

2/2009

116. Jahrgang ISSN 0174-1357

DMV

Deutscher Markscheider-Verein e. V.

www.dmv-ev.de

Markscheidewesen

Altbergbau und Stilllegungen
Bergbauliche Umweltauswirkungen
Bergbauplanung
Bergschäden
Bergvermessung
Boden- und Gebirgsbewegungen
Erneuerbare geogene Energien
Genehmigungsverfahren
Geoinformation
Lagerstättenmanagement
Raumordnung

*Abandoned Mines and Mine Closures
Mining and Environmental Impacts
Mine Planning
Mining-induced Subsidence Damages
Mine Surveying
Ground and Rock Movements
Unconventional Geogenic Energies
Authorization Procedures in Mining
Geoinformation
Mineral Resources Management
Regional and Area Planning*

- ▶ **MÜHLENBECK:**
Das Verhalten von Lockermassenfüllsäulen in Schächten
- ▶ **FUCHS, PREUSSE, BLÄSING:**
Flözgas – Eine innovative Ergänzung
im deutschen Energiemix
- ▶ **FRENZ:**
Auswirkungen des Bebens im Saarbergbau
vom 23.2.2008 auf weitere bergbauliche Vorhaben
- ▶ **CAŁA, SROKA, TAJDUŚ:**
Rockburst Prognosis – Using 3D Stress Analysis
Software



Medienverlag
www.gdmb.de



Stefan Fuchs

Flözgas – Eine innovative Ergänzung im deutschen Energiemix

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Stefan Fuchs, FUMINCO® GmbH, Aachen, Universitätsprofessor Dr.-Ing. Axel Preuße, RWTH Aachen, Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau, Lena Bläsing, B.Sc., FUMINCO® GmbH, Aachen



Axel Preuße

Flözgas – Energierohstoff der Zukunft

Die stetig steigenden Rohstoff- und Energiekosten haben in der jüngsten Vergangenheit dazu geführt, dass nun auch bislang wenig beachtete Rohstoffquellen einer erneuten Bewertung unterzogen werden. Dabei rücken solche Energieträger in den Fokus von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, deren Einsatz zur Energiegewinnung aus technischen und vor allem aus betriebswirtschaftlichen Gründen in der Vergangenheit als nicht durchführbar eingestuft wurde. Hierzu zählt auch eine mögliche Gewinnung von Flözgas in Nordrhein-Westfalen und im Saarland. Durch signifikante Weiterentwicklungen der Bohr- und der Stimulationstechnologie in den letzten zehn Jahren sowie durch die drastischen Veränderungen der wirtschaftlichen Randparameter muss das vorhandene Datenmaterial vergangener Projekte überarbeitet sowie das Potential der nationalen Flözgaslagerstätten neu bewertet werden.



Lena Bläsing

Flözgas und Grubengas – Unterschiede und Gemeinsamkeiten

Flözgas (englisch *Coalbed Methane*, CBM) wird als Gasmischung mit einem Methangehalt (CH₄) zwischen 90 und 95 % und einem lokal variierenden Anteil an Kohlendioxid (CO₂), Stickstoff (N₂) und Ethan (C₂H₆)

definiert. Es wird aus unverritzten, das heißt vom Bergbau nicht beeinträchtigten, Kohleflözen gewonnen [1]. Dies stellt zugleich den wesentlichen Unterschied zwischen Flözgas und Grubengas dar, das kurz vor, während oder nach dem Abbau der Kohle aus verritzten Gesteinsformationen frei beziehungsweise planmäßig abgesaugt wird.

Flöz- und Grubengas lassen sich unter dem Oberbegriff *Kohleflözgas* zusammenfassen und weisen eine gemeinsame Genese auf. Bei der geologischen Entstehung von Steinkohle bilden sich parallel zur Kohle gasförmige Kohlenwasserstoffe. In verschiedenen Laborversuchen konnte nachgewiesen werden, daß während der Inkohlung des organischen Materials bis zum Stadium der Fettkohle neben rund 32 m³ Kohlendioxid und 43 m³ Wasser bis zu 85 m³ Methan pro Tonne Kohle gebildet werden. Diese Gasbildung stellt keinen lokalen Sonderfall dar, sondern tritt in allen Kohlenlagerstätten auf. Während der nachfolgenden geochemischen und physikalischen Prozesse wandert ein Großteil des Wassers und des Kohlendioxids aus der Kohle heraus, wodurch die vom Bergbau unbeeinflusste Lagerstätte ein Gasmischung mit rund 90–95 % Methan enthalten kann. Aufgrund der anschließenden Migration des Kohleflözgases aus dem Speichergestein an die Oberfläche liegt der heutige Methangehalt in der Steinkohlenlagerstätte des Ruhrreviers inklusive des Ibbenbürener Reviers zwischen 0 und 22 m³/t Kohle [2].

Schlagworte Keywords

Flözgas
Coalbed methane

Energierohstoff
Energy resource

Bohrtechnik
Drilling engineering

Stimulationstechnik
Stimulation technique

In Zeiten steigender Energiepreise und knapper werdender Rohstoffe wird es notwendig, neue Energiequellen zu erschließen. Hier stellt Flözgas eine vielversprechende Alternative zu konventionellem Erdgas dar. Flözgas bietet eine innovative Nutzungsmöglichkeit der deutschen Steinkohlevorkommen und könnte Deutschland unabhängiger von Importen fossiler Brennstoffe machen. Daher beschäftigt sich eine interdisziplinäre Forschungsgemeinschaft im Rahmen des F&E-Projektes *CBM Münsterland* seit eineinhalb Jahren mit der Machbarkeit einer Flözgasförderung in Nordrhein Westfalen und hat bereits viel versprechende Prognosen für die technische und geowissenschaftliche Durchführbarkeit einer CBM-Gewinnung gestellt. Wenn die nun folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wie derzeit erwartet ebenfalls positiv ausfällt, rückt die Erschließung einer neuen, heimischen Energiequelle in greifbare Nähe.

Coalbed Methane – An Innovative Addition to the German Energy Mix

In times of increasing energy prices and decreasing reserves of fossil resources the evaluation of new and untapped energy sources such as Coalbed Methane is required more than ever. The usage and production of CBM lying in the German hard coal deposits of the northern Ruhr area could be a promising alternative to conventional natural gas and thus help to release Germany from its dependency on fossil fuel imports. Therefore a multidisciplinary research team has been analyzing the feasibility of CBM-production in North Rhine-Westphalia since April 2007. The so called R&D-project *CBM Münsterland* has reached very optimistic results concerning the technical and geological practicability of CBM production in the Münsterland so far. Should the now following economical feasibility study results be as positive as expected, the production of a new, local energy source becomes possible.

CBM, CNG, CMM, CSG – Eine Begriffsabgrenzung

Der Oberbegriff für alle in der Kohle vorhandenen Gasmengen ist *Kohlegas*, welches wiederum einen Teil des Erdgases bildet. In den USA, die im Bereich Flözgasgewinnung weltweit führend sind, hat sich die folgende Nomenklatur durchgesetzt:

Das *Erdgas* wird im angloamerikanischen Sprachgebrauch als *Natural Gas* bezeichnet, welches sich in *Conventional Gas* und *Unconventional Gas* differenzieren lässt, wobei alle Kohlegase zum *Unconventional Gas* zählen.

Das englische Äquivalent zum deutschen Begriff *Kohleflözgas* ist der englische Begriff *Coalbed Natural Gas* (CNG). Dieses gliedert sich, genau wie im Deutschen, nach dem Zeitpunkt und der Art der Gewinnung des Gases in *Coalbed Methane* (CBM), welches aus dem unverritzten Kohleflöz gewonnen wird, und in das *Coal Mine Methane* (CMM), das aus bereits verritzten Kohleflözen während oder nach dem Abbau aus aktiven oder bereits stillgelegten Bergbaubetrieben gefördert wird. Der Begriff *Coalbed Methane* ist somit analog zum deutschen Wort *Flözgas* zu sehen, während *Coal Mine Methane* dem deutschen Ausdruck *Grubengas* entspricht.

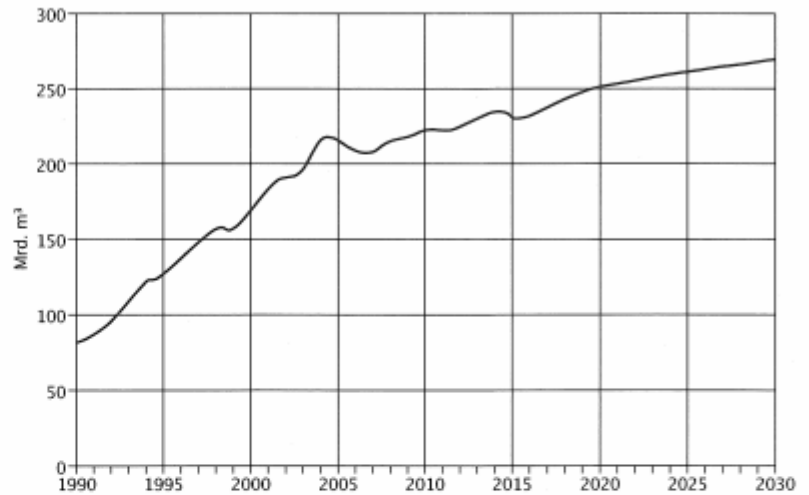
Außerdem untergliedern die Amerikaner die Begriffe *Coalbed Methane* und *Coal Mine Methane* noch in diverse Kategorien. Hierbei stellt als wichtigste Klasse das *Enhanced Coalbed Methane* (ECBM) eine Sonderform des *Coalbed Methane* dar, bei dessen Gewinnung zur Steigerung des Ausbringens gleichzeitig Gas (in der Regel Kohlendioxid) in das Kohleflöz eingeleitet wird.

