

Erdgas – Brücke oder Sackgasse?

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

**Eine Frage, die bisher in der Debatte um den Ersatz des Heizkraftwerks
Wedel ignoriert wurde**

Diskussionspapier

Prof. Dr. Dietrich Rabenstein, HafenCity Universität Hamburg

Version 1.0, ¹ 10. Oktober 2015



¹ Fracking-Bohrlöcher, potenzielle Quellen für klimaschädliche Methan-Freisetzung. (Foto: [Simon Fraser University/Flickr](#))

Zusammenfassung

Die Bevölkerung Hamburgs hat vor einigen Jahren Fernwärme aus dem neuen Kohlekraftwerk Moorburg aus ökologischen Gründen abgelehnt. Ende 2015 wollen nun der Hamburger Senat und Vattenfall darüber entscheiden, ob die Fernwärme aus dem alte Steinkohle-Heizkraftwerk Wedel nahezu vollständig durch Fernwärme aus neuen Erdgas-Heizkraftwerken ersetzt werden soll oder ob bei dieser Gelegenheit ein Übergang zu erneuerbarer Fernwärme in beträchtlichem Umfang stattfinden soll.

Bisherige Gutachten, die den Senat bei seiner Entscheidung unterstützen sollten, lieferten eine verkürzte und irreführende ökologische Bewertung des Energieträgers Erdgas. Denn Sie berücksichtigten nur die CO₂-Emissionen und ignorierten die „Achillesferse“ von Erdgas, die übrigen Treibhausgas-Emissionen. Gerade diese verändern aber die Klimabilanz des fossilen Energieträgers Erdgas ganz erheblich. Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan. Auf dem Lebensweg des gegenwärtig und vor allem des zukünftig genutzten Erdgases werden beachtliche Mengen an Methan freigesetzt. Methan ist das zweitwichtigste Treibhausgas, das je nach Betrachtungszeitraum eine 32- bzw. 85-fach stärkere Wirkung hat als CO₂.

Bei einer Entscheidung für Erdgas-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die **40 bis 50 Jahre** genutzt werden würden, muss beachtet werden, dass sich innerhalb dieses Zeitraums die Klimabilanz von Erdgas immer mehr verschlechtern wird, da konventionell gefördertes Erdgas durch Erdgas aus problematischen und unkonventionellen Fördergebieten ersetzt werden wird.

Eine sprunghafte **Erhöhung des Erdgasverbrauchs** in Hamburg bewirkt als indirekten Effekt auf dem Weltmarkt die zusätzliche Förderung von besonders klimaschädlichem Erdgas. Dessen Klimabilanz muss Hamburg als Verursacher zugeschrieben werden.

Ein ökologischer Vorteil eines Wechsels könnte sich bei einem Ersatz von Kohle durch Erdgas allenfalls dann ergeben, wenn die globale Förderung von Kohle entsprechend vermindert würde. Eine **Reduzierung des Verbrauchs von Steinkohle durch Umstellung auf Erdgas** hat auf dem Weltmarkt jedoch zur Folge, dass der Einsatz von Steinkohle an anderen Orten zunimmt. Ohne flankierende Maßnahmen wie globale CO₂-Steuern kann durch globale Verdrängungseffekte sogar der Übergang zu erneuerbaren Energien beeinträchtigt werden.

Alles in allem ist klar, dass die ökologische Bewertung einer Umstellung von fossiler Steinkohle auf fossiles Erdgas nicht wie in den bisherigen Gutachten nur auf Grund von gegenwärtigen lokalen CO₂-Emissionsfaktoren beurteilt werden darf. Hinzu kommt aber, dass neue Erdgas-Heizkraftwerke als Ersatz für das Heizkraftwerk Wedel auch nach ökonomischen Kriterien sehr fragwürdig wären.

Eine verantwortungsvolle Entscheidung über den Ersatz des Heizkraftwerks Wedel sollte daher der Maxime folgen: Bei forcierter Einsparung von Fernwärme durch Effizienzmaßnahmen sollte so viel erneuerbare Fernwärme eingesetzt werden wie sozial gerecht und ökologisch vertretbar und so wenig Fernwärme aus Erdgas und aus Kohle wie möglich.

Inhalt

Zusammenfassung.....	2
1. Die Bewertung der Klimaschädlichkeit von Erdgas in Gutachten der FHH	5
1.1 Die Entscheidung über den Ersatz für das Heizkraftwerk Wedel.....	5
1.2 Die ökologische Bewertung im Gutachten des arrhenius-Instituts (2010)	5
1.3 Die ökologische Bewertung im Gutachten von BET (2015)	6
1.4 Die Bewertungsmängel in den Gutachten von arrhenius und von BET	6
1.5 Zu den Fragestellungen des vorliegenden Diskussionspapiers.....	7
2. Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Treibhausgas-Bilanzen.....	9
2.1 Die Berücksichtigung von Vorketten.....	9
2.2 Das Treibhauspotenzial von Methan.....	10
2.2.1 Das Treibhauspotenzial von Methan wurde bis vor kurzem unterschätzt	10
2.2.2 Der Einfluss des Betrachtungszeitraums auf die Bewertung der Klimaschädlichkeit..	11
2.3 Vergleich der Klimaschädlichkeit von Erdgas und von Steinkohle	12
2.4 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Abhängigkeit von den Förderarten	14
2.4.1 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Abhängigkeit von den Lagerstätten	14
2.4.2 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in den USA.....	15
2.4.3 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Deutschland.....	17
3. Die Konzentration des Treibhausgases Methan in der Atmosphäre	18
3.1 Beunruhigende Zunahme von Methan in der Atmosphäre	18
3.2 Vorrangige Reduzierung von Methan und Ruß?	19
3.2.1 Die Bedeutung von Methan und Ruß für die Einhaltung der Zwei-Grad-Grenze	19
3.2.2 Möglichkeiten zur Reduzierung der Freisetzung von Methan.....	20
4. Die zunehmende Verwendung von besonders klimaschädlichem Erdgas.....	21
4.1 Weltweites Vordringen von Fracking	21
4.2 Die künftige Zunahme von besonders klimaschädlichem Erdgas in Europa.....	22
4.3 Folgerungen für Hamburg.....	25
5. Die Klimaschädlichkeit von Erdgas bei einer Erhöhung des Erdgasverbrauchs	26
5.1 Künftige Entwicklung des Erdgasverbrauchs in Hamburg.....	26
5.2 Folgerungen für Hamburg.....	27
6. Globale Verdrängungseffekte bei einer Umstellung von Kohle auf Erdgas.....	28
6.1 Marktdynamiken erodieren einen möglichen ökologischen Vorteil von Erdgas.....	28
6.2 Folgerungen für Hamburg.....	29
7. Vergleich der gesundheitsschädlichen Emissionen von Steinkohle und Erdgas	30

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

8. Fossiles Erdgas als vorübergehender Ersatz für fossile Steinkohle?	31
9. Konsequenzen für den Ersatz des Steinkohle-Heizkraftwerks Wedel.....	33
Abkürzungen und Erläuterung von Begriffen.....	35
Literatur.....	36

1. Die Bewertung der Klimaschädlichkeit von Erdgas in Gutachten der FHH

1.1 Die Entscheidung über den Ersatz für das Heizkraftwerk Wedel

Das 50 Jahre alte Steinkohle-Heizkraftwerk Wedel, das Fernwärme für Hamburg erzeugt, soll in Kürze ersetzt werden. Der Hamburger Senat und Vattenfall werden entscheiden, ob der im Heizkraftwerk Wedel eingesetzte Energieträger Steinkohle ausschließlich und langfristig durch Erdgas ersetzt werden wird oder ob bei dieser Gelegenheit ein Übergang zu erneuerbaren Fernwärmequellen in beträchtlichem Umfang stattfinden soll.

Erdgas wird oft als „Brücken-Energieträger“ auf dem Weg zu einem erneuerbaren Energiesystem bezeichnet. Bei der Verbrennung von Erdgas wird weniger CO₂ emittiert als bei der Verbrennung anderer fossiler Energieträger. Allerdings hat Methan, der Haupt-Bestandteil von Erdgas, eine viel größere Treibhauswirkung als CO₂. Ob Erdgas ökologisch gegenüber Kohle vorteilhaft ist, hängt demnach stark davon ab, wie viel Methan von der Förderung von Erdgas bis zum Verbrauch freigesetzt wird. Die bisher vorliegenden Gutachten, auf die sich die Entscheidung des Senats und Vattenfall stützen soll, haben diesen wichtigen Aspekt ignoriert.

1.2 Die ökologische Bewertung im Gutachten des arrhenius-Instituts (2010)

Im *Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg* ([Groscurth 10]) beschrieb das arrhenius-Institut im Jahr 2010 ausführlich die Wirkung der Freisetzung von Treibhausgasen auf die globale Erwärmung. Da die damaligen Klimaschutz-Ziele Hamburgs sich aber fast durchwegs auf die CO₂-Emissionen bezogen, wurden bei den Berechnungen nur die CO₂-Emissionen betrachtet. Bei der Beurteilung möglicher CO₂-Minderungen bei der Fernwärme kam das arrhenius-Institut zu folgenden Ergebnissen:

„Das bestehende Hamburger Fernwärmesystem sollte so umgestaltet werden, dass die Wärmeversorgung am besten aus erneuerbaren Energien oder – für eine Übergangszeit – aus Erdgas-basierter KWK erfolgt. ...

Würde statt des Steinkohlekraftwerks Moorburg ein Erdgas-GuD-Kraftwerk an das Fernwärmesystem angeschlossen, ergibt sich bei der verwendeten Aufteilung der Emissionen zwischen Strom und Wärme sowie konstantem Fernwärmeabsatz von 5 TWh/a eine CO₂-Minderung von 0,23 Mio. t CO₂ im Jahr. Das entspricht 20 % der Emissionen aus der Fernwärme. Wenn man ein Biomasse-Kraftwerk errichten würde, beliefe sich die Einsparung auf 0,45 Mio. t CO₂ im Jahr oder 40 %.“

Eine 2010 noch zur Debatte stehende Wärmeauskoppelung aus dem von Vattenfall neu gebauten Steinkohle-Kraftwerk Moorburg als Ersatz der Fernwärme aus dem alten Steinkohle-Heizkraftwerk Wedel wurde von der Bevölkerung Hamburgs in erster Linie wegen der schlechten Klimabilanz abgelehnt. Fünf Jahre später geht es daher immer noch darum, wie die vom HKW Wedel gelieferte Fernwärme künftig erzeugt werden soll.

1.3 Die ökologische Bewertung im Gutachten von BET (2015)

Das Beratungsunternehmen BET kam in seinem im Herbst 2015 vorgelegten Gutachten „Handlungsalternativen für das Kohlekraftwerk in Wedel“ ([Zander 15]) bei der Beurteilung von CO₂-Einsparungen zu folgenden Ergebnissen:

„Das Bestandskraftwerk Wedel als Kohlekraftwerk setzt im Betrieb rund 1.200 tsd. Tonnen CO₂ im Jahr absolut frei. Jede Gaslösung wird absolut zu erheblichen Einsparungen führen. So wird eine vergleichbare Gas- und Dampfturbine (GuD) lediglich rund 470 tsd. Tonnen CO₂ emittieren.“

Dass BET eine jährliche CO₂-Minderung von 0,73 Mio. t errechnete, während das *Basisgutachten* nur eine jährliche CO₂-Minderung von 0,23 Mio. t angab, lässt sich so erklären: Das *Basisgutachten* hatte zum Ziel, die von Hamburg verursachten CO₂-Emissionen zu berechnen (Verursacherbilanz). Dabei wurden die Emissionen der Fernwärme getrennt von denen des Stromverbrauchs ermittelt. Der vom *Basisgutachten* genannte Minderungswert gilt daher nur für die Fernwärme. Die CO₂-Emissionen des von Hamburg verbrauchten Stroms wurden getrennt bilanziert.

Das Gutachten von BET liefert bedauerlicherweise keine Werte für die Verursacherbilanz. Es legt auch seine Datenbasis nicht offen, obwohl das eigentlich bei einem so gewichtigen technischen Gutachten zu erwarten gewesen wäre. Dass BET eine Reduktion der CO₂-Emissionen beim Ersatz des Steinkohle-HKW durch ein GuD-HKW um erstaunliche 61 % vorhersagt, während sich nach den CO₂-Faktoren (Kasten „Beurteilung der Klimaschädlichkeit von Erdgas und Steinkohle“) zunächst nur 40 % ergeben würden, dürfte mit den unterschiedlichen Wirkungsgraden der verglichenen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zusammenhängen.

1.4 Die Bewertungsmängel in den Gutachten von arrhenius und von BET

In beiden Gutachten gingen nur die CO₂-Emissionen ohne Vorketten in die Klimabilanz ein. Alle Treibhausgas-Emissionen außerhalb des eigentlichen Verbrennungsprozesses wurden ignoriert.

Beim *Basisgutachten* ist das unmittelbar dem Gutachten zu entnehmen. Beim Gutachten von BET lässt sich die Einschränkung der ökologischen Bewertung auf CO₂-Emissionen ohne Vorketten relativ sicher aus dem folgenden Zitat erschließen, mit dem die Klimaschädlichkeit von Erdgas und von Steinkohle bewertet wurde:

„Das Innovationskraftwerk wird bezüglich der CO₂-Emissionen als notwendige Übergangstechnologie mit 5 Punkten bewertet. Die Motorenkraftwerke weisen eine leicht höhere CO₂-Belastung aus und werden daher mit einem Punkt niedriger bewertet. Moorburg als Kohleanlage erhält die niedrigste Bewertung (1 Punkt).“

Kern des „Innovationskraftwerks“ ist ein GuD-Heizkraftwerk, in dem ebenso wie in den „Motorenkraftwerken“ Erdgas verbrannt werden soll. 5 Punkte bedeuten die Bewertung „sehr gut“, 1 Punkt bedeutet „sehr schlecht“. Das „Innovationskraftwerk“ wird bezüglich seiner CO₂-Emissionen als „notwendige Übergangstechnologie“ bezeichnet. Belastbare Begründungen für die Notwendigkeit einer fossilen „Übergangs-“ oder „Brückentechnologie“ sind im Gutachten von BET nicht zu finden.

Da somit das Gutachten von BET blind ist im Hinblick auf die zu erwartenden Gesamtklimaschäden der beiden verglichenen Energieträger Erdgas und Steinkohle, müssen die entspre-

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

chenden Vorbehalte in die öffentliche Debatte einfließen, die auf die Vorlage des Gutachtens von BET folgen wird.

Besonders große Probleme für eine vollständige ökologische Bewertung ergeben sich aus folgenden stillschweigenden Annahmen in den beiden Gutachten:

- Annahme 1: Die gegenwärtigen spezifischen Treibhausgas-Emissionen bleiben während der Nutzungsdauer neuer großer Erdgas-KWK-Anlagen konstant.
- Annahme 2: Bei einer sprunghaften Vergrößerung des Erdgasverbrauchs in Hamburg kann mit den gleichen spezifischen Treibhausgas-Emissionen gerechnet werden wie bisher.
- Annahme 3: Bei Beendigung des Verbrauchs von Steinkohle im Kohlekraftwerk Wedel vermindert sich weltweit der Steinkohleverbrauch in gleicher Höhe.

Bemerkenswert ist, dass BET mit seiner selbst entwickelten „Systemischen Methode BET“ versuchte, zur Aufteilung der CO₂-Emissionen von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf Strom und Wärme „alle Stoff- und Energieströme inkl. der Rückwirkungen auf das deutsche bzw. europäische Stromsystem“ abzubilden (eine kurze Kritik dieser Methode findet sich in [Rab 15]). Um den Einfluss von Effekten des Weltmarkts auf die Klimabilanz kümmerte sich BET dagegen nicht, obwohl die Energieträger Steinkohle und Erdgas in Hamburg letztlich vom Weltmarkt bezogen werden.

1.5 Zu den Fragestellungen des vorliegenden Diskussionspapiers

Im vorliegenden Diskussionspapier wird gezeigt, dass die Vernachlässigung der Treibhausgase, die außerhalb des eigentlichen Verbrennungsprozesses freigesetzt werden, zu groben Fehleinschätzungen führt. Aus den Abschnitten 4, 5 und 6 geht hervor, dass die in den bisherigen Gutachten gemachten Annahmen 1 bis 3 irreführend sind.

