

## Gashydrat: das "gefrorene Erdgas" – ein fossiler Energieträger am Beginn seiner Nutzung

Harald Andruleit, Christian Bönemann, Bernhard Cramer, Christian Müller

Natürliches Gashydrat (Abb. 1) ist in Eis gebundenes Erdgas und wurde erst Ende der 1960er Jahre entdeckt. Abhängig von besonderen Bildungsbedingungen bei niedriger Temperatur und hohem Druck sind mittlerweile weltweit Vorkommen bekannt. Die insgesamt in Gashydrat gebundenen Erdgasmengen sind trotz noch großer Unsicherheiten bei deren Abschätzung gewaltig



Abb. 1: Brennendes Gashydrat (Foto: MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Bremen)

und übersteigen die konventionellen Erdgasmengen um ein Mehrfaches. Für die Förderung von Erdgas aus Gashydrat sind nach heutiger Einschätzung primär die Vorkommen geeignet, die sich in Gesteinen mit einer hohen Durchlässigkeit befinden. An solchen herausragenden Vorkommen werden derzeit Förderverfahren erprobt und auf ihre Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit getestet.

In dem vorliegenden Newsletter werden Ressourcen und potenzielle Fördertechniken sowie die mit einer Nutzung von Gashydrat verbundenen Auswirkungen auf die natürliche Umgebung vorgestellt. Aktuelle Standpunkte und Programme ausgewählter Staaten werden diskutiert und der Beitrag Deutschlands zur Gashydratforschung resümiert.

### Gashydrat: ein Naturphänomen

Wasser und Gas können bei hohem Druck und niedriger Temperatur einen eisähnlichen Zustand bilden, der als Gashydrat bezeichnet wird. Die Wassermoleküle bilden dabei eine käfigartige Kristallstruktur (Klathrat), in der Gasmoleküle eingeschlossen sind (Abb. 2).

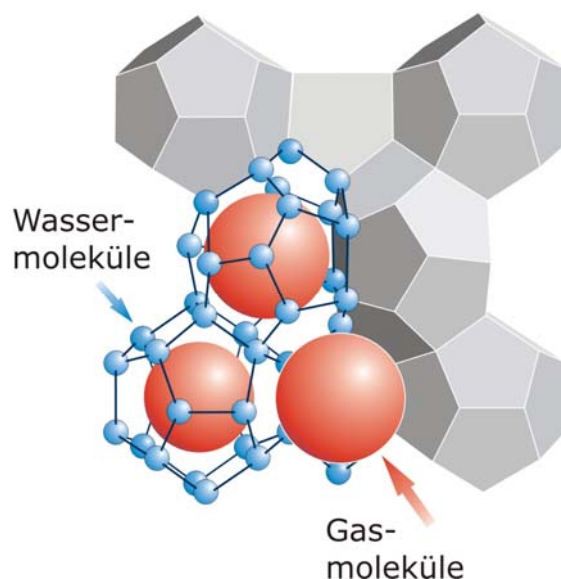


Abb. 2: Schematische Darstellung der Kristallstruktur von Gashydrat. Jeweils ein Gasmolekül (Methan  $\text{CH}_4$ ) ist gefangen in einem "Käfig" aus gefrorenen Wassermolekülen