Ein weiterer Sonderfall, der die Komplexität der Benennung verdeutlicht, ist der Begriff *Pre-Mine Drainage Methane*. Hierbei handelt es sich um Methangas, welches unmittelbar vor dem Abbau aus dem noch unverritzten Kohleflöz mittels Bohrungen gewonnen wird. Zu diesem Zeitpunkt ist es also noch eine Unterklasse des Flözgases. Schreitet der Abbau nun weiter voran und erreicht schließlich die Absaugungsbohrung, so ist das Kohleflöz an dieser Stelle nicht mehr unverritz, sondern verritzt und das *Pre-Mine Drainage Methane* wird nun dem Grubengas zugerechnet, obwohl sich am Gas selbst und an seiner Zusammensetzung nichts geändert hat. Des Weiteren existiert im angloamerikanischen Sprachgebrauch der Begriff *Virgin Coalbed Methane* (VCBM) für das Kohleflözgas.

In Australien, welches weltweit der zweitgrößte Produzent von Flözgas ist, hat sich eine andere Nomenklatur durchgesetzt. Hier steht für das Flözgas nicht der Begriff *Coalbed Methane*, sondern der Begriff *Coal Seam Gas* (CSG, umgangssprachlich *Seamgas*).

Entwicklung der Flözgasförderung weltweit

Einen enormen Aufschwung erlebte die Flözgasnutzung seit Anfang der 1980er Jahre, als in den USA Steuervergünstigungen für CBM-Projekte geschaffen wurden (Bild 1). Durch die *Section 29 Tax Credits* etablierte die US-Regierung erhebliche wirtschaftliche Anrei-



ze für CBM-Projekte. Von knapp 300 CBM-fördernden Bohrungen im Jahre 1984 stieg die Zahl dieser in den USA im Jahr 1996 auf über 7.000 Bohrungen bei einem gleichzeitigen Anstieg der Fördervolumen von 0,283 auf 28,348 Milliarden m^3/a [1]. Im Jahr 2007 betrug die Gesamtgasförderung aus den sogenannten nicht-konventionellen Erdgaslagerstätten in den USA über 198 Milliarden Kubikmeter (7,0 Billionen Kubikfuß). Zu diesem Lagerstättentyp gehören die Lagerstätten des Erdgases in dichten Gesteinen (*Tight Gas*), des Flözgases sowie des Aquifergases und der Gashydrate [3].

Auf der Basis neuer Stimulations- und Bohrtechnologien, insbesondere horizontale und multilaterale Bohrungen, waren signifikante Gasflusssteigerungen in Australien und in den USA in den letzten Jahren zu verzeichnen [4]. Die USA wollen bis 2010 die CBM-Förderung stark ausweiten. Anfang des 21. Jahrhunderts lag der Anteil der CBM-Förderung an der gesamten Gasproduktion bei rund 10% der jährlichen US-Erdgasförderung. Dieser Anteil an der Gesamtproduktion soll in den nächsten Jahren 30% erreichen.

Nach zehnjähriger Forschung und Entwicklung besitzt Australien bereits heute eine leistungsstarke nationale CBM-Industrie. Der Bundesstaat Queensland deckt als Resultat der eigenen Forschungsanstrengungen über 70% seines Energiebedarfes mit CBM und plant zudem in Zukunft eine große LNG-Anlage mit Verladehafen (*Liquefied Natural Gas* – Flüssigerdgas) für den Export des gewonnenen Flözgases.

Flözgas in Deutschland

Ende der 1990er Jahre gab es erste Versuche, Flözgas auch in Deutschland zu fördern. Das dazu gebildete internationale Konsortium, bestehend aus der damaligen Ruhrkohle AG und der Ruhrgas AG sowie der amerikanischen Conoco-Phillips Inc., brachte im Rahmen des Gemeinschaftsprojekts Ruhr in den damaligen Bewilligungsfeldern Sigillaria und Lingula (Nordrhein-Westfalen) bis 1997 die zwei Testbohrungen Rieth 1 und Natarp 1 nieder. Das Projekt wurde aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eingestellt, obwohl der Nachweis geführt wurde, dass es sich bei dieser Flözgaslagerstätte um eine bedeutsame heimische Energiequelle handelt [5].

Bild 1: Entwicklung/Prognose der Produktion des Unconventional Gas in den USA [28].

Auch im Saarland wurden Testbohrungen durch die damalige Saarberg AG bis in das flözführende Oberkarbon niedergebracht. Obwohl die beiden saarländischen Bohrungen Aspenhübel (1997) und Weiher 1 (1999) anfangs deutlich höhere Förderraten aufwiesen als die Bohrungen im Erlaubnisfeld Sigillaria im Münsterland, reichte dies nicht aus, um wirtschaftlich zu produzieren. Die anfängliche Fördermenge von 2.500 m³/d Gas der förderstärksten Bohrung Weiher 1 erreichte nicht die berechnete Wirtschaftlichkeitsgrenze. Zudem fiel die Förderleistung nach sechs Monaten auf 200 m³/d Gas. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten, wäre zum damaligen Zeitpunkt eine Mindestfördermenge von 6.000 m³/d Gas erforderlich gewesen, so dass dieses Projekt ebenfalls aufgrund zu niedriger Gasförderungsraten eingestellt wurde [1].

Laut einer Recherche der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) lagern in Deutschland 3,0 Billionen Kubikmeter Flözgas, wovon etwa 2,0 Billionen Kubikmeter auf das Ruhr- und 1,0 Billionen Kubikmeter auf das Saargebiet entfallen. Innerhalb Europas liegen weitere bedeutende Flözgaslagerstätten, wie zum Beispiel in der Ukraine (4,9 Billionen Kubikmeter) oder in Großbritannien (1,1 Billionen Kubikmeter). Auch wenn die größten CBM-Ressourcen mit China (31,0 Billionen Kubikmeter), Russland (29,0 Billionen Kubikmeter) und den USA (10,9 Billionen Kubikmeter) außerhalb Europas liegen, bildet Deutschland einen attraktiven CBM-Förderstandort. Die weltweiten Gesamtressourcen an Kohleflözgas werden auf 234 Billionen Kubikmeter geschätzt.

Das F&E-Projekt CBM Münsterland

Beim F&E-Projekt *CBM Münsterland* handelt es sich um ein wissenschaftliches Forschungsprojekt im Rahmen des Programmes *progres.nrw* des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Das Forschungsprojekt setzt sich grundsätzlich aus den geo- und ingenieurwissenschaftlichen Recherchen und Untersuchungen der beteiligten Institute der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und der FUMINCO®

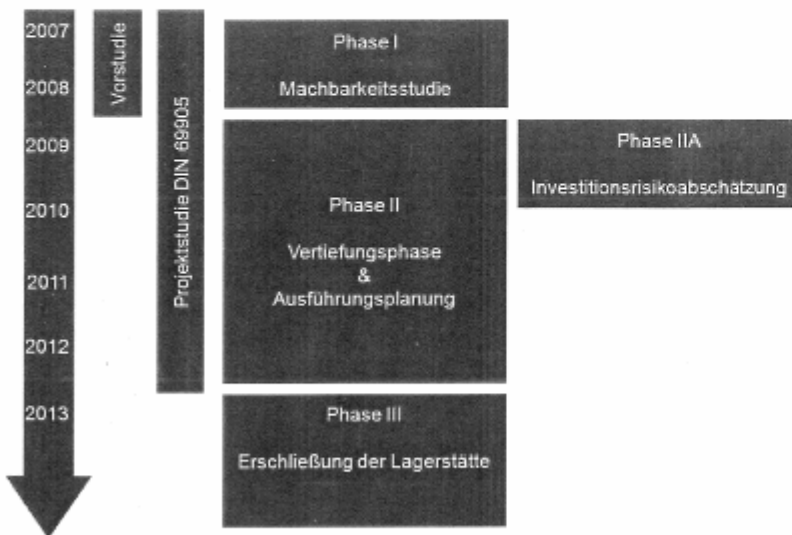
GmbH zusammen. Bei den Instituten handelt es sich zum einen um das Institut für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau für den ingenieurwissenschaftlichen Teil und zum anderen um das Geologische Institut Aachen (Universitätsprofessor Peter A. Kukla, Ph.D.) für den geowissenschaftlichen Teil. Im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen, der Minegas GmbH und der Mingas-Power GmbH prüft diese interdisziplinär aufgestellte Forschungsgemeinschaft die Möglichkeit zur Wiederaufnahme von CBM-Gewinnungsaktivitäten im nördlichen Ruhrgebiet und im Münsterland. Das Forschungsprojekt wird durch die Forschungszentrum Jülich GmbH (PT ETN) begleitet.

