



Perspektiven der Nutzung von Methanhydranten als Energieträger

Groth, Markus

Publication date:
2008

Document Version
Verlags-PDF (auch: Version of Record)

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Groth, M. (2008). *Perspektiven der Nutzung von Methanhydranten als Energieträger: eine Bestandsaufnahme*. (Working paper series in economics; Nr. 76). Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Lüneburg.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Perspektiven der Nutzung von Methanhydraten als
Energieträger – Eine Bestandsaufnahme**

von
Markus Groth

University of Lüneburg
Working Paper Series in Economics

No. 76

Februar 2008

www.leuphana.de/vwl/papers

ISSN 1860 - 5508

Perspektiven der Nutzung von Methanhydraten als Energieträger – Eine Bestandsaufnahme

Dr. Markus Groth*

Zusammenfassung

Methanhydrate sind die im größten Umfang vorhandene Kohlenstoffressource und ihre im Vergleich zu Erdöl und Erdgas breite geographische Verteilung sowie ihr erhebliches Potential machen sie zu einem begehrten Rohstoff. Demgegenüber besteht die Gefahr einer Forcierung des Treibhauseffektes im Fall einer Freisetzung von Methan in die Atmosphäre und eine Destabilisierung der ozeanischen Sedimente. Bisher sind zudem die technischen Schwierigkeiten bei der Extraktion des Methans noch nicht umfassend gelöst. Nichtsdestoweniger wurde die Gashydratforschung in den vergangenen Jahren sowohl aus politischen als auch aus wirtschaftlichen Erwägungen forciert. Methanhydrate weisen folglich trotz der bestehenden Risiken praktische Vorteile auf, die sie zu einer Übergangslösung auf dem Weg zu einer auf regenerativen Energieträgern beruhenden Energieversorgung machen können. Das Wissen über die Potentiale und Risiken von Methanhydraten ist insbesondere in der deutschsprachigen Öffentlichkeit und Politik noch immer gering ausgeprägt. Diesem Mangel wird durch eine Analyse des aktuellen Stands der Forschung sowie darauf aufbauenden Handlungsempfehlungen entgegengewirkt.

Abstract

Methane hydrates are the largest existing carbon resource, and their broad geographic distribution, especially in comparison to oil and conventional gas, make them a promising future source of energy. On the other hand, there is a danger of forcing the greenhouse effect in the event of a release of methane in the atmosphere as well as causing a destabilisation of the oceanic sediments. Also the technical difficulties in the extraction of methane are not yet fully resolved. Nevertheless, the research on methane hydrates has been forced both based on political as well as economic considerations in recent years and methane hydrates have practical advantages, which make them a noteworthy transitional solution on the way to a

* Dr. Markus Groth, Leuphana Universität Lüneburg, Lehrstuhl für Nachhaltigkeitsökonomie, Scharnhorststr. 1, D-21335 Lüneburg, E-Mail: groth@uni-lueneburg.de, Tel.: 04131 / 677-2636, Fax.: 04131 / 677-1381

renewable energy based future energy supply. The knowledge of the potentials and risks of methane hydrates, however, is still poor; especially in the German-speaking public and policy. This deficiency will be solved by a focused analysis of the current state of research and an outlook, based on the most important findings.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde die Suche nach Alternativen zu den konventionellen Energieressourcen Erdöl, Erdgas und Kohle erheblich intensiviert, wobei diese Entwicklung maßgeblich durch die gestiegenen Rohstoffpreise wichtiger Energieträger, die zunehmende Verknappung fossiler Ressourcen, globale Klimaveränderungen und die instabile Sicherheitslage in vielen bedeutenden rohstoffexportierenden Staaten forciert wurde (World Energy Council 2007). Im Zuge dessen sind neben den erneuerbaren Energieträgern auch Methanhydrate zunehmend in den Fokus getreten und ihr Kohlenstoffvorkommen wurde Ende des vergangenen Jahrhunderts auf weltweit bis zu 10.000 Gt. in Form von Methan geschätzt (Rogner 1997; Gerling 1999). Jüngere und gleichsam konservativere Schätzungen gehen global von bis zu 3.000 Gt. Kohlenstoff in Methanhydraten und noch einmal in etwa derselben Menge gasförmigen Methans unter den Hydraten aus (Buffet und Archer 2004; Milkov 2004; Archer 2005). Dies entspricht weiterhin einem Kohlenstoffpotential, das über dem aller konventionellen fossilen Energieträger liegt und die große Bedeutung der globalen Methanhydratvorkommen für die zukünftige Energieversorgung erkennen lässt (Kvenvolden 2003; BP 2005; World Energy Council 2007).

Die Entdeckung von Gashydraten geht zurück in das Jahr 1811, als es dem britischen Chemiker und Physiker Sir Humphrey Davy gelungen war, eine eisähnliche Substanz (Chlorhydrat) herzustellen. Im Anschluss galten Gashydrate für mehr als ein Jahrhundert lediglich als eine kaum beachtenswerte chemische Kuriosität. Außerhalb des Labors stießen Gashydrate erst über 100 Jahre nach ihrer Entdeckung auf Interesse. In den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts haben sie in der Öl- und Gasindustrie Relevanz erlangt, als erkannt wurde, dass eine unbeabsichtigte Hydratbildung für Transportprobleme in Gaspipelines verantwortlich war. Bei herabgesetzten Temperaturen bildete sich festes Gashydrat aus unter Druck stehendem Gas – vorwiegend Methan – und verstopfte die Leitungssysteme. Die ersten natürlichen Vorkommen wurden in den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts in den Permafrostböden Nordamerikas und Sibiriens nachgewiesen. In den siebziger Jahren stießen Forscher des Lamont-Doherty Geological Observatory auf Hinweise, dass auch Meeresböden Methanhydrate enthalten können und 1980 gelang es, durch eine Bohrung auf dem Blake Ridge vor Mittelamerika, ein Stück Methanhydrat zutage zu fördern (Kvenvolden 2003). Seit dem beschäftigen sich Wissenschaftler – sowie zunehmend auch Politiker – weltweit mit der Erforschung von Methanhydraten und insbesondere ihrem Potential als zukünftige Energieressource.

Einführend gilt es einige zusätzliche Daten zu berücksichtigen, wobei in diesem Beitrag nicht die grundlegende Abwägung zwischen den Problemen einer zukünftigen Knappheit fossiler Brennstoffe sowie dem fortschreitenden Klimawandel im Mittelpunkt steht. Es wird in diesem Kontext vielmehr aufgezeigt, welchen spezifischen Beitrag die Nutzung von Methanhydraten im Rahmen der zukünftigen globalen Energieversorgung auf der Grundlage ihrer Vorkommen und der technischen Möglichkeiten zu ihrer Förderung grundsätzlich leisten kann und welchen Beitrag sie unter Berücksichtigung weiterer politischer und ökonomischer Aspekte sehr wahrscheinlich leisten wird.

Hinsichtlich der Entwicklung des weltweiten Energieverbrauchs prognostiziert die Internationale Energie Agentur (IEA) für das Jahr 2030 einen Bedarf von rund 17,7 Mrd. Tonnen Rohöleinheiten. Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2005 einem jährlichen Anstieg der Energienachfrage von rund 1,8% und einem Gesamtwachstum von ungefähr 55%, wobei erwartet wird, dass die konventionellen fossilen Ressourcen einen Anteil von rund 84% des Verbrauchsanstiegs decken werden (IEA 2007).