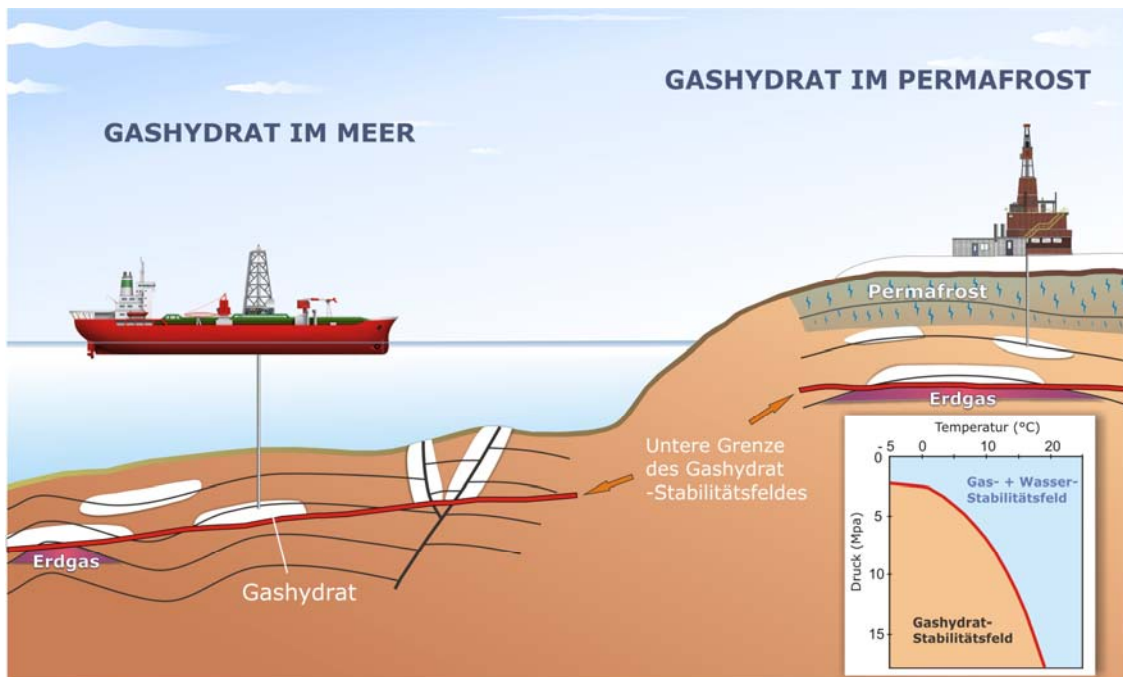


Abb. 3: Vorkommen von Gashydrat: im marinen bzw. subaquatischen Bereich (links) und in Permafrostgebieten (rechts). Kleines Diagramm: Gashydrat ist stabil bei niedriger Temperatur und hohem Druck

Aufgrund dieser besonderen Struktur kann ein Kubikmeter Gashydrat 164 Kubikmeter Methan binden. Da natürliches Gashydrat überwiegend Methan enthält, nennt man es auch Methanhydrat oder "gefrorenes Erdgas".

Das Stabilitätsfeld von Gashydrat nach Druck- und Temperaturbedingungen kann 1) im marinen Milieu bzw. in Sedimenten unter hoher Wasserbedeckung oder 2) in Permafrostgebieten der Arktis und der Antarktis (kontinentales Gashydrat) erreicht werden.

Marine Gashydratvorkommen sind dabei auf Bedingungen beschränkt, die durch Wassertiefen größer 300 m und niedrige Wassertemperaturen oberhalb des Meeresbodens definiert werden (Abb. 3). Aufgrund des natürlichen Temperaturanstiegs mit zunehmender Sedimenttiefe (geothermischer Gradient) kann sich die Gashydratstabilitätszone nur bis in Tiefen von etwa 1000 m unter dem Meeresboden erstrecken.

Kontinentales Gashydrat ist an die Verbreitung des Permafrostes gebunden und kann aufgrund der niedrigen Temperaturen in Tiefen zwischen etwa 200 m bis 2000 m vorkommen.

Für die Bildung von Gashydrat ist neben hohem Druck, niedriger Temperatur und verfügbarem Wasser eine ausreichende Zufuhr von Gas (Methan) notwendig. Das Methan entsteht dabei zu-

sammen mit anderen Kohlenwasserstoffen durch thermische Zersetzung von fossilem organischem Material oder durch mikrobielle Abbauprozesse. Ist ausreichend Methan vorhanden, kann die Gashydratgenese in den normalerweise mit Wasser gefüllten Poren- und Klufträumen einsetzen.

Im Gegensatz zu konventionellen Erdgaslagerstätten mit einem als Gaskappe bezeichneten Bereich mit freiem Erdgas sind Gashydratvorkommen in der Regel nicht klar umgrenzt, und das Gashydrat ist unregelmäßig verteilt. Eine Reservoirabschätzung ist daher prinzipiell schwieriger und hat zur Folge, dass Angaben über gegebenenfalls förderbare Erdgasmengen mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Wichtige Kriterien für die Klassifizierung einer Lagerstätte sind neben dem Gesamtpotenzial insbesondere die Reservoir-eigenschaften wie die Verteilung des Gashydrats, die Durchlässigkeit des Speichergesteins und ob das Gashydrat von freiem Erdgas oder Grundwasser unterlagert wird.

### Wie groß ist das Ressourcenpotenzial?

Bis heute wurde Gashydrat weltweit an etwa 100 Lokationen durch geophysikalische, geochemische oder geologische Hinweise angezeigt und an über 20 Orten beprobt (Abb. 4). Trotz der sich stetig verbessernden Informationen über die Verbreitung von Gashydratvorkommen variieren die Angaben über die insgesamt gespeicherten Erdgasmengen erheblich.