Das Forschungsprojekt *CBM Münsterland* untergliedert sich im Wesentlichen in drei Phasen (Bild 2). Die erste Phase, die im Oktober 2008 nach eineinhalb Jahren erfolgreich abgeschlossen wurde, beinhaltete die Untersuchung der technischen Durchführbarkeit einer Flözgasgewinnung im Untersuchungsgebiet. Durch die Darstellung und Auswertung aktueller Gasförderprojekte wurde die technische Machbarkeit einer Flözgasgewinnung unter den geologischen Randparametern innerhalb des Untersuchungsraumes des wissenschaftlichen Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH* belastbar nachgewiesen [6]. Die zweite Phase ist als Vertiefungsphase geplant, in der zunächst eine Investitionsrisikoabschätzung (Phase IIA) und im Anschluss daran eine detaillierte Ausführungsplanung durchgeführt werden soll. Die gesamte Phase II ist auf eine Dauer von drei Jahren ausgelegt. In der dritten und letzten Phase soll dann die Erschließung der CBM-Lagerstätte erfolgen.

Projektphase I – Ingenieurwissenschaftlicher Teil

Bei der zuvor genannten Studie der Phase I mit ihrem ingenieur- und geowissenschaftlichen Teil handelte es sich nicht um eine Projektstudie im Sinne der DIN 69905, früher auch Machbarkeitsstudie, oder um eine *Feasibility Study* im Sinne des internationalen Sprachgebrauches. Eine Projektstudie nach DIN 69905 enthält eine möglichst umfassende Untersuchung von Lösungsmöglichkeiten zur Erreichung des Projektziels und die Überprüfung ihrer jeweiligen Machbarkeit. Dabei stehen neben der generellen Machbarkeit und eventueller Widersprüche zwischen diversen gleichwertigen Projektzielen und Erkenntnissen vor allem der Umfang des Projektes, die Analyse der einzusetzenden Mittel und der notwendigen Zeit im Fokus einer solchen Studie nach DIN 69905. Eine entsprechende Projektstudie beinhaltet auch eine Risikoanalyse, die dann für das nachfolgende Risikomanagement des Projektes als Grundlage dient. Ein solches umfassendes Arbeitsergebnis ist innerhalb des geplanten Forschungsprojektes erst im vierten Jahr nach Beendigung der zweiten Projektphase zu erwarten. Somit handelt es sich bei den Ergebnissen der Projektphase I um eine *Prefeasibility Study* (Vorstudie im Rahmen einer Projektstudie) im Sinne des internationalen Sprachgebrauches [7].

Bild 2: Zeitlicher Überblick über das Forschungsprojekt *CBM Münsterland* [28].



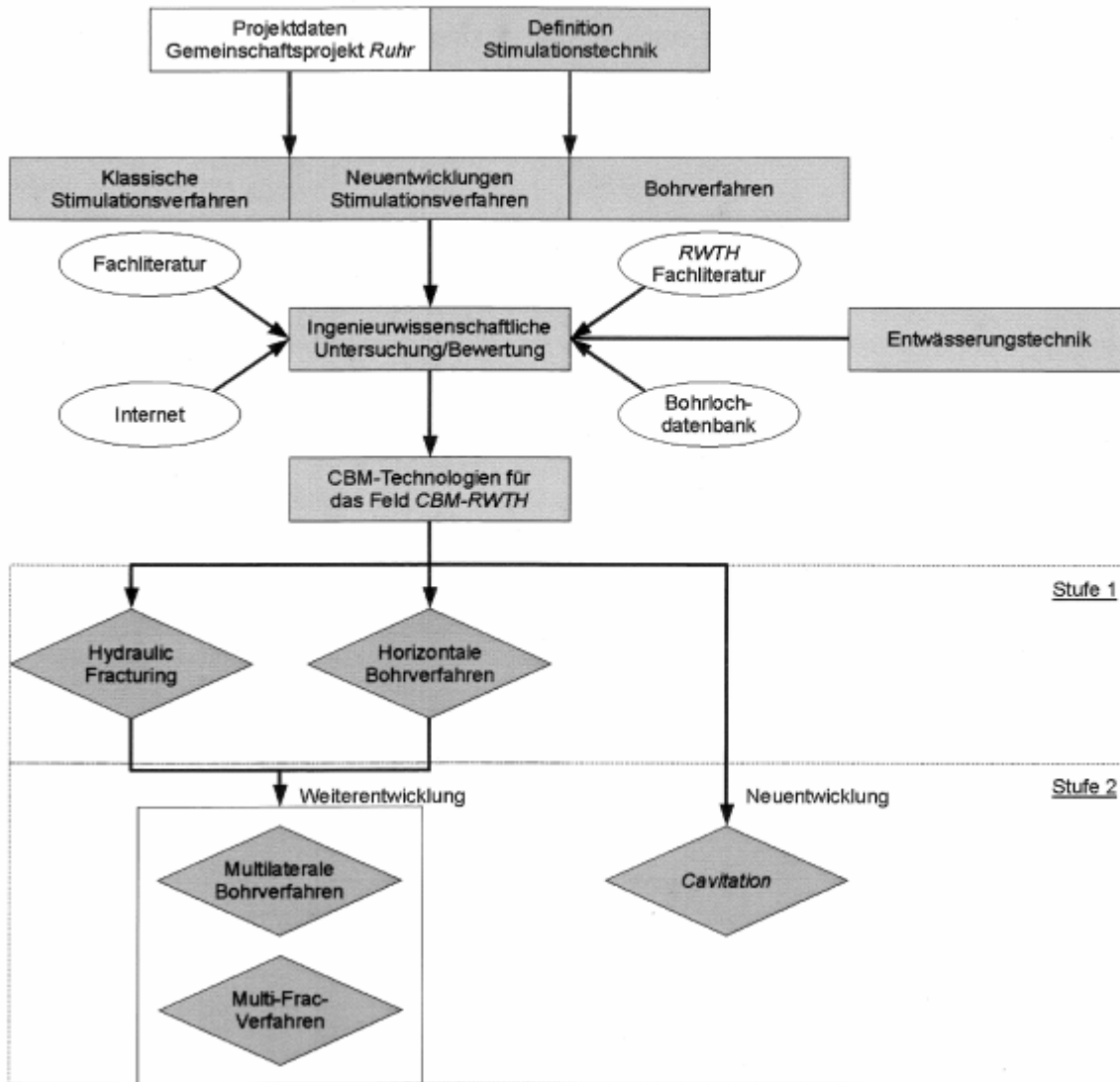


Bild 3: Schematische Darstellung der Vorgehensweise im Rahmen der Projektphase I [6].

Projektphase I – Vorgehensweise

Das Ziel der Kernarbeiten des ingenieurwissenschaftlichen Teils im Rahmen der ersten Phase des Forschungsprojektes *CBM Münsterland* war die Untersuchung der Stimulationstechnologie im Zusammenhang mit einer zukünftigen Flözgasgewinnung (Bild 3).

Ausgangspunkt für diese Arbeiten waren die im Rahmen des CBM-Gemeinschaftsprojektes *Ruhr* angewandten Techniken. Hierzu wurden zahlreiche veröffentlichte, wissenschaftliche Vorträge und Artikel in Fachzeitschriften analysiert. Auf interne Daten der damaligen Projektpartner konnte hingegen nicht zurückgegriffen werden. Eine solche Analyse der bei den einzelnen Projektpartnern des Gemeinschaftsprojektes *Ruhr* beziehungsweise deren Nachfolgersellschaften vorliegenden Ergebnisse und Betriebsdaten ist für die Detailplanungen im Rahmen der zweiten Phase vorgesehen. Neben den technischen Details sind vor allem die geowissenschaftlichen Erkenntnisse des Gemeinschaftsprojektes *Ruhr* über die Lagerstätte notwendige Grundvoraussetzung für eine wirtschaftliche und erfolgreiche Umsetzung des geplanten CBM-Projektes in Nordrhein-Westfalen.

In einem zweiten Schritt wurden für eine Definition und Identifizierung der entsprechenden Verfahren im

Zusammenhang mit dem Begriff der Stimulationstechnik zunächst verfügbare Forschungsergebnisse verschiedener RWTH-Institute ausgewertet. Zu diesen Quellen zählen vor allem das Berichtswesen des Geothermieprojektes *SuperC* und die Berichte des interdisziplinären F&E-Vorhabens *COURAGE* (*CO₂ Underground Storage in Western Germany*). Inhalte des im Mai 2006 initiierten und ein Jahr dauernden *COURAGE*-Projektes sind die Auffindung und Evaluierung potentieller CO₂-Speicheroptionen in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen. Das unter anderem von fünf Instituten der Fakultät Georesourcen und Materialtechnik der RWTH Aachen im Auftrag der RWE Power AG durchgeführte Projekt beinhaltet neben einer umfassenden Analyse der geologischen Verhältnisse verschiedener potentieller Lagerstätten in Deutschland auch Untersuchungen zur Bohrtechnik [8]. Darauf aufbauend wurde über die gesamte Laufzeit der Studie durch intensive Rechercharbeiten in einschlägiger Fachliteratur und im Internet der aktuelle Stand der Technik in den Bereichen Bohr-, Stimulations- und Entwässerungstechnik identifiziert. Zu der zuvor genannten Fachliteratur gehörten unter anderem folgende Fachzeitschriften:

- ▶ Erdöl Erdgas Kohle
- ▶ Journal of Energy Resources Technology

- ▶ New Technology Magazine
- ▶ Oil Gas European Magazine
- ▶ Oil & Gas Journal
- ▶ Quarterly Review of Methane from Coal Seams Technology
- ▶ The American Oil & Gas Reporter
- ▶ World Oil Magazine

Neben der Auswertung der Rechercheergebnisse erfolgte zur Dokumentation der Resultate der Studie der Aufbau und die Analyse einer Bohrlochdatenbank. Schwerpunkt dieser Datenbank ist, wie im damaligen Projektantrag gefordert, der amerikanische Markt. Durch die gute Online-Dokumentation staatlicher US-Instanzen konnten umfassende Informationen über die Kohlenwasserstoffindustrie in den Flözgaslagerstätten Black Warrior Basin, San Juan Basin, Raton Basin und Piceance Basin für das Projekt gewonnen werden.