Unbestritten ist der auch zukünftig zu erwartende menschliche Einfluss auf den fortschreitenden Klimawandel. So wurden von der industriellen Revolution bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts – je nach Studie und Berechnungsgrundlage – zwischen 277 und 315 Gt. Kohlenstoff aus fossilen Energieträgern verbrannt und entsprechend Kohlendioxid emittiert (World Energy Council 2000; Marland et al. 2005; World Resource Institute 2005). Dies hat bereits zu einem Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre von 280 ppm¹ auf 380 ppm CO₂ und zu einem Temperaturanstieg von im Mittel 14°C auf 15°C geführt (Stern 2006).² Für den Fall, dass die zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich abbaubaren fossilen Lagerstätten (die so genannten Reserven) in der Größenordnung von rund 900 Gt. Kohlenstoff ebenfalls ausgebeutet werden, würde dies zu einem weiteren Anstieg um 49% auf rund 566 ppm führen, womit das Ziel eines Temperaturanstiegs von maximal 2°C über das vorindustrielle Niveau hinaus überschritten würde (Sinn 2007).

Zweifelsohne ist trotz des zu erwartenden weiteren Anstiegs der Energienachfrage global gesehen derzeit mittel- bis langfristig kein zu geringes Angebot zu erkennen, um diese Nachfrage zu befriedigen. Der entscheidende Aspekt wird diesbezüglich somit die Entwicklung des Preisniveaus sowie die damit verbundenen Anreize für die Akteure auf der Angebots- und Nachfrageseite sein.

¹ ppm = parts per million.

² Berechtigte Kritik am Stern-Report, wie beispielsweise von Tol und Yohe (2006) hervorgebracht, wird in diesem Beitrag nicht thematisiert.

Doch welche Rolle wird in diesem Zusammenhang die Nutzung von Methanhydraten einnehmen? Bislang ist noch unsicher, wann Methanhydrate ökonomisch vertretbar genutzt werden können. Des Weiteren ist ihr Abbau sehr wahrscheinlich mit ökologischen Risiken verbunden, so dass neben den ökonomischen vor allem die klimatischen und geophysikalischen Implikationen einer etwaigen Methanhydratnutzung von entscheidender Bedeutung sind.

Das Wissen über die Potentiale und Risiken von Methanhydraten ist insbesondere in der deutschsprachigen Öffentlichkeit und Politik noch immer gering ausgeprägt. Diesem Mangel wird im weiteren Verlauf des Beitrags in Form einer Analyse des aktuellen Stands der Forschung sowie darauf aufbauenden Handlungsempfehlungen entgegengewirkt.

Im zweiten Kapitel werden grundlegende Aspekte zu Methanhydraten eingeführt und es wird ein Überblick über die bisher nachgewiesenen Methanhydratvorkommen sowie ihre weltweite Verteilung gegeben. Kapitel Drei diskutiert das Risikopotential von Methanhydraten, wobei ihre Klimasensitivität und Klimawirksamkeit sowie Auswirkungen ihrer möglichen Destabilisierung auf die Sedimente der Kontinentallänge im Mittelpunkt stehen. Im vierten Kapitel wendet sich der Blick dem aktuellen Stand der Erprobung und Nutzung von Methanhydraten als Energieträger zu, bevor in Kapitel Fünf ein zusammenfassendes Fazit unter Einbeziehung eines Ausblicks sowie politischer Handlungsempfehlungen den Beitrag abschließt.

2 Grundlagen und Methanhydratvorkommen

Methan (CH_4) ist wie Erdgas und Erdöl ein kohlenstoffhaltiger und fossiler Energieträger, wobei Methan bei seiner Verbrennung Kohlendioxid freisetzt und überwiegend in Gemischen mit anderen Gasen als Brenngas verwendet wird (Kvenvolden 2003). Methan gehört zu den Spurengasen und ist nach Kohlendioxid derzeit das zweitwichtigste Treibhausgas. Es entsteht bei organischen Gär- und Zersetzungsprozessen und ist Hauptbestandteil sowohl von Erdgas als auch Biogas. Gelangt Methan in die Atmosphäre, wirkt es dort je Molekül rund 25-mal stärker als Kohlendioxid und kann durch seine Freisetzung gravierend zum Treibhauseffekt und der Erwärmung des Erdklimas beitragen (Buffett 2000; Max und Pellenbarg 2003; IFM-GEOMAR 2007).

Methanhydrate sind feste bzw. eisartige molekulare Verbindungen zwischen Wasser und Gas, die ausschließlich bei bestimmten Druck-Temperatur-Bedingungen stabil sind (Carroll 2003;

Kvenvolden 2003; Archer 2005; USGS 2006).³ Bei Methanhydraten bauen die Wassermoleküle Käfigstrukturen auf, in denen die Gasmoleküle eingeschlossen sind. Sie werden deshalb auch als Einschlussverbindungen oder Clathrate bezeichnet, denn Wasser und Methan gehen keine direkte chemische Bindung ein. Stattdessen lagert sich das Methan in Hohlräumen im Kristallgitter des Eises ab (Sloan 1998; Carroll 2003).

Bisher wurden drei unterschiedliche kristalline Strukturen nachgewiesen. Ihre Unterscheidung ergibt sich aus den verschiedenen Kristallsystemen, die als kubisches System (Struktur I und II) oder als hexagonales System (Struktur H) vorliegen können. Die Struktur entscheidet dabei über die Aufnahmekapazität von Gasmolekülen. Insgesamt gibt es fünf verschiedene Käfigstrukturen, wobei die kleinste Form in allen Strukturen vorkommt und als Differenzierung jeweils mindestens eine weitere Käfigstruktur enthalten ist (IFM – GEOMAR 2007; Carroll 2003; Kvenvolden 2003).

Die Struktur I ist die in der Natur am häufigsten vorkommende Struktur und ihre acht Käfige sind groß genug, um alle Moleküle mit einem kleineren Durchmesser als Propan aufzunehmen. Also beispielsweise das hier relevante Methan, aber auch Ethan, Kohlenstoffdioxid und Hydrogensulfid. Das Auftreten der Struktur I ist an das Vorkommen von biogenem Gas gebunden, welches aus bakteriellem Abbau resultiert und hauptsächlich in den ozeanischen Sedimenten vorhanden ist.

Die Struktur II beinhaltet insgesamt 24 Käfige, die genug sind um komplexere Gasmoleküle bis zu einer Größe kleiner als Pentan aufzunehmen; beispielsweise Propan und Isobutan. Das Vorkommen der Struktur II ist an Gebiete mit einer thermogenen Gasbildung in den Sedimenten gebunden.

Die Struktur H kommt in der Natur selten vor und ist komplizierter als die vorherigen beiden Strukturen aufgebaut, da sie sechs sehr unterschiedlich große Käfige beinhaltet, die neben einfachen Käfigstrukturen auch ein hexagonales Kristallsystem aufweisen, zu deren Bildung sehr große Gasmoleküle, wie Methylcyclohexan, benötigt werden.

Methanhydrate weisen hinsichtlich ihrer Stabilitätsbedingungen spezifische Eigenschaften auf, die sie grundlegend von anderen Energieträgern unterscheiden. An Land existieren die notwendigen Druck-Temperatur-Bedingungen ausschließlich in den Permafrostgebieten (vor

³ Die in der Natur vorkommenden Hydrate enthalten überwiegend Methan als zentrales Molekül, um das sich die Wassermoleküle käfigartig herumgruppieren. Demzufolge werden die Begriffe Methanhydrat und Gashydrat häufig, aber nicht ganz korrekt, synonym verwendet, denn neben Methan gibt es noch andere hydratbildende Gase. Als terminologische Abgrenzung wird im Folgenden ausschließlich von Methanhydraten gesprochen, da sie die mit Abstand bedeutendsten und hier relevanten Gashydrate sind.

allem auf der Nordhalbkugel) während die Hydratvorkommen in den Ozeanen weltweit verteilt sind.