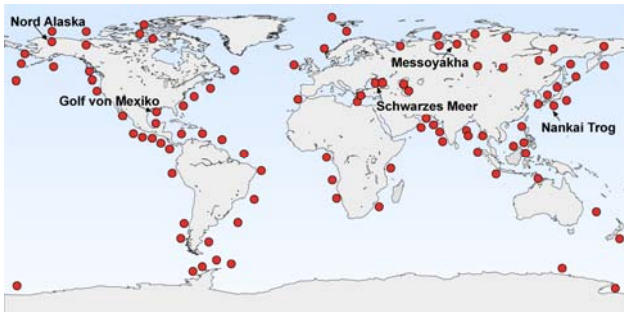


Abb. 4: Weltweite Funde von Gashydrat mit Nennung im Text erwähnter Vorkommen

Die Schätzungen für marine Gashydratvorkommen schwanken zwischen  $3,1 \cdot 10^{15}$  und  $7600 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$ . Diese Mengen sind deutlich größer als die Vorkommen in Permafrostgebieten mit Volumen zwischen  $14 \cdot 10^{12}$  und  $34000 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ . Lange wurde davon ausgegangen, dass der in Gashydrat gespeicherte Kohlenstoff allein den in allen anderen fossilen konventionellen Energieträgern (Kohle, Erdöl und Erdgas) zusammengekommen um das Doppelte übertreffen würde. Vertreter dieser Sichtweise haben die Erdgas mengen gut untersuchter, reicher Gashydratvorkommen als Basis genommen und auf die Sedimente innerhalb der Gashydratstabilitätszone der Ozeane und der Permafrostgebiete extrapoliert. Eine derartige Vorgehensweise führt aber zu einer Überschätzung der tatsächlichen Mengen, da die Durchschnittsgehalte wesentlich niedriger liegen. Aktuelle Prognosen gehen von maximal der halben Menge in Gashydrat gebundenem Kohlenstoff aus im Vergleich mit allen anderen fossilen konventionellen Energieträgern. Damit wäre, nur verglichen mit konventionellem Erdgas, immerhin noch etwa die 2 bis 10-fache Menge an Erdgas in Gashydrat gebunden (Abb. 5).

Letztendlich lässt aber keine dieser Abschätzungen eine belastbare Aussage über die weltweit förderbaren Gasmengen aus Gashydratvorkommen zu. Wichtiger für den Beginn einer Produktion ist die Identifizierung und Klassifizierung von Vorkommen, die für eine industrielle Nutzung tatsächlich geeignet sind (Abb. 5). An erster Stelle stehen hier leicht zugängliche Vorkommen im Nahbereich vorhandener Infrastruktur wie beispielsweise in Nord Alaska. Hat die kommerzielle Produktion dort erst einmal begonnen, ist davon auszugehen, dass sich, ähnlich wie bei anderen ehemals unkonventionellen Erdgasvorkommen (z.B. Flözgas), das Potenzial weiter vergrößern wird. Allerdings wird ein großer Teil des Gashydrats insbesondere in marinen Sedimenten langfristig und womöglich dauerhaft nicht erschlossen werden können.

### Fördermöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit

Wenn von potenziellen Fördermöglichkeiten im Zusammenhang mit Gashydrat gesprochen wird, so gehen alle realistisch erscheinenden Ansätze von einem Szenario aus, bei dem das Gashydrat bereits im Gestein "geschmolzen" wird (Abb. 6). Das dabei mobilisierte Erdgas kann dann konventionell durch Produktionsbohrungen unter Verwendung bereits erprobter Techniken gefördert werden. Bergbauliche Verfahren oder Tagebaue erscheinen unrealistisch, da der zu erwartende Nutzen in keinem Verhältnis zu Aufwand und Umweltrisiko stünde und zudem das freigesetzte Erdgas aus Gashydrat nur unter großen Verlusten aufgefangen werden könnte.