Abschließend wurde, basierend auf den Ergebnissen der Recherchearbeiten und den dazugehörigen Verfahrensbewertungen, ein mehrstufiges Konzept zur technischen Erschließung einer CBM-Lagerstätte im Bereich des Erlaubnisfeldes CBM-RWTH entwickelt und diskutiert. Dieses Konzept umfasst alle grundsätzlich zur Gewinnung von Flözgas erforderlichen Technologien: Bohrtechnik, Stimulationstechnik und Entwässerungstechnik. Des Weiteren konnte neben diesem Konzept mit dem aus Australien stammenden Stimulationsverfahren *Openhole Cavity Completion* eine Alternative für die Stimulation von Kohlenflözen aufgezeigt werden, die in Europa noch nicht eingesetzt wurde.

Bohrtechnik – Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Flözgasförderung

Die Bohrtechnik stellt den ersten, wichtigen Schritt für eine wirtschaftliche CBM-Förderung dar. Hier erfolgt der Aufschluss der Lagerstätte von über Tage. Fehler, die in dieser frühen Phase gemacht werden, können

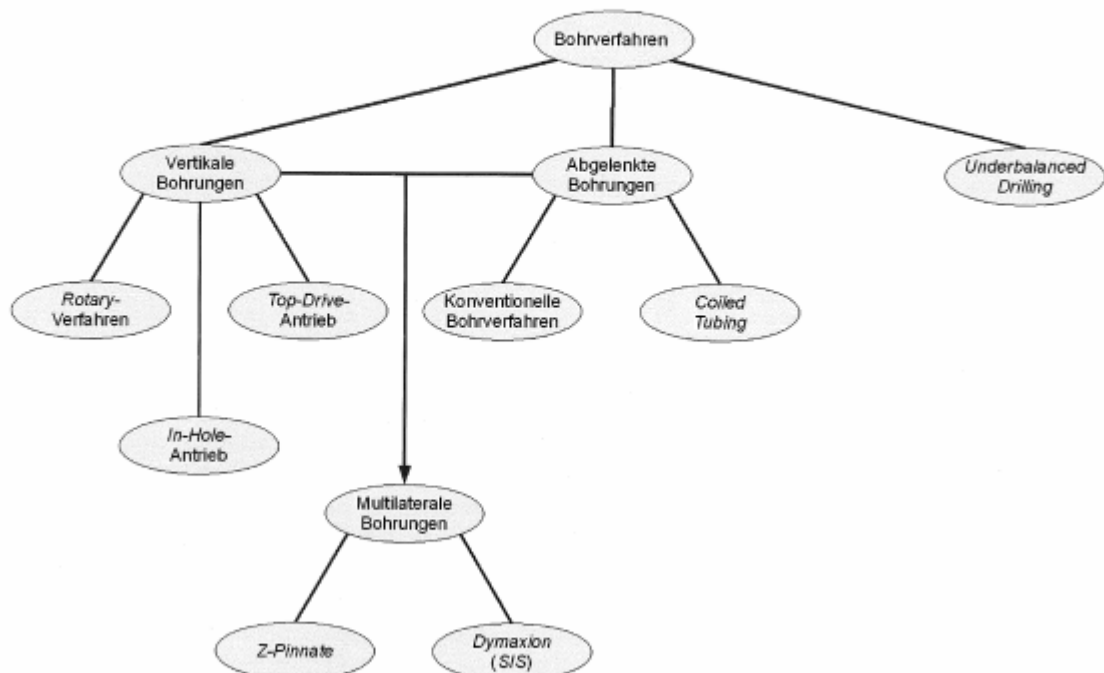
auch durch eine ausgereifte Stimulationstechnik nicht wieder behoben werden. Daher ist die Auswahl des geeigneten Bohrverfahrens von enormer Bedeutung.

Im Bereich der Bohrtechnik erfolgten die Recherchearbeiten in den vier Kategorien vertikale Bohrungen, abgelenkte Bohrungen, multilaterale Bohrungen sowie *Underbalanced Drilling* (Bild 4). Da im wissenschaftlichen Erlaubnisfeld CBM-RWTH die Zielhorizonte meist in Teufen von mehr als 800 Metern vorliegen, bietet das *Multilateral Drilling* sowohl aus technischer als auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht einen guten Lösungsansatz für die Umsetzung eines CBM-Projektes in Nordrhein-Westfalen. Diese Kombination von horizontalen und vertikalen Bohrungen ermöglicht einen flächenhaften Aufschluss der entsprechenden Flöze in mehreren Zielhorizonten.

Ein enormer Vorteil der modernen Bohrtechnologien wie beispielsweise *Multilateral Drilling* ist, dass es für die entsprechenden Bohrverfahren angepasste Stimulationsverfahren gibt. Ein Beispiel hierfür ist die *Enlarged Cavity Completion* als spezielle *Fracking*-Technik für das *Z-Pinnate*-Bohrkonzept [9]. So sind Bohrung und Stimulation bestmöglich aufeinander abgestimmt, was zu optimalen Ergebnissen in der Permeabilitätssteigerung führt.

Das *Underbalanced Drilling* ist ein modernes Bohrkonzept, welches einen völlig neuen Ansatz verfolgt. Anders als bei allen klassischen Bohrverfahren wird hier der hydrostatische Druck der Spülungssäule niedriger als der Formationsdruck im Umgebungsgestein gehalten. Durch diesen Verfahrensansatz wird hier die Bildung des sogenannten Filterkuchens verhindert. Ziel des Bohrverfahrens ist die Minimierung von Spülungsverlusten sowie die Vermeidung einer Herabsetzung der Permeabilität des Umgebungsgesteins durch eindringendes Bohrklein [10]. Allerdings lässt sich dieses Bohrkonzept aufgrund der zuvor beschriebenen physikalischen Grundlagen nur bedingt mit den Standard-Frac-Verfahren kombinieren [11].

Bild 4: Übersicht über die untersuchten Bohrverfahren [6].



Stimulationstechnik – Fließwege für das Gas schaffen

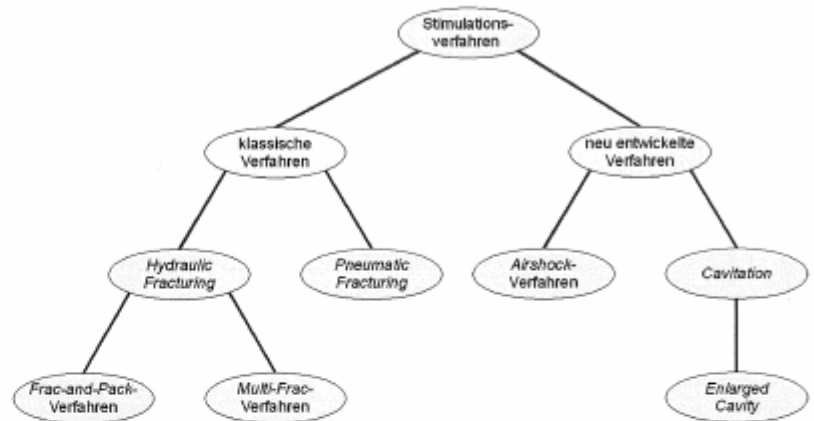
Alle Stimulationsverfahren sind Teil der sogenannten Completion. Dieser Arbeitsschritt umfasst alle Aktivitäten, die vor Beginn der Flözgasgewinnung notwendig sind. Hierzu zählen neben der Stimulationstechnik vor allem auch der Bohrlochausbau sowie der Aufbau der notwendigen überträgigen Sicherheits- und Produktionsinfrastruktur. Dabei hängt die Reihenfolge der notwendigen Teilarbeitsschritte vom jeweiligen Stimulationsverfahren ab. So existieren Verfahren für den Aufschluss einer Flözgaslagerstätte im verrohrten (englisch *Cased Hole*) wie auch im unverrohrten (englisch *Open Hole*) Bohrlochabschnitt.

Der Bohrlochausbau besteht im Wesentlichen aus Stahlverrohrungen verschiedenen Durchmessers (englisch *Casing*) und ist aus mehreren Gründen zwingend erforderlich. Zunächst dient er der Erhöhung der Bohrlochstabilität, um ein Einstürzen der Bohrlochwände zu verhindern. Des Weiteren dichtet das *Casing* das Bohrloch gegenüber umliegenden Grundwasserhorizonten ab. Dies verhindert zum einen ein Eindringen von Grundwasser in die Bohrung, zum anderen eine Verschmutzung der Grundwasserhorizonte durch die in Bohrspülung und *Fracking Fluid* enthaltenen Chemikalien. Darüber hinaus ermöglicht die Bohrlochverrohrung, den Druck in der Bohrung zu regulieren sowie den Einbau von technischen Hilfsmitteln wie mobilen Packern, die zur gezielten Stimulation der Zielhorizonte notwendig sind.