Auf Grund einer gewaltigen Steigerung der Erdgas-Förderung aus problematischen konventionellen und aus unkonventionellen Lagerstätten (Schiefergas-Boom mit Fracking in den USA und demnächst nicht nur dort) ist zu fragen:

Gilt die Einschätzung des *Basisgutachtens* noch, dass das bestehende Hamburger Fernwärmesystem so umgestaltet werden sollte, dass die Wärmeversorgung für eine Übergangszeit aus Erdgas-basierter Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt?

Es ist davon auszugehen, dass in Erdgas-Heizkraftwerken, durch die das Kohle-Heizkraftwerk in Wedel in den nächsten Jahren ersetzt werden könnte, 40 bis 50 Jahre lang Erdgas in großen Mengen verbrannt werden wird – Erdgas, das auf dem Weltmarkt möglichst preiswert eingekauft werden wird. Kann unter diesen Bedingungen noch von einer **Übergangstechnologie** gesprochen werden?

Sicher – bei vielen parallel laufenden Planungen in der BRD – beispielsweise bei der Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG)² – wird immer noch fast selbstverständlich angenommen, dass die von Deutschland verursachten CO₂-Emissionen auch längerfristig erheblich

² Referentenentwurf des KWKG-Gesetzes vom 20.8.2015: Neue und modernisierte KWK-Anlagen, die Kohle als Brennstoff verwenden, werden nicht mehr gefördert. Neue Gas-KWK-Vorhaben erhalten eine verbesserte Förderung. Gas-KWK-Anlagen, welche Kohle-KWK-Anlagen ersetzen, wird zusätzlich ein Bonus gewährt.

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

gemindert werden, wenn Kohle durch Erdgas ersetzt wird. Angeregt durch eine heftige und noch anschwellende Debatte in den USA mehren sich aber die kritischen Stimmen.

Es ist daher insbesondere zu klären:

- Wie wird sich die Klimaschädlichkeit von nach Deutschland importiertem Erdgas in den nächsten 40 bis 50 Jahren verändern?
- Welche Veränderungen bei der Emission von klimaschädlichen Treibhausgasen sind unter Beachtung von globalen Systemgrenzen Hamburg als Verursacher zuzuschreiben, wenn in Hamburg der Erdgasverbrauch sprunghaft erhöht wird?
- Welche globalen Verdrängungseffekte und welche Auswirkungen auf die globale Klimabilanz werden sich ergeben, wenn Hamburg zusammen mit der sprunghaften Erhöhung seines Erdgasverbrauchs seinen Verbrauch an Steinkohle in entsprechendem Maß reduziert?

2. Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Treibhausgas-Bilanzen

2.1 Die Berücksichtigung von Vorketten

Im Kasten „Beurteilung der Klimaschädlichkeit von Erdgas und Steinkohle“ wird angegeben, wie viel CO₂ pro kWh bei der Verbrennung von Steinkohle und von Erdgas freigesetzt wird. Im *Basisgutachten* und im aktuellen Gutachten von BET wurden in der Klimabilanz nur diese CO₂-Faktoren berücksichtigt.

Beurteilung der Klimaschädlichkeit von Erdgas und von Steinkohle

Beurteilung der CO₂-Emissionen:

Der „Länderarbeitskreises Energiebilanzen“ verwendet gegenwärtig in seinen statistischen Berechnungen von CO₂-Emissionen folgende „CO₂-Faktoren“ (spezifische CO₂-Emissionen) ([UBA 08], Tabelle 1):

Steinkohle: 339 g CO₂ / kWh

Erdgas: 202 g CO₂ / kWh

Ganz ähnliche CO₂-Faktoren wurden im *Basisgutachten* eingesetzt.

Mit diesen Werten werden nur diejenigen CO₂-Emissionen erfasst, die bei der **Verbrennung** der Energieträger entstehen. Treibhausgas-Emissionen, die schon in den **Vorketten** auftreten, sind in diesen Werten nicht enthalten. Das sind die Treibhausgas-Emissionen, die entlang des Lebenswegs von Energieträgern bei Förderung, Aufbereitung, Transport, Verteilung und in der Folge außerhalb der Energieumwandlungs-Anlagen entstehen.

Beurteilung der Treibhausgas-Emissionen:

Unter Berücksichtigung solcher Vorketten werden als CO_{2,äq}-Faktoren von Steinkohle und von **konventionell** gefördertem und in Pipelines transportiertem Erdgas auf der Basis der GEMIS-Datenbank angegeben ([Paar 13]):

Steinkohle: 395 g CO_{2,äq} / kWh

Erdgas: 260 g CO_{2,äq} / kWh

Bei der Diskussion der Klimabilanz einer Erdgas-Anwendung sind selbstverständlich Werte der spezifischen CO₂-Emissionen **mit** Vorketten zu verwenden.

Für eine vollständige Klimabilanz sind natürlich auch die Treibhausgase zu berücksichtigen, die außerhalb des reinen Verbrennungsprozesses entstehen.

Mit bloßen CO₂-Faktoren ergibt sich bei gleichem Nutzungsgrad für Erdgas ein um 40,4 % geringerer CO₂-Ausstoß pro Energieeinheit als für Steinkohle.

Bei Berücksichtigung der Vorketten werden nach den im Kasten angegebenen Werten mit Erdgas nur noch um 34,2 % geringere CO₂-Äquivalente freigesetzt als mit Steinkohle.

Während sich die CO₂-Faktoren allein aus physikalischen Daten und aus der Zusammensetzung der Brennstoffe ergeben, fließen in die CO₂-Äquivalente die Einzelheiten der Vorketten ein. Diese werden sich mit zunehmender Erschöpfung der leicht zugänglichen Förderstätten beträchtlich verändern.

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

Zu erwarten ist: Wenn in Zukunft immer mehr Erdgas aus schwer zugänglichen und aus unkonventionellen Lagerstätten eingesetzt werden wird, dann wird das CO₂-Äquivalent für Erdgas rascher ansteigen als das für Steinkohle. Denn die Reserven an leicht zugänglicher Steinkohle werden sehr viel länger reichen als die an konventionell gefördertem und leicht zugänglichem Erdgas.

Methan als Treibhausgas

Das Treibhausgas Methan (CH₄) hatte in der Atmosphäre ein vorindustrielles Niveau von 0,722 millionstel Anteilen (ppm). In den letzten 650.000 Jahren bewegte sich die natürliche Methan-Konzentration zwischen 0,32 ppm und 0,79 ppm. Bis 2005 ist die Methan-Konzentration auf 1,803 ppm angestiegen, also um 150 % angestiegen (Bild 4).

Zum Vergleich: Der entsprechende Anstieg von CO₂ von 278 ppm im Jahr 1750 auf 390,5 ppm im Jahr 2011 beträgt 40 % ([IPCC 13a], Table 2.1).

Zwischen 1999 und 2006 stellte sich eine nahezu konstante Methan-Konzentration ein (Bild 4). Seit 2007 stieg die Methan-Konzentration in der Atmosphäre jedoch wieder rasch an ([Nisbet 14]). Die Ursachen sind bisher nur teilweise geklärt. Es wird vermutet, dass sie bei der Schiefergas-Förderung mit Fracking in den USA, bei verstärktem Kohleabbau in China, bei der schmelzende Arktis und bei Stauseen zu finden sind ([Ogburn 14]).

Methan entweicht nicht nur aus Bohrlöchern und undichten Erdgasleitungen. Es entsteht auch bei Fäulnisprozessen, bei denen Pflanzenreste und Abfälle unter Ausschluss von Sauerstoff zersetzt werden (Restmülldeponien, Reisfelder, Stauseen, Rindermägen). Die größte anthropogene Methanquelle ist daher die Landwirtschaft.

Eine große Gefahr für das globale Klima droht vom Auftauen der Permafrostböden in Sibirien und in Nordamerika. Dabei würden gigantische Mengen an Methan freigesetzt, die jetzt noch in diesen Böden eingefroren sind.

Auf die bisher unterschätzte Bedeutung von Methan als Verursacher der globalen Erwärmung wurde bereits seit längerem aufmerksam gemacht ([Kempf 09]).

2.2 Das Treibhauspotenzial von Methan

2.2.1 Das Treibhauspotenzial von Methan wurde bis vor kurzem unterschätzt

Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan (CH₄). Dazu kommen geringere Anteile an sonstigen Kohlenwasserstoffen, an molekularem Stickstoff (N₂), Schwefelwasserstoff (H₂S) und Kohlendioxid (CO₂) ([SRU 13]). Der Methan-Anteil liegt in den meisten Erdgaslagerstätten zwischen 75 % und 99 %. Mittelwerte für den Methan-Anteil sind: Erdgas L: 82 %, Erdgas H: 93 %.

Methan ist das zweitwichtigste Treibhausgas nach CO₂. Methan, das in die Atmosphäre aufsteigt, ist erheblich klimaschädlicher als CO₂. Die Lebensdauer von Methan in der Atmosphäre ist jedoch wesentlich kürzer (12,4 Jahre) als die von CO₂ (mehr als 100 Jahre).

Der Strahlungsantrieb ist das Maß für die Veränderung der Energiebilanz der Erde. Nach [IPCC 13b] war der anthropogene Strahlungsantrieb von CO₂ im Jahr 2011 1,68 W/m², derjenige von Methan war 0,97 W/m². Seit 1950 ist der gesamte anthropogene Strahlungsantrieb von 0,57 W/m² auf 1,25 W/m² im Jahr 1980 angewachsen und hat sich danach bis 2011 erneut fast verdoppelt auf 2,29 W/m².

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

Die klimaschädigende Wirkung von Treibhausgasen wird meist im Vergleich zu derjenigen von CO₂ als relatives Treibhauspotenzial angegeben.³

Nach dem Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC (2013) ist Methan 28 bis 36 mal klimaschädlicher als CO₂, wenn 100 Jahre als Betrachtungszeitraum (zeitlicher Integrationshorizont; Zeithorizont) gewählt werden ([IPCC 13a], Table 8.7).⁴ Ein in die Atmosphäre freigesetztes Kilogramm Methan ist also bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren ähnlich klimaschädlich wie 28 bis 36 Kilogramm CO₂.

Vielfach werden in der BRD statt dieser aktuellen Werte noch kleinere Werte wie 21⁵ oder 25 verwendet, beispielsweise in [Fritsche 14]. Seit einigen Jahren ist jedoch klar, dass damit nur das Treibhauspotenzial von Methan selbst charakterisiert wird. Durch Wechselwirkungen zwischen Methan, Ozon und Aerosolen (Schwebeteilchen) wird die Klimaschädlichkeit von Methan beträchtlich vergrößert, zum einen durch die verminderte Bildung von kühlenden Schwefel-Aerosolen, zum anderen durch Beteiligung von Methan bei der Bildung von Ozon in niedrigen Atmosphärenschichten, das dort selbst als Treibhausgas wirkt, zum Dritten durch den Einfluss der Aerosole auf Wolken ([Shindell 09], [Seidler 09], [IPCC 13a] Chapter 8.7.1.4).

2.2.2 Der Einfluss des Betrachtungszeitraums auf die Bewertung der Klimaschädlichkeit

Die Wahl des Betrachtungszeitraums hat bei Methan einen besonders großen Einfluss auf den Wert des Treibhauspotenzials. Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gibt der IPCC für Methan ein Treibhauspotenzial von 84 bis 86 an ([IPCC 13a], Table 8.7), ein etwa dreimal höherer Wert als bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.⁶

Bei einer 20-Jahres-Bewertung ist ein Kilogramm in der Atmosphäre freigesetztes Methan nach [IPCC 13a] so klimaschädlich wie 84 bis 86 Kilogramm CO₂. Allerdings ist nach 20 Jahren die Erwärmungswirkung des Methans fast verschwunden, während die von CO₂ noch lange anhält.

Eine physikalische Begründung für die Wahl des Betrachtungszeitraums gibt es nicht ([IPCC 13a], Chapter 8.7.1.2). Vieles spricht gegenwärtig für die Wahl des kürzeren Zeithorizonts von 20 Jahren, vor allem die Notwendigkeit weitere „Kippelemente“ bei der globalen Erderwärmung zu vermeiden.⁷

Gefürchtete Kippelemente sind das Abschmelzen des Grönlandeises und das Auftauen von Permafrost-Böden. Bei der Erwärmung der Permafrost-Böden wird gespeichertes Methan freigesetzt, was den Klimawandel verstärkt. Ab einem nicht genau bekannten Kippunkt könnte diese Freisetzung so groß werden, dass sich über einen Rückkopplungseffekt immer weitere Temperaturerhöhungen ergeben.

Aus diesem Grund ist es wichtig, die globale Erwärmung möglichst rasch zu bremsen.

³ englisch: Global Warming Potential (GWP). Verglichen werden gleiche Masse-Einheiten.

⁴ Sehr ähnliche Werte gibt auch die amerikanische Umweltbehörde Environmental Protection Agency (EPA) auf ihrer Homepage an: 28 bis 36 für ein 100-Jahre-Zeitintervall und 84 bis 87 für ein 20-Jahre-Zeitintervall

⁵ In Anlage A des Kyoto-Protokolls

⁶ Die Datenbank GEMIS verwendet einen Betrachtungszeitraum (Integrationszeit) von 100 Jahren.

⁷ Der erste Kippunkt wurde schon im Jahr 2014 mit dem Abbruch des Westantarktischen Eisschelfs überschritten ([Rahmsdorf 14]). Die Kipp-Grenze des Arktischen Meereises könnte ebenfalls bereits heute überschritten sein. (Kippelemente, wikipedia)

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

In diesem Diskussionspapier wird bevorzugt ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren verwendet. Denn die Argumentation, dass die nächsten 15 bis 35 Jahre entscheidend seien für die Abwendung einer weltweiten Klimakatastrophe, ist nicht von der Hand zu weisen ([Howarth 14a]).

2.3 Vergleich der Klimaschädlichkeit von Erdgas und von Steinkohle

Für den Vergleich der Klimaschädlichkeit von Erdgas und Steinkohle kann die folgende Formel verwendet werden. Sie ist für das spezifische Treibhauspotenzial von Erdgas formuliert, kann aber analog für Steinkohle formuliert werden.

$$\text{Treibhauspotenzial}_{\text{Erdgas}} = \frac{\text{CO}_2 \text{ Emissionen} + \text{Treibhauspotenzial}_{\text{Methan}} \times \text{CH}_4 \text{ Emissionen}}{\text{Nutzungsgrad}}$$

Das Treibhauspotenzial von Erdgas hängt ab von den direkten und indirekten CO₂-Emissionen, von den CH₄-Emissionen des gesamten Lebenswegs, vom Treibhauspotenzial von Methan, das selbst wieder vom Betrachtungszeitraum abhängig ist, und vom Nutzungsgrad von Erdgas im betrachteten Energiesystem.

Bei Vergleichen dieser Art ist beispielsweise zu berücksichtigen, dass der Nutzungsgrad der im Brennstoff enthaltenen Energie bei einem alten Kohleheizkraftwerk erheblich geringer ist als bei einem modernen Erdgasheizkraftwerk. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, eine allgemeine Leckrate für Methan anzugeben, bei der das geförderte Erdgas ähnlich klimaschädlich ist wie Steinkohle.