In den Permafrostgebieten finden sich Hydratvorkommen ab einer Tiefe von 150 m unter der Oberfläche. Dabei reicht die Stabilitätszone auf etwa 2000 m Tiefe hinab. Die Stabilitätszonen in den Ozeanen beginnen in der Regel ab Tiefen von etwa 300 m, da erst dort ein entsprechender Druck die Stabilität garantiert. Als Ausnahme gelten die polaren Schelfgebiete, in denen ein vergleichsweise niedriger Druck durch konstant niedrige Temperaturen ausgeglichen wird. Hier lassen sich Methanhydratvorkommen ab einer Tiefe von 100 – 150 m finden (Max und Pellenberg 2003). Das untere Limit der Stabilitätszonen ergibt sich aus den geothermischen Eigenschaften im Erdboden. Zwar kompensiert der zunehmende Druck die Temperaturzunahme, kann dies aber ab einem bestimmten Punkt nicht mehr ausgleichen. Folglich sind die Stabilitätszonen häufig nur mehrere hundert Meter dick und darunter kann das Methan wieder gasförmig vorkommen (Sloan 1998; Kvenvolden 2003; Hornbach et al. 2004; WBGU 2006).

Diese Eiskäfige sind imstande große Mengen an Gas zu speichern und ein Volumen Hydrat enthält bei diesen Stabilitätsbedingungen rund 170 Volumina Methan unter Standardbedingungen – also bei Luftdruck (WBGU 2006). Bei konventionellen Erdgaslagerstätten können ähnliche Werte erst in einer Tiefe von rund 1.700 m erreicht werden. Jedoch ist die exakte Abschätzung der weltweit in Hydraten gebundenen Methanmengen schwierig und noch immer mit großen Unsicherheiten behaftet. Die bisherigen Schätzungen schwanken in einem Bereich von 500 bis 10.000 Gt. Kohlendioxid (Kvenvolden 1988; Rogner 1997; Gerling 1999; Collett 2003; Kvenvolden 2003; Buffet und Archer 2004; Milkov 2004; Archer 2005). Hierbei ist zu erkennen, dass die Anfangs sehr optimistischen Prognosen zunehmend angepasst wurden und die jüngsten Untersuchungen eine Größenordnung von bis zu 3.000 Gt. Kohlenstoff in Methanhydraten sowie eine identische Menge als Methangas unterhalb der Methanhydrate ausweisen.

Weltweit wurden bislang rund 20 Vorkommen von Methanhydraten über direkte Beprobungen nachgewiesen. Weitere 80 Standorte wurden anhand von geochemischen, geophysikalischen und geologischen Anhaltspunkten entdeckt (Max et al. 2006). Folglich existieren Gebiete, in denen eine stärkere Konzentration an Methanhydratvorkommen auszumachen ist und einige Regionen, die über keine Vorkommen verfügen. So sind größere Gashydratfelder in Nordrussland (Westsibirisches Becken, Nordost- und Ostsibirien, Timan und einzelne Areale von Kamchatka), in den arktischen Regionen von Nordamerika (Nördliche Hänge Alaskas und das Mackenzie Delta) sowie auf verschiedenen Inseln der

Arktis vorhanden. In den Ozeanen wurden Vorkommen im Golf von Mexiko, dem Schwarzen und Kaspischen Meer, dem Eel River Becken vor Kalifornien und dem Ochotskischen Meer entdeckt. Weiterhin finden sich größere Felder vor der Küste Perus und vor allem an den Ost- und Westküsten Japans (Collett 2003; Buffer und Archer 2004).

3 Risikopotentiale von Methanhydraten

3.1 Klimasensitivität und Klimawirksamkeit

Methan ist nach Kohlendioxid das derzeit bedeutendste Treibhausgas und insbesondere hinsichtlich seiner hohen Klimawirksamkeit sowie der Klimasensitivität der Methanhydratvorkommen sind, sowohl durch die fortschreitende Klimaerwärmung selbst als auch mit einer industriellen Nutzung, Risikopotentiale verbunden (Kennett et al. 2003). Während Methan in den Ozeanen eine Lebensdauer von etwa 50 Jahren hat, oxidiert es in der Atmosphäre schon nach rund 8 Jahren zu Kohlendioxid (Haq 2003). Dadurch schwächt sich zwar die Wirkung ab, jedoch weist Kohlendioxid eine weitaus längere Lebensdauer als Methan auf und ein großer Austritt des Gases hätte langfristige Auswirkungen auf den Treibhauseffekt (Kvenvolden 1988). Zusätzlich würde sich die Methan- und Kohlendioxidkonzentration in den Ozeanen erhöhen, was den Prozess der Versauerung weiter verstärken würde (Kennett et al. 2000; WBGU 2006).

Eine massive Freisetzung von Methan könnte demzufolge einen entscheidenden Beitrag zum Fortschreiten des Treibhauseffekts darstellen. Damit würde ein Rückkopplungsprozess ausgelöst, in dessen Verlauf sich Klimaerwärmung und – aufgrund der daraufhin veränderten Druck-Temperatur-Bedingungen sowie der hochsensiblen Abhängigkeit der Methanhydratstabilität von diesen Bedingung – eine weitere Methanfreisetzung gegenseitig beeinflussen würden (Haq 2003; Kennett et al. 2003). In Permafrostvorkommen ist aufgrund der hohen Temperatursensitivität eine positive Rückkopplung zwischen Temperaturanstieg und Methanfreisetzung als sicher anzusehen. Bei ozeanischen Methanhydratvorkommen sind sowohl positive als auch negative Rückkopplungen wahrscheinlich. Aufgrund der durch Methan unterstützten Klimaerwärmung würde es zu einem Abschmelzen der Polkappen und einem Anstieg des Meeresspiegels kommen. Dies würde den Druck auf die am Meeresboden lagernden Methanhydratvorkommen erhöhen und könnte so die durch die Temperaturerhöhung veränderten Druck-Temperatur-Bedingungen wieder regulieren und zu einer Stabilisierung beitragen. Überwiegt allerdings der Temperaturanstieg, ist zu erwarten, dass daraus eine weitere Destabilisierung der ozeanischen Methanhydrate folgt und

zunehmend Methan entweicht. Dies würde dann auch hier zu einer positiven Rückkopplung mit der Temperatur der Erde und den damit einhergehenden Risiken führen.

Ob der Klimawandel kurzfristig eine derartige Destabilisierung der Methanhydratvorkommen hervorrufen kann, ist derzeit als unwahrscheinlich anzusehen, da die Durchmischung der Meere nur sehr langsam vonstatten geht und spürbare Konsequenzen einen Zeitraum von mehreren Jahrhunderten notwendig machen würden. Konträr stellt sich die Situation bei Methanhydratvorkommen in geringeren Meerestiefen – wie etwa in den Polargebieten oder den Permafrostböden – dar. Diese Methanhydratvorkommen sind jedoch relativ gering, so dass eine großflächige Destabilisierung keine akute, sondern eine langfristige Gefahr darstellt (WBGU 2006).

Ein weiteres Problem kann bei der industriellen Förderung von Methanhydraten auftreten, da sich eine beim Abbau von Ressourcen (auch von herkömmlichen fossilen Energieträgern) verursachte Destabilisierung kaum steuern ließe und massive Methanfreisetzungen mit den entsprechenden Folgen nach sich ziehen würde. Darüber hinaus besteht die Problematik, dass derartige Emissionen nur schwer ermittelbar und demzufolge nicht adäquat auf die Emissionsinventare eines Landes anrechenbar wären.