Der Einbau des Casings geschieht abschnittsweise bei ruhender Bohrtätigkeit. Es besteht aus Teilrohren mit einer Länge von sechs bis neun Metern, die miteinander verschraubt und dann in der Bohrung festzementiert werden. Hierbei werden die Durchmesser des Casings mit der Teufe immer geringer.

Den zweiten wichtigen Aspekt der *Completion* stellen die Stimulationsbehandlungen des Zielhorizontes dar. Dieser Arbeitsschritt ist gerade für die Förderung von Flözgas von besonderer Bedeutung. Steinkohle weist im Gegensatz zu konventionellen Erdgaslagerstätten wie Sandstein deutlich geringere Permeabilitäten auf. Diese liegen im Ruhrbecken um 0,1 Millidarcy und hängen mit dem Aufbau der Kohlematrix zusammen. Die Kohle besitzt ein Porenvolumen zwischen 0,1 und 10%. Diese Poren sind jedoch kaum untereinander verbunden, was eine Migration des Methans durch die Kohle nur in geologischen Zeiträumen möglich macht. Die Permeabilität der Kohle kommt stattdessen fast ausschließlich durch sogenannte Schlechten zustande. Schlechten sind natürliche Brüche, die innerhalb der Kohleflöze auftreten. Es werden Primär- und Sekundärschlechten unterschieden, wobei die Primärschlechten lange, durchgängige Risse darstellen, während die Sekundärschlechten senkrecht zu diesen stehen und die Primärschlechten miteinander verbinden.

Die natürliche Permeabilität der Kohle allein reicht nicht aus, um Flözgas aus dem Ruhrbecken wirtschaftlich fördern zu können. Durch Stimulationsbehandlungen wird die natürliche Kohle- und die



umgebene Gesteinsmatrix mit dem Ziel aufgebrochen, zusätzliche künstliche Rissysteme in der Lagerstätte zu generieren. So wird die natürliche Permeabilität der Lagerstätte künstlich erhöht und es werden neue Fließwege geschaffen. Auf diese Weise kann eine Entwässerung und Druckabsenkung in einem möglichst großen Bereich der Lagerstätte induziert werden, was hohe Gasflussraten mit sich bringt [12].

Zu den klassischen *Fracking*-Verfahren gehören das *Hydraulic Fracturing* [13] und das *Pneumatic Fracturing* [14], bei denen unter Druck ein Fluid (Flüssigkeit oder Gas) in das Bohrloch eingeleitet wird. Bei diesen Technologien handelt es sich ausschließlich um *Cased Hole Stimulationen*. Auch Weiterentwicklungen wie das *Frac-and-Pack*-Verfahren gelten als Standardprozeduren [15]. Von großer Bedeutung für eine Flözgasförderung im Münsterland könnte zudem das *Multi-Frac*-Verfahren sein, welches ebenfalls eine Weiterentwicklung des klassischen *Hydraulic Fracturing* darstellt (Bild 5).

Eine Neuentwicklung auf dem Sektor der *Fracking*-Technik stellt die *Cavitation* (*Openhole Cavity Completion*, *Dynamic Openhole Completion*) dar. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Stimulationsverfahren wird hier im unverrohrten Bohrloch stimuliert. Außerdem ist die *Cavitation* das einzige Verfahren, bei dem Kohlepartikel aus dem Gesteinsverband herausgelöst werden, um so die Permeabilität der Lagerstätte zu erhöhen.

Entwässerungstechnik – Das Gas zum Fließen bringen

Auch wenn durch eine geeignete Stimulationstechnik eine Erhöhung der Permeabilität in einer Flözgaslagerstätte erreicht werden konnte, wird danach noch kein signifikanter Anstieg des Gasflusses messbar sein. Hier kommt eine weitere Besonderheit der Kohlegeologie zum Tragen: die Kohle ist in der Lage, das Methan adsorptiv an der Oberfläche anzulagern. Adsorption ist die Anlagerung von Molekülen aus einer flüssigen oder gasförmigen Phase an die Oberfläche eines Festkörpers. Die gasförmige Phase wird als *Adsorptiv* bezeichnet und ist im Fall der Kohleadsorption das Methan, wobei die Kohle selbst das *Adsorbens* darstellt, an welches das Methan angelagert wird. Da sich bei der Adsorption der gasförmige Stoff an der Feststoffoberfläche

Bild 5: Übersicht über die untersuchten klassischen und neu entwickelten Stimulationsverfahren [6].

anreichert, findet hierbei immer eine Konzentrationsänderung an der Phasengrenzfläche statt. Dieser Bereich, der ungefähr Moleküldicke aufweist, wird als *Adsorbat* bezeichnet. Die Methanmoleküle binden sich bei der Adsorption über Van-der-Waals-Kräfte an die Kohleoberfläche.

Die Menge an gebundenem Gas ist druckabhängig. Da nach Beendigung der *Completion* noch ein Großteil der Lagerstätte mit Wasser gefüllt ist, ist der Reservoirdruck sehr hoch. Durch die Entwässerung der Kohleflöze wird dieser Druck abgesenkt, wodurch nach und nach immer mehr Methan von der Kohleoberfläche desorbiert. Dieses Gas ist dann in der Lage, durch die natürlichen und künstlichen Kluftsysteme in Richtung Bohrloch zu migrieren und aufgrund seiner geringen Dichte im Bohrloch nach oben zu steigen. Dort kann das Flözgas aufgefangen und weiterverarbeitet werden.

Die für die Entwässerung von CBM-Bohrungen notwendigen Prozesse gliedern sich in die Bereiche Förderung, Aufbereitung sowie Nutzung oder Entsorgung der geförderten Wässer. Diese Prozesse sind neben dem eigentlichen Bohrvorgang einer der umweltrelevantesten und kostenintensivsten Teilaspekte während eines CBM-Projektes. Die Entwässerung und Wasserhaltung hat somit sowohl technisch als auch finanziell einen großen Einfluss auf die Machbarkeit eines CBM-Projektes. Durch die Wahl des richtigen Entwässerungsverfahrens können schnell maximale Gasflussraten erreicht und möglichst lange aufrecht erhalten werden.

Als modernste Entwässerungstechnik ist derzeit das *Electric Submersible Pumping (ESP)* anzusehen, weil es für den CBM-Einsatz am Besten modifiziert werden kann sowie die flexibelsten Anwendungsmöglichkeiten bietet. Diese Pumpensysteme sind zudem hinreichend im Rahmen großer CBM-Projekte in den USA und in Australien erprobt worden [16].

Das aus den CBM-Lagerstätten geförderte Wasser ist in aller Regel von schlechter Qualität. Dies spiegelt sich vor allem in einem enorm hohen Salzgehalt wieder. Daher ist eine Aufbereitung des Wassers vor einer weiteren Verwertung beziehungsweise Entsorgung zwingend erforderlich. Die Aufbereitungsverfahren hierfür können weitgehend aus der klassischen Abwasseraufbereitung übernommen werden. Es handelt sich dabei vor allem um physikalische und chemische Standardverfahren [17].

Je nach Ausgangsqualität und Menge des geförderten Wassers bestehen in einer Oberflächendeponierung (Testphase) oder einer Untergundinjektion (Produktionsphase) des Wassers zwei Alternativen für die abschließende Behandlung der mitgeführten Wässer [17]. Auch eine Nutzung des Wassers als Trinkwasser wäre bei entsprechender vorheriger Aufbereitung theoretisch denkbar, der finanzielle Aufwand hierfür wäre allerdings deutlich zu hoch. Allgemein können erste konkrete Aussagen zum Themenkomplex Entwässerung getroffen werden, wenn genauere Daten wie Teufen, Wassermengen, Wasserqualitäten, Förderdauern und Reservoirdrucke der Lagerstätte vorliegen.

Projektphase I – Schlüsseltechnologien

Zu den Schlüsseltechnologien eines zukünftigen Flözgasprojektes kristallisierten sich im Laufe der ersten Projektphase das Konzept des multilateralen Bohrens und das *Multi-Frac*-Verfahren heraus. Sie bilden auch die Grundlage für das in der Studie entwickelte Konzept zur Erschließung einer CBM-Lagerstätte im Bereich des wissenschaftlichen Erlaubnisfeldes CBM-RWTH.

Multilaterale Bohrungen

Multilaterale Bohrungen stellen eine Kombination aus einer vertikalen und mehreren horizontalen Bohrungen dar. So wird zwischen *Dual Laterals*, also zwei Horizontalbohrungen, *Trilaterals*, die aus drei zusammenhängenden abgelenkten Bohrungen bestehen, *Quadlaterals* aus vier Lateralen sowie sogenannten *Multilaterals* mit mehr als vier horizontalen Bohrabchnitten unterschieden [18].

