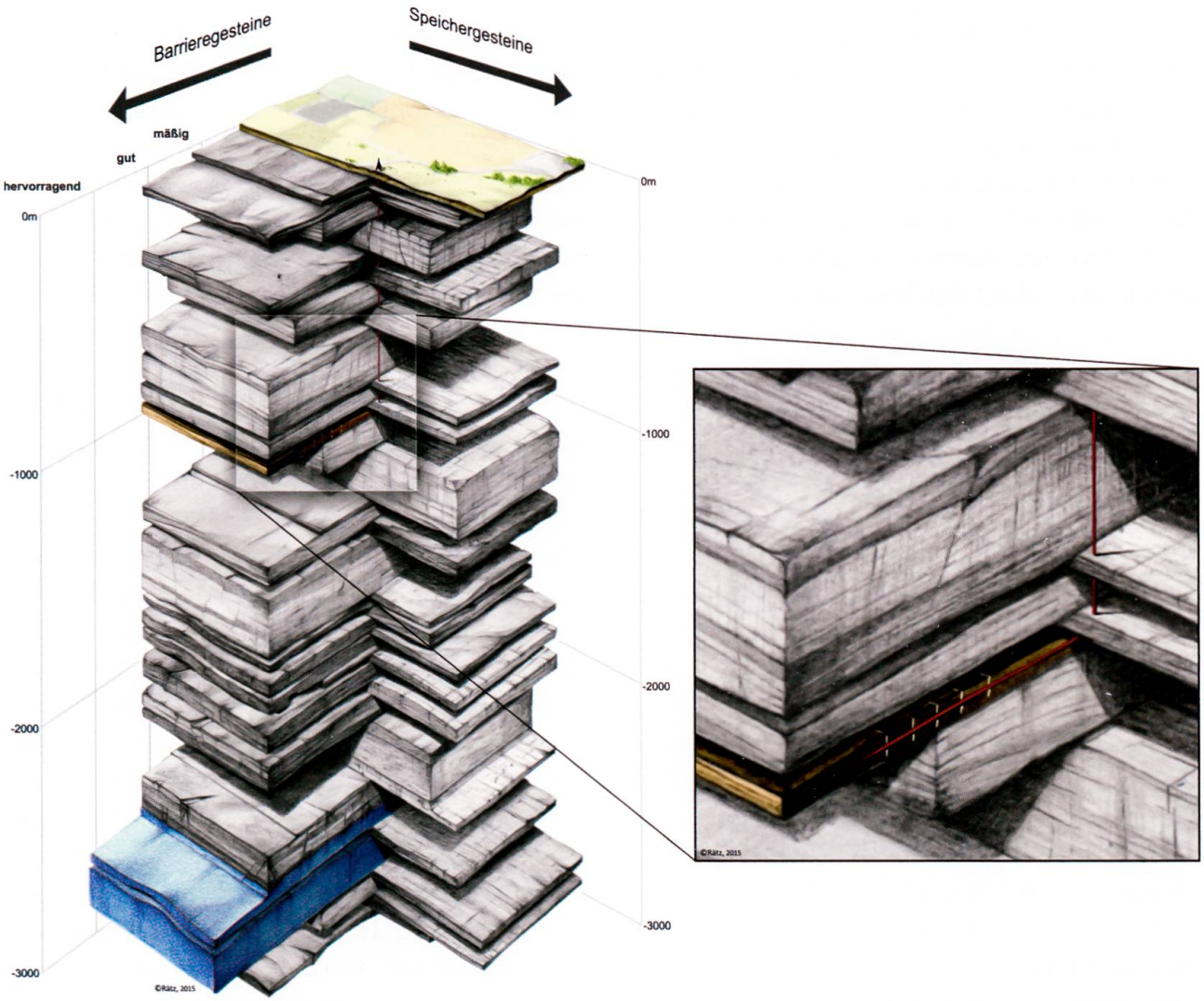

Fig. 3: Schematische Darstellung des geologischen Stockwerkbaus mit Formationen undurchlässiger Barriere- und fluidführender Speichergesteine, wie typisch für Norddeutschland. Um sichtbar zu sein, ist der Bohrlochdurchmesser etwa 50-fach, die Rissweite der im Horizontalabschnitt erzeugten Fracs 1000-fach vergrößert.

bund. Solche Größen bestimmen auch, ob sich Scher- oder Zugrisse und welche Art von Rissmustern sich bilden, und sind somit für die Bewertung der eigentlichen Fracvorgänge wichtig.
In Deutschland existieren klare Vorschriften und strenge Genehmigungsauflagen, die von den Firmen der Erdöl- und Erdgasindustrie unter staatlicher Aufsicht der zuständigen Bergbehörden einzuhalten sind. Um die jeweiligen Standortverhältnisse kennenzulernen, findet bei uns vor dem Abteufen jeder Bohrung eine geologisch-geophysikalische Tiefenerkundung (von der Erdoberfläche aus) statt. Planung, Bewertung und Umsetzung von Fracking-Maßnahmen sind anschließend Gemeinschaftsaufgabe von Experten aus den Fachgebieten Geologie, Lagerstättenkunde, Gesteinsphysik, Seismologie, Geochemie, Hydrogeologie, Reservoir-, Petroleum- und Bohrlochingenieurwesen. Diesen Teams gut ausgebildeter Spezialisten mit hoher Fachkompetenz und langjähriger Berufserfahrung hat man in der Vergangenheit vertraut. Derzeit, so hat man den Eindruck, überwiegt das Misstrauen.