3.2 Auswirkungen auf die Sedimentstabilität der Kontinentalhänge

Kontinentalhänge bilden den Übergang von Schelfgebieten in die Tiefsee und während Schelfgebiete überschwemmte Bereiche der Kontinente sind, ist die Tiefsee durch ozeanische Krusten geprägt. Methanhydrate liegen insbesondere an den Kontinentalhängen in verstärkter Konzentration vor und weisen einen stabilen Verbund mit den örtlichen Sedimenten auf. Diese haben einen signifikanten Einfluss auf die Stabilität des gesamten Hanges, da sie im Porenraum von marinen Sedimenten wie Zement wirken (Archer 2005). Wenn sich die Stabilitätsbedingungen vor Ort verändern, zerfallen die Hydrate zu Wasser und freiem Gas. Eine solche Anreicherung von Flüssigkeit und Gas in den Sedimentschichten macht die Hänge instabil und zudem würde die Anreicherung von Gas in den oberen Sedimentschichten zu einem Druckabfall auf die unteren Bodenschichten führen, was wiederum eine vollständige Destabilisierung begünstigen würde sowie submarine Rutschungen nach sich ziehen könnte (Paull, Ussler III und Dillion 2003; USGS 2006).

Eine derartige Kontinentalhangrutschung hätte nicht nur eine enorme Freisetzung von Methan zur Folge, sondern es würden große Mengen an Gestein unter Wasser in Bewegung gesetzt, die aufgrund der entsprechenden Verschiebung von Wassermassen Tsunamis auslösen können (Driscoll et al. 2000). Das eindrucksvollste Zeugnis einer solchen Katastrophe, bei der

die Destabilisierung von Gashydraten als Ursache gilt, ist die Storegga-Rutschung vor der Küste Norwegens etwa auf der Höhe von Trondheim. Sie ereignete sich vor rund 7.000 Jahren und mit einem Gesamtvolumen von circa 5.600 km³ ist sie die bisher größte bekannte Rutschung dieser Art. Sie löste enorme Tsunami-Wellen aus, die eine Höhe von über 25 m erreichten (Halfidason et al. 2004; Smith et al. 2004). Die bei dieser Rutschung in Form von Methangas freigesetzte Kohlenstoffmenge wird auf 0,8 Gt. geschätzt (Archer 2005).

4 Stand der Erprobung und Nutzung von Methanhydraten

Die Erforschung von Methanhydraten in Permafrostgebieten ist partiell relativ weit vorangeschritten und es bestehen hinsichtlich der Fördertechniken Erfahrungen durch Projekte am Gasfeld Messoyakha in Sibirien und dem Forschungsprojekt Mallik (Collett 2003; Buffett und Archer 2004). Das Forschungsprojekt Mallik gilt als eines der bisher ambitioniertesten Projekte und wurde vor der arktischen Küste Kanadas durchgeführt. Ein internationaler Forschungsverbund – vor allem bestehend aus den USA, Japan, Indien und Deutschland – initiierte das Projekt, bei dem Produktionstests im Mittelpunkt standen.

Über dieses internationale Gemeinschaftsprojekt hinaus, betreiben mehrere Staaten Forschungsinitiativen auf nationaler Ebene. Das erste staatliche Programm wurde 1982 in den USA seitens des Energieministeriums initiiert und 1992 aufgrund der niedrigen Preise für konventionelle Rohstoffe und geänderter politischer Prioritäten eingestellt. Seit dem Jahr 2000 wurde die Forschungstätigkeit seitens des Energieministeriums wieder aufgenommen. Zwischen dem Zeitpunkt der Einführung des Methane Hydrate Research and Development Act im Jahr 2000 und einem Zwischenbericht des National Research Council im Jahr 2003 wurden mehr als 29 Millionen Dollar für Forschungszwecke investiert (Bil 2003) und das Programm wurde durch den Energy Policy Act bis zum Jahr 2010 verlängert (WBGU 2006).

Für *Indien* besitzt die zukünftige Sicherung der Energieversorgung höchste Priorität. Das Land ist zusammen mit China der am schnellsten wachsende Verbraucher von fossilen Energieträgern. Um dieser hohen Importabhängigkeit zu entgegnen wird seit einigen Jahren die Exploration von Methanhydratvorkommen entlang der 7.500 km langen Küste Indiens intensiviert und es existieren bereits Förderprojekte entlang der Ostküste zwischen Madras und Calcutta sowie ein Projekt im Meer von Andaman, zwischen Indien und Myanmar (Collett 2003).

Japan hat in den vergangenen Jahren mehr in die Methanhydratforschung investiert als alle anderen Staaten zusammen. Das Hauptinteresse gilt im Zuge dessen den Hydratvorkommen des Nankai Beckens, östlich der japanischen Küste, und bereits im Jahr 2004 belief sich das

vom japanischen Ministry of Economy, Trade and Industry und der Japan National Oil Company bereitgestellte Budget auf rund 100 Millionen Dollar (MH21 2005).

Hinsichtlich der Verbesserung der technischen und wirtschaftlichen Praktikabilität spielen insbesondere Japan und die USA eine zentrale Rolle. So existiert in Japan mit dem National Methane Hydrate Exploitation Program ein Programm, welches sich zum Ziel gesetzt hat – neben einer grundsätzlichen Erforschung von Methanhydraten – bereits Ende 2007 mit ersten Produktionstests zu beginnen und spätestens nach Abschluss der dritten Phase (2012 bis 2016) über die für eine kommerzielle Erschließung notwendigen Technologien zu verfügen (MH21 2005). Das amerikanische Methanhydratforschungsprogramm beinhaltet dagegen das Ziel ab 2015 mit einem kommerziellen Abbau in den amerikanischen Gewässern zu beginnen und hält einen großskaligen Abbau ab 2020 für möglich (National Energy Technology Laboratory 2007).

Neben den genannten Nationen zeigt sich vor allem China an der Exploration von Hydratvorkommen interessiert und im Süd- und Ostchinesischen Meer werden erhebliche Methanhydratlagerstätten vermutet (Max et al. 2006). Weitere Länder mit bestehenden Methanhydrat-Forschungsprogrammen sind Kanada, Chile, Russland, Deutschland und Neuseeland (IFM – GEOMAR 2007).

5 Fazit, Ausblick und Handlungsempfehlungen

Methanhydrate sind die im größten Umfang vorhandene Kohlenstoffressource und ihre im Vergleich zu Erdöl und Erdgas breite geographische Verteilung sowie ihr erhebliches Potential machen sie zu einem begehrten Rohstoff. Demgegenüber besteht die Gefahr einer Forcierung des Treibhauseffektes im Fall einer Freisetzung von Methan in die Atmosphäre und eine Destabilisierung der ozeanischen Sedimente. Bisher sind zudem die technischen Schwierigkeiten bei der Extraktion des Methans noch nicht umfassend gelöst.

Nichtsdestoweniger wurde die Gashydratforschung in den vergangenen Jahren sowohl aus politischen als auch aus wirtschaftlichen Erwägungen forciert und wird auch zukünftig weiter vorangetrieben werden. Insbesondere für Länder wie China, Japan oder Indien – die selbst nur über geringe Vorkommen an konventionellen Energieträgern verfügen und in ihrer Energieversorgung einer starken Importabhängigkeit unterliegen – stellen Methanhydrate eine ökonomisch und politisch viel versprechende „heimische“ Ressource dar. Dabei ist aufgrund des weltweit steigenden Energiebedarfs und des damit verbundenen Anstiegs der Preise für konventionelle Energieträger sehr wahrscheinlich zu erwarten, dass zumindest die

terrestrischen Methanhydrate in Permafrostböden in naher Zukunft kommerziell genutzt werden.