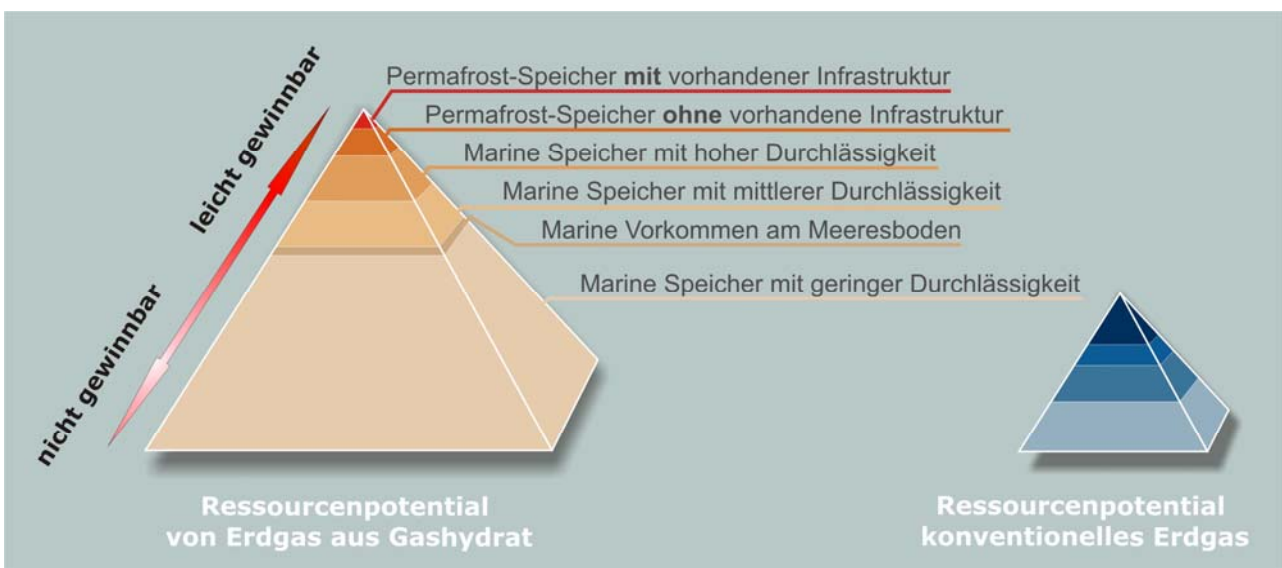


Abb. 5: Gesamtpotenzial von Erdgas in Gashydrat und konventionellem Erdgas als Ressourcenpyramide

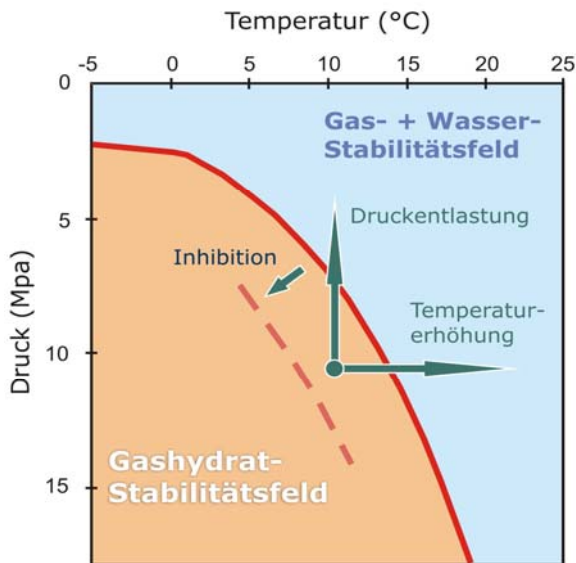


Abb. 6: Möglichkeit der Destabilisierung von Gashydrat durch Druckentlastung, Temperaturerhöhung oder Zufuhr von Inhibitoren

Bei durch Bohrungen aufgeschlossenen Vorkommen besteht die technische Herausforderung darin, eine fortdauernde Mobilisierung des Erdgases zu erreichen. Im Rahmen von internationalen Forschungs- und Testprogrammen, insbesondere in der nordamerikanischen Arktis, wurde dieser Prozess durch Verfahren, basierend auf Druckabfall und/oder Temperaturerhöhung (Abb. 7), im Gestein erfolgreich erprobt. Auch die seit langem routinemäßig beim Erdgastransport in Pipelines eingesetzten chemischen Inhibitoren können durch die Herabsetzung des Gefrierpunktes ("Streusalz-Prinzip") zur Mobilisierung des Erdgases aus Gashydrat beitragen.

Als weitere bislang aber noch nicht in der Praxis erprobte Möglichkeit wird die Injektion von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) diskutiert, um das Methan-Gashydrat bereits im Gestein durch temperaturstabilere  $\text{CO}_2$ -Gashydrat zu ersetzen.

Die Bedingungen für die Erdgasproduktion aus Gashydrat sind dann attraktiv, wenn freies Gas unterhalb des Gashydratvorkommens vorhanden ist. Bei Lagerstätten dieses Typs könnte die Drucksenkung durch die Produktion des freien Erdgases relativ leicht erreicht werden. Gas aus der Destabilisierung von Gashydrat könnte dabei in das Reservoir der Erdgaslagerstätte eindringen. Je nach Beschaffenheit des Speichergesteins könnte der Reservoirdruck durch die Gasextraktion aus der Lagerstätte reguliert werden. Dieser Prozess lief beispielsweise bei der Förderung von Erdgas aus Gashydrat im sibirischen Messoyakha Feld ab. In den 1970er Jahren war dort ohne

Kenntnis der Existenz von Gashydrat im Bereich der konventionellen Erdgaslagerstätte Erdgas gefördert worden, und der Lagerstättendruck sank erwartungsgemäß ab. Während einer Förderpause wurde ein so nicht vorhergesehener Wiederanstieg des Druckes beobachtet, der im Nachhinein mit der Destabilisierung von Gashydrat erklärt wurde.