Fracking-Maßnahmen zur Erdgas- oder Erdölgewinnung dürfen in Deutschland grundsätzlich nur in großem Sicherheitsabstand zu nutzbaren Grundwasservorkommen durchgeführt werden. Entscheidend ist dabei weniger die räumliche Distanz zwischen Zielformation und Grundwasserleiter als das Vorhandensein von hinreichend mächtigen Barriereschichten, die eine äußerst geringe hydraulische Durchlässigkeit aufweisen. Durch solch vorsorgende Bestimmungen lassen sich auch negative Langzeitfolgen, wie sie von manchen befürchtet werden, ausschließen. Die von einigen geforderte Mindesttiefe von 3000 Meter für Fracking-Maßnahmen ist durch nichts zu begründen. Zum Vergleich: Bei Mülldeponien an der Erdoberfläche weiß (und akzeptiert) man, dass schon wenige Meter mächtige Barrieren ausreichen, um die meist schadstoffreichen Abfälle dauerhaft von den darunterliegenden schützenswerten Grundwasserschichten abzutrennen. Bohrungen dürfen zudem nur von einem zum Untergrund hermetisch abgedichteten Bohrplatz abgeteuft werden. Jegliches Versickern von Schadstoffen in den Boden wird dadurch verhindert. Weiterhin muss bei einer Bohrung, die durch Grundwasserschichten führt, die Verrohrung konzentrisch als Mehrfachverrohrung ausgeführt werden. Alle Teilverrohrungen müssen nachweisbar druckdicht mit einer Zementschicht ummantelt werden, innere Verrohrungen werden zum Teil mit empfindlichen Drucksensoren ausgestattet, die eine kontinuierliche Überwachung der Dichtheit der Verrohrung erlauben. Äußerst selten auftretende Leckagen können sofort erkannt und umgehend behoben werden. Die Maßnahmen stellen sicher, dass die Fracking-Flüssigkeit oder andere Fluide im Bohrloch nicht mit Grundwasser in Kontakt kommen und eine Kontamination ausgeschlossen werden kann. Dies gilt für jede Erdgas-/Erdölförderbohrung. Auch sind die Bohrungen generell so ausgelegt, dass sie den hohen Drücken, die in manchen Lagerstätten herrschen, jederzeit standhalten. Der Verbleib nicht mehr genutzter Förderbohrungen, in der Regel Verschluss und Rückbau, unterliegt den Vorgaben der zuständigen Bergbehörde.

Die Fracking-Flüssigkeit selbst besteht in der Hauptsache aus Wasser. Weniger als zwei Prozent des Fluids sind chemische Additive, die unter anderem dem Korrosionsschutz der Verrohrung dienen, den Transport von Sand als Stützmittel – zum Offenhalten der feinen Risse – ermöglichen, Reste der beim Bohrvorgang eingesetzten Bohrflüssigkeit auflösen, den pH-Wert im Bohrloch stabilisieren und die Reibung beim Fließen in den kilometerlangen Rohrsträngen verringern, um den Energieaufwand für die Pumpen zu minimieren. In den Tiefen, in denen das Fracfluid ins Gestein gepresst wird, führt es keineswegs zu einer Verschlechterung der (dort nicht vorhandenen) Grundwassergüte. Dennoch: nicht

zuletzt, um diesbezügliche Befürchtungen zu zerstreuen, hat die Industrie den Anteil der Additive stark reduziert. Fracfluide genügen heute der niedrigen Wassergefährdungsklasse 1 an, routinemäßig umgegangen wird auf Bohrplätzen mit Stoffen der Wassergefährdungsklasse 2 (z. B. Erdgas und Erdöl). Sämtliche Maßnahmen sorgen dafür, dass eine auf das Fracking zurückzuführende Gefährdung des Trinkwassers nach menschlichem Ermessen nicht gegeben ist.

Nach Durchführung einer Fracking-Maßnahme wird das Fracfluid teilweise zurückgefördert und dann recycelt oder fachgerecht entsorgt. Einige Anteile verbleiben in den gefrackten Schiefergasformationen. Geringe Mengen könnten sich, sollten sich die in der Zielformation erzeugten Risse über deren Rand hinaus ausbreiten, in den ungleich größeren Vorkommen der hochsalinaren Tiefenfluide auflösen. Aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Dichte können die Tiefenfluide, wie erwähnt, nicht in höhere Stockwerke des Untergrundes aufsteigen (ebenso wenig wie ein Apfel nach oben fällt). Überdies zeugt der über geologische Zeiträume hinweg bestehende hydraulische Überdruck, der in diesen Tiefen herrscht, von einer sehr verlässlichen Abdichtung zu oberflächennahen Schichten.