Somit sind Methanhydrate hinsichtlich ihrer zukünftigen Nutzungspotentiale insbesondere mit den etablierten fossilen Energieträgern zu vergleichen. Einer der zentralen Vorteile ist in den erdgasähnlichen Eigenschaften des Methangases begründet, da es sich potentiell gut in die bestehende Infrastruktur der Energieversorgung integrieren lässt. Notwendige Pipelinesysteme sowie Kraftwerke und Antriebstechniken für die Nutzung von Methan bestehen bereits in großem Umfang und bedürfen keiner zusätzlichen Forschung bzw. umfangreichen Neuinvestitionen. Zudem ist Gas in der Nutzung als der relativ umweltfreundlichste Rohstoff unter den fossilen Energieträgern anzusehen.

Regenerative Energien gewinnen für die globale Energieversorgung zunehmend an Bedeutung. Sie können den wachsenden Energiebedarf aber auf längere Sicht noch nicht decken und weisen weiterhin Unsicherheiten hinsichtlich ihrer kontinuierlichen Verfügbarkeit auf. Methangas aus Methanhydraten bietet sich hier als Möglichkeit an, für diesen Ausgleich zu sorgen und den Übergang zu einer regenerativen Energieversorgung zu erleichtern. Gegenüber Biogas und anderen Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen hat es ebenfalls den Vorteil einer potentiell großen Verfügbarkeit, denn die großskaligen Nutzungsmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen sind begrenzt. Da ihre Erzeugung unmittelbar von den nutzbaren Flächen abhängt und teilweise mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz tritt (exemplarisch sei hier auf den Preisanstieg von Mais aufgrund der global steigenden Nachfrage nach Mais als Grundlage für die Erzeugung von Ethanol verwiesen) ist ihre Nutzung sowohl aus ethischen Gründen als auch aus Gründen des Naturschutzes (Waldrodungen, Monokulturen und Gentechnik) zu Recht einer verstärkten Kritik ausgesetzt.

Methanhydrate weisen folglich trotz der bestehenden Risiken praktische Vorteile auf, die sie zu einer Übergangslösung auf dem Weg zu einer auf regenerativen Energieträgern beruhenden Energieversorgung machen können. Demzufolge stellt sich nicht mehr die Frage, ob Methanhydrate zukünftig als Ressourcen für die Energieversorgung industriell genutzt werden, sondern vielmehr wann, wo und wie sie genutzt werden bzw. genutzt werden sollten.

Hinsichtlich der Verteilung der Methanhydrate auf Permafrostgebiete und Offshore-Lagerstätten hat sich das Bild gezeigt, dass Ressourcenvorkommen in den ozeanischen Sedimenten weitaus größer sind als in Permafrostgebieten. Jedoch sind die marinen

Methanhydratvorkommen wesentlich unzugänglicher, hinsichtlich ihrer Ausbeutung weniger erforscht und ein möglicher Abbau ist mit größeren Risiken verbunden.

Folglich sind kurz- und mittelfristig die in den Permafrostgebieten lagernden und relativ risikofrei abzubauenen Methanhydratvorkommen in der Größenordnung von 14.000 bis 34.000 Billionen m³ (Collett 2003) grundsätzlich als zukünftige Ressourcen relevant und stehen auch unter ökonomischen Gesichtspunkten im Mittelpunkt des Interesses; vor allem wenn sie wie im Messoyakha-Feld oder der Kuparuk River Area in Verbindung mit konventionellen Gaslagerstätten stehen. Ein weiterer entscheidender ökonomischer Faktor ist die Marktnähe von Permafrostvorkommen, wie sie sich speziell in Alaska oder Kanada positiv auf eine wirtschaftliche Nutzung auswirken werden.

Die bedeutendste Nutzungsform des Methans aus Methanhydraten wird die Integration in die bestehende Erdgasinfrastruktur äquivalent zur Erdgasnutzung darstellen. Zusätzlich wird Methangas auch als Treibstoff attraktiv werden.

Durch ihre aktuellen Forschungsstrategien setzen insbesondere Japan und die USA die Maßstäbe für den Beginn einer kommerziellen Nutzung von Methanhydraten um das Jahr 2015 herum. Die damit verbundenen ökonomischen, ökologischen sowie politischen Chancen und Risiken gilt es aus europäischer Perspektive rechtzeitig zu erkennen und in die zukünftige Ausrichtung der Energiepolitik einfließen zu lassen. Auch wenn viele Aspekte im Kontext der Methanhydratforschung derzeit noch nicht vollständig verstanden sind und ökologische Gründe gegen eine industrielle Nutzung von Methanhydraten sprechen können, sollte kein Zweifel bestehen, dass Methanhydratvorkommen – jeweils individuell rationalen Erwägungen folgend – industriell ausgebeutet werden. Zu berücksichtigen sind vor allem die Vorkommen, die sich in den Permafrostgebieten und im Hoheitsgebiet der sowohl durch ein Bevölkerungswachstum als auch eine hohe Importabhängigkeit in ihrer Energieversorgung gekennzeichneten Länder befinden.

Hier gilt es aus ökonomischer Sicht vor allem die denkbaren Auswirkungen einer Methanhydratnutzung auf die Angebotsstruktur und das Preisgefüge der etablierten Energieträger rechtzeitig einzubeziehen.

Als Ausgangspunkt der Argumentation ist der sich im Herbst 2007 nur noch knapp unter der Marke von 100 US-Dollar bewegende Ölpreis heranzuziehen. Neben den grundsätzlichen konjunkturellen Risiken steigender Energiepreise, können sich daraus volkswirtschaftlich durchaus positive Implikationen ergeben, da analog auch die finanziellen Anreize steigen,

effizienter mit Energie umzugehen sowie die Förderung mittel- und langfristig kostengünstigerer und gleichsam umweltfreundlicherer Alternativen zu forcieren.

Im Zuge einer industriellen Nutzung von Gas aus Methanhydraten könnte sich Gas zu dem zentralen fossilen Energieträger entwickeln. Als daraufhin denkbare Reaktionskette ist zu erwarten, dass die Preise für Erdgas bzw. Methangas sinken werden, da die Preise als die zentralen Knappheitsindikatoren fungieren. Ebenso sind die (relativen) Marktpreise die wesentlichen Auslöser von Innovationen. Hierbei ist zudem zu erwarten, dass die derzeitige Ölpreisbindung der Gaspreise obsolet wird.

Durch relativ gesunkene Preise gehen sowohl die Anreize für einen effizienteren Umgang mit dem entsprechenden Energieträgern zurück, als auch sinken die Anreize für Investitionen zur Förderung von alternativen Energieträgern, mit den entsprechenden negativen ökologischen und klimapolitischen Implikationen.