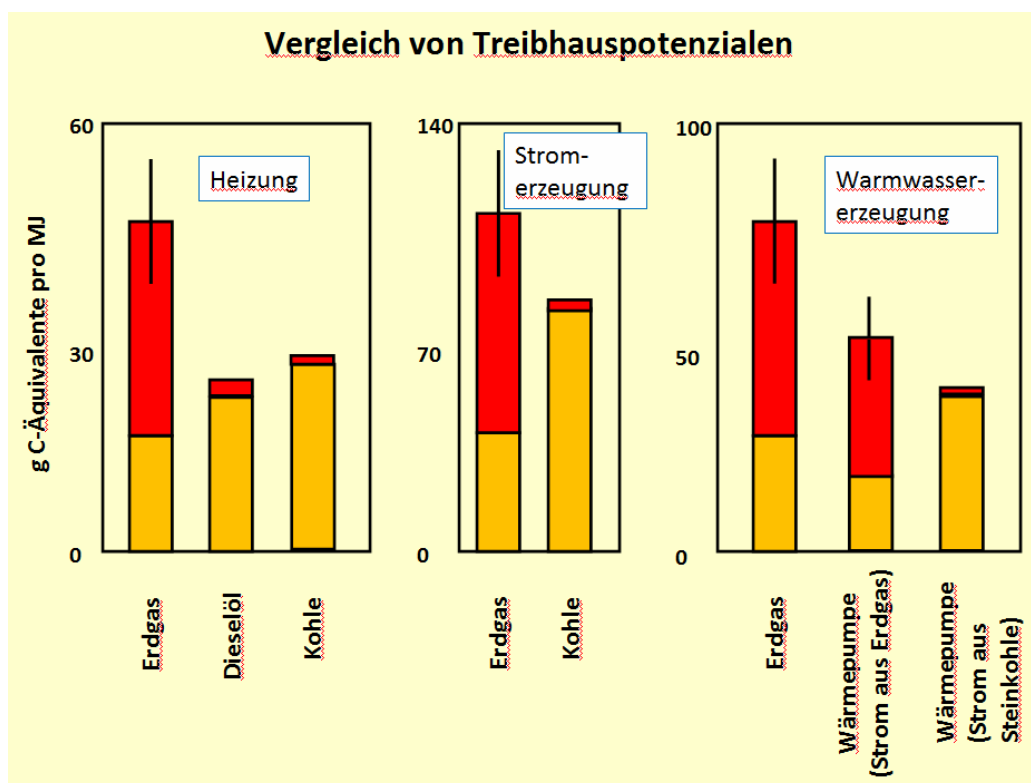


Bild 1: Vergleiche der Kohlenstoff-Äquivalente von Erdgas und Kohle für die Anwendungsfälle Raumheizung, Stromerzeugung und Warmwassererzeugung in den USA (nach [Howarth 14b]). (Gelb: freigesetzter Kohlenstoff von CO₂; Rot: freigesetzter Kohlenstoff von CH₄. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre. Zu Grunde liegen Methanemissionen in Nordamerika nach [Brandt 14]). (Umwandlung in g CO₂-Äq pro kWh durch Multiplikation mit dem Faktor 13,2.)

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

Bild 1 zeigt Vergleiche der Kohlenstoff-Äquivalente für die Anwendungsfälle Raumheizung, Stromerzeugung und Warmwassererzeugung, gerechnet für Erdgas in den USA und in Kanada. Gelb gefärbt sind die direkten und indirekten CO₂-Emissionen. Rot gefärbt sind die CO₂-Äquivalente der Methanemissionen für einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Mit diesen gegenwärtig für Nordamerika geltenden Werten nach [Brandt 14] ist eine Erdgasheizung wesentlich klimaschädlicher als eine Öl- oder Kohleheizung. Die Warmwasserbereitung mit Erdgas ist klimaschädlicher als diejenige mit Wärmepumpen (Strom aus Erdgas- bzw. Kohlekraftwerken). Sogar bei der Stromerzeugung schneidet Erdgas noch etwas schlechter ab als Steinkohle.

Nach [Howarth 14a] und [Alvarez 12] ist ein neues Erdgaskraftwerk auch für sehr kurze Betrachtungszeiträume weniger klimaschädlich als ein neues Kohlekraftwerk, wenn auf dem Lebensweg von Erdgas weniger als 2,8 % Methan freigesetzt werden. Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren liegt der entsprechende Grenzwert bei knapp 4 %.

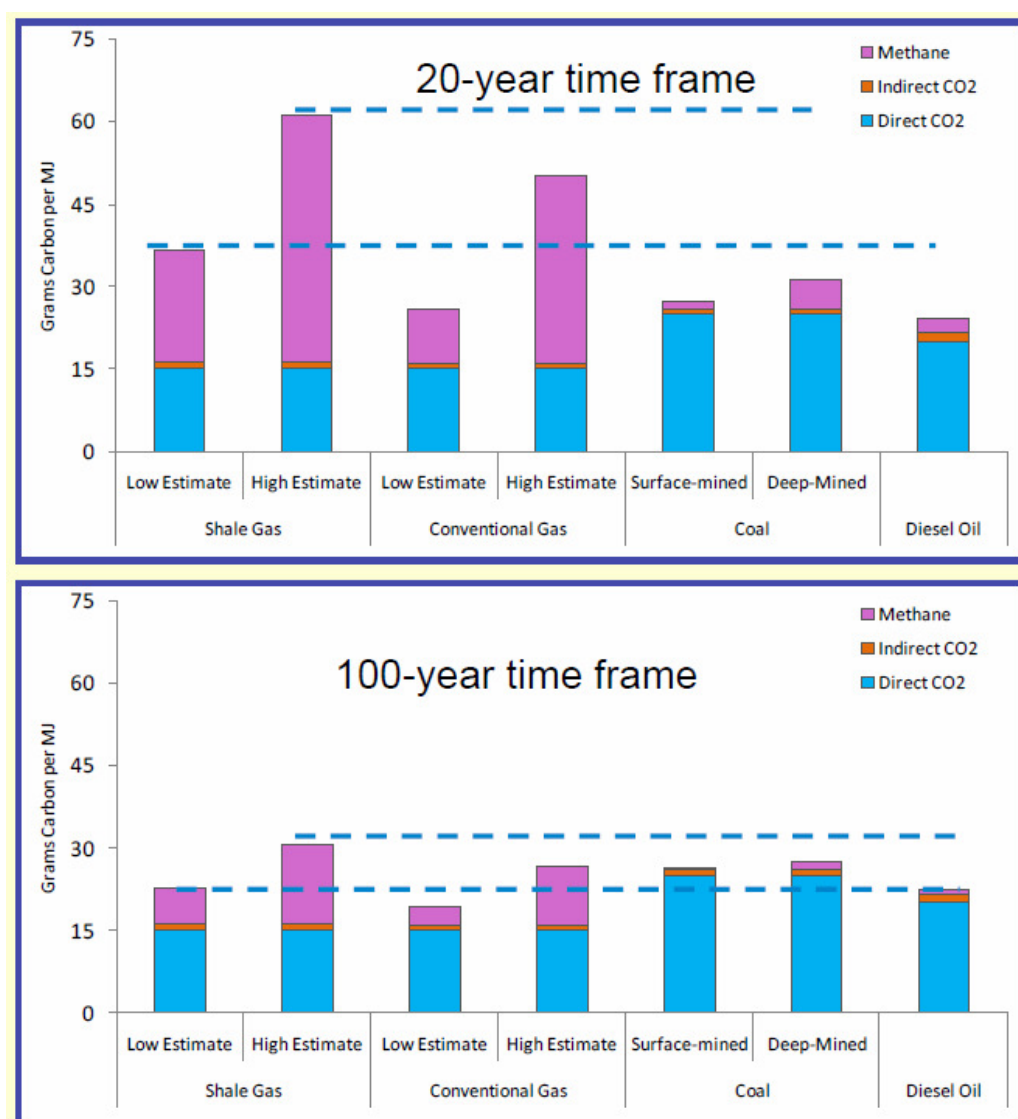


Bild 2: Vergleiche der spezifischen Kohlenstoff-Äquivalente von Schiefergas (shale gas), konventionell gefördertem Erdgas, Kohle und Dieselöl in den USA (Quelle: Howarth 14b) (Umwandlung in g CO_{2,Äq} pro kWh durch Multiplikation mit dem Faktor 13,2.)

Bild 2 enthält Vergleiche der Kohlenstoff-Äquivalente für Schiefergas in den USA (Kasten „Konventionell und unkonventionell gefördertes Erdgas“), für konventionelles Erdgas, für Stein-

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

kohle und für Dieselöl und zwar für Bewertungszeiträume von 20 Jahren (oben) und von 100 Jahren (unten) und für Methan-Leckraten nach [Howarth 14a]. Dem Bild ist zu entnehmen, dass die Schätzungen für den freigesetzten Methananteil mit großen Unsicherheiten behaftet sind (low, high estimate). Bei einem Bewertungszeitraum von 100 Jahren sind die Treibhauspotenziale von Schiefergas und von Steinkohle vergleichbar groß. Bei einem Bewertungszeitraum von 20 Jahren ist bei einem Vergleich der Mittelwerte sogar konventionelles Erdgas in den USA nicht emissionsärmer als Steinkohle und Dieselöl.

Konventionell und unkonventionell gefördertes Erdgas

Bei konventionellen Erdgas-Lagerstätten ist das zu fördernde Erdgas meist in porösen und permeablen Gesteinen unter einer geringporösen, impermeablen Gesteinsschicht gefangen (Erdgasfalle). Das Gas strömt einer Förderbohrung allein unter dem im Gestein vorhandenen Druck ohne weitere technische Maßnahmen in ausreichender Menge zu.

Als unkonventionell werden Lagerstätten bezeichnet, bei denen sich das Gas noch im „Muttergestein“ befindet, das aber nicht ausreichend durchlässig ist (**Schiefergas** mit den größten Ressourcen und **Kohleflözgas**). Schiefergas wird aus Schiefer-Formationen mit Hilfe von horizontalen Bohrtechniken und großvolumigem Fracking gewonnen (Bild 3).

Zu den unkonventionellen Vorkommen können auch **Aquifergas** und **Gashydrat** gerechnet werden. **Tight Gas** befindet sich zwischen sehr undurchlässigem Gestein (dichter Sand- oder Kalkstein), in das es migriert ist, oder in diesem Gestein. Es wird manchmal zum konventionell förderbaren Erdgas gerechnet, obwohl es nicht mit konventionellen Methoden gewonnen werden kann.

Hydraulic Fracturing (hydraulisches Aufbrechen; **Fracking**, Bild 3) wird als Fördermethode sowohl bei Schiefergas als auch (mit geringerem Aufwand) bei Tight Gas eingesetzt.

Kurz erwähnt sei noch: In den wissenschaftlichen Diskussionen um die Frage, ob eine Umstellung von Kohle auf Erdgas geeignet sei, den Klimawandel abzubremesen, wird nicht nur das Problem der direkten Methanfreisetzung erörtert, sondern es wird auch darauf hingewiesen, dass Aerosole, darunter (nicht erwünschte) Schwefelpartikel aus Kohlekraftwerken, eine abkühlende Wirkung auf die Atmosphäre haben. Beim Ersatz von Kohle durch Erdgas entfällt diese Wirkung.

2.4 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Abhängigkeit von den Förderarten

2.4.1 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Abhängigkeit von den Lagerstätten

Ein wesentlicher Faktor für die Klimaschädlichkeit von Erdgas ist das Ausmaß der begleitenden Freisetzung des Treibhausgases Methan. Dass bei der Schiefergas-Förderung mit Fracking im Allgemeinen mehr Methan freigesetzt wird als bei der konventionellen Erdgasförderung an Land, ist für die USA weitgehend unstrittig. Bild 3 zeigt die wichtigsten Emissionswege bei der Schiefergas-Förderung.

Bei **Tiefseebohrungen** wird nach der Definition (Kasten „Konventionell und unkonventionell gefördertes Erdgas“) oft konventionelles Erdgas gefördert. Auch hier wird im Durchschnitt mehr Methan freigesetzt als bei herkömmlichen Bohrungen an Land.

Da viele leicht zugängliche Erdöl- und Erdgasfelder zunehmend weniger ergiebig werden, werden allgemein mehr und mehr schwerer zugängliche Lagerstätten erschlossen, deren Abdichtung

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

schwieriger ist vor allem, wenn unter dem Meer gebohrt wird. Werden große Methanblasen unter dem Meer angebohrt, so kann das enthaltene Methan jahrelang emporblubbern, ohne dass jemand für die Beseitigung des Schadens verantwortlich gemacht würde ([Himmelreich 10], [Werdermann 11], [Bund 10]).

Die Energiewirtschaft ist äußerst interessiert an Methoden, das größte aller Gasvorkommen zu nutzen: das **Gashydrat** (Methanhydrat), das unter dem Meeresboden und in den arktischen Permafrost-Böden lagert. In solchen Hydraten könnte mehr Energie gespeichert sein als in allen anderen fossilen Brennstoffen zusammen. Wenn die Erschließung dieser Vorräte wirtschaftlich möglich und praktisch eingesetzt wird, könnten im Regelbetrieb und bei Ausbrüchen enorme Mengen von Methan freigesetzt werden.

Neben den USA und Kanada ist Japan das dritte Land, das gezielt Erdgas aus Gashydrat produzieren konnte. Japan hat bereits 2013 Gashydrat gefördert ([BGR 14]) und plant die industrielle Förderung ab 2018.

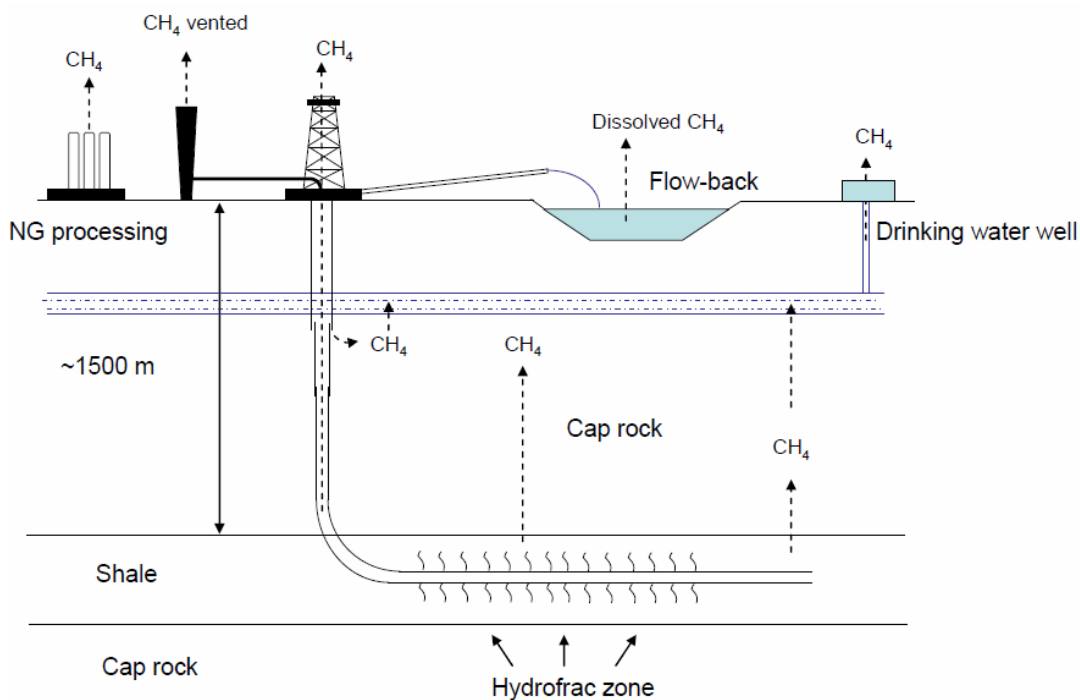


Bild 3: Methan-Emissionsquellen bei der Erkundung, Förderung und Verarbeitung von Schiefergas (Quelle: [Lechtenbömer 11])

Nicht nur bei der Erdgasgewinnung werden erhebliche Mengen an Methan freigesetzt, sondern auch bei der Förderung von Erdöl. Erdgas, das die Erdölförderung begleitet, könnte zu einem großen Prozentsatz abgetrennt und verwertet werden. Häufig aber nicht immer wird es abgefackelt und trägt dabei zur Russbildung bei, die ebenfalls klimaschädlich ist.

2.4.2 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in den USA

Seit Veröffentlichungen der US-Wissenschaftler Howarth, Santoro und Ingraffea im Jahr 2011 läuft in den USA eine heftige Debatte darüber, ob Erdgas – insbesondere Schiefergas – ähnlich klimaschädlich ist wie Kohle. Die Antwort auf diese Frage hängt überwiegend davon ab, wie viel Methan auf dem Lebensweg von Erdgas in die Atmosphäre freigesetzt wird.

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

In [Howarth 11a] wurde 2011 der Verdacht geäußert, dass Schiefergas wegen hoher Methan-Emissionen eine schlechtere Klimabilanz haben könnte als Kohle und Erdöl (Bilder 1 und 2). Da dieser Verdacht die gesamte Energie- und Klimaschutzpolitik der gegenwärtigen US-Regierung in Frage stellt, kamen sehr rasch Gegen-Veröffentlichungen (beispielsweise [Cathles 12], [Hultman 11]). In diesen wurde kritisiert, die Methanfreisetzungen seien wesentlich geringer als von Howarth u. a. angenommen und ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren sei nicht gerechtfertigt.

[Howarth 11a] schätzte die Rate der Methan-Freisetzung bei konventionellem Erdgas auf im Mittel 3,8 % (1,7 % bis 6 %), bei Schiefergas auf im Mittel 5,8 % (3,6 % bis 7,9 %), jeweils bezogen auf den Methangehalt des Erdgases. [Cathles 12] zufolge wäre der Mittelwert für Schiefergas nur 1,6 % (0,9 % bis 2,2 %), also 3,6-mal kleiner als bei Howarth (Tabelle 1).