Sofern überhaupt eine Gefährdung für das nutzbare Grundwasser besteht, dann durch unsachgemäßes Arbeiten an der Erdoberfläche. Wichtig ist, dass hier die einschlägigen Vorschriften beachtet werden. Angesichts von bereits nicht unbeträchtlichen Einträgen ins Grundwasser aus anderen Quellen, so aus Teilen der Landwirtschaft, ist es verantwortungsvoll, zusätzliche Belastungen für das Grundwasser auszuschließen. Dies ist durch die derzeitige Genehmigungspraxis gewährleistet. Entsprechend vorsorgende Regelungen gelten auch für Tankfahrzeuge, die Flüssigkeiten von A nach B bringen und Teil unseres Alltags sind. Unsachgemäßes Ausbringen von Gülle stellt dagegen eine tatsächliche Belastung für oberflächennahe Grundwasserleiter dar.

Wenn gefordert wird, Schiefergasförderungen nur außerhalb von Naturschutz- oder Wassereinzugsgebieten zuzulassen, ist dies insofern gerechtfertigt, als dass in den schützenswerten Zonen keine Bohrplätze bzw. Bohransatzpunkte liegen sollten. Gleichzeitig zu untersagen, solche Zonen in großer Tiefe zu unterbohren, ist unbegründet. Wohl niemandem würde einfallen, Verkehrsflugzeugen zick-zack-Routen zuzumuten, weil das Überfliegen von Naturschutzgebieten zu risikoreich sei.

Die staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands, interessensneutrale Fachbehörden der öffentlichen Hand und anerkannte Wissensträger des geologischen Untergrundes, haben in Kenntnis der fachlichen Sachverhalte wie auch der in Medien und Öffentlichkeit kontroversen Diskussion zum Thema Fracking bereits 2013 gemeinsam erklärt: «Sofern die gesetzlichen Regelungen und die technischen Standards eingehalten und detaillierte standortbezogene Voruntersuchungen durchgeführt werden, ist der Einsatz der Technologie aus geowissenschaftlicher Sicht sicher und umweltverträglich möglich» (SGD 2013).

4 Die öffentliche Wahrnehmung

Die Sicht der Fachleute zum Fracking steht in krassem Widerspruch zur Skepsis in der breiten Öffentlichkeit. In den Medien wird das Thema Fracking kontrovers, leider oft sachfremd und zum Teil recht emotional diskutiert. Große Teile der Bevölkerung sind durch Videoclips aus den USA verunsichert, insbesondere von dem eines Wasserhahns, aus dem ein entflammbares Wasser-Methan-Gemisch fließt – vorgeblich als Folge einer Fracking-Maßnahme im Untergrund. Manche Satellitenaufnahmen zeigen zerstückelte Landschaften – durchzogen von zahllosen Bohrplätzen und Zufahrtstraßen. Keines dieser Bilder hat auch nur den geringsten Bezug zu den in Deutschland durchgeführ-

ten Fracking-Maßnahmen. Dies gilt auch für die Zukunft. Die Filmsequenz aus dem Film Gasland mit dem brennenden Wasserhahn wurde – aus zweifelhaften Gründen – inszeniert, wie beispielsweise in dem (durch Crowdfunding finanzierten) Film *FrackNation* dargelegt (McElhinney& McAleer 2013). Eine Klarstellung von NGOs und anderen Akteuren, die sich dieser Sequenzen für öffentlichkeitswirksame Kampagnen bedient haben, mit einem Bekenntnis, dass sie einer filmischen Dramatisierung aufgesessen sind, ist bisher nicht erfolgt.

Ebenso wenig können einzelne Zwischenfälle in den USA, bei denen es lokal zu einer Grundwasserkontamination gekommen ist, als Beleg für drohende Gefahren bei uns herangezogen werden. Die aufgetretenen Probleme sind nach vorliegenden Informationen an Bohrungen entstanden, für die es in Deutschland keine Betriebserlaubnis gegeben hätte. Zum Teil handelt es sich auch um medienwirksame Übertreibungen im Wettbewerb um Leserschaft (vgl. SZ.de 2015). In ihrer im Juni 2015 publizierten Studie über Fracking-Maßnahmen in den USA stellt die amerikanische Environmental Protection Agency (EPA 2015) fest, dass es keine Hinweise auf systematische und weitreichende Beeinträchtigungen des Trinkwassers gibt. Die Zahl der Fälle, bei denen es zu einer Verunreinigung von Trinkwasservorkommen gekommen ist, war im Vergleich zu der sehr großen Zahl der Förderstellen, bei denen Fracking zum Einsatz kam, klein.