Auch in Hinblick auf die Bohrlochgeometrie gestaltet sich das *Multilateral Drilling* sehr vielfältig. So können die verschiedenen Horizontalbohrungen auch in verschiedenen Teufen von der Ausgangsbohrung abgezweigt werden, um beispielsweise Lagerstätten mit Sprüngen erschließen zu können. Des Weiteren können die Laterale parallel, senkrecht oder in beliebigen Winkeln zueinander stehen [19]. Eine Sonderform der Multilateralbohrungen stellt die *Z-Pinnate*-Technik dar, bei der die Bohrungen dem Aufbau eines Blattes mit seinen Blattadern nachempfunden ist (Bild 6).

Der große Vorteil der multilateralen Bohrungen ist noch mehr als bei der einfachen Horizontalbohrtechnik der verminderte Platzbedarf an der Erdoberfläche, da weniger Bohrungen benötigt werden. So kann mit einer herkömmlichen vertikalen Bohrung ein Erdgaslagerstättenteil mit einer Fläche von rund 0,3 km² entgast werden, während mit multilateralen Bohrungen Flächen zwischen 5 und 8 km² nutzbar gemacht werden können [20]. Zudem können Bohrmeter und somit Bohrkosten dadurch eingespart werden, dass der vertikale Bohrabchnitt der Bohrung nur einmal niedergebracht werden muss. Des Weiteren können multilaterale Bohrungen wie Horizontalbohrungen einfach und damit schnell niedrige Reservoirdrucke erzeugen, was zu einer schnellen Gewinnung des Flözgases führt [20].

Multi-Frac-Verfahren

Beim *Multi-Frac*-Verfahren handelt es sich um ein relativ neues *Fracking*-Verfahren, das ursprünglich für die Stimulation von *Tight-Gas*-Reservoirs durch die beiden Unternehmen Wintershall Holding AG und Gaz de France Produktion und Exploration Deutschland GmbH entwickelt wurde. Diese Technologie wurde vor einigen Jahren erstmals in Norddeutschland in der Bohrung Söhlingen Z14 getestet und anschließend auch erfolgreich in den Bohrungen Söhlingen Z15 und Leer Z4 eingesetzt. Eine Anwendung für die Bohrung Leer Z5 ist geplant.

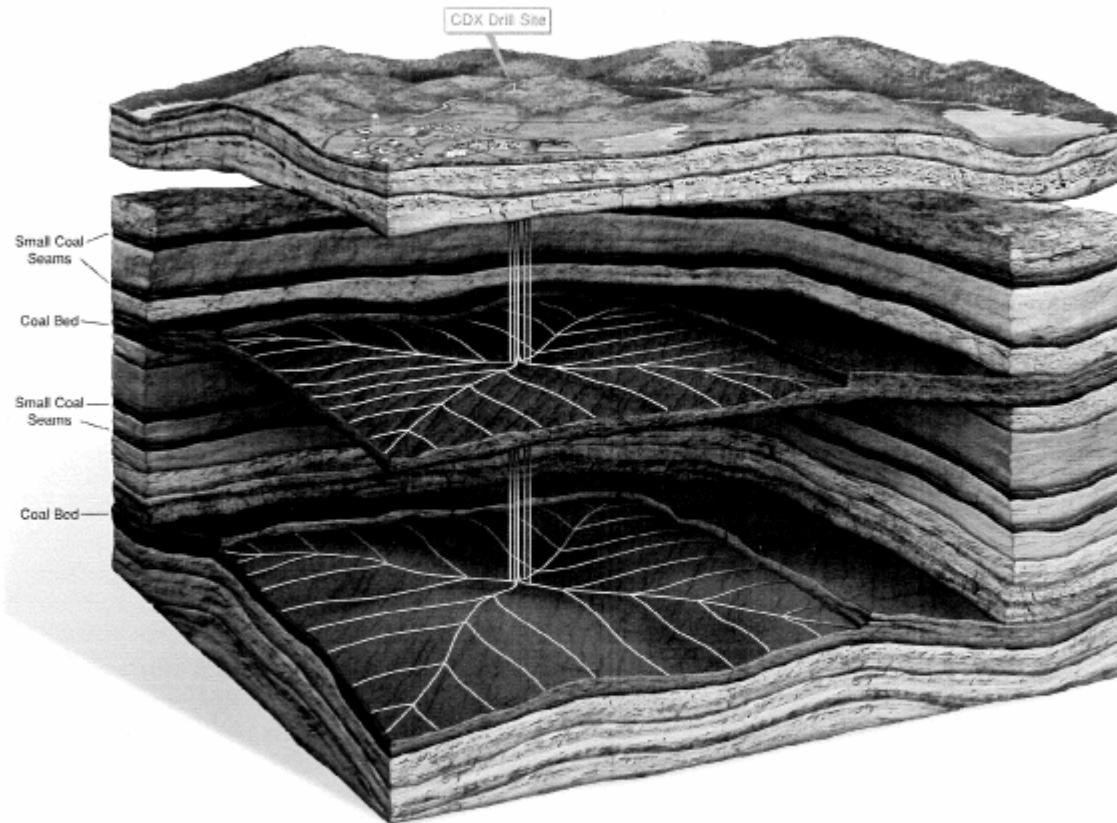


Bild 6: Multilaterale Bohrung nach dem Z-Pinnate-Bohrsche-ma [27]¹.

¹ Dual coal seam, quadrilateral completion utilizing the patented Z-Pinnate® Horizontal Drilling System. Figure provided by the courtesy of CDX Gas, LLC (US).

Das *Multi-Frac*-Verfahren ist eine Stimulations-technologie, die explizit für die Anwendung in horizontalen Bohrungen in großen Teufen (bis zu 4 km) mit besonders geringen Permeabilitäten (bis zu 0,1 Millidarcy) und hohen Reservoirdrücken (um 600 bar) entwickelt wurde.

Während des *Multi-Frac*-Prozesses werden mehrere *Frac*s nacheinander durchgeführt. Hierbei werden zunächst die hintersten Bohrlochabschnitte (Bohrloch-tiefste) stimuliert und anschließend abschnittsweise weitere *Frac*s durchgeführt.

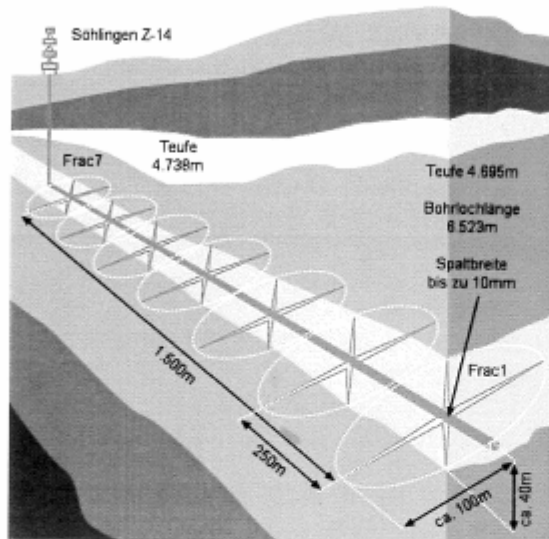
Da es sich bei dem *Multi-Frac*-Verfahren um eine Weiterentwicklung des *Hydraulic Fracturing* handelt, wird im verrohrten Bohrloch stimuliert. Somit stellt das Einbringen der Verrohrung den ersten Schritt der *Completion* dar. Als Verrohrung für diese Art von Horizontalbohrungen werden Endlosrohre, sogenannte *Coil Rigs*, verwendet. Die *Coil Rigs* werden entsprechend der zu verrohrenden Bohrung angepasst auf großen Transportrollen angeliefert. Die Rollen haben einen Durchmesser von bis zu 5 m, ein Gewicht von 52 t und werden auf ein über der Bohrung befindliches Gestell montiert, von wo aus das Endlosrohr abgewickelt und in die Bohrung installiert werden kann. Beispielsweise beträgt die maximale Länge eines *Coil Rigs* bei einer Verrohrung mit einem Durchmesser von 60 Millimetern 6.600 Meter. Da es sich um eine *Cased Hole Completion* handelt, muss der zu fraccende Bohrlochabschnitt vor Stimulationsbeginn perforiert werden. Bedingt durch dieses Vorgehen muss die Prozedur vom Bohrloch-tiefsten aus durchgeführt werden. Eine Perforierung beziehungsweise eine Stimulation zunächst im Bereich des vorderen Bohrlochabschnittes würde verhindern,

dass für die späteren Stimulationen ein hinreichend großer *Fracturing*-Druck aufgebaut werden kann, da das *Fracturing Fluid* durch die vorderen Perforationen abfließen könnte. Bei einer solchen Vorgehensweise müsste zwingend ein teures zusätzliches *Frac Casing* eingebaut werden [21].

Ist der hinterste Bohrlochabschnitt perforiert, wird dieser durch einen mobilen Packer vom Rest des Bohrlochs abgeschirmt. Anschließend wird das *Frac Fluid* unter einem Druck von rund 1.100 bar in das Bohrloch verpumpt. Dieses Fluid enthält bereits ein Stützmittel. Als Stützmittel werden bei der *Multi Frac Stimulation* sogenannte *Carbo Proppants* verwendet. Hierbei handelt es sich um künstlich hergestellte Körner aus einer speziellen Keramik, die die optimale Balance zwischen Standfestigkeit einerseits und Größe im Verhältnis zur Permeabilität der Lagerstätten andererseits bieten. Die *Carbo Proppants* setzen sich während der mehrere Stunden dauernden *Frac*-Behandlung in die neu entstehenden *Frac*s und halten diese dauerhaft offen. Die entstehenden *Frac*s weisen einen Durchmesser von bis zu 1 cm und eine Länge von bis zu 100 m auf. Ist der aktuelle Bohrlochbereich gefracct, wird der nächste Abschnitt durch einen weiteren mobilen Packer abgeriegelt und perforiert. Die gesamte *Fracturing*-Behandlung dauert einige Wochen [22].