Quelle	Methan-Leckrate		
	Upstream	Downstream	gesamt
[Howarth 11a] US-Durchschnitt	1,7 %	2,5 %	4,2 %
[Howarth 11a] Konventionelles Erdgas	1,3 %	2,5 %	3,8 %
[Howarth 11a] Schiefergas	3,3 %	2,5 %	5,8 %
EPA (2010) US-Durchschnitt	0,16 %	0,9 %	1,1 %
EPA (2011) US-Durchschnitt	1,8 %	0,9 %	2,7 %
EPA (2011) Konventionelles Erdgas	1,6 %	0,9 %	2,5 %
EPA (2011) Schiefergas	3,0 %	0,9 %	3,9 %
EPA (2013) US-Durchschnitt	0,88 %	0,9 %	1,8 %
[Cathles 12] Schiefergas	-	-	1,6 %
[Miller 13] US-Durchschnitt	-	-	> 3,6 %
[Brandt 14] US-Durchschnitt	-	-	5,4 %
[McKain15] in Boston	-	2,7 %	-

Tabelle 1: Methan-Leckraten in den USA. (Upstream: Produktion; Downstream: Speicherung und Verteilung) (Quelle: [Howarth 14b])

Durch viele seither veröffentlichte, genauere Messungen sah Howarth sich im Jahr 2014 bestätigt ([Howarth 14a]). Er kam erneut zu dem Schluss, dass vor allem Schiefergas aber auch konventionelles Erdgas in den USA eine schlechtere Klimabilanz haben als Kohle und Erdöl.

Die amerikanische Umweltbehörde EPA hatte noch im Jahr 2010 sehr kleine Leckraten für Methan angegeben (Tabelle 1). Die im Jahr 2011 stark erhöhten Werte ähneln bei der Produktion (Upstream) den von [Howarth 11a] geschätzten. 2013 senkte die EPA ihren Durchschnittswert für die Erdgas-Produktion wieder stark ab, nach Howarth unter dem Druck der Industrie und ohne eine Veranlassung durch Messresultate. Jüngste Messungen bestätigten mehrfach, dass die 2013 von der EPA angegebenen Leckraten für Methan systematisch zu klein sind. Jüngste Messungen der Downstream-Leckrate in Boston ([McKain 15]) ergaben (2,7 + 0,6) %, erheblich größer als der Wert der EPA.

2.4.3 Die Klimaschädlichkeit von Erdgas in Deutschland

Bei einer Zunahme des Erdgasverbrauchs in Deutschland wird die globale Erdgasförderung erhöht. Die Treibhausgas-Emissionen des zusätzlich geförderten Erdgases sind dann den Verursachern in der BRD zuzuschreiben (vgl. Abschnitt 5).

Dennoch soll hier auch kurz darauf eingegangen werden, wie die Klimaschädlichkeit von Erdgas in der BRD ohne Verbrauchserhöhungen einzuschätzen ist.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) stellte schon 2013 fest, dass die Klimabilanz von Schiefergas umstritten, unsicher und sehr technologieabhängig sei. Die Methanemissionen der Schiefergasförderung seien Gegenstand einer kritischen umweltpolitischen Diskussion vor allem in den USA ([SRU 13]).

Die Diskussion der Klimaschädlichkeit von Erdgas in der BRD und in der EU ist noch nicht so weit vorangekommen wie in den USA. Beispielsweise wird in einer neuen Veröffentlichung des Umweltbundesamts noch immer mit dem Treibhausgaspotenzial des Vierten Sachstandsberichts des IPCC (2007) gerechnet, das um etwa 30 % kleiner ist als der aktuelle Wert ([Fritsche 14], Seite AP4/5 - 2). Ähnlich werden in Untersuchungen zur Schiefergasförderung für die EU-Kommission [AEA 12] noch die Treibhausgaspotenzial-Werte des IPCC (2007) sowie ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren verwendet.

Folglich beruhen die aktuellen Angaben zu Vorketten des Erdgas-Einsatzes wie im Kasten „Beurteilung der Klimaschädlichkeit von Erdgas und Steinkohle“ noch auf zu kleinen veralteten Werten.

Für Erdgas, das gegenwärtig in der BRD eingesetzt wird (aus Russland, Norwegen, den Niederlanden, Algerien und der BRD), wird aktuell in der Datenbank GEMIS mit einer Methan-Freisetzungsrate von etwa 1 % gerechnet ([Fritsche 15]). Es scheinen aber verlässliche unabhängige Messresultate zur Verifizierung zu fehlen.

In einer der wenigen Studien zur Klimabilanz einer möglichen Schiefergas-Gewinnung in Deutschland ([Fritsche 12], Tabelle 13) kamen die Autoren zu Treibhausgas-Emissionen für die Stromerzeugung, die, je nach Annahmen über den Bohraufwand und das förderbare Gasvolumen für Schiefergas, um bis zu 39 % tiefer, im wenig wahrscheinlichen ungünstigsten Fall aber auch bis zu 33 % höher als die von Kohle lagen. Dabei wurde jedoch im Gegensatz zur bisherigen Praxis des Frackings in den USA der Einsatz der neuesten technischen Vermeidungsstrategien für das Entweichen von Methan bei der Förderung angenommen. Für die Schiefergas-Gewinnung wurden Herstellerdaten (ExxonMobil) verwendet.

Das Pipelinesystem der USA ist wesentlich maroder als dasjenige in Westeuropa. Bei Schiefergasgewinnung in Deutschland könnten mit anspruchsvollen technischen Mitteln und einer weitgehenden Regulierung die Methan-Freisetzung um bis zur Hälfte geringer ausfallen als die heutigen Emissionen in den USA. Daher könnte in Deutschland gefördertes Schiefergas eine bessere Klimabilanz aufweisen als importierte Steinkohle.

Ob und in welchem Umfang es zu Schiefergasgewinnung in Deutschland kommen wird, ist jedoch sehr ungewiss, da auf Grund von Risiken für Gesundheit und Umwelt der Widerstand dagegen sehr groß wäre. Daher sollte für einen zukünftigen langfristigen Erdgas-Einsatz nicht mit wesentlichen Beiträgen „heimischer“ Erdgasförderung gerechnet werden.

3. Die Konzentration des Treibhausgases Methan in der Atmosphäre

3.1 Beunruhigende Zunahme von Methan in der Atmosphäre

Bild 4 gibt die Konzentration von Methan in der Atmosphäre in den letzten 30 Jahren wieder. Nach einer Stabilisierung zwischen 1999 und 2006 ist seit 2007 die Methan-Konzentration in der Atmosphäre wieder rasch angestiegen ([Nisbet 14]). Da Methan eine relativ kurze Störungs-Lebensdauer in der Atmosphäre von 12,4 Jahren hat, könnte sich bei einem Gleichbleiben der Methan-Emissionen relativ rasch eine konstante Konzentration einstellen. Die Zunahme der Konzentration seit 2007 zeigt jedoch, dass die von Menschen verursachten Methan-Emissionen immer weiter ansteigen.

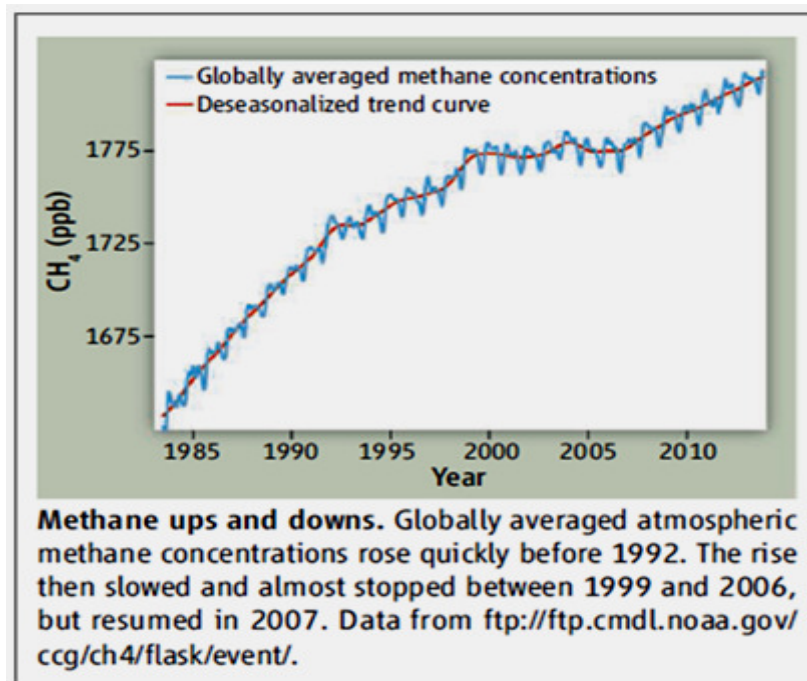


Bild 4: Zeitliche Entwicklung der Methan-Konzentration in der Atmosphäre. (ppb = Milliarden-tel Anteile)

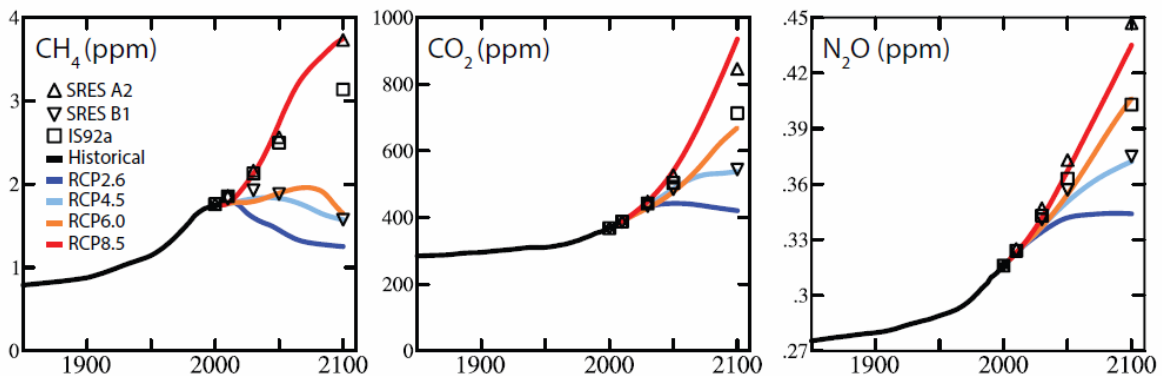


Bild 5: Bisheriger Zeitverlauf der wichtigsten längerfristig wirksamen Treibhausgase CO_2 , CH_4 und N_2O und Projektionen für den Verlauf bis zum Jahr 2100 (nach [Meinshausen 11], fig. 6). Trotz einer Störungs-Lebensdauer von nur 12 Jahren könnte sich im ungünstigen Fall die Konzentration von Methan in der Atmosphäre im Vergleich zu 2005 verdoppeln.

In Bild 5 ist bei den Projektionen für Methan bei allen „Repräsentativen Konzentrationspfaden“ (RCP) des IPCC eine zukünftige Stabilisierung oder ein Absinken der Konzentration von CH₄ (Methan) zu beobachten ausgenommen beim RCP 8.5. Dieser Konzentrationspfad entspricht einem Ansteigen der globalen Temperatur bis zum Jahr 2100 um 5 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau mit der Tendenz eines weiteren Ansteigens auf bis zu 8 Grad ([Meinshausen 11], [RCP 15]). Daher ist die große Beunruhigung des IPCC über die jüngste Tendenz der Methankonzentration (Bild 4) zu verstehen.

3.2 Vorrangige Reduzierung von Methan und Ruß?

3.2.1 Die Bedeutung von Methan und Ruß für die Einhaltung der Zwei-Grad-Grenze

Bild 6 enthält neben dem Ansteigen der globalen Temperatur zwischen 1900 und 2010 (schwarz) Projektionen für die weitere Temperatur-Erhöhung

- (a) ohne zusätzliche Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasen (violett)
- (b) bei Beschränkung auf zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂ (pink),
- (c) bei Beschränkung auf zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung von Methan und Ruß (blau) und
- (d) bei zusätzlichen Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂ und von Methan und Ruß (hellblau).

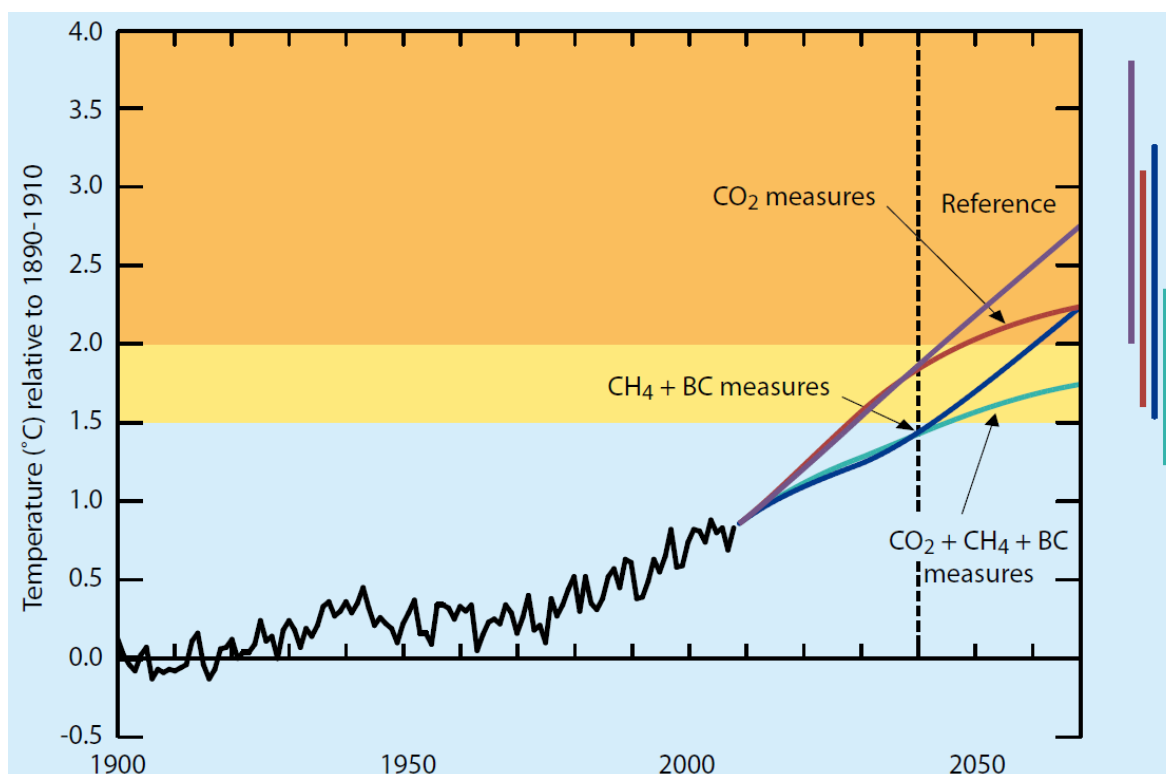


Bild 6: Projektionen für das Ansteigen der globalen Temperatur im Vergleich zu 1990 bei unterschiedlichen zusätzlichen Klimaschutz-Maßnahmen (Quelle: [Shindell 12] und [UNEP 11]). (BC = black carbon = Ruß). Erläuterungen im Text.

Bei Überschreiten der 1,5-Grad-Grenze erhöht sich das Risiko für das Erreichen von Kippunkten erheblich. Wenn unverzüglich starke Beschränkungen von Methan- und Ruß-Emissionen vorgenommen werden würden, dann könnte nach diesen Projektionen das Überschreiten der 1,5-Grad-Grenze, das für 2030 erwartet wird, bis 2040 hinausgeschoben werden. Eine strenge Kontrolle von

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

Methan und Ruß könnte somit schnellere Ergebnisse liefern als die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes. Ruß (schwarze Kohlenstoffpartikel, black carbon), der vor allem von Dieselfahrzeugen, von Schiffsmotoren und von Fabrikschornsteinen emittiert wird, legt sich als Grauschleier auf Schnee und Eis in der Arktis, im Himalaja und auf andere vergletscherte Gebiete und beschleunigt so den Schmelzvorgang. Eine Reduktion von Rußpartikeln und Ozon wäre gleichzeitig eine wichtige Maßnahme gegen gesundheitliche Schäden ([Bund 12]).