Die öffentlich verbreitete Vorstellung, durch Fracking würden Gifte in den natürlichen, sauberen Untergrund gelangen, ist ebenso unzutreffend wie die Ansicht, tiefe Wässer seien reiner als oberflächennahe (auch wenn gerade dies durch manche Werbebotschaft der Mineralwasserindustrie vermittelt wird). Wie vorgenannt ist Grundwasser im Norddeutschen Becken schon in wenigen hundert Metern Tiefe extrem salzig, enthält gelöste Gase, Schwermetalle und zahlreiche andere Stoffe, die es unverwertbar machen.

So kommt auch keine der in den letzten Jahren erstellten Studien über den Einsatz des Fracking-Verfahrens zu dem Ergebnis, die Technologie sei gefährlich und müsse verboten werden (u.a. Ewen et al. 2012; UBA 2012, 2014; SRU 2013). Zuletzt hat das Positionspapier von acatech, der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften, die tatsächlich bestehenden Potenziale, Risiken und Besorgnisse zusammengefasst und thematisiert, welche Umstände dazu beigetragen haben, dass ein langjährig etabliertes Verfahren in kurzer Zeit diskreditiert werden konnte (acatech 2015). Glauben, so scheint es, wird weiterhin eher denen geschenkt, die aus welchen Gründen auch immer verzerrte Darstellungen verbreiten und mit alarmierenden Botschaften leicht Aufmerksamkeit erzielen. Kopfschüttelnd muss man zur Kenntnis nehmen, dass selbst neutrale staatliche Fachbehörden in der (Medien-) Öffentlichkeit oft weniger Gehör finden als einzelne Vertreter von Bürgerinitiativen oder von klar interessensgeleiteten NGOs. In der so genannten Kopenhagener Erklärung (NAG 2014) haben die Leiter internationaler Geologischer Dienste auf die Gefahr hingewiesen, dass irreführende Informationen auf diese Weise nachteilige Folgen für die Gesellschaft haben können.

In der öffentlichen Debatte konnte man auch verfolgen, dass sich, nachdem einzelne der Besorgnisse und Missverständnisse im Zusammenhang mit Fracking durch Sachinformation aufgeklärt werden konnten – wie der «brennende Wasserhahn» oder ein vermeintlich hoher Wasserverbrauch beim Fracking –, das Misstrauen auf andere, zuvor nicht benannte Aspekte verlagerte. So wird ein beängstigend hohes Verkehrsaufkommen beschworen (was jedoch bei keinem der Hunderte von Fracking-Maßnahmen in Deutschland je beklagt wurde). Vorschnell wird behauptet, mit Fracking wäre ein hohes Erdbebenrisiko verbunden. Nach allen weltweit vorliegenden Daten ist genau das Gegenteil der Fall. Zwar sind für die Wissen-

schaft noch einige Fragen offen, gleichwohl ist aber die Gewinnung von Schiefergas mittels Fracking mit einem deutlich geringeren Erdbebenrisiko verbunden als (regionsspezifisch) die Erdgasförderung aus konventionellen Lagerstätten, der herkömmliche Untertagebergbau (Gebirgsschläge) oder das Befüllen, vereinzelt auch der Betrieb, von Stauseen (z. B. Gupta 1992, 2002; Lee et al. 2002). Das ist nicht überraschend, weil die Kompaktion dichter Tongesteinspakete – durch Entzug von vergleichsweise wenig Erdgas – geringer ist als die Volumenabnahme poröser Sandsteinformationen durch Entnahme großer Erdgasmengen (z. B. Dost et al. 2012).

Geradezu als würde man einem Phantom hinterherlaufen, wurde auch auf einmal das scheinbar hohe Gefahrenpotenzial von Lagerstättenwässern «entdeckt». Dabei fallen solche Begleitwässer, die nichts anderes als typische Tiefenfluide sind, seit jeher an, vor allem bei der Erdölförderung; sie werden regelmäßig wieder in den Untergrund rückgefördert. Bei der Nutzung der tiefen Geothermie sind sie Träger der geförderten Erdwärme, die über Wärmetauscher ausgekoppelt wird, bevor das Tiefenfluid wieder nach unten gepumpt wird. Selbst vor der Verladung und dem Transport von Sand (als Stützmittel beim Fracking gebraucht) wird gewarnt und die Gefahr einer Silikatvergiftung heraufbeschworen. Und scheinbar fürsorglich wird zudem die Industrie darauf aufmerksam gemacht, sie möge doch nicht in die Schiefergasgewinnung investieren. Dies könne wirtschaftlich ja nur Verluste bringen. Das Auftauchen immer neuer Argumente scheint ein Indiz dafür zu sein, dass es weniger um die Technologie als um etwas anderes geht. Leider haben bisher weder umfangreiche wissenschaftliche Bewertungen noch allgemeinverständliche Darstellungen zu einer differenzierten Betrachtung geführt. Nach wie vor ist es so, dass für viele Menschen allein der Begriff «Fracking» eine Verurteilung begründet – und zu der Haltung führt, sich weiteren Diskussionen zu entziehen. Ginge jemand mit einem Schild «Fracking ist gefährlich!» auf die Straße, ist die Chance einer spontanen Zustimmung von Passanten weitaus höher, als wenn auf dem Schild stünde «Fracking ist umweltverträglich möglich». Das breite Misstrauen gegenüber Fracking ähnelt einer Situation, die sich Studierende der kalifornischen Universität Santa Cruz 1989 spaßeshalber einmal zunutze gemacht haben sollen. Sie warnten vor dem Gebrauch von Dihydrogenmonoxid (DHMO = H_2O), was prompt bei vielen, die zu den Risiken der Verwendung dieser Chemikalie befragt wurden, auf ernsthafte Vorbehalte stieß (siehe Wikipedia zu DHMO, 2015).