Somit wird auch hier rechtzeitig eine Entscheidung zu treffen sein, wie mit diesen Entwicklungen umweltpolitisch umgegangen wird. Hierbei gilt insbesondere die aktuell zu starre Fixierung des umweltpolitischen Instrumenteneinsatzes auf die Reduzierung der Energienachfrage durch national isolierte Instrumente – wie beispielsweise Ökosteuern – zu vermeiden. Diese Missachtung der Angebotsseite in Kombination mit einem nationalen Instrumenteneinsatz kann global kontraproduktive klimapolitische Auswirkungen haben. Wie *Sinn* (2007) auf gleichermaßen theoretisch simplifizierte aber auch sehr anregende Weise argumentiert, besteht durch die derzeitige Besteuerung der Nutzung fossiler Energieträger beispielsweise die Gefahr, dass die Erdölexportierenden Länder zukünftig weiter steigende Steuern und im Zuge dessen durch einen Nachfragerückgang sinkende Einnahmen erwarten. Dies führt dazu, dass die vorhandenen Erdölvorhaben möglichst schnell ausgebeutet und verkauft werden, denn es ist nicht zu erwarten, dass die wirtschaftlich ausbeutbaren Ressourcen nicht auch tatsächlich angeboten werden. Dies wiederum führt zu einer Beschleunigung des Ausstoßes von CO₂ (*Sinn* 2007). Zur Lösung dieser Problematik ist derzeit noch auf weiteren praxisbezogenen Forschungsbedarf unter kritischer Evaluation der Erfolge bisheriger klimapolitischer Maßnahmen zu verweisen. Hierbei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass auch hinsichtlich des Abbaus von Methanhydraten eine analoge Argumentation zu führen ist und ihr Angebot sowie ihre Nachfrage maßgeblich durch die ökonomischen Anreize in Form von Marktpreisen und umweltpolitischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird.

Im Hinblick auf die sich daraus entwickelnden Auswirkungen auf die internationalen Beziehungen sind aus energiepolitischer Sicht neue politische Machtverhältnisse und

Strukturen zu erwarten, wobei insbesondere Länder wie Indien, Japan, China und die USA durch ihre weit vorangeschrittenen Forschungsaktivitäten bzw. Methanhydratvorkommen einerseits ihre Abhängigkeit von Energieimporten senken als gleichermaßen zukünftig zu bedeutenden potentiellen Anbietern werden können.

Wie stark diese Auswirkungen sein werden und auf welchen Zeitskalen sie letztlich ablaufen, ist derzeit schwer zu prognostizieren, doch sich auf die zu erwartenden Weiterentwicklungen auch politisch einzustellen ist das Gebot der Stunde und notwendige Bedingung einer zukunftsfähigen Energiepolitik. Eine unvoreingenommen zu diskutierende Frage ist in diesem Kontext zudem der Umgang mit zukünftigen Möglichkeiten der Sequestrierung von Treibhausgasen – beispielsweise auch in Lagerstätten, aus denen vorher Methan aus Hydraten gefördert wurde.

Literatur

- Archer, D. 2005. *Destabilization of methane hydrates: A risk analysis. Externe Expertise für das WBGU-Sondergutachten „Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer“*. www.wbgu.de/wbgu_sn2006_ex01.pdf (abgerufen 01.11.2007).
- Bil, K. L. 2003. Economic perspective of methane from hydrate. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 349-360.
- BP – British Petroleum 2005. *Putting Energy in the Spotlight. BP Statistical Review of World Energy*. London: BP.
- Buffett, B. A. 2000. Clathrate hydrates. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 28: 477-507.
- Buffett, B. und Archer, D. 2004. Global inventory of methane clathrate: sensitivity to changes in the deep ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 227 (3-4): 185–199.
- Carroll, J. J. 2003. *Natural gas hydrates: a guide for engineers*. Amsterdam: Gulf Professional Publishers.
- Collett, T. S. 2003. Natural gas hydrate as a potential energy resource. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 123-136.
- Driscoll, N. W., Weissel, J. K. und Goff, J. A. 2000. Potential for large-scale submarine slope failure and tsunami generation along the US mid-Atlantic coast. *Geology* 28 (5): 407-410, 2000.

- Gerling, P. 1999. Erdgas aus Hydraten. In: *Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien: XVII Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1998*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover / Berlin. S. 191–196.
- Haflidason, H. et al. 2004. The Storegga Slide: architecture, geometry and slide Development. *Marine Geology 213 (1-4)*: 201-234.
- Haq, B. U. 2003. Climatic Impact of Natural Gas Hydrate. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 137-148.
- Hornbach, M. J., Saffer, D. M. und Holbrook, W. S. 2004. Critically pressured free-gas reservoirs below gas-hydrate provinces. *Nature 427 (6970)*: 142-144.
- IEA – International Energy Agency. 2007. *World energy outlook 2005: China and India insights*. Paris: International Energy Agency.
- IFM – GEOMAR. 2007. Gashydrate und Methankreislauf. <http://www.gashydrate.de> (abgerufen 31.10.2007).
- Kennett, J. P., Cannariato, K. G. Hendy, I. L. und Behl, R. J. 2000. Carbon isotopic evidence for methane hydrate instability during quaternary interstadials, *Science*, 288 (5463): 128-133,
- Kennett, J. P., Cannariato, K. G. Hendy, I.L. und Behl, R.J. 2003. *Methane hydrates in quaternary climate change: the clathrate gun hypothesis*. Washington D.C.: American Geophysical Union.
- Kvenvolden, K. 1988. Methane hydrates and global climate. *Global Biochemical Cycles 3*: 221-229.
- Kvenvolden, K. A. 2003. Natural gas hydrate: introduction and history of discovery. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 9-16.
- Marland, G., Boden, T. A. und Andres, R. J. 2005. *Global, regional, and national fossil fuel CO₂ emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.htm (abgerufen am 05.12.2007).
- Max, M. D. und Pellenbarg, R. E. 2003. Introduction, physical properties, and natural occurrences of hydrate. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 1-8.

- Max, M. D., Johnson, A. H. und Dillion, W. P. 2006. *Economic geology of natural gas hydrate*. Dordrecht: Springer.
- MH21 – Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan. 2005. Background and organization. www.mh21japan.gr.jp/english/mh21-2.html (abgerufen 20.10.2007).
- Milkov, A. V. 2004. Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there? *Earth-Science Reviews* 66 (3-4): 183–197.
- National Energy Technology Laboratory. 2007. Program facts – methane hydrates. www.netl.doe.gov/scngo (abgerufen am 01.11.2007).
- Paull, C. K., Ussler III, W. und Dillion, W. P. 2000. Potential role of gas hydrate decomposition in generating submarine slope failures. In: *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments*. Herausgegeben von M. D. Max. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. 149-156.
- Rogner, H.-H. 1997. An assessment of world hydrocarbon resources. *Annual Review of Energy and the Environment* 22: 217–262.
- Sinn, H.-W. 2007. *Public policies against global warming*. CESifo Working Paper No. 2087.
- Sloan, E. D. 1998. Gas hydrates: review of physical/chemical properties. *Energy & Fuels* 12: 191-196.
- Smith, D. E., et al. 2004. The holocene storegga slide tsunami in the United Kingdom. *Quaternary Science Reviews* 23 (23-24): 2291–2321.
- Stern, N. et al. 2006. *Stern review: the economics of climate change*. London: HM Treasury.
- Tol, R. S. J. und Yohe, G. W. 2006. A review of the Stern Review *World Economics* 7: 233-251.
- USGS – USGS Science Center for Coastal and Marine Geology. 2006. Gas hydrate studies. www.woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/index.html (abgerufen 01.11.2007).
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. 2006. *Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer*. WBGU-Sondergutachten 2006. Berlin: WBGU:
- World Energy Council. 2000. *World energy assessment: energy and the challenge of sustainability*. New York: United Nations Development Programme.
- World Energy Council. 2007. *2007 Survey of Energy Resources*. London: World Energy Council.
- World Resource Institute. 2006. *Climate analysis indicators tool*. Washington, CD: World Resources Institute. <http://cait.wri.org> (abgerufen 04.12.2007).