Um auch eine längerfristige gefährliche Erhöhung der globalen Temperatur zu verhindern, ist jedoch die Senkung aller Treibhausgase notwendig ([PIK 14b]). Ein starker Schwerpunkt bei Methan und Ruß wäre sinnvoll, darf aber nicht zu einer Vernachlässigung der ebenfalls notwendigen CO₂-Minderung führen ([Seidler 09]).

3.2.2 Möglichkeiten zur Reduzierung der Freisetzung von Methan

Die anthropogene Methan-Freisetzung könnte durch folgende Maßnahmen rasch reduziert werden:

- Bessere Abdichtung von Bohrlöchern der Erdgas- und Erdöl-Förderung,
- Schließen der Lecks von Pipelines und von Erdgas-Tanks,
- Auffangen und Nutzen des Erdgases, das bei der Erdölförderung frei wird, statt es unter Rußentwicklung abzufackeln oder sogar freizusetzen.

Gegenwärtig werden jedes Jahr 150 Milliarden Kubikmeter Erdgas abgefackelt – so viel, wie die EU in vier Monaten verbraucht. Allein in Russland werden pro Jahr 50 Milliarden Kubikmeter abgefackelt – Deutschlands Gasbedarf in vier Monaten.

Da aber diese Maßnahmen oft mit bedeutenden finanziellen Aufwendungen verbunden sind, könnte durch sie die Wirtschaftlichkeit der Erdgasgewinnung ohne und noch mehr mit Fracking erheblich beeinträchtigt werden.

Ohnehin stellt sich die Frage, ob es nicht besser wäre, zusätzliche Finanzmittel zur Reduzierung von Methan-Lecks in die Gewinnung erneuerbarer Energien zu investieren. [Howarth 11b] plädierte schon im Jahr 2011 für eine Stopp des Fracking.

Immerhin hat die US-Regierung in Reaktion auf die beunruhigenden Daten zur Methan-Freisetzung kürzlich angekündigt, für **neue** Fracking-Bohrungen Abdichtungen anzuordnen zu wollen, mit denen die Methanfreisetzung dieser Bohrungen auf etwa die Hälfte abgesenkt werden könnte. Für die bestehenden Fracking-Anlagen will sie jedoch Bestandsschutz gewähren ([Brackel 15]). Dieses Vorhaben könnte daher erst längerfristig zu einer spürbaren Entlastung führen. Zudem haben die Republikaner angekündigt, die unter Obama vorgenommenen Klimaschutz-Maßnahmen nach einem Wahlsieg sofort wieder rückgängig zu machen.

4. Die zunehmende Verwendung von besonders klimaschädlichem Erdgas

4.1 Weltweites Vordringen von Fracking

Bei der Erdgas-Förderung aus schwer zugänglichen und aus unkonventionellen Lagerstätten – beispielsweise mit Fracking – können unkontrolliert erheblich größere Mengen an klimaschädlichen Gasen freigesetzt werden als bei der traditionellen konventionellen Förderung von Erdgas (Bild 3, Tabelle 1).

Meldungen, die Förderung von Fracking-Erdgas in den USA würde sich bald erschöpfen, haben sich als Fehleinschätzungen erwiesen. Die US-Regierung erwartet ein Anhalten des Fracking-Booms bis mindestens 2035. Zu diesem Zeitpunkt soll fast die Hälfte des in den USA eingesetzten Erdgases aus Fracking-Quellen stammen ([EIA 13]).

Fracking bleibt allerdings nicht auf die USA beschränkt. Nach Bild 7 besitzt China mit rund 15 % die größten Reserven an Schiefergas. China beabsichtigt eine rasant steigende Nutzung ([Behrens 15]).

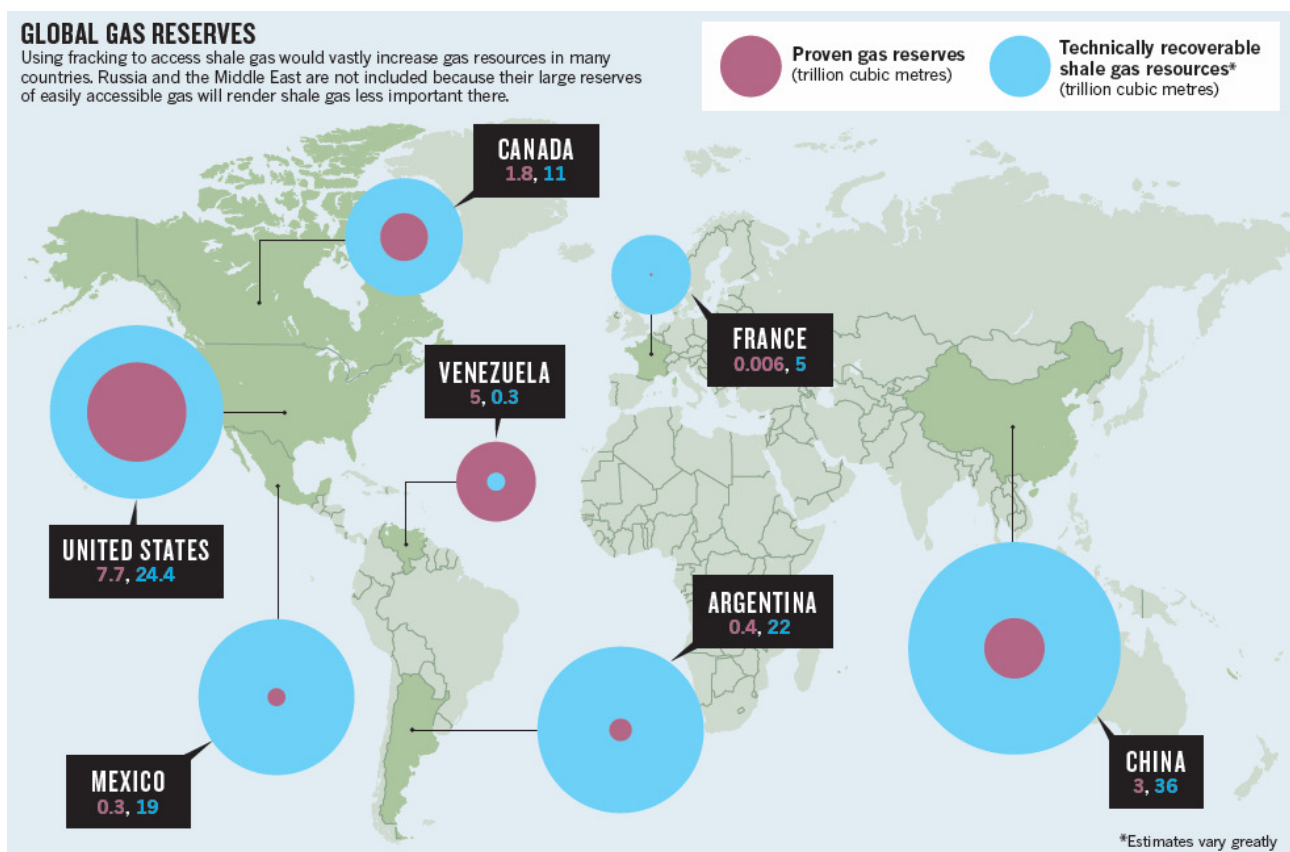


Bild 7: Reserven an konventionellem Erdgas (rosa) und an Schiefergas (blau) (ohne Russland und den Mittleren Osten) (Quelle: [Howarth 11b])

Nach Analysen der Internationalen Energieagentur (IEA) sollen jeweils im Jahr 2035 in den USA 71 % unkonventionelles Erdgas gefördert werden (nach 60 % im Jahr 2010), in China 83 % und in Europa 47 %, überwiegend aus Schiefergas-Lagerstätten. Insgesamt wird global ein Ansteigen von

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

unkonventionell gefördertem Erdgas von 12 % im Jahr 2010 auf 32 % im Jahr 2035 erwartet ([IEA 12]).

Bild 8 zeigt die Lage der gegenwärtig bekannten Schiefergas-Lagerstätten.

Der IEA ist durchaus bewusst, dass damit eine Erhöhung der Temperatur um mehr als 3,5 °C anstelle der gerade noch zulässigen Erhöhung von 2 °C verbunden wäre. Daher verweist sie auf den Einsatz von CCS-Techniken – allerdings erst nach 2035 ([IEA 12], S. 91). Dass es sogar ökonomisch günstiger wäre, Kohlenstoff im Boden zu belassen und auf erneuerbare Energien zu setzen, wird dabei ignoriert.

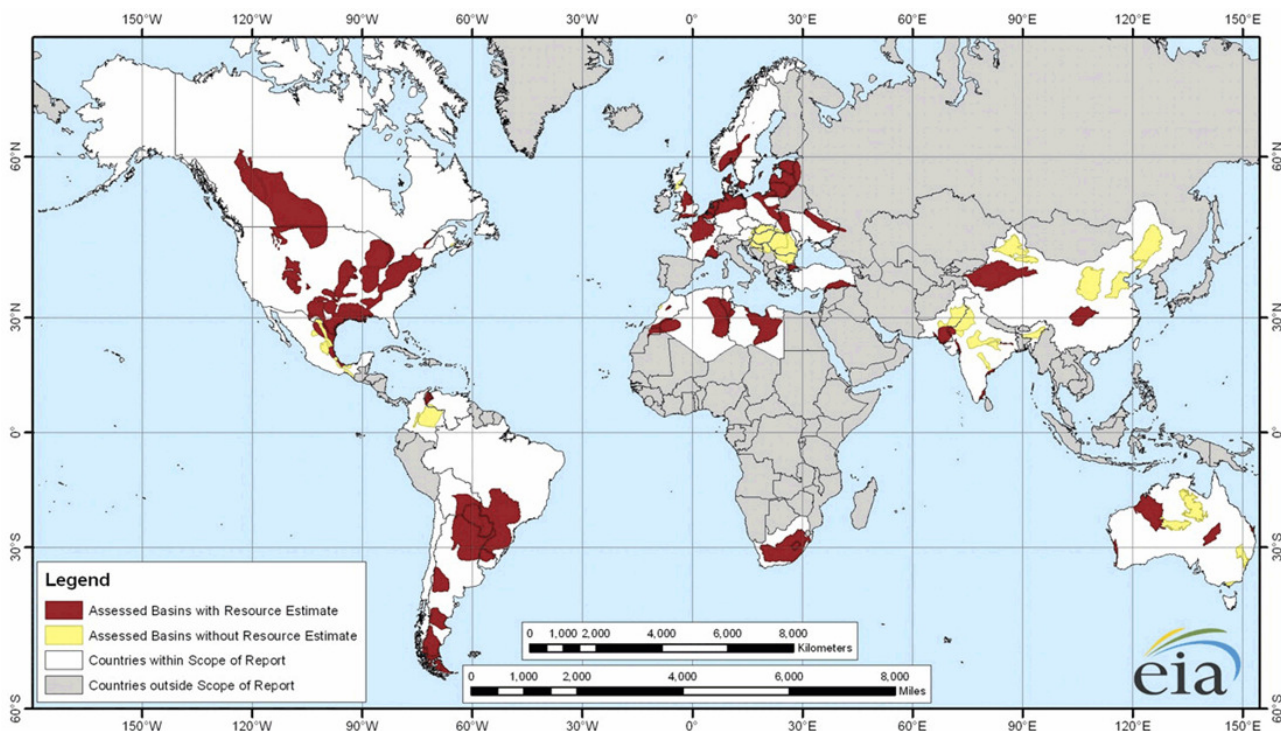


Bild 8: Schiefergas-Lagerstätten (braun: mit Schätzung; gelb: ohne Schätzung; grau: nicht analysierte Staaten) (Quelle: wikipedia – shale gas)

4.2 Die künftige Zunahme von besonders klimaschädlichem Erdgas in Europa

Der Einsatz von Erdgas wächst mit dem politisch gewollten Rückgang des Einsatzes von Kohle und von Erdöl, sofern dieser nicht durch starke Effizienz- und Einsparmaßnahmen ausgeglichen wird. Nach Bild 9 ist in der BRD der Endenergieverbrauch von Erdgas zu Beginn der 1990-er Jahre stark gestiegen und danach kaum gesunken.

Während die Förderung von preiswertem konventionellem Erdöl nach Einschätzung der IEA schon 2006 ihr Maximum erreicht hat („peak oil“), dürfte es nicht mehr sehr lange dauern, bis es auch beim konventionell gefördertem Erdgas so weit ist. In Europa hat die Erdgasförderung bereits im Jahr 2004 ihr Maximum überschritten. Die Erdgasförderung in der BRD trug 2013 nur noch knapp 12 % zum verbrauchten Erdgasvolumen bei ([BGR 14]).

Da die EU somit auf Erdgas-Importe angewiesen ist, bedeutet ein steigender Verbrauch von Erdgas in der EU mehr unkonventionelle Förderung und mehr besonders klimaschädliches Erdgas, auch wenn wie in Frankreich bereits im Juni 2011 in der BRD und in einigen anderen EU-Staaten auf Fracking verzichtet werden sollte.

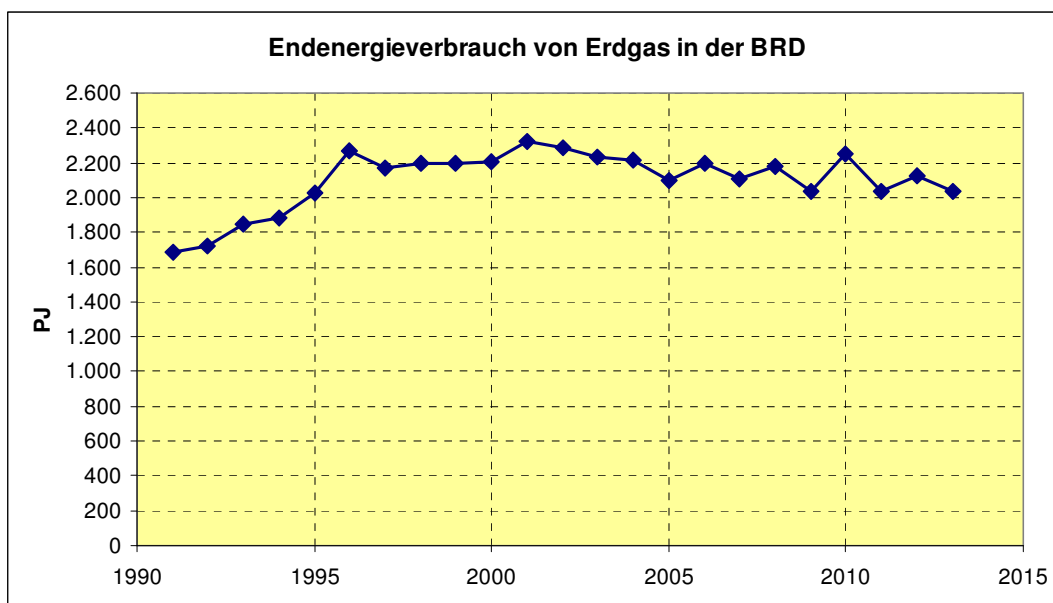


Bild 9: Endenergieverbrauch von Erdgas in der BRD seit 1991 (Quelle: [BMWi 14])

Die Gasbranche setzte sich kürzlich erfolgreich für eine massive Steigerung ihres Absatzes in Europa ein und propagierte in aggressiver Form die Förderung von Schiefergas in Europa ([Yergin 14], [Lomberg 14]).

Im Herbst 2014 beschloss die Europäische Kommission, die Ökoenergien bis 2030 nur auf 27 Prozent auszubauen. Es handelt sich dabei noch nicht einmal um ein verbindliches, sondern nur um ein „freiwilliges“ Ziel. Nach 2020 sind verbindliche Ausbauziele für Ökoenergien nicht mehr vorgesehen; die Förderung für erneuerbare Energien soll ab 2017 auslaufen. Gewinner dieser Entscheidungen sind die Produzenten von Erdgas.

Der Guardian machte am 20.8.2015 bekannt, dass die erneuerbaren Energien in der EU dadurch ausgebremst wurden, dass die Ausbauplanung für die Ökoenergien sehr stark von den großen Erdgasproduzenten beeinflusst wurde ([Neslen 15]). Ein gutes Dutzend von Energiekonzernen darunter Produzenten fossiler Brennstoffe wie BP, Shell, Statoil und Total, aber auch Konzerne, die diese verwenden, wie RWE, BASF und ArcelorMittal hatten sich bei der EU-Kommission massiv gegen erneuerbare Energien und für Erdgas eingesetzt. Connie Hedegaard, die frühere Sonderministerin für die UN-Klimakonferenz in Kopenhagen und EU-Klimaschutz-Kommissarin von 2010 bis 2014, war hierbei bereit, als Sprachrohr zu bestätigen, dass die Methan-Emissionen von Fracking-Erdgas im Vergleich zu denen der konventionellen Erdgas-Importe sogar gesenkt werden könnten, wenn nur die besten Methoden für die Gewinnung eingesetzt würden.