5 Das inländische Potenzial

Dass es bei der Frage der inländischen Schiefergasgewinnung durchaus um eine erhebliche Wertschöpfung geht, sei nachfolgend kurz zusammengefasst. Auf der Grundlage von Daten der Geologischen Dienste der Bundesländer hatte die BGR in einer ersten groben und noch vorläufigen Abschätzung das Schiefergaspotenzial Deutschlands im Tiefenbereich 1000 bis 5000 m zunächst auf gut 1000 Mrd. m^3 beziffert, bei einem Unsicherheitsbereich von 700 bis 2300 Mrd. m^3 (BGR 2012). In einer kürzlich publizierten Aktualisierung hat sich die Größenordnung der Abschätzung bestätigt, wobei für denselben Tiefenabschnitt nun ein Potenzial zwischen 320 und 2030 Mrd. m^3 prognostiziert wird (BGR 2016). Das ist ein Vielfaches der bekannten inländischen Erdgasreserven und entspricht dem 30- bis 200-fachen des derzeit jährlichen Beitrags aus heimischer Erdgasförderung. Erlaubten wir eine inländische Förderung von Schiefergas in ähnlicher Menge, könnte eine vollständige Importabhängigkeit bei Erdgas auf lange Sicht vermieden werden – möglicherweise bis zu dem Zeitpunkt, bei dem aufgrund der Energiewende der Erdgasbedarf Deutschlands durch höhere Energieeffizienz und

Nutzung alternativer Energien gedeckt werden kann.
Größere Unsicherheiten bestehen noch hinsichtlich des Gewinnungsfaktors (recovery factor). Er bezeichnet denjenigen Anteil des im Muttergestein verbliebenen Erdgases (gas in place), das technisch gefördert werden kann. Die Abschätzungen der BGR gehen von einem gewinnbaren Anteil von 10% aus. Nach Erfahrungen aus den USA liegt der Gewinnungsfaktor zwischen 5 und 20%, in seltenen Fällen auch darüber. Erst Fracking-Maßnahmen unter in-situ Bedingungen im höffigen Tongestein können hier Klarheit schaffen. Trotz dieses bemerkenswerten Gesamtpotenzials ist in Deutschland jedoch kein «Boom» wie in den USA zu erwarten.

Zu den in den Medien vielfach irreführend wiedergegebenen Aussagen gehört auch, dass die heimischen Schiefergasvorräte nur für etwa 10 Jahre reichen würden, um den Erdgasbedarf Deutschlands zu decken (vgl. Aachener Zeitung, az-web.de, 27.08.2015). Bei einem jährlichen Gesamtbedarf von 100 Mrd. m³ Erdgas wären heimisch verfügbare 1000 Mrd. m³ nach 10 Jahren aufgebraucht, so die Rechnung. Und also, wird geschlossen, lohne sich eine Investition in die Fracking-Technologie gar nicht. Tatsächlich ist aber eine jährliche Förderrate von 100 Mrd. m³ bei uns gänzlich illusorisch, schon weil die Bohranlagen und Infrastruktur zu ihrem Betrieb nicht vorhanden sind. Im Bereich des Möglichen erscheinen dagegen Fördermengen von jährlich 10 bis 20 Mrd. m³. Der wirtschaftliche Wert dieser Mengen ist nicht unerheblich. Für den Import von 10 Mrd. m³ Erdgas müssen bei den derzeitigen Preisen etwa drei Mrd. Euro an Devisenausgaben veranschlagt werden. Bei heimischer Förderung kann man diesen Betrag als inländische Wertschöpfung verbuchen – mit positiven Folgen für Arbeitsplätze, Investitionen, staatliche Einnahmen aus Steuern und Förderabgaben, Technologieentwicklung usw., und das Jahr für Jahr bis mindestens 2080.