Am Beispiel der Bohrung Söhlingen Z15 stellte sich die *Multi-Frac*-Behandlung zahlenmäßig wie folgt dar: Insgesamt wurde in fünf Bohrlochabschnitten gefracct. Die entstandenen Risse wiesen einen Durchmesser von 50 mm und eine Länge von rund 130 m auf (Bild 7). Für die gesamte Stimulation war der Einsatz von 2.500 m³ *Frac*-Flüssigkeit und 1.100 t *Carbo Prop-*

Bild 7: Stimulation der Bohrung Söhlingen Z15 mit dem Multi-Frac-Verfahren [22].



pants notwendig, die in einer Gesamtpumpzeit von 11 Stunden mit einer Pumpleistung von 11.000 PS in das Bohrloch verpresst wurden. Dies bedeutete 6.400 l Frac-Flüssigkeit und 8 t Stützmittel pro Minute. Die Gesamtkosten beliefen sich für diese Stimulationsbehandlung auf insgesamt 4–5 Millionen Euro [21].

Cavitation – Eine Alternative für die tiefen Lagerstätten des Münsterlandes?

Bei der *Cavitation* wird ähnlich wie beim *Hydraulic Fracturing* oder auch beim *Multi-Frac*-Verfahren ein Fluid unter hohem Druck in die Lagerstätte verpumpt. Im Gegensatz zum *Hydraulic Fracturing* wird jedoch der zu fracende Teil des Bohrlochs nicht ausgebaut, sondern bleibt unverrohrt. Hierfür ist eine gewisse Standfestigkeit des Gebirges erforderlich. Das *Fracking Fluid* dringt durch vorhandene Risse und Störungen in das umgebende Gestein ein. Dazu ist eine Ausgangspermeabilität des Gesteins von 2–5 Millidarcy notwendig. Aufgrund des hohen Druckes, mit dem das Fluid verpumpt wird, geht ein großer Teil des frei in den Poren der Kohle vorliegenden Methans in Lösung. Die Risserzeugung erfolgt anders als beim *Hydraulic Fracturing* jedoch nicht durch die Druckbeaufschlagung des Gesteins. Bei der *Cavitation* wird der Fluiddruck schlagartig auf den Umgebungsdruck abgesenkt. Durch den plötzlichen Druckabfall entsteht das *Shaken Pop Bottle Phenomenon*: Durch die Absenkung des Druckes auf atmosphärisches Niveau wird die Löslichkeit von Gas im Fluid stark herabgesetzt. Dadurch geht das Gas aus der Lösung. In unmittelbarer Folge des Druckabfalls wird dadurch eine große Menge Gas frei, wodurch das Volumen des Wasser-Gas-Gemisches vervielfacht und die Dichte stark herabgesetzt wird. Das Fluid strömt mit hoher Geschwindigkeit zum Bohrloch, wobei es Kohlepartikel aus dem Gesteinsverband herausreißt. Gas, Stimulationsfluid und Kohlepartikel strömen gemeinsam an die Erdoberfläche [23].

Dadurch, dass bei der *Cavitation* Kohlepartikel dauerhaft aus dem Verband entfernt werden, ist die Wahrscheinlichkeit einer dauerhaften Permeabilitätssteigerung höher. Abhängig von den geologischen

Randparametern wird der *Fracking*-Prozess mehrmals über einen Zeitraum von mehreren Wochen wiederholt. Dadurch ist eine Permeabilitätssteigerung auf das Drei- bis Zehnfache des ursprünglichen Wertes möglich [24].

Das in Australien entwickelte und dort hauptsächlich eingesetzte Verfahren wurde in Europa mit seinen tiefen Kohlenlagerstätten noch nicht eingesetzt. Obwohl eine amerikanische Studie zu dem Ergebnis kommt, dass gerade die *Cavitation* als *Fracking*-Technik für besonders große Teufen geeignet ist, konnten im Rahmen der Projektphase I keine wissenschaftlichen Beweise gefunden werden, dass dieses Verfahren überhaupt unter den schwierigen geologischen Randparametern des Ruhrkarbons eingesetzt werden kann [25]. Daher kommt zum jetzigen Zeitpunkt dieses Verfahren nicht als Stimulationsverfahren für ein Projekt, welches eine wirtschaftliche Förderung von Flözgas zum Ziel hat, in Frage. Trotzdem handelt es sich bei der *Openhole Cavity Completion* um einen sehr interessanten technischen Ansatz, der unter den australischen geologischen Bedingungen bis zur kommerziellen Marktreife entwickelt wurde. Ein F&E-Vorhaben auf dem Gebiet der CBM-Förderung im Münsterland sollte dieses Verfahren neben dem in der ersten Projektphase entwickeltem mehrstufigem Konzept als ernst zu nehmende Alternative ansehen.

Projektphase I – Vielversprechende Ergebnisse

Ausgehend von der Technik, die in den 1990er Jahren im CBM-Gemeinschaftsprojekt Ruhr eingesetzt wurde, konnten im Rahmen der ersten Projektphase Stimulationstechnologien identifiziert werden, die ein heutiges Flözgasprojekt im Bereich des Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH* generell als technisch durchführbar einstufen lassen. Diese Technologien bilden die Grundlage für ein mehrstufiges Konzept für die Erschließung einer CBM-Lagerstätte innerhalb des Erlaubnisfeldes.

Hierbei lag der Fokus nicht allein auf den im CBM-Gemeinschaftsprojekt Ruhr angewandten klassischen Stimulationstechniken, wie zum Beispiel auf der hydraulischen Stimulation (*Hydraulic Fracturing*) des Zielhorizontes, und deren Weiterentwicklungen. Aufgrund der stetigen Fortschritte der horizontalen Bohrtechnik in den letzten zehn Jahren können durch dieses Bohrvorgehen gezielt Flözhorizonte bis zu fünf Kilometer durchörtert und dadurch gleichzeitig stimuliert werden. Daneben stellt das aus der Erdölindustrie kommende sogenannte multilaterale Bohren eine effektive und ökonomische Weiterentwicklung der herkömmlichen Bohrvorgehen zur Flözgasgewinnung dar. Hierbei werden durch eine großkalibrige Hauptbohrung und mehrere kleiner dimensionierte Bohrungen innerhalb eines beziehungsweise mehrerer Zielhorizonte große Lagerstättenvolumen erschlossen. So wurden die zuvor genannten Bohrvorgehen neben Neuentwicklungen im Bereich der Flözstimulation, wie zum Beispiel das australische *Openhole Cavity Completion*-Verfahren, in der Projektstudie *CBM Münsterland* den Stimulationstechniken zugeordnet.

Damit ergibt sich aus technischer Sicht ein mehrstufiges Konzept zur Erschließung einer CBM-Lagerstätte an einem Bohrstandort innerhalb des Erlaubnisfeldes *CBM-RWTH*:

1. Abteufen einer zentralen, vertikalen Bohrung auf die Teufenniveaus der Zielhorizonte
2. Aufschluss der CBM-Lagerstätte durch horizontale Bohrungen
3. Überprüfung der ersten Stimulationserfolge durch die Auswirkungen des horizontalen Bohrverfahrens sowie Detailauslegung der nachfolgenden *Fracking*-Behandlung auf der Basis der gewonnenen, hochauflösenden Lagerstätteninformationen
4. Stimulation der Zielhorizonte durch Hydraulic Fracturing (einfache Stimulation) oder durch das *Multi-Frac*-Verfahren (mehrfache Stimulation)

Die generelle Durchführbarkeit der vorgestellten Lösungen wurde anhand zweier europäischer Gasförderprojekte belastbar nachgewiesen. Hierbei handelt es sich zum einen um ein CBM-Projekt im ehemaligen Bergbaurevier Elsass-Lothringen, das vom australischen Unternehmen European Gas Limited durchgeführt wird und zum anderen um die Förderung von *Tight Gas* aus Rotliegend-Sandstein in Norddeutschland durch eine Kooperation von Gaz de France und Wintershall. Diese Projekte sind unter vergleichbaren geologischen Randparametern, wie zum Beispiel der Teufenlage der Zielhorizonte und deren Permeabilitäten, technisch und wirtschaftlich erfolgreich, beziehungsweise werden aufgrund ihrer fortgeschrittenen Umsetzung als erfolgreich eingestuft [6].