Working Paper Series in Economics

(see www.leuphana.de/vwl/papers for a complete list)

- No.75: *Stefan Baumgärtner, Christian Becker, Karin Frank, Birgit Müller & Christian Quaas*: Relating the philosophy and practice of ecological economics. The role of concepts, models, and case studies in inter- and transdisciplinary sustainability research, January 2008
- No.74: *Thorsten Schank, Claus Schnabel & Joachim Wagner*: Higher wages in exporting firms: Self-selection, export effect, or both? First evidence from German linked employer-employee data, January 2008
- No.73: *Institut für Volkswirtschaftslehre*: Forschungsbericht 2007, Januar 2008
- No.72: *Christian Growitsch and Heike Wetzel*: Testing for economies of scope in European railways: An efficiency analysis, December 2007
[revised version of Working Paper No. 29, forthcoming in: Journal of Transport Economics and Policy]
- No.71: *Joachim Wagner, Lena Koller and Claus Schnabel*: Sind mittelständische Betriebe der Jobmotor der deutschen Wirtschaft?, Dezember 2007
- No.70: *Nils Braakmann*: Islamistic terror, the war on Iraq and the job prospects of Arab men in Britain: Does a country's direct involvement matter?, December 2007
- No.69: *Maik Heinemann*: E-stability and stability learning in models with asymmetric information, December 2007
- No.68: *Joachim Wagner*: Exporte und Produktivität in Industriebetrieben – Niedersachsen im interregionalen und internationalen Vergleich, Dezember 2007
- No.67: *Stefan Baumgärtner and Martin F. Quaas*: Ecological-economic viability as a criterion of strong sustainability under uncertainty, November 2007
- No.66: *Kathrin Michael*: Überbrückungsgeld und Existenzgründungszuschuss – Ergebnisse einer schriftlichen Befragung drei Jahre nach Gründungsbeginn, November 2007
- No.65: *The International Study Group on Export and Productivity*: Exports and Productivity – Comparable Evidence for 14 Countries, November 2007
- No.64: *Lena Koller, Claus Schnabel und Joachim Wagner*: Freistellung von Betriebsräten – Eine Beschäftigungsbremse?, November 2007
- No.63: *Anne-Kathrin Last*: The Monetary Value of Cultural Goods: A Contingent Valuation Study of the Municipal Supply of Cultural Goods in Lueneburg, Germany, October 2007
- No.62: *Thomas Wein und Heike Wetzel*: The Difficulty to Behave as a (regulated) Natural Monopolist – The Dynamics of Electricity Network Access Charges in Germany 2002 to 2005, September 2007
- No.61: *Stefan Baumgärtner und Martin F. Quaas*: Agro-biodiversity as natural insurance and the development of financial insurance markets, September 2007
- No.60: *Stefan Bender, Joachim Wagner, Markus Zwick*: KombiFiD - Kombinierte Firmendaten für Deutschland, September 2007
- No.59: *Jan Kranich*: Too much R&D? - Vertical differentiation in a model of monopolistic competition, August 2007
- No.58: *Christian Papilloud und Ingrid Ott*: Convergence or mediation? Experts of vulnerability and the vulnerability of experts' discourses on nanotechnologies – a case study, July 2007

- No.57: *Ingrid Ott und Susanne Soretz*: Governmental activity, integration and agglomeration, July 2007
- No.56: *Nils Braakmann*: Struktur und Erfolg von Ich-AG-Gründungen: Ergebnisse einer Umfrage im Arbeitsagenturbezirk Lüneburg, Juli 2007
- No.55: *Nils Braakmann*: Differences in the earnings distribution of self- and dependent employed German men – evidence from a quantile regression decomposition analysis, July 2007
- No.54: *Joachim Waagner*: Export entry, export exit, and productivity in German Manufacturing Industries, June 2007
[forthcoming in: International Journal of the Economics of Business]
- No.53: *Nils Braakmann*: Wirkungen der Beschäftigungspflicht schwerbehinderter Arbeitnehmer – Erkenntnisse aus der Einführung des „Gesetzes zur Bekämpfung der Arbeitslosigkeit Schwerbehinderter“, Juni 2007
- No.52: *Jan Kranich und Ingrid Ott*: Regionale Spitzentechnologie auf internationalen Märkten, Juni 2007
- No.51: *Joachim Wagner*: Die Forschungspotenziale der Betriebspaneldaten des Monatsberichts im Verarbeitenden Gewerbe, Mai 2007
[erscheint in: AStA – Wirtschafts- und Sozialwirtschaftliches Archiv]
- No.50: *Stefan Baumgärtner, Frank Jöst und Ralph Winkler*: Optimal dynamic scale and structure of a multi-pollution economy, May 2007
- No.49: *Helmut Fryges und Joachim Wagner*: Exports and productivity growth – First evidence from a continuous treatment approach, May 2007
- No.48: *Ulrich Kaiser und Joachim Wagner*: Neue Möglichkeiten zur Nutzung vertraulicher amtlicher Personen- und Firmendaten, April 2007
[erscheint in: Perspektiven der Wirtschaftspolitik]
- No.47: *Joachim Wagner*: Jobmotor Mittelstand? Arbeitsplatzdynamik und Betriebsgröße in der westdeutschen Industrie, April 2007
[publiziert in: Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung, 76 (2007), 3, 76-87]
- No.46: *Christiane Clemens und Maik Heinemann*: Credit Constraints, Idiosyncratic Risks, and the Wealth Distribution in a Heterogenous Agent Model, March 2007
- No.45: *Jan Kranich*: Biotechnologie und Internationalisierung. Ergebnisse der Online-Befragung, März 2007
- No.44: *Joachim Wagner*: Entry, exit and productivity. Empirical results for German manufacturing industries, March 2007
- No.43: *Joachim Wagner*: Productivity and Size of the Export Market Evidence for West and East German Plants, 2004, March 2007
[erscheint in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik]
- No.42: *Joachim Wagner*: Why more West than East German firms export, March 2007
- No.41: *Joachim Wagner*: Exports and Productivity in Germany, March 2007
[publiziert in: Applied Economics Quarterly 53 (2007), 4, 353-373]
- No.40: *Lena Koller, Klaus Schnabel und Joachim Wagner*: Schwellenwerte im Arbeitsrecht. Höhere Transparenz und Effizienz durch Vereinheitlichung, Februar 2007
[publiziert in: Perspektiven der Wirtschaftspolitik, 8 (2007), 3, 242-255]
- No.39: *Thomas Wein und Wiebke B. Röber*: Sind ausbildende Handwerksbetriebe erfolgreicher?, Januar 2007