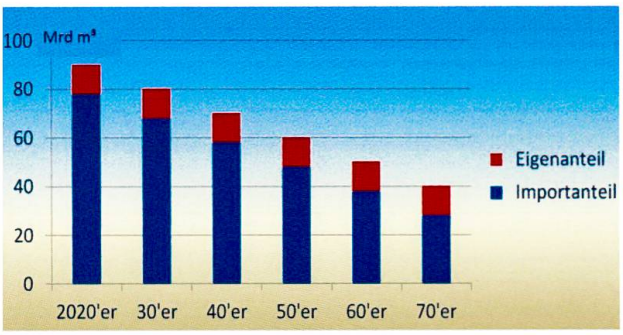

Fig. 4: Hypothetisches Szenarium der Entwicklung des jährlichen Erdgasbedarfs Deutschlands. Dargestellt ist der jeweils zu Beginn der Dekaden 2020 bis 2070 angenommene Erdgasbedarf, ausgehend von einem Bedarf von 90 Mrd. m³ im Jahr 2020. Infolge erfolgreicher Energiewende ist ein Rückgang von 10 Mrd. m³ pro Dekade angenommen. Die über alle Dekaden als gleichbleibend angenommene inländisch geförderte Erdgasmenge (Eigenanteil, rot) beträgt 12 Mrd. m³ pro Jahr, die einzuführende Erdgasmenge (Importanteil, blau) geht mit der Zeit zurück.

Fig. 4 zeigt hierzu als ein hypothetisches Szenarium den Erdgasbedarf Deutschlands, ausgehend von der optimistischen Annahme, dass sich die Menge des benötigten Erdgases in den kommenden Jahrzehnten infolge einer erfolgreichen Energiewende pro Jahrzehnt um 10 Mrd. m³ senken lässt. Die viele Jahrzehnte nutzbaren heimischen Erdgasvorräte könnten die Energieversorgung bei uns absichern und zur Preisstabilität auf dem Energiemarkt beitragen. Ob die Förderung von Tightgas oder Schiefergas in Deutschland letztlich wirtschaftlich ist, kann nur die Industrie beantworten. In Kenntnis der Rahmenbedingungen und ihrer eigenen Möglichkeiten bestimmen die Unternehmen ihre Zukunftsstrategien und treffen die von ihnen verantwortbaren Investitionsentscheidungen.
Die neue Studie (BGR 2016) enthält auch eine Abschätzung des in Deutschland vorhandenen Schieferölpotenzials. Letzteres ist, umgerechnet in Energieeinheiten, deutlich geringer als das des Schiefergases. Weiterhin wird in der Studie durch umfangreiche numerische Modellrechnungen wissenschaftlich unterlegt, warum selbst unter

ungünstigen Bedingungen Frac- oder Tiefenfluide durch Fracking-Maßnahmen nicht in oberflächennahe Grundwasserleiter aufsteigen können, kein erhöhtes Erdbebenrisiko besteht und warum Trinkwasserschutz und Fracking miteinander vereinbar sind.

6 Fazit

Auch wenn der Einsatz der Fracking-Technologie Fachkunde erfordert und am Bohrplatz zahlreiche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden müssen, um eine Kontamination des in flachen Tiefen lagernden Grundwassers zu verhindern, ist ihre Wertung als Risikotechnologie oder gar Hochrisikotechnologie (u. a. Bündnis 90/Die Grünen 2014, BUND & DUH 2015) nicht haltbar. Tatsächlich ist Fracking seit vielen Jahren Routine und für Bohrleute ein alltäglich angewandtes Verfahren, wie viele andere Arbeiten in unserer Lebenswelt auch. Einzelne Schadensfälle aus den USA sind nicht geeignet, eine Technologie zu diskreditieren, die andernorts gezeigt hat, welch großes wirtschaftliches Potenzial in ihr steckt. Die umfangreiche Studie der US-amerikanischen Umweltbehörde hat zudem gezeigt, dass Umweltbeeinträchtigungen Einzelfälle und vermeidbar sind (EPA 2015).

Die aus geowissenschaftlicher Sicht unbegründete Skepsis gegenüber der Fracking-Technologie hat dazu geführt, dass hierzulande das Thema Schiefergas nicht als wichtige Zukunftsoption wahrgenommen wird. Auch wenn das Fracking bei uns seit Langem bekannt ist, zu einer Schiefergasförderung ist es bisher in Deutschland noch nicht gekommen. Lediglich versuchsweise konnte 2008 bei einer Bohrung im niedersächsischen Damme eine Fracking-Maßnahme in einer Schiefergaslagerstätte durchgeführt werden.

Für manche überraschend, sprechen selbst Gesichtspunkte des Umwelt- und Klimaschutzes für eine heimische Förderung. Strenge Genehmigungsauflagen sorgen bei uns dafür, dass im Umfeld der Bohranlagen die Umwelt nicht beeinträchtigt und nach Abschluss der Erdgasförderung der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt wird. Beides ist in anderen Fördergebieten längst nicht selbstverständlich. Weite Transportwege für Erdgaslieferungen entfallen zudem, und damit auch Energieverluste und beträchtliche Mengen an CO_2-Emmissionen durch das Betreiben von Kompressor-Stationen entlang von tausende von Kilometern langen Pipelines. Und das Risiko von Methanlecks, mit einer vergleichsweise hohen Treibhausgaswirkung, wird zugleich auf ein Minimum reduziert. Die Klimabilanz heimisch gewonnenen Schiefergases ist somit eindeutig besser als die von importiertem Erdgas.