Für eine gezielte Förderung von Erdgas aus Gashydrat muss über die schwierige Charakterisierung von Umfang und Inhalt der Lagerstätte hinaus eine Auswahl und selektive Anpassung der Fördertechnik erfolgen. Im Vergleich zu einer Lagerstätte mit konventionellem Erdgas ist daher ein höherer Kostenaufwand für die Erschließung von Gashydratvorkommen notwendig. Ein Durchbruch bei der Gashydratförderung wird daher voraussichtlich dort erfolgen, wo die Risiken eines Fehlversuches minimiert werden können. Beispielhaft erscheint hier das Alaska North Slope Vorkommen in der nordamerikanischen Arktis mit einer bereits bestehenden Infrastruktur der Öl-

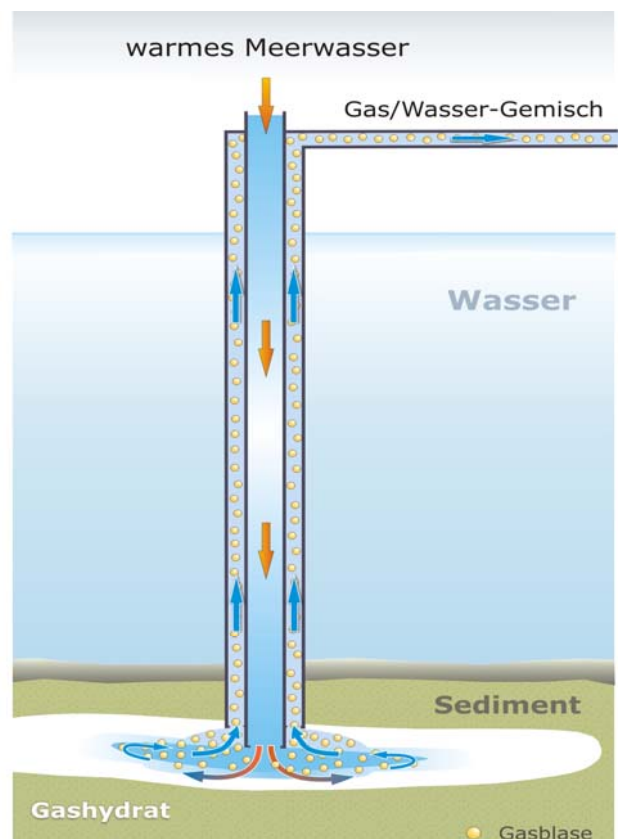


Abb. 7: Beispiel für eine geplante thermische Destabilisierung von Gashydrat und Gewinnung von Erdgas durch Zufuhr von warmem Meerwasser im Doppelrohr (verändert nach: Fraunhofer Institut UMSICHT)

und Gasindustrie, seit Jahren laufenden Forschungsprogrammen mit staatlicher Unterstützung und geologisch besonders geeignet erscheinenden Gashydratvorkommen. Laut dem US Department of Energy ist hier ein Produktionstest schon für den 2008 geplant.

### Umweltauswirkungen bei einer Nutzung von Gashydrat

Gashydrat ist ein natürlicher Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufes und war dies auch während der geologischen Geschichte der Erde. Als metastabiler Pool für Methan, kann es große Mengen des Gases über lange Zeit im Sediment speichern, aber auch wieder freigeben und so einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt entfalten. Auch eine anthropogene Gewinnung von Erdgas aus Gashydrat kann sich auf die Umwelt auswirken. Hier ist grundsätzlich mit den gleichen Effekten zu rechnen, wie sie aus der Förderung konventioneller Erdöl- und Erdgaslagerstätten bekannt sind.

Von der Exploration über die Produktion bis hin zum Erdgastransport ist jede Phase des Prozesses der Erdgasgewinnung mit potenziellen Auswirkungen auf die lokale Umwelt verbunden. Dies betrifft insbesondere den Aufbau und Betrieb von Infrastruktureinrichtungen (Förderanlagen etc.), die Entsorgung von Abfallstoffen sowie beispielsweise auch das bei Unfällen unkontrollierte Entweichen von Erdgas (blow out). Diese potenziellen Auswirkungen auf die Umwelt sind bekannt und können durch die Anwendung von geeignetem Umweltmanagement bzw. Sicherheitsstandards begrenzt werden.

Gashydrat wird, trotz der nach menschlichen Maßstäben äußerst unwirtschaftlichen Bedingungen, von speziell angepassten Mikroorganismen als Lebensraum genutzt. Die Gewinnung von Erdgas aus Gashydrat würde diesen Bereich der so genannten tiefen Biosphäre zwar beeinträchtigen, aber in den Auswirkungen lokal eng begrenzt bleiben.

Wesentlich bekannter als die Mikroorganismen aus der Tiefe sind die einzigartigen Lebensgemeinschaften, die in Verbindung mit Gashydratvorkommen am Meeresboden schon seit längerem intensiv untersucht werden. Das kontinuierliche Angebot an Methan bietet die Voraussetzung für die Entstehung eines speziellen, von Sonnenlicht und Photosynthese unabhängigen Ökosystems. Ein Konsortium aus Einzellern wie Archaeen und

Bakterien liefert die Grundlage für eine Makrofauna (Abb. 8), bestehend aus Vergesellschaftungen von Muscheln und Bartwürmern.

Eine Gewinnungsmethode von Gashydrat durch Abgraben hätte im Vergleich mit anderen Fördermöglichkeiten die größten Auswirkungen auf die Umwelt und wird deshalb aus ökologischen und ökonomischen Gründen gleichermaßen in der Machbarkeit angezweifelt.