Argumentiert wird hierbei, dass durch umfangreiche technische Maßnahmen beim Fracking in Europa Methan-Emissionen weitgehend vermieden werden könnten, während gleichzeitig Methan-Emissionen beim Transport von Erdgas beispielsweise aus Russland wegfallen würden. Die politischen und ökonomischen Begrenzungen und die gesamten weiteren Risiken und Schäden von Fracking werden hierbei ausgeblendet (vgl. auch [Fritsche 14] mit der Variante „Schiefergas-low“).

Die Ukrainekrise bot einen Anlass, die Reduzierung der Abhängigkeit der EU von russischem Erdgas voranzubringen. In großem Maßstab erscheint das nur mit Importen aus den USA möglich. Die EU-Kommission hat daher die Absicht, künftig im Rahmen der neuen Europäischen Energieunion beträchtliche Mengen an Erdgas und Erdöl aus Nordamerika als **verflüssigtes Erdgas** (LNG)

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

zu importieren. Nach [BGR 14] planen die USA, bereits Ende 2015 verflüssigtes Erdgas aus der Schiefergas-Förderung zu exportieren.

Die Internationale Energieagentur (IEA) geht in ihren Prognosen sogar davon aus, dass der weltweite Anteil von Flüssigerdgas bis zum Jahr 2035 bis zu 50 Prozent des grenzüberschreitenden Gashandels ausmachen wird ([Bund 14]).

Wenn dieses Vorhaben gegen gewisse Widerstände in den USA durchgesetzt werden kann, werden die umweltschädlichen Fracking-Aktivitäten in den USA weiter angeheizt. Als entscheidende Türöffner sind die Freihandelsabkommen zwischen der EU und den USA (TTIP) bzw. Kanada (CETA) zu betrachten, denn das noch geltende Exportverbot würde damit entfallen. Kanzlerin Angela Merkel sagte bei ihrem jüngsten Besuch in den USA Anfang Mai 2015 voraus, der Energiesektor werde „möglicherweise die größten Gewinne“ aus dem angestrebten **Freihandelsvertrag TTIP** ziehen ([Daniljuk 15]).

An Europas Küsten gibt es bereits 21 Terminals für verflüssigtes Erdgas, die wenig ausgelastet sind. Sieben weitere sind im Bau. Das norwegische Energieunternehmen Statoil, das intensiv an der Fracking-Förderung in Nordamerika beteiligt ist, hat ein schwimmendes Terminal mit dem passenden Namen „Independence“ vor der litauischen Küste gebaut. Seit Dezember 2014 werden die baltischen Staaten, die bis dahin ihr Erdgas vollständig per Pipeline aus Russland bezogen hatten, von dort mit flüssigem Erdgas versorgt. Die Internationale Energieagentur (IEA) setzt sich mit Nachdruck für die Einfuhr von flüssigem Erdgas in die EU und für die Förderung von Schiefergas in der EU ein. Beides sei "unerlässlich" für die Diversifizierung des Gasangebots der EU.

Auf Hoffnungen, die Institutionen der EU wollten oder könnten den Import von besonders klimaschädlichem Erdgas noch verhindern, sollte man nicht setzen. In der EU galt bis 2014 mit der Kraftstoffqualitätsrichtlinie 2009/30/EG ein faktisches Importverbot für Öl aus in Kanada abgebauten Teersanden. Ende 2014 stimmte das Europäische Parlament jedoch einem Gesetzesvorschlag der EU-Kommission zu, der den Import von klimaschädlichen Teersanden weitestgehend erlaubt. Der Umweltausschuss des Parlaments hatte es zuvor abgelehnt, die EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie in diesem Sinn zu ändern. Bei dieser Senkung der EU-Klimaschutzstandards nach unten ging es aber darum, die zeitgleichen Verhandlungen für das **Ceta-Freihandelsabkommen** mit Kanada nicht zu gefährden.

Der Energieaufwand bei der Verflüssigung von Erdgas ist hoch. Hierfür werden 10 % bis 25 % des Energieinhalts benötigt. Somit vergrößert sich der Prozentsatz des freigesetzten Methans bei Flüssiggas beträchtlich.

Eine erhöhte Methanfreisetzung folgt auch aus zunehmendem Einsatz von Erdgas oder Biogas in Motoren und BHKW und zwar durch den so genannten Methanschlupf (Abgabe von nicht verbranntem Methan).⁸ Dieser lässt sich im Prinzip mit technischen Mitteln reduzieren. Entsprechende Entwicklungen befinden sich in Vorbereitung. Gegenwärtig wird allein schon durch den Methanschlupf ein möglicher ökologischer Vorteil von Erdgas vor Diesel überkompensiert ([Brynolf 14], [Wurster 14])). Beim Ersatz von Schweröl durch Erdgas bei Schiffsantrieben ist allerdings auch zu

⁸ Der häufig diskutierte Methanschlupf bei der Biogasaufbereitung ist nach §36 der Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen [GasNZV 2010] bis zum 30. April 2012 auf 0,5% je Normkubikmeter Rohbiogas, danach auf 0,2% begrenzt. Nach [Nitsch 12].

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

bedenken, dass bei der Verwendung von Gas erheblich weniger an Stickoxiden, Schwefeloxid, Feinstaub und Ruß und teilverbrannten Kohlenwasserstoffen freigesetzt wird.

4.3 Folgerungen für Hamburg

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen kam im Mai 2013 zum Ergebnis, Fracking zur Schiefergasförderung sei in der BRD energiepolitisch nicht notwendig und könne keinen maßgeblichen Beitrag zur Energiewende leisten ([SRU 13]). Frankreich hat bereits 2011 einen Verzicht auf Fracking beschlossen ([klimaretter 13]).

Wenn daher auch in der BRD Schiefergasgewinnung mit Fracking unterbleibt, zumal die ökologischen und gesundheitlichen Schäden dramatische Ausmaße erwarten lassen ([Maschewsky 13], [Schomann 14], [UBA 14]), dann bedeutet das nicht, dass in Deutschland für die nächsten 50 Jahre mit einer gleich bleibenden ökologischen Qualität des vom Weltmarkt bezogenen Erdgases gerechnet werden kann. Vielmehr ist zu erwarten, dass die spezifischen Treibhausgas-Emissionen von importiertem Erdgas in den kommenden Jahrzehnten erheblich zunehmen werden.

Bei einer **Entscheidung über eine Kraftwerksinvestition für 40 bis 50 Jahre** muss beachtet werden, dass sich die Klimabilanz von Erdgas innerhalb dieses Zeitraums nach dem gegenwärtigen Trend immer mehr verschlechtern wird, da konventionell gefördertes Erdgas auf dem Weltmarkt einen immer geringeren und unkonventionelles klimaschädlicheres Erdgas einen immer größeren Anteil haben wird.

5. Die Klimaschädlichkeit von Erdgas bei einer Erhöhung des Erdgasverbrauchs

5.1 Künftige Entwicklung des Erdgasverbrauchs in Hamburg

Wenn beim Ersatz des Steinkohle-Heizkraftwerks in Wedel der Energieträger Steinkohle weitgehend durch den Energieträger Erdgas in Kraft-Wärme-Kopplung ersetzt wird, steigt der Erdgasverbrauch in Hamburg erheblich an. Eine Abschätzung des bisherigen und des zu erwartenden zukünftigen Verlaufs des Erdgasverbrauchs in Hamburg unter dieser Randbedingung zeigt Bild 10.

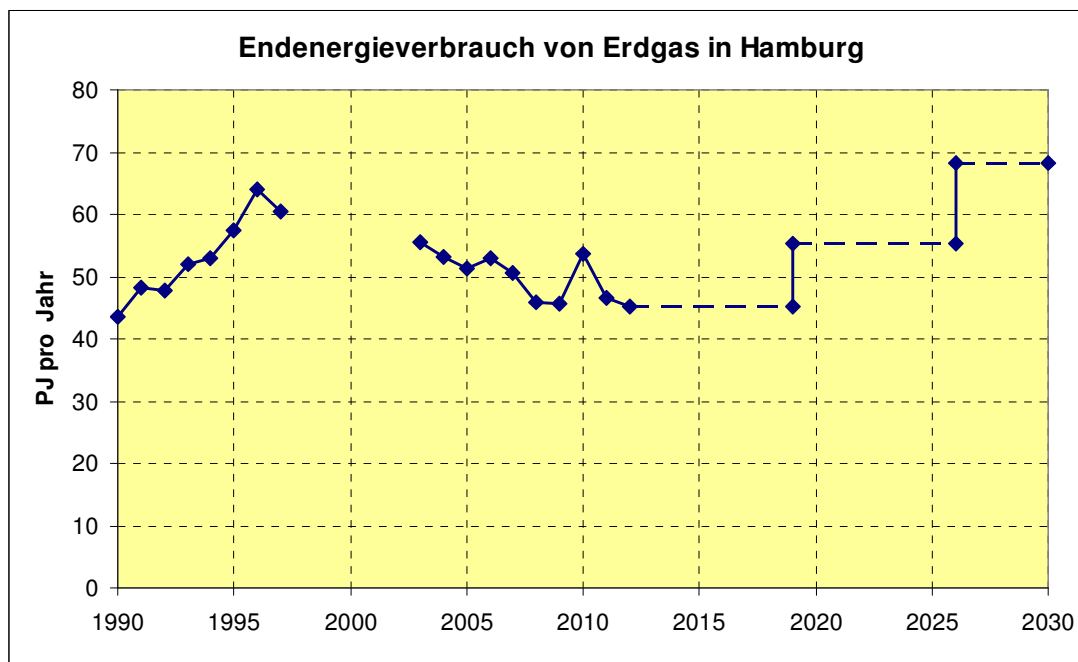


Bild 10: Endenergieverbrauch von Erdgas in Hamburg seit 1990 als Energiemenge pro Jahr (Quelle: Statistikamt Nord) sowie Schätzung des zukünftigen Verbrauchs bei Ersatz der Steinkohle im Heizkraftwerk Wedel und später im Heizkraftwerk Tiefstack ausschließlich durch Erdgas.

Seit etwa 2008 ist der Erdgasverbrauch nicht mehr gesunken wie in den Jahren zuvor. Der erhöhte Verbrauchswert im Jahr 2010 beruht weitgehend auf besonders kalten angrenzenden Heizperioden. Die Umstellung von Direktstrom-Heizungen und von Öl-Heizungen auf Erdgas-Heizungen und die zunehmende Neubautätigkeit wird die Abnahme des Erdgasverbrauchs durch Effizienz-Maßnahmen wie die Gebäudesanierung mit einer geringen energetischen Gesamt-Sanierungsrate von etwa 0,7 % pro Jahr ([Rab 13]) voraussichtlich kompensieren.

In Bild 10 wurde daher bei der Projektion bis zum Kraftwerksersatz ein konstanter Erdgasverbrauch angenommen. Die geschätzten Endenergie-Verbrauchserhöhungen betragen gegenüber dem Jahr 2012 23 % (HKW Wedel) bzw. 53 % (HKW Tiefstack). Nur durch stark forcierte Effizienzmaßnahmen und durch sehr ambitionierten Einsatz erneuerbarer Wärmequellen könnte der zukünftige Erdgasverbrauch in Hamburg so weit abgesenkt werden, dass beim Ersatz der Kohleheizkraftwerke keine wesentliche Zunahme des Erdgasverbrauchs zu erwarten wäre. Eine Klimaschutzpolitik dieser Art zeichnet sich in Hamburg jedoch nicht ab.

Ein Vergleich mit Bild 9 zeigt Ähnlichkeiten des bisherigen Verlaufs des Erdgasverbrauchs im gesamten deutschen Bundesgebiet mit dem Verlauf in Hamburg. Daher kann auch nicht damit

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

gerechnet werden, dass eine Zunahme des Erdgasverbrauchs in Hamburg durch Reduzierungen innerhalb der BRD kompensiert werden könnte.

Die aktuelle deutsche Energie- und Klimaschutzpolitik setzt im Kraftwerkssektor starke Anreize für den Ersatz von Kohle durch Erdgas. Mit dem gegenwärtig novellierten KWK-Gesetz soll die Umstellung von Kohle auf Gas gezielt gefördert werden. Neue oder modernisierte Kohle-KWK-Anlagen sollen künftig nicht mehr gefördert werden. Gas-KWK-Anlagen, die Kohle-KWK-Anlagen ersetzen, sollen dagegen einen zusätzlichen Bonus erhalten. Daher ist auch auf nationaler Ebene eher mit einer Steigerung des Erdgasverbrauchs als mit einem Rückgang zu rechnen.

Zu dieser Entwicklung passt auch, dass in einer aktuellen Fortschreibung der Leitszenarien des BMU bis 2060 kein Rückgang des Erdgaseinsatzes vorausgesagt wird, während Mineralöl um einen Faktor 2, Kohle sogar um einen Faktor von mehr als 3 vermindert werden sollen ([Nitsch 15]).

5.2 Folgerungen für Hamburg

Da in Deutschland sowohl Steinkohle als auch Erdgas ganz überwiegend vom Weltmarkt importiert werden, wäre es irreführend, zusätzliches Erdgas ökologisch so zu bewerten, als wäre es „heimisches“, konventionell gefördertes Erdgas. Vielmehr müssen **indirekte globale Effekte** berücksichtigt werden, die durch eine erhebliche Steigerung des Erdgasverbrauchs in Hamburg hervorgerufen werden.

Dass solche Effekte international nicht länger unbeachtet bleiben, zeigt das Beispiel der indirekten Effekte bei **Landnutzung und Landnutzungsänderungen**, die seit einigen Jahren auch offiziell anerkannt werden. In Plantagen zum Anbau von Energiepflanzen werden häufig Flächen genutzt, die ursprünglich für die Erzeugung von Nahrungsmitteln bestimmt waren. Als Folge des Energiepflanzenanbaus wird Wald gerodet, um neue Flächen für die Nahrungserzeugung zu gewinnen. Die Erhöhung von Treibhausgasen durch diesen Vorgang werden seit der Klimakonferenz in Durban unter der Bezeichnung LULUCF (land use, land use change and forestry) allgemein und offiziell in den Klimaschutz-Statistiken und bei internationalen Klimaverhandlungen berücksichtigt, obwohl Schwierigkeiten bei der Erfassung der notwendigen Daten bestehen.

Bei einer sprunghaften **Erhöhung des Erdgasverbrauchs** in Hamburg wird als indirekter Effekt auf dem Weltmarkt zusätzliches besonders klimaschädliches Erdgas produziert. Die Klimabilanz dieses zusätzlichen Erdgases muss bei einem Vergleich mit der Klimabilanz der ersetzten Steinkohle berücksichtigt werden. Hamburg wäre als Verursacher dafür verantwortlich, wenn auf Grund der Verbrauchserhöhung in erster Linie die Gewinnung von besonders klimaschädlichem Erdgas erhöht würde. Steigernder Erdgasverbrauch in Hamburg würde eine Zunahme von unkonventionell gefördertem Erdgas nach sich ziehen und aktiv zu einer klimaschädigenden Entwicklung beitragen.

6. Globale Verdrängungseffekte bei einer Umstellung von Kohle auf Erdgas

6.1 Marktdynamiken erodieren einen möglichen ökologischen Vorteil von Erdgas

Im Basisgutachten des arrhenius-Instituts und im Gutachten von BET wurde angenommen,

- (a) dass bei einer sprunghaften Vergrößerung des Erdgasverbrauchs in Hamburg mit den gleichen spezifischen Treibhausgas-Emissionen gerechnet werden kann wie bisher und
- (b) dass sich bei Beendigung des Verbrauchs von Steinkohle im Kohlekraftwerk Wedel der globale Steinkohleverbrauch in gleicher Höhe vermindern wird.

Indirekte Wirkungen auf das globale Energiesystem wurden daher nicht beachtet.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen des durch Fracking ausgelösten Erdgas-Booms wurden vor kurzem von fünf Forschungsgruppen aus Deutschland, den USA, Österreich, Italien und Australien umfassend untersucht ([McJeon 14]). Dabei wurden nicht nur Produktion und Verbrauch von Energie erfasst, in den fünf verschiedenen Simulationsmodellen ist vielmehr neben dem Klimasystem ein breites Spektrum von Wirtschaftssektoren enthalten.