Die größte Herausforderung besteht auch heute noch darin, die vielen falschen Eindrücke, die mit der Fracking-Technologie assoziiert werden, zu revidieren und den unbegründeten Besorgnissen entgegenzutreten. Dem trägt einerseits der Koalitionsvertrag der Bundesregierung Rechnung, der obligatorisch eine Umweltverträglichkeitsprüfung und eine Öffentlichkeitsbeteiligung vorsieht. Auf der anderen Seite sind auch die kommunikativen Fähigkeiten von Fachleuten gefragt, den Menschen nachvollziehbar zu erklären, warum inländische Schiefergasressourcen und der Einsatz der Fracking-Technologie wichtige Bausteine für eine sichere und schadstoffarme Energieversorgung in Deutschland sein können. Ermutigend ist hierzu die seit Mitte 2014 zunehmende Anzahl gut recherchierter Beiträge einzelner Fachjournalisten in Radio, TV und den Print-Medien.

Es ist somit auch angebracht und folgerichtig, dass die Politik in einem ersten Schritt der Forschung die Chance einräumt, im Rahmen von Pilotprojekten Probebohrungen durchzuführen, um die technische Machbarkeit unter den hiesigen Verhältnissen zu erkunden. Dies haben die BGR, das Deutsche GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) und das Helmholtz-Zentrum für

Umweltforschung (UFZ) in einer Stellungnahme bereits 2013 gemeinsam erklärt (BGR et al. 2013), ebenso der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 2013). Nur so können Unternehmen und die Wissenschaft genauere Aussagen zu den Vorkommen und zur Wirtschaftlichkeit einer möglichen inländischen Schiefergasförderung machen. Gleichzeitig kann Wissen über die hohen Sicherheitsstandards beim Niederbringen von Bohrungen und über den Aufbau des geologischen Untergrundes vermittelt, vielleicht sogar Interesse an einer hochmodernen Bohrtechnologie geweckt werden.

Versuche Einiger, Ängste selbst vor wissenschaftlich begleiteten Probebohrungen zu verbreiten, obwohl bereits umfangreiche zusätzliche Auflagen vorgesehen sind, sprechen für sich. Es mag andere als die hier wiedergegebenen Gründe für eine Ablehnung der Fracking-Technologie geben. Fachlich-geowissenschaftliche können es kaum sein.

Anmerkung

Der vorliegende Beitrag ist eine aktualisierte, stellenweise leicht veränderte Fassung der Artikel Kümpel 2015, 2016. Die im Text aufgeführten URLs galten zum Datum 23. Februar 2016. Kurz vor Redaktionsschluss, am 24. Juni 2016, wurden vom deutschen Bundestag gesetzliche Vorgaben zur Anwendung des Fracking-Verfahrens unter strengen Regeln beschlossen (Bundesregierung 2016).

Der Autor erhielt die Anregung, diesen Artikel im Swiss Bulletin für angewandte Geologie einzureichen, von Peter Burri, der am 10. Juni 2016 durch einen tragischen Verkehrsunfall ums Leben kam.

Literatur

acatech 2015: Hydraulic Fracturing – Eine Technologie in der Diskussion. acatech Positionspapier, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 68 S., www.acatech.de/de/projekte/laufende-projekte/hydraulic-fracturing-eine-technologie-in-der-diskussion.html.

AGEB 2015: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2014. Jahresbericht Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., 42 S., www.ag-energiebilanzen.de/20-0-Berichte.html

Andruleit, H., Bahr, A., Babies, H. G., Hesse, B., Messner, J., Rebscher, D., Schauer, M., Schmidt, S., Schulz, P. & von Goerne, G. 2015: Potenziale geologischer Energierohstoffe – Die Energiestudie 2014 der BGR. Erdöl-Erdgas-Kohle, 131,4: 146–150.

Baker, R. 2001: A Primer of Oilwell Drilling: A basic Text of Oil and Gas Drilling. 6th ed., University of Texas. Austin, ISBN 0-88698-194-8.

BGR 2012: Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland; NIKO I. – Bericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 56 S.