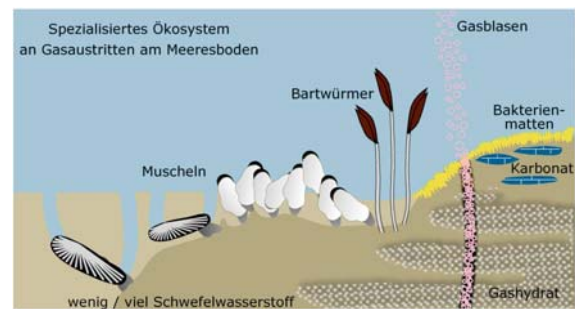


Abb. 8: Ökosystem am Meeresboden in Abhängigkeit von Methanaustritten und Gashydrat (verändert nach Sahling et al., 2002)

Ein ganz anderes Gefahrenpotenzial betrifft das Umfeld von Produktionsanlagen bzw. diese selbst durch untermeerische Rutschungen. Einerseits festigt Gashydrat in marinen Ablagerungen das lockere Gestein und trägt damit zur Stabilisierung bei. Andererseits behindert das Gashydrat durch seine Platznahme im Porenraum die sonst ablaufenden Prozesse der Kompaktion und Gesteinszementierung. Deshalb können marine Sedimentgesteine ihre Stabilität fast ausschließlich durch Gashydrat erhalten. Wird das Gashydrat durch technische Maßnahmen zur Produktion von Erdgas zersetzt, könnte die Gesteinsfestigkeit des Sedimentes herabgesetzt werden. Zudem nähmen das freigesetzte Gas und das geschmolzene Wasser bei der Zersetzung von Gashydrat ein größeres Volumen ein, und es könnte zu einem Überdruck im Porenraum kommen, der die Stabilität des Sediments zusätzlich herabsetzen würde. In der Folge könnten im Bereich der Produktion untermeerische Rutschungen ausgelöst werden und Erdgas unkontrolliert am Meeresboden austreten. Ein derartiger Mechanismus ist auch als natürlicher Prozess, initiiert durch Meeresspiegelschwankungen während der Eiszeiten, bekannt und wird als Ursache für bekannte großräumige Rutschungsereignisse in der jüngeren Erdgeschichte diskutiert. Im Vergleich dazu bliebe das Gefahrenpotenzial von Rutschungen durch die technische Destabilisierung und die Freisetzung von Methan auf das kleinräumige Umfeld der Produktionseinrichtungen begrenzt.

## Steht die Nutzung von Gashydrat vor einem weltweiten Durchbruch?

Noch hat eine kommerzielle Produktion von Erdgas aus Gashydrat nicht begonnen. Staaten mit geringen oder sich erschöpfenden eigenen Vorkommen an konventionellen Energierohstoffen forcieren aber aktuell ihre Anstrengungen, um eine baldige Gashydratnutzung zu erreichen. Anhand beispielhaft ausgewählter Positionen und Aktivitäten von Staaten und internationalen Programmen kann der derzeitige Stand verdeutlicht werden:

In den USA beurteilt das U.S. Department of Energy die nationalen Gashydratvorkommen insbesondere im Permafrost von Alaska (Abb. 9) und im Golf von Mexiko als größte Kohlenwasserstoffressource des Landes. Nach eigenen Schätzungen könnte der zukünftige Gasverbrauch des Landes mit Erdgas aus Gashydrat gedeckt werden. Selbst konservative Einschätzungen einer Nutzung von nur einem Prozent der Gashydratressourcen führen zu einer Verdoppelung der nutzbaren Erdgasvorkommen der USA.



Abb. 9: Gashydrat-Forschungsbohrung in der Arktis (Doyon 14 Bohrturm, Milne Point Feld, Alaska. Foto: National Energy and Technology Laboratory)

Zur Erforschung dieser aus geologischer Sicht vielversprechenden Vorkommen wurde von der US-Regierung der *Methane Hydrate Research and Development Act of 2000* erlassen und in der Fol-

ge durch den *Energy Policy Act of 2005* bis zum Jahre 2010 verlängert. Die Implementierung soll durch die 2006 aufgelegte *Interagency Roadmap for Methane Hydrate Research and Development* erreicht werden. Darin wird bereits die technische Machbarkeit der Erdgasproduktion aus dem Permafrost Alaskas festgestellt sowie die Erschließung der marinen Vorkommen (voraussichtlich im Golf von Mexiko) innerhalb der nächsten Dekade avisiert. Bei ihrem Vorgehen setzt die US amerikanische Regierung stark auf internationale und industrielle Forschungsk Kooperationen und sieht sich in der Rolle des globalen Vorreiters in der Gashydratforschung.