Die Computersimulationen ergaben einheitlich, dass die Erhöhung des globalen Angebots an wettbewerbsfähigem unkonventionellem Erdgas auf den Märkten Anpassungsdynamiken auslöst, die den Vorteil vergleichsweise niedrigerer Emissionen von Erdgas wieder zunichte machen. Wenn Erdgas reichlich verfügbar und somit billig wird, hat das letztlich in Verbindung mit entsprechenden Preisreduktionen bei der Kohle einen höheren Energieverbrauch zur Folge ([PIK 14A]). Kohle würde daher durch Erdgas nur zum Teil ersetzt. Als Ergebnis für den Klimaschutz wäre zu erwarten:

„Obwohl eine Marktdurchdringung von global reichlich verfügbarem Erdgas das zukünftige Energiesystems wesentlich verändern kann, ist das nach unseren Resultaten nicht notwendigerweise eine effektive Maßnahme für die Klimaschutzpolitik.“

Ein entsprechender Effekt zeigte sich bereits empirisch in den USA ([Afsah 14]): Als Folge von zunehmendem Einsatz von Erdgas in der Stromerzeugung wurden zwar Kohlekraftwerke in den USA stillgelegt, die Kohlebergwerke verringerten aber keineswegs ihre Förderung in gleichem Umfang. Vielmehr exportierten sie zunehmend Kohle vor allem nach Europa und Asien mit der Folge sinkender Kohlepreise und verbesserter Wirtschaftlichkeit für Kohlekraftwerke außerhalb der USA. Dadurch wurde der mögliche Vorteil niedrigerer Emissionen durch den zunehmenden Einsatz von Erdgas in den USA im globalen Energiesystem wieder zunichte gemacht. Verhindert würde ein Effekt dieser Art nur, wenn die ersetzte Kohle im Boden bleiben würde.

Zuvor hatte schon [Broderick 12] solche Vorgänge an Hand von empirischen Daten des Kohleexports aus den USA diskutiert und unterstrichen, dass die globalen Verdrängungseffekte durch die Förderung von Schiefergas beachtet werden müssen, wenn die globale Klima-Gesamtbilanz – und damit die effektive Klimawirkung von Schiefergas – erfasst werden soll. Ähnliches findet sich in [SRU 13].

[Fritsche 14] betonte, dass für Treibhausgas-arme Energien eine Konkurrenz um Investitionsmittel auftritt: Die IEA erwartet bis zum Jahr 2035 mögliche Investitionen für unkonventionelle Gasförderung von 6,9 Billionen US-Dollar ([IEA 12]). Werden diese Finanzmittel so investiert, stehen sie nicht mehr für den Ausbau der erneuerbaren Energien und für die Steigerung der Energieeffizienz

zur Verfügung ([UNEP 12]). Eine umfassende Analyse, in der indirekte Verdrängungseffekte und Konkurrenzen um Investitionsmittel durch den Einsatz von Schiefergas untersucht werden, steht nach [Fritsche 14] für Deutschland noch aus.

Nach [Kersting 15] führt zusätzliches Schiefergas zu einem Absinken der Preise für fossile Brennstoffe insgesamt. Dies verursacht eine Verdrängung von kohlenstoffarmen Technologien und einen Anstieg des Energieverbrauchs. Die betrachteten Szenarien zeigen in keinem Land einen substantiellen Rückgang der Treibhausgas-Emissionen, wenn Schiefergas weltweit verfügbar ist. Nach dieser Analyse würde die globale Verfügbarkeit von Schiefergas höhere Kosten bei der Einhaltung von Klimazielen zur Folge haben.

Insgesamt wird klar, dass der Schiefergas-Boom in den USA dem globalen Klima nicht nützt, sondern schadet. Denn er trägt zur Erhöhung der globalen Temperatur bei.

Wird Kohle durch erneuerbare Energien ersetzt und wird dabei nicht dafür gesorgt, dass die ersetzte Kohlemenge im Boden bleibt, so ist mit analogen Auswirkungen auf den Welt-Energiemarkt zu rechnen. Allerdings ist die Situation günstiger als bei einem Ersatz von Kohle durch Erdgas, da den erneuerbaren Energien im Allgemeinen wesentlich geringere Treibhausgas-Emissionen zuzuschreiben sind.

6.2 Folgerungen für Hamburg

Erdgas dient unter den gegenwärtigen Randbedingungen und ohne Flankierung durch CO₂-Abgaben oder Ähnliches mitnichten als emissionsarme „Brückentechnologie“ auf dem Weg zu einer sauberen Energieversorgung. Bei der Verhinderung einer Klimakatastrophe geht es nicht um die Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen in einzelnen Städten oder Ländern, sondern um die Reduzierung der Klimabelastung auf der ganzen Erde.

Eine **Umstellung von Steinkohle auf Erdgas** in Hamburg führt infolge von weltweiten Markteffekten nicht zu einer Klimaentlastung, sofern diese Umstellung nicht durch neue Abgaben auf Treibhausgase flankiert wird. Es ist daher nicht zulässig, die ökologische Bewertung dieser Umstellung ohne die Berücksichtigung von Markteffekten vorzunehmen.

7. Vergleich der gesundheitsschädlichen Emissionen von Steinkohle und Erdgas

Bei der Verbrennung von Steinkohle wie im Heizkraftwerk Wedel, im Heizkraftwerk Tiefstack und in Vattenfalls neuem Kraftwerk Moorburg werden zahlreiche Schadstoffe in die Umwelt abgegeben: In großen Mengen das Nervengift Quecksilber. Dazu kommen Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlemonoxid, Chlor- und Fluorverbindungen, Arsen, Benzol und Feinstaub ([Groll 15]).

Bei der Verbrennung von Erdgas werden an Ort und Stelle weniger Schadstoffe frei. Wenn dagegen auch die Vorketten berücksichtigt werden, so fällt dieser Vergleich nicht mehr zugunsten von Erdgas aus. Vor allem Dingen bei der Förderung von unkonventionellem Erdgas durch Fracking werden zusammen mit dem Erdgas aus den aufgebrochenen Schieferschichten zahlreiche unerwünschte Stoffe nach oben befördert ([Maschewsky 13], [Schomann 14]).

Die mit der Nutzung von Kohle über die gesamte Lebensdauer verbundenen ökologischen und Gesundheitsschäden sollen hier keineswegs verniedlicht werden. Es ist aber festzustellen: Je mehr unkonventionelles Erdgas auf den Weltmarkt strömt, umso weniger kann von einem „sauberen“ Energieträger Erdgas im Vergleich zu Kohle gesprochen werden. Glücklicherweise gibt es die Option Erneuerbare Energien mit geringeren gesundheitsschädigenden Emissionen.

8. Fossiles Erdgas als vorübergehender Ersatz für fossile Steinkohle?

Im Zusammenhang mit dem Ersatz für das Steinkohle-Heizkraftwerk Wedel wird in Hamburg ein vom *Hamburg Institut* (HI) entwickeltes Konzept diskutiert, das den Einsatz von Erdgas-Heizwerken anstelle von neuen Erdgas-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen vorsieht ([Maaß 15]).

Nach diesem Vorschlag soll die Lieferung von Fernwärme, die bisher durch Verbrennung von Steinkohle im HKW Wedel erzeugt wurde, für eine gewisse Übergangszeit durch Fernwärme aus Erdgas-Heizwerken ersetzt werden, soweit nicht zeitnah erneuerbare Fernwärme bereit gestellt werden kann (Schritte 1 und 2 in Bild 11). Anschließend soll dieser Erdgas-Einsatz durch weiteren Zuwachs der Erneuerbaren Energien verdrängt werden (Schritt 3 in Bild 11).

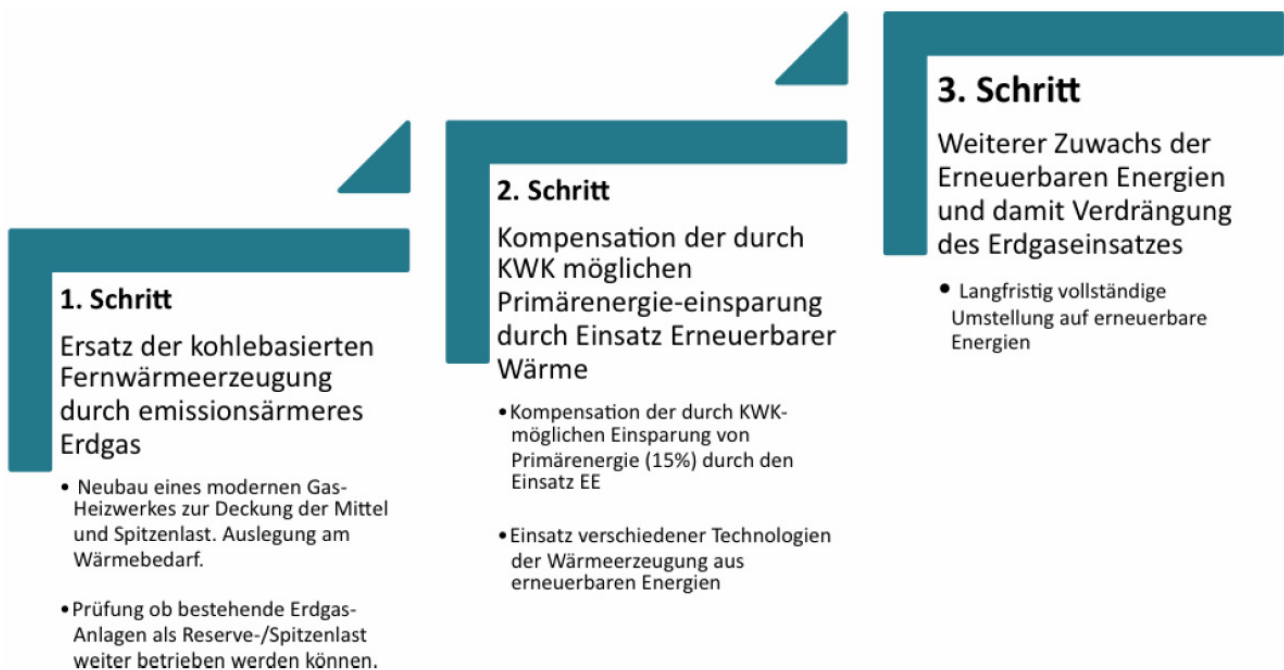


Bild 11: Vorschlag des Hamburg Instituts für den Ersatz des Energieträgers Kohle in der Fernwärme (Quelle: [Maaß 15], Abb. 4)

Der Vorschlag des Hamburg Instituts vermeidet die lock-in-Situation, bei der der Einsatz des „Übergangs-Energieträgers“ Erdgas infolge von hohen Investitionen in Erdgas-KWK-Anlagen für eine Nutzungsdauer von 40 bis 50 Jahren festgeschrieben wird und bei der daher Erdgas keine wirkliche „Brücke“ zu erneuerbarer Fernwärme bildet. Zudem könnten durch dieses Vorgehen Finanzmittel für Erzeugungsanlagen für erneuerbare Fernwärme frei werden, da für die Errichtung neuer Erdgas-Heizwerke erheblich geringere Investitionen als für neue Erdgas-KWK-Anlagen aufzubringen wären.

Das Konzept des Hamburg Instituts setzt jedoch voraus, dass in Hamburg nach einer breiten Debatte unter Beteiligung aller maßgeblichen Akteure ein über viele Legislaturperioden hinweg verfolgter Grundkonsens darüber hergestellt worden ist, dass innerhalb einer kurzen Zeitspanne ein Übergang zu erneuerbarer Fernwärme erfolgt. Bild 11 wäre demnach auf der linken Seite um einen „0. Schritt“ zur Bildung dieses Grundkonsenses zu ergänzen.

Ein Vorgehen nach dem Vorschlag des HI würde problematisch, wenn dieser Konsens nicht rasch genug zustande gebracht werden könnte. Es müsste dann damit gerechnet werden, dass die Erdgas-

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

Heizwerke für längere Zeit zur Fernwärmeerzeugung eingesetzt werden müssten und nicht nur wie bisher nur zur Spitzenlastherzeugung und für die Absicherung.

Der Sprung im Erdgasverbrauch Hamburgs wäre zwar nicht so hoch wie bei der Einführung neuer Erdgas-KWK-Anlagen, da von den Heizwerken kein Strom erzeugt würde. Die in den Abschnitten 4 bis 6 beschriebenen Vorbehalte würden jedoch auch hier in abgeschwächtem Umfang zutreffen.

Zusätzlich könnte eine solche Vorgehensweise leicht zu einem Widerspruch zum zweiten Satz des Hamburger Netze-Volksentscheids führen, der nicht nur eine klimaverträgliche sondern auch eine sozial gerechte Energieversorgung aus erneuerbaren Energien für die Hamburger Energienetze vorschreibt. Wegen des Preisunterschieds zwischen Erdgas und Steinkohle wären Preiserhöhungen bei der Fernwärmeversorgung kaum vermeidbar. Außerdem würde die in Erdgas enthaltene Exergie größtenteils dauerhaft verschwendet, was nicht gerade zur Klimaverträglichkeit beitragen würde.

Der Vorschlag des HI steht und fällt daher mit der Bildung eines Grundkonsenses für einen planmäßigen zügigen Übergang zu Fernwärme aus erneuerbaren Energien in Hamburg. Chancen für die Bildung eines solchen Konsenses sind in der gegenwärtigen Legislaturperiode nicht zu erkennen und es erscheint fraglich, ob sich anschließend unter den Bedingungen eines rekommunalisierten Fernwärmesystems ein solcher Konsens rasch erreichen ließe.

Die Hamburger Mehrheits-Regierungspartei SPD hat erklärt, der Netze-Volksentscheid sei bereits umgesetzt ([SPD-Fraktion 14]). Der Inhalt des zweiten Satzes dieses Volksentscheids wird von ihr nicht ausreichend ernst genommen. Durch ein Wärmenetzgesetz, wie es von den Grünen vorbereitet wurde, könnte ein planmäßiger Übergang zu erneuerbarer Fernwärme vereinbart werden. Die SPD lehnte ein solches Gesetz jedoch entschieden ab.

Wenn trotz dieser Situation ein Vorgehen gemäß dem Vorschlag des Hamburg Instituts – mit den Schritten 1 und 2 ohne einen Schritt 0 – empfohlen wird, bedeutet das, dass die Rechnung ohne den Wirt gemacht werden soll.

9. Konsequenzen für den Ersatz des Steinkohle-Heizkraftwerks Wedel

Bei der Entscheidung über den Ersatz des Steinkohle-Heizkraftwerks Wedel darf nicht übersehen werden, dass vom Weltmarkt bezogenes Erdgas in den kommenden Jahrzehnten zunehmend klimaschädlicher werden wird und sich die angebliche Brücke Erdgas als „Bridge to nowhere“ erweisen kann ([Howarth 14a]).

Es ist irreführend, wenn im Gutachten von BET zur Beurteilung der ökologischen Qualität von Erdgas-Heizkraftwerken nur die CO₂-Emissionen herangezogen werden und die Klimaschädigung durch die Vorketten des fossilen Energieträgers Erdgas vernachlässigt werden.

Es darf nicht ignoriert werden, dass eine sprunghafte Vergrößerung des Erdgasverbrauchs in Hamburg indirekte Effekte auf dem Weltmarkt auslösen würde. Nach dem Verursacherprinzip wären den Verbrauchern in Hamburg die Treibhausgas-Emissionen des zusätzlich produzierten Erdgases zuzuschreiben. Zusätzlich produziertes Erdgas würde zu einem geringeren Anteil aus konventioneller Förderung und zu einem größeren Anteil aus mit Fracking gefördertem Erdgas bestehen.

Hinzu kommt, dass der Einschnitt im Verbrauch an Steinkohle durch die Stilllegung des Heizkraftwerks Wedel kaum zu einer Absenkung der weltweiten Treibhausgas-Emissionen beitragen wird. Erwartete ökologische Vorteile aus dem Ersatz von Steinkohle durch Erdgas werden durch Markteffekte größtenteils unwirksam gemacht werden. Daher muss sich Hamburg im Zusammenhang mit der Beendigung des Kohleeinsatzes flankierend dafür einsetzen, dass weltweit wirksame Abgaben auf fossile Energieträger erhoben werden ([Broderick 12]). Besser als die in [IWF 15] vorgeschlagene Steuer auf CO₂-Emissionen wäre allerdings eine Steuer auf Treibhausgase.

Obwohl die beschriebenen Effekte nur schwer genau zu quantifizieren sind, bedeuten sie doch zusammengenommen, dass bei einem Ersatz des Steinkohle-Heizkraftwerks Wedel durch Erdgas-KWK-Anlagen keine ökologischen Verbesserungen erwartet werden können.

Auch die ökonomische Bewertung von Erdgas-Heizkraftwerken als Ersatz für das HKW Wedel fällt negativ aus. Neu errichtete Erdgas-Heizkraftwerke könnten allenfalls durch eine erhebliche, von allen Stromverbrauchern aufgebrauchte KWK-Förderung rentabel betrieben werden, in einer Höhe, wie sie im Entwurf des neuen KWK-Gesetzes vorgesehen ist. Da die Vorräte an konventionell gewinnbarem Erdgas aber rasch abnehmen, ist während der Nutzungszeit von neuen Erdgas-Heizkraftwerken mit beträchtlichen Kostensteigerungen für den Energieträger Erdgas zu rechnen. Die Schätzungen über die Reichweite und Verfügbarkeit von Erdgas gehen weit auseinander. Eine sehr lange Zeitspanne sehen die Internationale Energieagentur ([IEA 12]) und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ([BGR 14]), eine viel kürzere dagegen beispielsweise [Zittel 13]. Dementsprechend ist das Risiko für stark ansteigende Erdgaspreise während der Einsatzzeit von neu gebauten Erdgas-Heizkraftwerken hoch. Viele Quellen erneuerbarer Wärme weisen dagegen Vorteile durch zukünftige Preisstabilität auf.

Dass beim Ersatz von Heizkraftwerken in Hamburg Erdgas keine erkennbaren Vorteile vor Steinkohle bietet, kann natürlich nicht bedeuten, dass ein weiterer Einsatz von Steinkohle in der Hamburger Fernwärme anzuraten wäre. Vielmehr muss die Folgerung lauten, dass entsprechend dem Energienetze-Volksentscheid statt der Kohle in Wedel vorzugsweise erneuerbare Fernwärme und industrielle Abwärme einzusetzen sind. Darüber hinaus sind die Anstrengungen zur Einsparung

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

von Fernwärme durch Effizienzmaßnahmen zu verstärken. Nur für den aus Gründen der Versorgungssicherheit verbleibenden Rest würde auch der Energieträger Erdgas in Frage kommen.

Nicht wenige hoffen, dass durch unerwartet große Erfolge bei künftigen internationalen Klimakonferenzen wie Ende dieses Jahres in Paris die Verbrennung fossiler Energieträger drastisch beschränkt werden könnte. Schließlich ist bekannt, dass von den weltweiten Reserven etwa ein Drittel des Erdöls, die Hälfte des Erdgases und mehr als 80 % der Kohle **nicht** verbrannt werden dürfen, wenn das Zwei-Grad-Ziel noch eingehalten werden soll. Allerdings wäre es nicht verantwortbar, unter Verweis auf erhoffte Beschränkungen dieser Art eine lokale Ausweitung des Erdgaseinsatzes zu rechtfertigen, etwa mit der Begründung, nach derartigen Einschränkungen sei nicht mit einer zunehmenden Klimaschädlichkeit von Erdgas zu rechnen.

Abkürzungen und Erläuterung von Begriffen

a	Jahr
BET	Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW	Blockheizkraftwerk
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BSU	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CO ₂	Kohlendioxid
CO _{2,äq}	CO ₂ -Äquivalente
CCS	Carbon Capture and Storage (CO ₂ -Speicherung im Untergrund)
Drs.	Bürgerschaftsdrucksache
EPA	Environmental Protection Agency (amerikanische Umweltbehörde)
EU	Europäische Union
Fracking	Erdgasgewinnung nach Aufbrechen von unterirdischen öl- und gashaltigen Gesteinsschichten
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Forschungsinstitut IINAS)
GWh	Gigawattstunde (1 GWh = 10 ⁶ kWh)
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk
GWP	Treibhauspotential (Global Warming Potential)
HKW	Heizkraftwerk
IEA	Internationale Energieagentur
IPCC	Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change)
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LNG	Flüssiggas (Liquified Natural Gas)
m ²	Quadratmeter
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
ppm	parts per million (ein Millionstel)
RCP	Representative Concentration Pathway
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
TWh	Terawattstunde (1 TWh == 1000 GWh = 10 ⁹ kWh)
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
USA	Vereinigte Staaten von Amerika

Literatur

- [AEA 12] AEA Technology, Forster, D., Perks, J.: Climate impact of potential shale gas production in the EU. Report for European Commission DG CLIMA. 30.7.2012
- [Afsah 14] Afsah, S., Salcito, K.: US Coal Exports Erode All CO₂ Savings from Shale Gas. CO₂ Scorecard Group, 24.3.2014
- [Alvarez 12] Alvarez, R., Pacala, S., Winebrake, J., Chameides, W., Hamburg, S.: Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109:6435–6440. 2012
- [Behrens 15] Behrens, C.: Fracking in China - Schiefergas in Sichuan. Süddeutsche Zeitung, 10.8.2015
- [BGR 14] BGR: Energiestudie 2014. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen. Hannover, Dezember 2014
- [BMWi 14] BMWi, Zahlen und Fakten. Energiedaten. 21.10.2014
- [Brackel 15] Von Brackel, B.: Obama will die Methan-Löcher stopfen, klimaretter.info 19.8.2015
- [Brandt 14] Brandt, A.R. et al: Methane Leaks from North American Natural Gas Systems. Science 343. www.sciencemag.org on February 14, 2014
- [Broderick 12] Broderick, J., Anderson, K.: Has US Shale Gas Reduced CO₂ Emissions? Tyndall Centre, University of Manchester, 2012
- [Brynoflf 14] Brynoflf, S. et al: Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. Journal of Cleaner Production. 2014
- [Bund 10] Bundestagsdrucksache 17/4342, 21.12.2010, Erdgas-Blowout vor der Küste Schottlands
- [Bund 12] Bundestagsdrucksache 17/8752, 28.1.2012, Die Rolle von kurzlebigen klimawirksamen Substanzen bei der Bekämpfung des Klimawandels
- [Bund 14] Bundestagsdrucksache 18/1299, 2.2.2014, Flüssigerdgas als Beitrag zur Diversifizierung von Erdgasbezugsquellen
- [Cathles 12] Cathles, L. M., Brown, L., Taam, M., Hunter, A.: A commentary on “The greenhouse-gas footprint of natural gas in shale formations” by R.W. Howarth, R. Santoro, and Anthony Ingraffea. Climate Change 113:525– 535. 2012
- [Daniljuk 15] Daniljuk, M.: TTIP: Freifahrt für Fracking. Blätter für deutsche und internationale Politik. August 2015
- [Donner 12] Donner, S.: Erdgas: In den Wind geblasen. Bei der Ölförderung wird oft Erdgas verbrannt. Spiegel online, 22.9.2012
- [EIA 13] EIA2013: Annual energy outlook 2013 early release. Energy Information Agency, US Department of Energy.
- [Lechtenböhrmer 11] Lechtenböhrmer, S. u. a.: Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health, EU-Parlament. DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES POLICY DEPARTMENT A: ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY. Juni 2011
- [Fritsche 12] Fritsche, U. R., Herling, J.: Energie- und Klimabilanz von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Vergleich zu anderen Energiequellen. Endbericht zum Gutachten für Team Ewen im Rahmen des InfoDialog Fracking. Freiburg, Darmstadt, Berlin: Öko-Institut, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien. 2012
- [Fritsche 14] Fritsche, U. R., Fingermann, K., Hunt, S.: Arbeitspaket 4 – Aufbereitung des Forschungsstands zu Energie- und Klimabilanzen und Arbeitspaket 5 - Scoping - Untersuchung der Klimabilanz in Deutschland. Juni 2014. Enthalten in [UBA 14].

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

- [Fritsche 15] Persönliche Mitteilung von U. R. Fritsche am 6.10.2015
- [Groll 15] Groll, H. u. a.: Kohleatlas. Daten und Fakten über einen globalen Brennstoff. Heinrich-Böll-Stiftung und Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. 2015
- [Groscurth 10] Groscurth H.-M., Bode S., Kühn I., arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik: Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg, Möglichkeiten zur Verringerung der CO₂-Emissionen im Rahmen einer Verursacherbilanz. Im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umweltschutz der Freien und Hansestadt Hamburg, Überarbeitete Fassung – Oktober 2010, Version 4.8 vom 21.10.2010
- [Himmelreich 10] Himmelreich, L.: Nordsee: Das Desaster vor der Tür. DIE ZEIT, 10.6.2010
- [Howarth 11a] Howarth, R. W., Santoro, R., Ingraffea, A.: Methane and the greenhouse gas footprint of natural gas from shale formations. *Climate Change Letters* 106:679– 690. doi: 10.1007/s10584-011-0061-5, 2011
- [Howarth 11b] Howarth, R. W., Ingraffea, A. und Engelder, T.: Natural Gas: Should fracking stop? *Nature*, Vol. 477, 15.9.2011
- [Howarth 14a] Howarth, R.W.: A bridge to nowhere: methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. *Energy Science & Engineering*, April 2014
- [Howarth 14b] Howarth, R.W.: Case Study: Methane emissions and the greenhouse gas footprint of natural gas. Presentation, 4.8.2014
- [Hultman 11] Hultman, N., Rebois, D., Scholten, M., Ramig, C.: The greenhouse impact of unconventional gas for electricity generation. *Environmental Research Letters* 6 (4), 044008. 2011
- [Kersting 15] Jan Kersting, J., Vicky Duscha, V., Joachim Schleich, J., Keramidis, K.: The impact of shale gas on the costs of climate policy. UBA, CLIMATE CHANGE 03/2015. Februar 2015
- [IEA 12] International Energy Agency: Golden Rules for a Golden Age of Gas. *World Energy Outlook. Special Report on Unconventional Gas*. 2012
- [IPCC 13a] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- [IPCC 13b] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [IWF 15] Klimaabgabe: IWF-Chefin plädiert für CO₂-Steuer, Spiegel online. 8.10.2015
- [Kempf 09] Kempfert, C., Schill, W.: Methan – das unterschätzte Klimagas. *Wochenbericht des DIW Berlin* Nr. 39/2009
- [klimaretter 13] Gericht bestätigt Fracking Verbot in Frankreich. 11.10.2013, klimaretter.info
- [LAK EB] LAK Energiebilanzen: Kohlendioxid (CO₂) - Emissionsfaktoren nach Energieträgern
- [Lomberg 14] Lomberg, B.: Nur Fracking hilft Europa gegen Putins Gasmonopol Erneuerbare Energien sind zu teuer, um unsere Energieversorgung zu gewährleisten. Schiefergas ist der einzige Weg aus der Abhängigkeit von Russland – und ist zudem noch gut für die CO₂-Bilanz. *DIE WELT*, 9.6.2014

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

- [Maaß 15] Maaß, C., Sandrock, M.: Ökologisch-soziale Wärmepolitik für Hamburg. Handlungsansätze für die Legislaturperiode 2015-2020. Gutachterliche Stellungnahme für den BUND Hamburg. Hamburg Institut, 29.05.2015
- [Maschewsky 13] Maschewsky, W.: Umweltrisiken der Schiefergas-Gewinnung mit Fracking. Umwelt • medizin • gesellschaft | 26 | 2/2013
- [McJeon 14] McJeon, H., Edmonds, J., Bauer, N., Clarke, L., Fisher, B., Flannery, B.P., Hilaire, J., Krey, V., Marangoni, G., Mi, R., Riahi, K., Rogner, H., Tavoni, M. (2014): Limited impact on decadal-scale climate change from increased use of natural gas. Nature (advance online publication) [DOI:10.1038/nature13837], 15.10.2014
- [McKain 15] McKain, K. et al.: Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts. PNAS 112, 1941 – 1946. 17.2.2015
- [Meinshausen 11] Meinshausen, M. et al.: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, Climatic Change [DOI 10.1007/s10584-011-0156-z]. 2011
- [Miller 13] Miller, S. et al.: Anthropogenic emissions of methane in the United States. PNAS, Oktober 2013
- [Neslen 15] Neslen, A.: BP lobbied against EU support for clean energy to favour gas, documents reveal. Guardian, 20.8.2015
- [Nisbet 14] Nisbet, E. G., Dlugokencky, E J., Bousquet, P.: Methane on the Rise Again. Science 343, 493 (2014)
- [Nitsch 12] Nitsch, J. u. a.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. 29.3.2012
- [Nitsch 15] Nitsch, J.: SZEN-15. Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Eckdaten des Jahres 2014. Kurzexpertise für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. 19. April 2015
- [Ogburn 14] Ogburn, S.: Why Is There More Methane in the Atmosphere? Scientific American, 31.1.2014
- [Paar 13] Paar, A., Ochse, S. u. a.: Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien, 2013
- [PIK 14a] Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Erdgas-Boom kann den Klimawandel nicht verlangsamen. Pressemeldung vom 15.10.2014
- [PIK 14b] Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Verringerung kurzlebiger Klimatreiber bringt keinen Aufschub für CO₂-Reduktion. Pressemeldung vom 04.11.2014
- [Rab 13] Rabenstein, D.: Kritische Analyse des Hamburger Masterplans Klimaschutz oder Die Umwelthauptstadt 2011 als Trittbrettfahrerin beim Klimaschutz? 6.12.2013
- [Rab 15] Rabenstein, D.: Schädigen Erneuerbare Energien das Klima? Kritik der von BET verwendeten CO₂-Allokationsmethoden, insbesondere der favorisierten „Systemischen Methode“, 27.4.2015
- [Rahmsdorf 14] Rahmsdorf, St.: Westantarktis überschreitet den Kipppunkt. In Klimadaten, Mechanismen. 10. September 2014
- [RCP 15] RCP-Szenarien – Klimawandel. Wikipedia Bildungsserver Klimawandel
- [Schomann 14] Schomann, C., Lüder, S., Lotze, M., Kahlke, W.: Gesundheitsgefahren durch Fracking. HAMBURGER ÄRZTEBLATT 05 | 2014
- [Shindell 09] Shindell, D. T. et al.: Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions. Science 326, 716 (2009)
- [Shindell 12] Shindell, D., Kuylenstierna, J., Vignati, E., van Dingenen, R., Amann, M., Klimont, Z. et al. : Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. Science 335:183–189. 2012

Ist Erdgas in jedem Fall weniger klimaschädlich als Steinkohle?

- [SPD-Fraktion 14] SPD-Fraktion in der Hamburger Bürgerschaft: Übernahme des Gasnetzes – Schaal: "Volksentscheid nach gut einem Jahr umgesetzt", PM, 2.12.2014
- [Seidler 09] Seidler, C.: Weltklima: Methan wirkt gefährlicher als angenommen. Spiegel online, 1.11.2009
- [SRU 13] Sachverständigenrat für Umweltfragen: Fracking zur Schiefergasgewinnung. Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung. Stellungnahme. Mai 2013
- [UNEP 11] UNEP/WMO: Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers. United Nations Environment Programme and the World Meteorological Organization, Nairobi, Kenya. 2011
- [UNEP 12] UNEP (United Nations Environment Programme): Gas fracking: can we safely squeeze the rocks? UNEP Global Environmental Alert Service. 2012
- [UBA 08] Fritsche, U., R., Rausch, L.: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme, UBA, Mai 2008
- [UBA 14] UBA, Texte 53/2014: Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten. Juni 2014
- [Werdermann 11] Werdermann, F.: Niemand haftet für Methanblase, klimaretter.info 14.1.2011
- [Wurster 14] Wurster R. et al: Wissenschaftliche Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVBS in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffe und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima. 6.3.2014
- [Yergin 14] Yergin, D., Wiegert, R.: Energiewende: Mehr Erdgas! Die Energiewende gefährdet Deutschlands wirtschaftliche Zukunft. Ein Vorschlag zur Lösung des Problems. DIE ZEIT, 14.1.2014
- [Zander15] Zander, W., Michels, A., Schrader, K., Bartelt, M., Heimes, K., Donner, O., Kalhöfer, H.: Erstellung einer Expertise zur Hamburger Fernwärmeversorgung; Handlungsalternativen für das Kohlekraftwerk in Wedel, 31.7.2015
- [Zittel 13] Zittel, W.: Peak Oil, Fracking und die Energiewende, 12.12.2013