- No.38: *Joachim Wagner*: Institut für Volkswirtschaft: Forschungsbericht 2006, Januar 2007
- No.37: *Nils Braakmann*: The impact of September 11th, 2001 on the job prospects of foreigners with Arab background – Evidence from German labor market data, January 2007
- No.36: *Jens Korunig*: Regulierung des Netzmonopolisten durch Peak-load Pricing?, Dezember 2006
- No.35: *Nils Braakmann*: Die Einführung der fachkundigen Stellungnahme bei der Ich-AG, November 2006
- No.34: *Martin F. Quaas and Stefan Baumgärtner*: Natural vs. financial insurance in the management of public-good ecosystems, October 2006
[forthcoming in: Ecological Economics]
- No.33: *Stefan Baumgärtner and Martin F. Quaas*: The Private and Public Insurance Value of Conservative Biodiversity Management, October 2006
- No.32: *Ingrid Ott and Christian Papilloud*: Converging institutions. Shaping the relationships between nanotechnologies, economy and society, October 2006
[published in: Bulletin of Science, Technology & Society 2007 (27), 4, 455-466]
- No.31: *Claus Schnabel and Joachim Wagner*: The persistent decline in unionization in western and eastern Germany, 1980-2004: What can we learn from a decomposition analysis?, October 2006
[published in: Industrielle Beziehungen/The German Journal of Industrial Relations 14 (2007), 118-132]
- No.30: *Ingrid Ott and Susanne Soretz*: Regional growth strategies: fiscal versus institutional governmental policies, September 2006
[forthcoming in: Economic Modelling]
- No.29: *Christian Growitsch and Heike Wetzel*: Economies of Scope in European Railways: An Efficiency Analysis, July 2006
- No.28: *Thorsten Schank, Claus Schnabel and Joachim Wagner*: Do exporters really pay higher wages? First evidence from German linked employer-employee data, June 2006
[published in in: Journal of International Economics 72 (2007), 1, 52-74]
- No.27: *Joachim Wagner*: Markteintritte, Marktaustritte und Produktivität
Empirische Befunde zur Dynamik in der Industrie, März 2006
[publiziert in: AStA – Wirtschafts- und Sozialwirtschaftliches Archiv 1 (2007), 3, 193-203]
- No.26: *Ingrid Ott and Susanne Soretz*: Governmental activity and private capital adjustment, March 2006
[forthcoming in: Icfai Journal of Managerial Economics]
- No.25: *Joachim Wagner*: International Firm Activities and Innovation:
Evidence from Knowledge Production Functions for German Firms, March 2006
- No.24: *Ingrid Ott und Susanne Soretz*: Nachhaltige Entwicklung durch endogene Umweltwahrnehmung, März 2006
publiziert in: Clemens, C., Heinemann, M. & Soretz, S., Auf allen Märkten zu Hause (Gedenkschrift für Franz Haslinger), Marburg: Metropolis, 2006, 233-256
- No.23: *John T. Addison, Claus Schnabel, and Joachim Wagner*: The (Parlous) State of German Unions, February 2006
[forthcoming in: Journal of Labor Research 28 (2007), 3-18]

- No.22: *Joachim Wagner, Thorsten Schank, Claus Schnabel, and John T. Addison: Works Councils, Labor Productivity and Plant Heterogeneity: First Evidence from Quantile Regressions*, February 2006
[published in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 226 (2006), 505 - 518]
- No.21: *Corinna Bunk: Betriebliche Mitbestimmung vier Jahre nach der Reform des BetrVG: Ergebnisse der 2. Befragung der Mitglieder des Arbeitgeberverbandes Lüneburg Nordostniedersachsen*, Februar 2006
- No.20: *Jan Kranich: The Strength of Vertical Linkages*, July 2006
- No.19: *Jan Kranich und Ingrid Ott: Geographische Restrukturierung internationaler Wertschöpfungsketten – Standortentscheidungen von KMU aus regionalökonomischer Perspektive*, Februar 2006
- No.18: *Thomas Wein und Wiebke B. Röber: Handwerksreform 2004 – Rückwirkungen auf das Ausbildungsverhalten Lüneburger Handwerksbetriebe?*, Februar 2006
- No.17: *Wiebke B. Röber und Thomas Wein: Mehr Wettbewerb im Handwerk durch die Handwerksreform?*, Februar 2006
- No.16: *Joachim Wagner: Politikrelevante Folgerungen aus Analysen mit wirtschaftsstatistischen Einzeldaten der Amtlichen Statistik*, Februar 2006
[publiziert in: *Schmollers Jahrbuch* 126 (2006) 359-374]
- No.15: *Joachim Wagner: Firmenalter und Firmenperformance*
Empirische Befunde zu Unterschieden zwischen jungen und alten Firmen in Deutschland, September 2005
[publiziert in: *Lutz Bellmann und Joachim Wagner (Hrsg.), Betriebsdemographie (Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Band 305)*, Nürnberg: IAB der BA, 83-111]
- No.14: *Joachim Wagner: German Works Councils and Productivity: First Evidence from a Nonparametric Test*, September 2005
[forthcoming in: *Applied Economics Letters*]
- No.13: *Lena Koller, Claus Schnabel und Joachim Wagner: Arbeitsrechtliche Schwellenwerte und betriebliche Arbeitsplatzdynamik: Eine empirische Untersuchung am Beispiel des Schwerbehindertengesetzes*, August 2005
[publiziert in: *Zeitschrift für ArbeitsmarktForschung/ Journal for Labour Market Research* 39 (2006), 181-199]
- No.12: *Claus Schnabel and Joachim Wagner: Who are the workers who never joined a union? Empirical evidence from Germany*, July 2005
[published in: *Industrielle Beziehungen/ The German Journal of Industrial Relations* 13 (2006), 118-131]
- No.11: *Joachim Wagner: Exporte und Produktivität in mittelständischen Betrieben*
Befunde aus der niedersächsischen Industrie (1995 – 2004), June 2005
[publiziert in: *Niedersächsisches Landesamt für Statistik, Statistische Berichte Niedersachsen, Sonderausgabe: Tagung der NLS am 9. März 2006, Globalisierung und regionale Wirtschaftsentwicklung - Datenlage und Datenbedarf in Niedersachsen*. Hannover, Niedersächsisches Landesamt für Statistik, Juli 2006, 18 – 29]

- No.10: *Joachim Wagner*: Der Noth gehorchend, nicht dem eignen Trieb.
Nascent Necessity and Opportunity Entrepreneurs in Germany.
Evidence from the Regional Entrepreneurship Monitor (REM), May 2005
[published in: RWI: Mitteilungen. Quarterly 54/ 55 (2003/04), 287-303
{published June 2006}]
- No. 9: *Gabriel Desgranges and Maik Heinemann*: Strongly Rational Expectations Equilibria with
Endogenous Acquisition of Information, March 2005
- No. 8: *Joachim Wagner*: Exports, Foreign Direct Investment, and Productivity: Evidence from
German Firm Level Data, March 2005
[published in: Applied Economics Letters 13 (2006), 347-349]
- No. 7: *Thomas Wein*: Associations' Agreement and the Interest of the Network Suppliers – The
Strategic Use of Structural Features, March 2005
- No. 6: *Christiane Clemens and Maik Heinemann*: On the Effects of Redistribution on Growth
and Entrepreneurial Risk-Taking, March 2005
- No. 5: *Christiane Clemens and Maik Heinemann*: Endogenous Redistributive Cycles – An
overlapping Generations Approach to Social Conflict and Cyclical Growth, March 2005
- No. 4: *Joachim Wagner*: *Exports and Productivity*: A Survey of the Evidence from Firm Level
Data, March 2005
[published in: The World Economy 30 (2007), 1, 60-82]
- No. 3: *Thomas Wein and Reimund Schwarze*: Is the Market Classification of Risk Always
Efficient? - Evidence from German Third Party Motor Insurance, March 2005
- No. 2: *Ingrid Ott and Stephen J. Turnovsky*: Excludable and Non-Excludable Public Inputs:
Consequences for Economic Growth, June 2005 (Revised version)
[published in: *Economica* 73 (2006), 292, 725-742
also published as CESifo Working Paper 1423]
- No. 1: *Joachim Wagner*: Nascent and Infant Entrepreneurs in Germany.
Evidence from the Regional Entrepreneurship Monitor (REM), March 2005
[published in: Simon C. Parker (Ed.), *The Life Cycle of Entrepreneurial Ventures*
(International Handbook Series on Entrepreneurship, Volume 3), New York etc.: Springer,
2006, 15-37]

Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Volkswirtschaftslehre
Postfach 2440
D-21314 Lüneburg
Tel.: ++49 4131 677 2321
email: brodt@leuphana.de
www.leuphana.de/vwl/papers