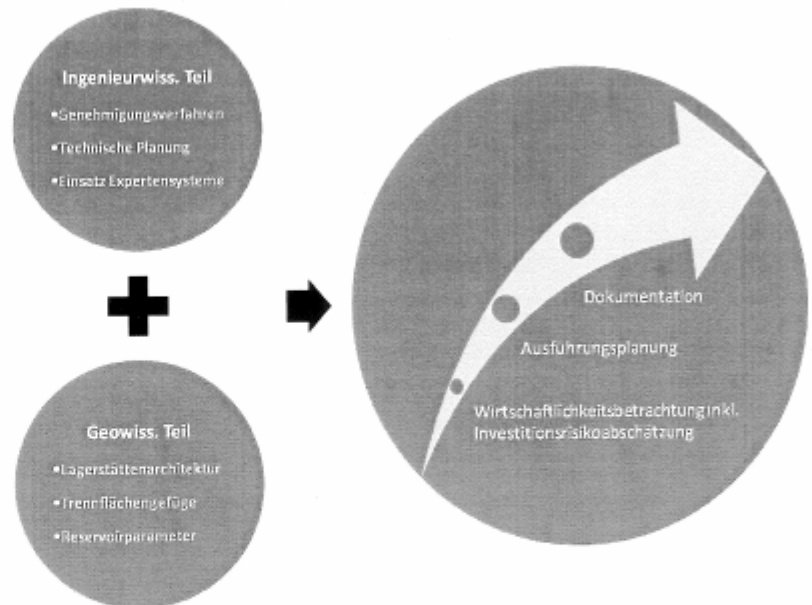
Die Ergebnisse der geowissenschaftlichen Arbeiten in der Projektphase I fielen viel versprechend aus. So wurde die Existenz von signifikanten Flözgaslagerstätten für das Ruhrkarbon im Zielgebiet Münsterland nachgewiesen. Eine wichtige Rolle spielt hier der Emischer Mergel, welcher die Flöze nach oben hin abdichtet und so gewissermaßen als Deckel für die gasgefüllten Kohleflöze fungiert. Es ist davon auszugehen, dass sich die vielversprechendsten Flözgasreserven in Bereichen um steil stehende Sattelflanken, die gepaart mit Überschiebungen auftreten, vorhanden sind. Problematisch könnten sich hingegen stark geklüftete Formationen darstellen, da es hier zu einem Entweichen des Methans durch die Klüftungen gekommen sein könnte.

Des Weiteren haben die geologischen Untersuchungen die anfänglichen Vermutungen bestätigt, dass die Permeabilitäten im Münsterländer Becken sehr gering sind. Dieser Nachteil lässt sich allerdings durch eine gute Stimulationstechnik durchaus ausgleichen, wie beispielsweise das untersuchte *Tight-Gas*-Projekt in Norddeutschland gezeigt hat [26].

Insgesamt kann somit davon ausgegangen werden, dass eine Förderung von Flözgas im Münsterland aus technischer Sicht durchführbar ist. Somit wurde in dieser Phase ein wichtiger Grundstein für den Erfolg des Gesamtprojektes gelegt.

Projektphase II – Ein Ausblick

Eine technische und betriebswirtschaftliche Detailpla-



nung der beschriebenen Bohr- und Stimulationstechnologien ist Ziel der zweiten Phase des Projektes (Bild 8). Darunter fällt auch die Bearbeitung von wichtigen Fragestellungen wie beispielsweise der Entscheidung über das zu verwendende Bohrverfahren. So kann nur in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und ausgesuchten Bohrunternehmen beurteilt werden, ob ein klassisches Bohrverfahren oder ein neues Verfahren, wie es das *Underbalanced Drilling* darstellt, zum Einsatz kommt.

Ein weiterer entscheidender Punkt ist der Umgang mit Wasser, das beim Bohrvorgang und bei der Förderung anfällt. Dabei existieren technische Lösungen für die Anwendung im CBM-Bereich wie auch aus der Erdöl- und Erdgasindustrie. Vor allem die Lösung von organisatorischen und rechtlichen Fragestellungen im Zusammenhang mit dem geförderten Wasser muss ein thematischer Schwerpunkt für die zweite Phase des Projektes sein.

Aus geowissenschaftlicher Sicht hat in einer zweiten Phase die Lokalisierung von potentiellen Bohransatzpunkten die höchste Priorität. Hier haben sich in der ersten Phase bereits drei mögliche Zielgebiete herauskristallisiert. So sollen in der zweiten Phase detaillierte Untersuchungen der Bereiche um die Bohrungen Herbern sowie um die Bohrungen Altünen und zwischen den Bohrungen Holtwick und Sinser Mähre entlang der NW-SE gerichteten Profillinie erfolgen. Sollten hier geeignete Bohransatzpunkte ermittelt werden können, scheint eine wirtschaftliche Förderung von Flözgas als innovative, heimische Energiequelle für die Zukunft in greifbare Nähe zu rücken.

Durch diese Erkenntnis motiviert, wurde Anfang des Jahres 2008 im Namen der RWTH Aachen ein Kooperationsvertrag mit der University of Queensland unterschrieben. Die australische Universität forscht ebenfalls seit mehreren Jahren auf diesem Gebiet. Ziel der Vereinbarung ist es, in Zukunft die Forschungsaktivitäten sowie Wissen und Kompetenzen im Bereich CBM zu bündeln.

Bild 8: Überblick über die Projektphase II [28].

Quellennachweis

1. THIELEMANN, T.: *Kohleflözgas in Deutschland*. Hannover: Commodity Top News, Juni, Nr. 17, 2002.
2. FRENZ, W.; PREUSSE, A.: *Grubengas: Entstehung, Gefahren, Nutzung*. Clausthal-Zellerfeld, 2001.
3. Energy Information Administration: *U.S. Natural Gas Markets: Recent Trends and Prospects for the Future*. Energy Information Administration, Mai 2001.
4. Origin Energy: *Origin Energy Australia*. 2008. Heruntergeladen von <http://www.originenergy.com.au> am 19. 3. 2008.
5. TICKELL, J.; THOMAS, K.: *CBM Exploration in the Ruhr Basin – Understanding the Challenges*. In: Producing COALBED METHANE—A reality in Europe? (Annual European CBM Forum 3). London, März 1996.
6. Ingenieurbüro FUMINCO®: *F&E-Projekt »CBM Münsterland« – Ingenieurwissenschaftlicher Teil*. Aachen, 2008, unveröffentlicht.
7. Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN 69905 – Projektwirtschaft- Projektentwicklung – Begriffe*.
8. COURAGE: *COURAGE Abschlussbericht*. Aachen, 2007, unveröffentlicht.
9. SMITH, M.: *Chasing Unconventional Gas Unconventionally*. In: New Technology Magazine Oktober/November, S. 1–4, 2003.
10. MONJURE, N.: *IADC-UBO panel adopts underbalanced well classification*. 222, März 2001.
11. TEICHROB, R.; BAILLARGEON, D.: *The changing face of underbalanced drilling technology*. In: World Oil Magazine, Juni 2000.
12. Schlumberger Limited: *Completion/Stimulation for Coalbed Methane*. Heruntergeladen von <http://www.slb.com> am 28. 3. 2008. 2001.
13. STORONSKYI, N. M.: *Pilot Coalbed Methane Production in the Kuznetsk Basin*. 23rd World Gas Conference, Amsterdam, 2006.
14. Pneumatic Fracturing Inc.: *Pneumatic Fracturing*. Heruntergeladen von <http://www.pneumaticfracturinginc.com> am 5. 3. 2008. 2006.
15. Halliburton: *Sand Control. Advanced Single-Trip Perf/Pack System (STPPTM-GH)*. 2005.
16. LEA, J. F.; WINKLER, H. W.; SNYDER, R. E.: *What's new in artificial lift*. In: World Oil Magazine, Mai 2003.
17. ALL Consulting: *Handbook on Coal Bed Methane Produced Water: Management and Beneficial Use Alternatives*. U.S. Department of Energy, Juli 2003 – Forschungsbericht.
18. BYBEE, K.: *A Parametric Study of Horizontal and Multilateral Wells in Coalbed-Methane Reservoirs*. In: Journal of Petroleum Technology S. 71–72, 2006.
19. BOSWORTH, S.; EL-SAYED, H.S.; OHMER, H.; STRACKE, M.; WEST, C.; RETNANTO, A.: *Key Issues in Multilateral Technology*. In: Oilfield Review, Nr. 10, S. 14–28, 1998.
20. WIGHT, D.: *Horizontal Drilling Adds Value in CBG*. Mai 2004.
21. NUSS, H.: *Frac's von der Rolle erhöhen die Arbeitssicherheit*. In: Steine und Erden, Nr. 5, 2003.
22. Wingas: *Wingas Deutschland: Ein Schatz in 4 km Tiefe*. Heruntergeladen von <http://www.wingas.de> am 3. 3. 2008.
23. MURRAY, D. K.: *Coalbed Methane in the USA: analogues for worldwide development*. In: Gayer, R. (Hrsg.); Harris, I. (Hrsg.): Geological Society Special Publication. The Geological Society, (109), S. 1–12, 1996.
24. JAHEDI SFANJANI, H.; CIVAN, F.: *Damage Tolerance of Well-Completion and Stimulation Techniques in Coalbed Methane Reservoirs*. In: Journal of Energy Resources Technology 127, S. 248–256, 2005.
25. LOGAN, T.L.; MAVOR, M.J.; KHODAVERDIAN, M.: *Optimization and Evaluation of Open Hole Cavity Completion Techniques for Coalbed Methane*. Alabama, Mai 1993.
26. Geologisches Institut Aachen: *F&E-Projekt »CBM Münsterland« – Geowissenschaftlicher Teil*. Aachen, 2008, nicht veröffentlicht.
27. CDX GAS. Heruntergeladen von <http://www.cdxgas.com> am 3. 3. 2009
28. FUMINCO® GmbH: <http://www.fuminco.com>, 2009