Einen anscheinend noch zielstrebigeren Kurs als die USA verfolgt **Japan** bei der Nutzbarmachung von Gashydrat. In den letzten fünf Jahren waren die unter japanischer Regierungsbeteiligung bewilligten Fördergelder für die Gashydratforschung höher als die aller anderen Nationen. Die Motivation Japans für ein nachdrückliches Engagement in der Gashydratforschung kann dabei aus der weitgehenden Abhängigkeit des Landes von Importen fossiler Energierohstoffe abgeleitet werden.

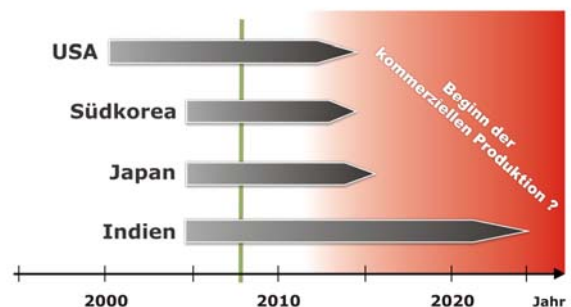


Abb. 10: Laufzeiten staatlicher Programme mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Gewinnung von Erdgas aus Gashydrat

Im Rahmen des *Japan's Methane Hydrate and Exploitation Program* sollen bei einer Laufzeit bis 2016 technische Entwicklungen für die Exploration und Gewinnung der marinen Gashydratvorkommen insbesondere im Nankai Trog vor der japanischen Pazifikküste vorangetrieben werden. Nach Schätzungen würde die Erschließung der japanischen Gashydratvorkommen eine Deckung des nationalen Bedarfs an Erdgas für einen Zeitraum von einhundert Jahren gewährleisten.

Neben weiteren Industrienationen mit hochentwickelter Forschungsinfrastruktur wie **Südkorea** unterstützen gerade auch Schwellen- und Entwicklungsländer eine derartige auf Exploration

ausgerichtete Forschung (Abb. 10). Dazu gehören mit **China** und **Indien** Länder, deren Bemühungen insbesondere auf marine Gashydratvorkommen in ihren eigenen ausschließlichen Wirtschaftszonen als potenzielle heimische Energiequelle ausgerichtet sind.

Anders zeigt sich die Lage für sehr rohstoffreiche Länder. So wurde in **Russland** zwar das energie-wirtschaftliche Potenzial von Gashydrat in den Permafrostgebieten Sibiriens frühzeitig erkannt. Auch wurden die ersten Offshore-Gashydratvorkommen 1972 von russischen Wissenschaftlern im Schwarzen Meer nachgewiesen. Da Russland aber über große konventionelle Erdgasvorkommen verfügt, gibt es momentan, trotz vorhandenem Know-how und Erfahrungen auf dem Gebiet der Gashydratforschung, keine national koordinierten Forschungsprogramme mit dem Ziel der Nutzbarmachung der großen Gashydratvorkommen. Dennoch gibt es auch hier Planungen, das als gewaltig betrachtete Potential von Gashydrat mittelfristig zu erschließen. Hintergrund dieser Überlegungen ist der Gedanke, die bereits bestehende Infrastruktur zur Gasförderung nach der Erschöpfung konventioneller Gaslagerstätten weiter nutzen zu können.

**Deutschland** ist im Bereich der Grundlagenforschung zu Gashydrat seit Jahren durch nationale und internationale Projekte eine der weltweit führenden Nationen. Allerdings wurden bislang kaum Aktivitäten zur Nutzung von Erdgas aus Gashydrat entfaltet. Aktuell soll mit einem Verbundprojekt zwischen Wissenschaft und Industrie versucht werden, die Problematik der CO<sub>2</sub>-Versenkung mit der Gashydratgewinnung in einem kombinierten Ansatz zu vernetzen. Damit rückt erneut der Umweltaspekt bei der Gashydratforschung in den Vordergrund, während die Frage der Energieversorgungssicherheit weiterhin nachrangig bleibt. Mit der erfolgreichen Verquickung zweier so hoch komplexer Forschungsansätze könnte Deutschland aber auch eine Führungsrolle in der maritimen CO<sub>2</sub>- und Gashydrattechnologie erreichen. Zwar besitzt Deutschland keine eigenen Gashydratvorkommen, verfügt aber in der Meerestechnik über ein international anerkanntes Renommee und hat damit das Potenzial, sich an der Entwicklung einer ökonomisch sinnvollen und ökologisch vertretbaren Verwertung von Gashydrat zu beteiligen.