BGR 2015: Energiestudie 2015. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen (19). Bericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 169 S., www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/energie_node.html

BGR 2016: Schieferöl und Schiefergas in Deutschland – Potenziale und Umweltaspekte. Bericht Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 237 S., www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Fracking/fracking_node.html;jsessionid=B7B0FEA70AD116FE006F53396E39D21D.1_cid292

BGR, GFZ & UFZ 2013: Abschlusserklärung zur Konferenz «Umweltverträgliches Fracking?» 24./25. Juni 2013 in Hannover (Hannover-Erklärung). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Veranstaltungen/2013/GZH-Veranst/Fracking/fracking_kongress_node.html

BMWi 2015: Erneuerbare Energien in Zahlen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, www.erneuerbare-energien.de

BUND & DUH 2015: BUND und DUH fordern weitreichendes Fracking-Verbot. Gesetzentwurf bedroht Naturschutzgebiete. Gemeinsame Pressemitteilung des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) und der Deutschen Umwelthilfe (DUH), www.bund.net/index.php?id=936&tx_ttnews[tt_news]=5564&tx_ttnews[backPid]=447

Bundesregierung 2016: Fracking nur unter strengen Regeln. www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/04/2015-04-01-fracking-gesetz-kabinett.html

Bündnis 90/ Die Grünen 2014: Gasförderung. Hochrisikotechnologie Fracking. www.gruene-bundestag.de/themen/umwelt/hochrisikotechnologie-fracking_ID_4393756.html

CO_2GeoNet 2009: Geologische CO_2-Speicherung – was ist das eigentlich? Europäisches Exzellenznetzwerk CO_2GeoNet, www.co2-geonet.eu, ISBN: 978-2-7159-2456-7.

Dost, B., Goutbeek, F., van Eck, T. & Kraaijpoel, D. 2012: Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands – Status report 2010. Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), Scientific Report WR 2012-03, 46 p.

EPA 2015: www2.epa.gov/hydraulicfracturing, US Environmental Protection Agency.

Ewen, C., Borchardt, D., Richter, S. & Hammerbacher, R. 2012: Sicherheit und Umweltverträglichkeit der Fracking-Technologie für die Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Quellen. Risikostudie Fracking, Neutraler Expertenkreis, Informations- und Dialogprozess der deutschen EXXON Mobil, Übersichtsfassung der Studie, 75 S., http://dialog-erdgasundfrac.de/risikostudie-fracking

Gupta, H. K. 1992: Reservoir-Induced Earthquakes. 364 p., Amsterdam (Elsevier).

Gupta, H. K. 2002: A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. Earth Science Reviews 58, 279–310, Amsterdam.

Kümpel, H.-J. 2015: Schiefergasgewinnung durch Fracking – Plädoyer für eine ehrliche Debatte. Akad. Geowiss. Geotechn. Veröffentl. 31, 25–35.

Kümpel, H.-J. 2016: Schiefergasgewinnung durch Fracking – Plädoyer für eine ehrliche Debatte. GMIT 64, 7–20.

LBEG 2015: Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2014. Jahresbericht 2014, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 81 S., www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=655&article_id=936&_psmand=4

Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C. & Kisslinger, C. (eds.) 2002: International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. 924 p., London (Elsevier Academic Press).

McElhinney, A. & McAleer, P. 2013: FrackNation – The Truth About Fracking. Länge 1h16min, e. g. www.youtube.com/watch?v=w1TKVRRhsGo

NAG 2014: Provision of data for national shale gas assessments. North Atlantic Group of European Geological Surveys, Kopenhagener Erklärung, www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Aktuelles/2014-10-01-kopenhagener-erklaerung.html

Reich, M. 2015: Auf Jagd im Untergrund: Mit Hightech auf der Suche nach Öl, Gas und Erdwärme. 163 S., Heidelberg (Springer).

SGD 2013: Stellungnahme zu den geowissenschaftlichen Aussagen des UBA-Gutachtens, der Studie NRW und der Risikostudie des ExxonMobil InfoDialogprozesses zum Thema Fracking. Staatliche Geologische Dienste Deutschlands, www.infogeo.de/dokumente/index_html?lang=1

Springer, F. P. 2009: Zur Geschichte der Tiefbohrtechnik aus der Perspektive von Lehr- und Fachbüchern. Erdöl-Erdgas-Kohle, 125, 7/8, 308–314.

SRU 2013: Fracking zur Schiefergasgewinnung. Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung. Stellungnahme Sachverständigenrat für Umweltfragen, Nr. 18, 58 S., ISSN: 1612-2968, www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2012_2016/2013_05_AS_18_Fracking.html

SZ.de 2015: Fracking-Chemikalien im Trinkwasser gefunden. Süddeutsche Zeitung SZ.de, 6. Mai 2015, 08:15 Uhr, www.sueddeutsche.de/wissen/us-bundesstaat-pennsylvania-fracking-chemikalien-im-trinkwasser-gefunden-1.2465134

UBA 2012: Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten, Risikobewertung, Handlungsempfehlungen und Evaluierung bestehender rechtlicher Regelungen und Verwaltungsstrukturen. Bericht Umweltbundesamt (Hrsg.), 469 S., www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltauswirkungen-von-fracking-bei-aufsuchung

UBA 2014: Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten (Teil 2). Bericht Umweltbundesamt (Hrsg.), 634 S., www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-2014-umweltauswirkungen-von-frakking-bei.

Wikipedia 2015: Dihydrogenmonoxid, DHMO. https://de.wikipedia.org/wiki/Dihydrogenmonoxid.