## Fazit

- Erdgas, auch aus Gashydrat, gilt unter den fossilen Energierohstoffen aufgrund des besten Verhältnisses von Energieinhalt zur Menge des produzierten Kohlendioxids als "sauberster" fossiler Energieträger.
- Trotz der aktuell zurückgehenden Schätzungen über die Gesamtmenge an Gashydrat weltweit, genießt Gashydrat als potenzielle Energiequelle der Zukunft zunehmend Aufmerksamkeit. Selbst wenn nur ein geringer Anteil der bekannten Gashydratvorkommen zur Energiegewinnung genutzt werden könnte, würde sich die Reichweite von Erdgas wesentlich verlängern.
- Die Erforschung von Gashydrat zur Unterstützung der Deckung des Energiebedarfs wird intensiv vorangetrieben. Aufgrund der gestiegenen Erdgaspreise wird mit dem baldigen Start von Pilotvorhaben zur Förderung gerechnet.
- Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ist der Beginn einer Gewinnung von Erdgas zuerst aus kontinentalem Gashydrat, später auch aus marinem Gashydrat zu erwarten.
- Sollte sich zukünftig eine Produktion von Erdgas aus Gashydrat etablieren, wird die Unterscheidung in Erdgas aus konventionellen Lagerstätten und Erdgas aus Gashydrat keine Rolle mehr spielen.
- Deutschland gehört im Bereich der Grundlagenforschung zu Gashydrat zu den weltweit führenden Nationen. Im Fokus dieser Forschung liegen dabei vor allem Umweltaspekte.

## Literatur:

- Archer, D. (2006): Destabilization of methane hydrates: a risk analysis. Gutachten im Auftrag von: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, [http://wbgu.de/wbgu\\_sn2006\\_ex01.pdf](http://wbgu.de/wbgu_sn2006_ex01.pdf).
- Collett, T.S. (2003): Natural Gas Hydrate as a Potential Energy Resource. IN: Natural Gas Hydrate in Oceanic and Permafrost Environments. (ed. Max, M. D.) 123-136 (Kluwer Academic Publishers).
- Collett, T.S. (2004): Gas Hydrates as a Future Energy Resource. [http://www.geotimes.org/nov04/feature\\_futurehydrates.html](http://www.geotimes.org/nov04/feature_futurehydrates.html).

- BGR (2006): Natürliches Gashydrat: Perspektiven und Risiken einer Nutzung. Projektstudie, Tgb.Nr. 10644/06, 59 S.; Hannover.
- Sloan, D.E. & Koh, C.A. (2008): Clathrate Hydrates of Natural Gases. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 721 S. Federal Methane Hydrate Advisory Committee (2007): An Assessment of the Methane Hydrate Research Program. Report to Congress [http://www.fossil.energy.gov/programs/oilgas/hydrates/Methane\\_Hydrates\\_Advisory\\_Committee.html](http://www.fossil.energy.gov/programs/oilgas/hydrates/Methane_Hydrates_Advisory_Committee.html)
- Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (2001): Japan's Methane Hydrate Exploitation Program. <http://www.mh21japan.gr.jp/english/mh21/02/keii.html>.
- BGR (2007): Kurzstudie Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2006. – 86 S.; Hannover. [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie\\_Kurzstudie\\_2006.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Energiestudie\\_Kurzstudie\\_2006.pdf](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie_Kurzstudie_2006.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Energiestudie_Kurzstudie_2006.pdf)
- Max, M.D., Johnson, A.H. & Dillon, W.P. (2006): Economic Geology of Natural Gas Hydrate. Springer-Verlag, 374 S.
- Milkov, A.V. (2004): Global estimates of hydrate-bound gas in marine sediments: how much is really out there? Earth-Science Reviews 66, 183-197.
- Moridis, G.J. & Sloan, D. (2006): Gas production potential of dispersed low-saturation hydrate accumulations in oceanic sediments. Report LBNL-61446, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley.
- Moridis, G.J. & Collet, T. (2003): Strategies for gas production from hydrate accumulations under various geological and reservoir conditions. Report LBNL-52568, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, 1-49.
- Department of Energy (2006): An Interagency Roadmap for Methane Hydrate Research and Development, <http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/FutureSupply/MethaneHydrates/maincontent.htm/>.
- Sahling, H., Rickert, D., Lee, R. W., Linke, P. & Suess, E. (2002): Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin, NE Pacific. Marine Ecology Progress Series 231, 121-138.
- Takahashi, H. & Tsuji, Y. (2005): Japan explores for hydrates in the Nankai Trough. Oil & Gas Journal 103, 48-53.
- Wallmann, K. (2007): Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport (SUGAR). Antrag Verbundprojekt an das BMWi, [http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=sugar0&no\\_cache=1](http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=sugar0&no_cache=1)

HANNOVER, DEN 06.03.2008

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE  
STILLEWEG 2  
D-30655 HANNOVER

Harald.Andruleit@bgr.de  
TEL 0511-643-2513  
FAX 0511-643-3661

Layout: Gabriele Ebenhöch  
Grafiken: Uwe Benitz

COMMODITY TOP NEWS  
<http://www.bgr.bund.de/CTN>

WEITERE INFORMATIONEN ZUM THEMA "ENERGIEROHSTOFFE"  
<http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie>