

„Flared Gas“ und „Vent Gas“ – ver- schwendete Energie und Quelle signifi- kanter Emissionen



Abbildung 1: Flare stack at petroleum refinery in Port Arthur, Texas: Quelle: iStock

Dr. Hans Jürgen Wernicke

14. November 2022

Bei der Gewinnung von Erdgas und Erdöl werden große Mengen an methanreichen Begleit- und Restgasen abgefackelt. Kürzlich veröffentlichte Schätzungen gehen von weltweit ca. 10.000 Fackeln und einer Abgasmenge von 144 Mrd. m³ im Jahr 2021 aus, mit deutlicher Zunahmen gegenüber den Vorjahren ¹.

Dies entspricht etwa 1/3 des Erdgasverbrauchs der EU bzw. den Emissionen von 200 Millionen Fahrzeugen ^{2 3}.

Pro m³ Fackelgas entstehen ca. 2,8 kg CO₂-Äquivalent bzw. eine Gesamtemission von ca. 400 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent. Dies unterstellt eine 98 %-ige Verbrennung durch die Fackel, die in den seltensten Fällen erreicht wird.

Abbildung 2 zeigt die Länderanteile der über Fackeln entsorgten Gasvolumina für das Jahr 2017.

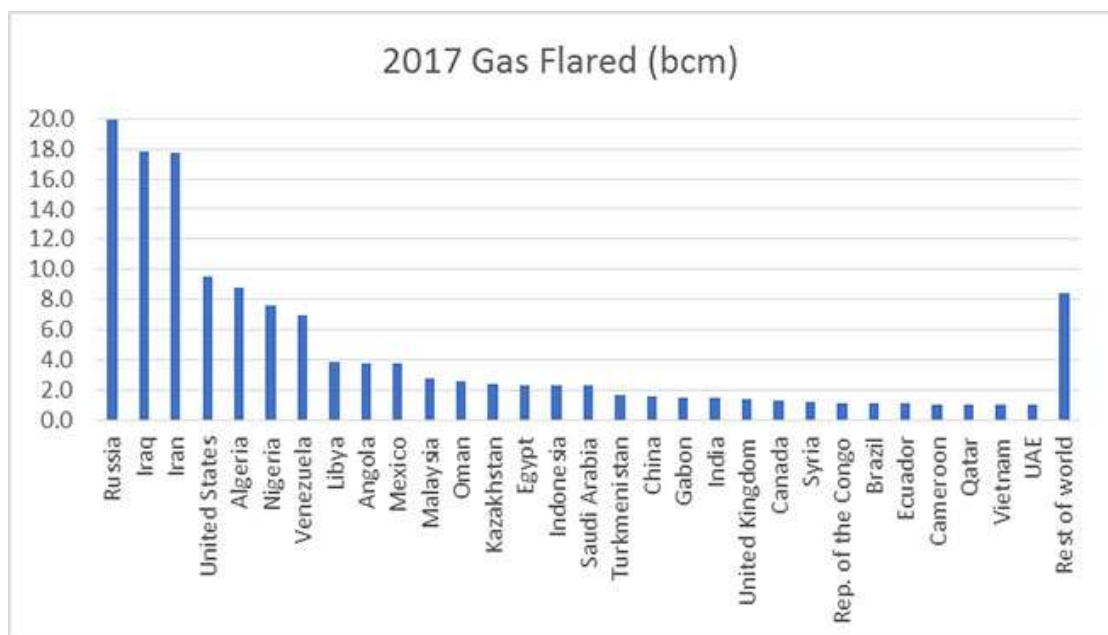


Abbildung 2: Abgefackelte Gasmengen in 2017 (Mrd. m³) ⁴

¹ 2022 Global Gas Flaring Tracker Report, World Bank Global Gas Flaring Reduction Partnership, Washington 2022

² www.aggreko.com/en/aggreko-perspectives/what-a-waste-gas-flaring, 21.10.2022, accessed Nov.11, 2022

³ R.Duren, D. Gordon, "Tackling unlit and inefficient gas flaring, Emissions from flaring threaten the global climate and the health of local communities", Science Vol 377, Issue 6614, 1486-1487, 29 Sep 2022

⁴ <https://www.tetrattech.com/en/markets/international-development/news-and-impact/insights/commercializing-flare-gas-to-reduce-emissions-and-develop-economies>, accessed Oct.21, 2022

Den weitaus größten Anteil haben Russland, Iran, Irak, Algerien, Nigeria, Venezuela und die USA. Sie tragen zu 40 % zur Ölproduktion, aber zu 65 % zur Menge des abgefackelten Gases bei⁵.

Nach den 2022 unterbrochenen russischen Gaslieferungen Richtung Europa dürften die in Russland abgefackelten Erdgasmengen aktuell deutlich über der in Abbildung 2 dargestellten Menge liegen.

Die weltweite Verteilung von Fackeln in Zusammenhang mit der Förderung von Erdgas und Erdöl zeigt Abbildung 3⁶.

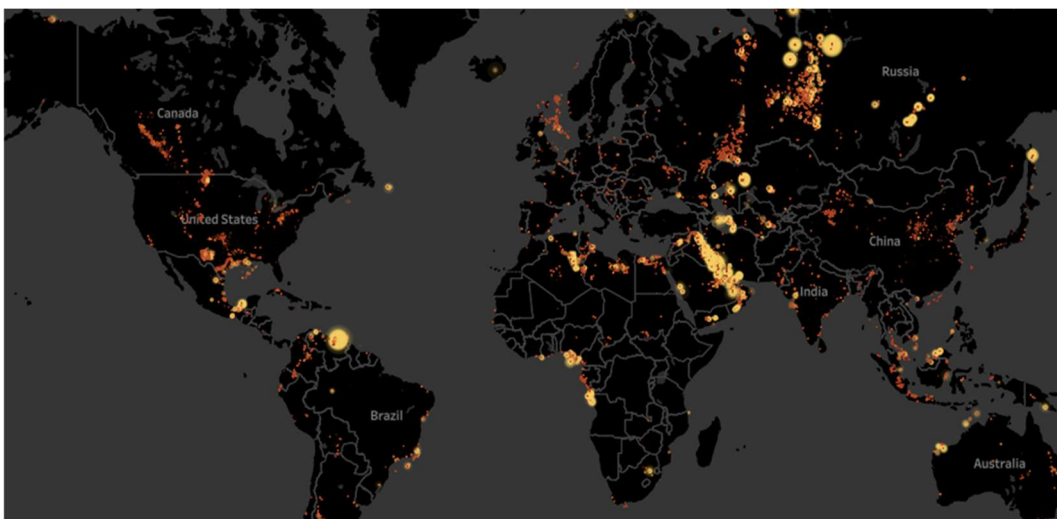


Abbildung 3: Weltweite Verteilung von Fackeln in Zusammenhang mit Erdöl- und Gasförderung (NOAA VIIRS Instrument, Skytruth.org) ⁶

Der Wert des weltweit abgefackelten Gases, bezogen auf den durchschnittlichen Gaspreis im Jahr 2018, beträgt ca. 16 Mrd. US-\$⁷, laut einer Studie der IEA für 2021 sogar 55 Mrd. US-\$ (bei einem Gaspreis von 10 \$/ MMBtU)⁸.

⁵ World Bank, “Global Gas Flaring Tracker Report”, Apr. 28, 2021

⁶ M.Thurber, “Gas Flaring: Why does it happen and what can stop it?”, Energy Growth Hub, Stanford University, Febr. 2019

⁷ Brainwave Energy News Bulletin, Sept. 18., 2019

⁸ R.Schulz et.al., Flaring Emissions, IEA Report Sept 2022

Methanemissionen

Nachdem die Klimawirkung von Methan 86 x bzw. langfristig 28 mal größer ist als die von CO₂ („GWP₂₀“ bzw. „GWP₁₀₀“), tragen die unverbrannten Anteile der Fackelgase und die vielen unkontrollierten und nicht in Betrieb befindlichen Fackeln erheblich zu den Klimagasemissionen bei.

Seit Jahrzehnten wird auf Basis einer in den 1980er-Jahren entstandenen Studie der amerikanischen EPA angenommen, dass in den Fackeln 98 % der zugeführten Kohlenwasserstoffe verbrannt werden.

Weltweit wird geschätzt, dass von den jährlich ca. 400 Mio. Tonnen Gesamtemissionen (als CO₂-Äquivalent) mindestens 39 Mio. Tonnen Methan („Methanslip“) mit entsprechend hoher Klimawirkung zuzuordnen sind ¹.

Umfangreiche Analysen in den Jahren 2020 und 2021 über drei Erdöl- bzw. Gasfelder in den USA ergaben jedoch Wirkungsgrade von durchschnittlich nur ca. 95 % für in Betrieb befindliche Fackeln und wegen vieler abgestellter Fackeln einen Gesamtwirkungsgrad von nur 91 % ⁹, was ein Vielfaches an Methanemissionen bedeutet, als für einen Wirkungsgrad von 98 % unterstellt wurde (siehe Abbildung 4).

Die Lieferunterbrechungen von russischem Erdgas im Zusammenhang mit dem Ukrainekrieg lassen vermuten, dass zeitweise große Mengen Methan unkontrolliert und unvollständig abgefackelt wurden. Schätzungen auf der Basis von Satellitenaufnahmen gehen von über 4 Mio. m³ pro Tag aus ¹⁰. Dies entspricht einer täglichen Emission von 2.900 Tonnen Methan und 250.000 Tonnen CO₂-Äquivalent („GWP₂₀“).

⁹ G.Plant et al, „Inefficient and unlit natural gas flares both emit large quantities of methane“,

Science, Vol 377, Issue 6614, 1566-1571, Sept. 29, 2022

¹⁰ Reuters-Meldung, August 26, 2022

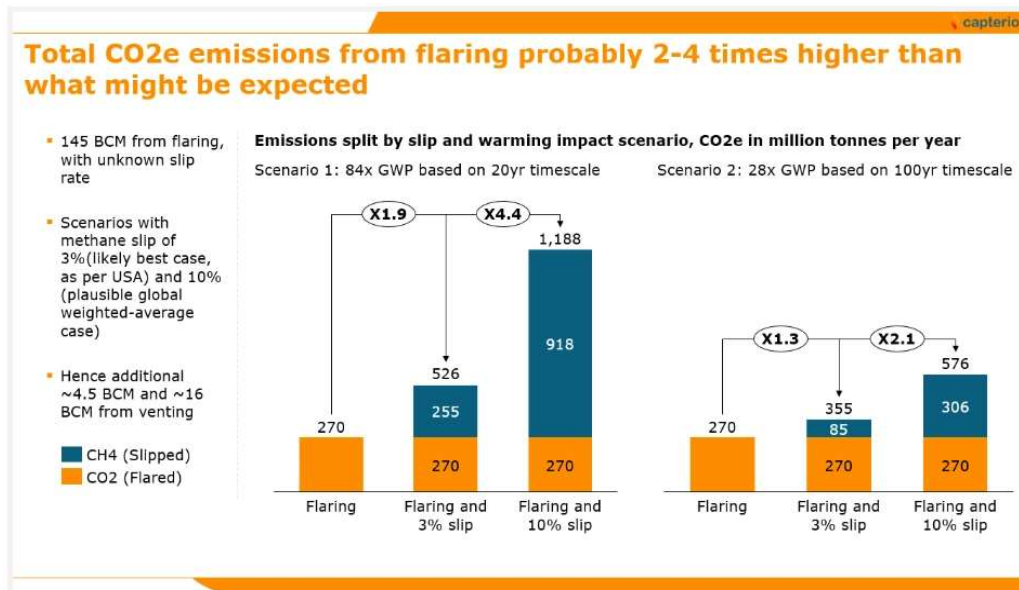


Abbildung 4: Tatsächliche CO₂-Emissionen von Fackelgasen in Abhängigkeit vom Methan-Slip¹¹

Abbildung 5 zeigt Satellitenaufnahmen von großen Fackeln an einer Gazprom-Verdichterstation der Nordstream1-Pipeline in der Nähe der finnisch-russischen Grenze, aufgenommen am 24.8.2022.

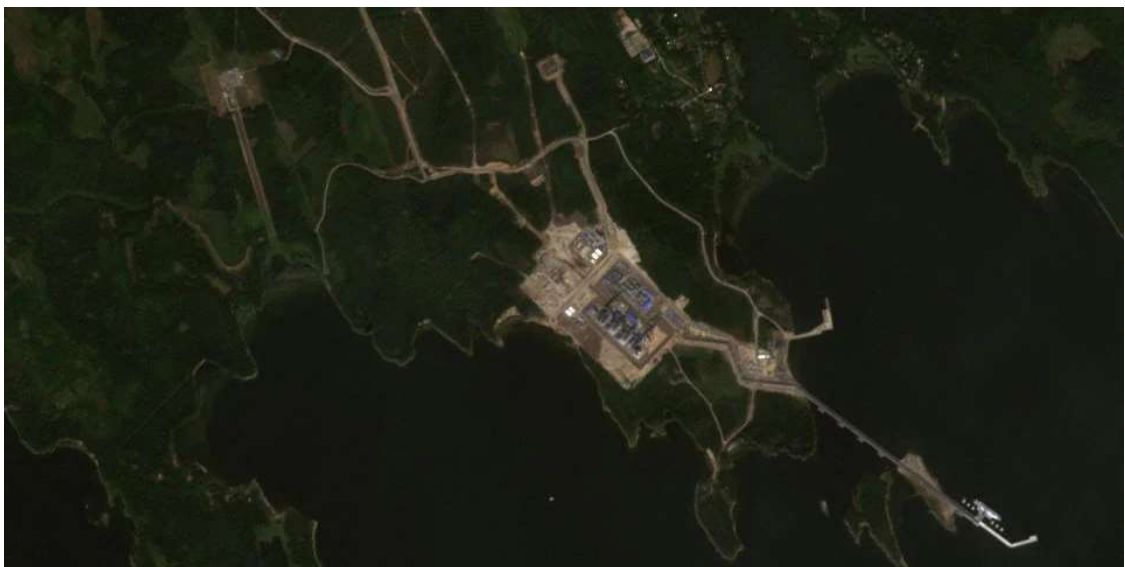


Abbildung 5: Satellitenaufnahme der Erdgas-Abfackelung in Portovaya bei St. Petersburg am 24.8.2022¹²

¹¹ <https://www.flareintel.com/insights/minimise-flaring-gas-near-existing-pipelines>, 4.10.2019, accessed 22.Oct.2022

¹² European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery, Aug.24 2022

Senkung der Emissionen der Restgas- Fackeln

Würden internationale Vorgaben und Vereinbarungen zur Absenkung der Netto-Emissionen von Klimagasen auf null im Jahr 2050 umgesetzt, müsste das Abfackeln von Kohlenwasserstoffen, mit Ausnahme von Störfällen, bis 2030 um 90 % vermindert werden¹.

Den größten Beitrag soll die 2015 gestartete ZRF-Initiative („zero-routine-flaring“) der Weltbank leisten. Der World Bank's Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR) haben sich Staaten und Unternehmen angeschlossen, die nach jetzigem Stand für ca. 60 % der abgefackelten Gase stehen¹³.

Am weitesten fortgeschritten ist Norwegen mit einem Wirkungsgrad der Fackeln von fast 99 % und einem Regelwerk, das seit Einführung vor ca. 30 Jahren eine Verminderung der Fackelemissionen von 80 % bewirkt hat.

In den USA ist das Abfackeln von Begleitgasen in einigen Staaten, u.a. in Colorado, New Mexico und Alaska, inzwischen verboten.

Aus Sicht der IEA könnten für Europa unterausgelastete Pipelines aus Nordafrika genutzt werden, um bis zu 15 Mrd. m³ / Jahr Begleitgase aus Öl- und Gasfeldern aufzunehmen, die derzeit abgefackelt werden¹. Ein zusätzliches Potential von 10 Mrd. m³ / Jahr wird im Bereich der LNG-Versorgungskette gesehen, insgesamt ca. 7 % des europäischen Erdgasverbrauchs im Jahr 2021¹.

Aufbau einer Anlage zur Sammlung von Fackelgasen

Fackelgase bestehen überwiegend aus Methan, mit kleineren Anteilen an höheren Kohlenwasserstoffen und geringen Gehalten an Inertgasen (Stickstoff, CO₂), eine typische Analyse zeigt *Tabelle 1*¹⁴.

¹³ <https://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030>, accessed 22.10.2022

¹⁴ E. Ojjiagwo et al, „Economics of gas to wire technology applied in gas flare management“, Engineering Science and Technology, Volume 19, Issue 4, 2109-2118, Dec. 1, 2016

Tabelle 1: Typische Zusammensetzung eines Fackelgases ¹⁴

Component	Chemical formula	Volume fraction (%)	Weight fraction (%)
Methane	CH ₄	81	60
Ethane	C ₂ H ₆	5.5	7.7
Propane	C ₃ H ₈	6.6	13.5
Butane	C ₄ H ₁₀	4.0	10.8
Pentane	C ₅ H ₁₂	1.4	4.8
Nitrogen	N ₂	1.0	1.3
Carbon dioxide	CO ₂	0.17	0.33

Abbildung 6 zeigt den typischen Aufbau einer Anlage zur Sammlung und Abfackelung von Begleit- und Restgasen einer Ölförderanlage ¹⁵.

Das zur Fackel geleitete Gas stammt aus der gesamten Verarbeitungskette, wie in *Abbildung 6* am Beispiel einer Anlage zur Förderung von Erdöl gezeigt wird ¹⁶.

Der hohe Methananteil von Fackelgasen, der bis über 95 % betragen kann, spricht sowohl für eine stoffliche als auch energetische Nutzung. Dabei hängt die Wirtschaftlichkeit einer Investition von einer eventuell erforderlichen Konditionierung,

der Gasmenge und auch von der Möglichkeit ab, das Gas regional zu sammeln und in größeren Einheiten zu verarbeiten.

In jedem Fall führt eine alternative Nutzung zu einer Einsparung von Rohstoffen für fossil hergestellte Produkte bzw. einer Einsparung von Energie sowie zu geringeren Emissionen des besonders wirksamen Treibhausgases Methan.

¹⁵ Az. Aregbe, Natural Gas Flaring – Alternative Solutions”, World Journal of Engineering and Technology 5(1),139 – 153, Febr. 2017

¹⁶ DOE-Darstellung, entnommen aus <https://www.enverus.com/blog/natural-gas-flaring>, accessed Oct. 21, 2022

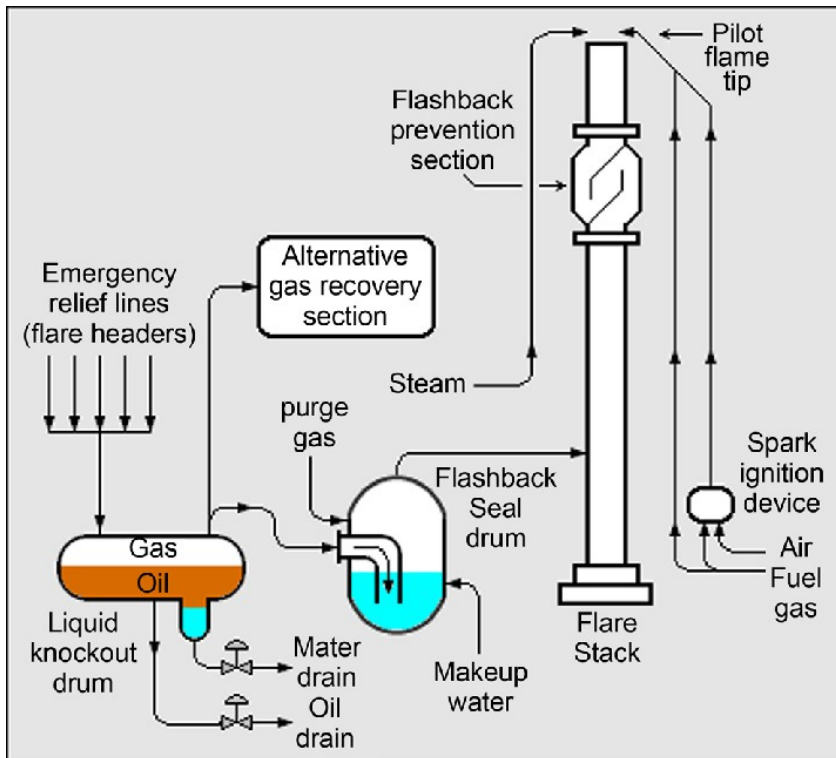
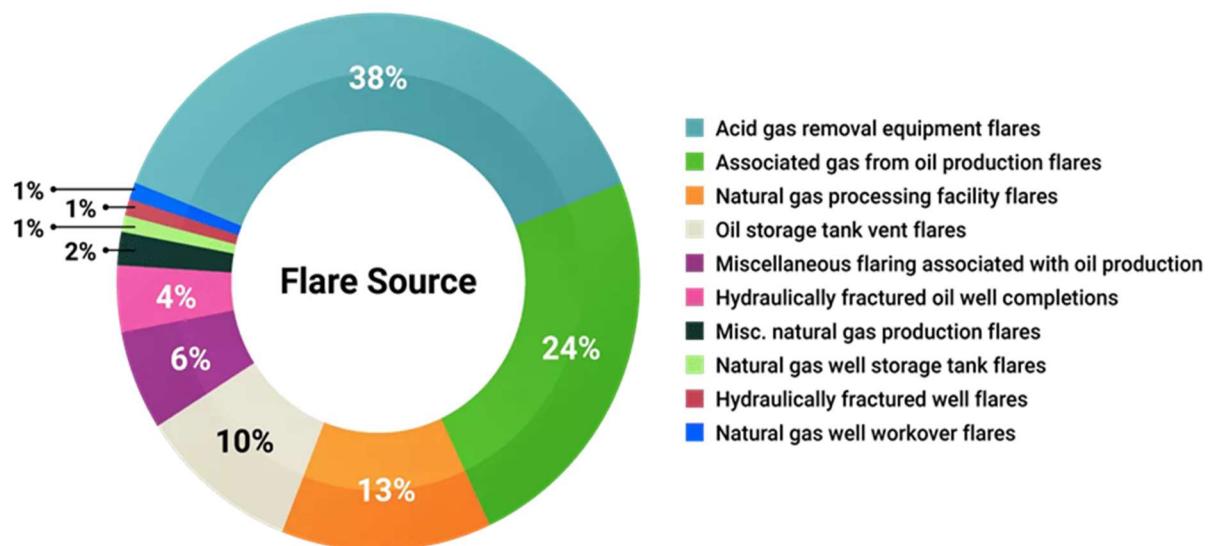


Abbildung 6: Aufbau eines Fackelsystems¹⁵



Source | US Department of Energy

Abbildung 7: Herkunft der Fackelgase bei Förderung von Erdöl¹⁶

Nutzungsoptionen und -potential für Fackelgase aus der Erdöl- und Erdgasverarbeitung

On-site Nutzung:

Die Hauptzielrichtung ist die Vermeidung des Abfackelns im Sinne der GGFR-Initiative der Weltbank bis 2030. Dies erfolgt neben verfahrenstechnischen Optimierungen der Förderanlagen und der Verbesserung des Wirkungsgrads der Fackeln häufig durch On-site-Komprimierung und Rückführung der Gase in das Bohrloch. Ziel dabei ist eine Erhöhung der Fördermenge und letztlich die Lagerung der Restgase unter Vermeidung größerer Investitionen.

Energetische Nutzung (on- oder off-site):

Vor allem bei dezentraler Verwertung des Fackelgases an der jeweiligen Anlage steht die Erzeugung von elektrischer Energie, z.B. mit Gasmotoren oder -turbinen, im Vordergrund. Diese Art der Nutzung ist Stand der Technik und u.a. auch bei Biogasanlagen breit eingeführt. Typische Wirkungsgrade liegen bei 34 - 55 % (thermisch) und 28 – 47 % (elektrisch). Kombiniert werden bei einem Blockheizkraftwerk Wirkungsgrade im Bereich 85 - 90 % erzielt.

Der Energieinhalt des Fackelgases beträgt ca. 9 kWh / m³, der sich entsprechend in den thermischen und elektrischen Anteil aufteilt.

Nimmt man eine komplette Verstromung der in 2021 weltweit angefallenen 144 Mrd m³ Fackelgase an, ergibt sich ein derzeit ungenutztes Potential von 400 – 680 TWh elektrischer Energie (zuzüglich 490 – 790 TWh Abwärme).

Ein großer Anteil der Fackeln befindet sich in der Nähe von Erdgas-Pipelines (siehe *Abbildung 8*)¹⁷, was bei überschaubaren

¹⁷ <https://www.flareintel.com/insights/minimise-flaring-gas-near-existing-pipelines>,
12.10.2022, accessed 22.Oct.2022

Investitionen in die Einspeisung der methanreichen Restgase in das Erdgasnetz nahelegt.

Entsprechende Programme werden insbesondere in den USA aufgelegt.

Eine weitere Option ist die Verwendung als Compressed Natural Gas (CNG). Entsprechende Vertriebsnetze sind vor allem in den USA im Aufbau, wobei das CNG über ein „virtuelles Pipelinesystem“ (Straßentransport) verteilt wird.

Die Betankung von Fahrzeugen mit CNG erfordert eine entsprechende Infrastruktur. Beispielsweise gibt es in den USA bisher nur 2000, in Deutschland 800 CNG-Tankstellen, der Fahrzeugmarkt ist unterentwickelt.

At least 54% of total flare volumes are within 20km of gas pipeline

Gas flaring volumes by distance to pipeline
billion cubic metres (2019), distance to pipeline (km)

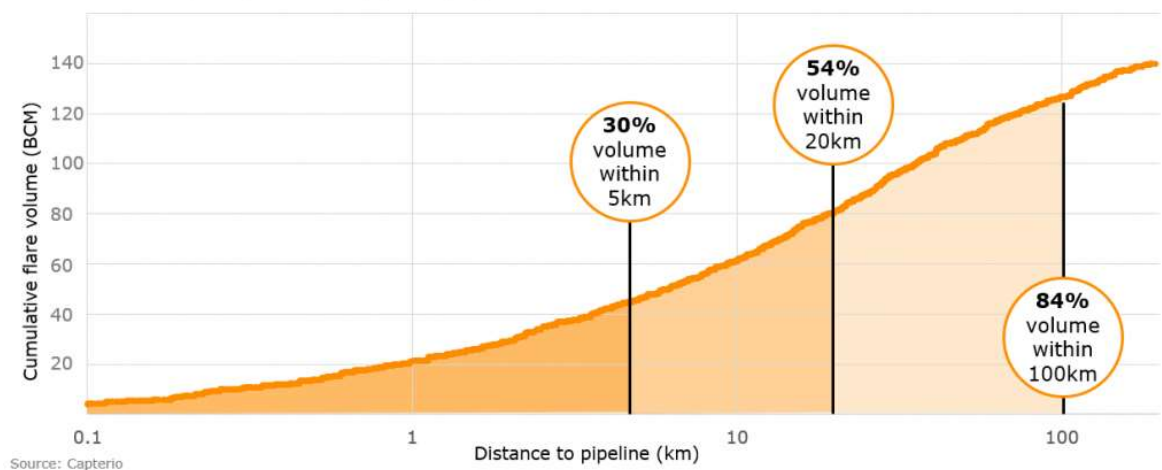


Abbildung 8: Verfügbarkeit von Erdgas-Pipelines zur Einspeisung von Fackelgasen ¹⁷

In Entwicklung befinden sich dezentrale, zum Teil Container-basierte Anlagen, die über Pyrolyse Wasserstoff und elementaren Kohlenstoff aus Fackelgasen erzeugen ^{18 19}. Die Beimischung von so erzeugtem Wasserstoff soll erstmals an einem 49 MW Erdgas-Spitzenlastkraftwerk in England erprobt werden ¹⁸.

Weitere Nutzungsmöglichkeiten als Energieträger sind z.B. die energieintensive Produktion von Zement und Dünger.

¹⁸ PM, HiiROC Ltd, Hull/UK, 24.Oct.2022

¹⁹ <https://h2-industries.com/wasserstoff-aus-fackelgas>, accessed Oct 31, 2022

Stoffliche Nutzung:

Auf Grund der Zusammensetzung der Fackelgase sind diese für alle geläufigen Konversionsverfahren verwendbar bzw. zumischbar, für die auch Erdgas eingesetzt wird. Schlüssel ist eine entsprechende Logistik über Pipelines oder auch virtuelle Pipelines für den Transport zu Anlagen mit entsprechender „economy-of-scale“.

Als Produkte sind über die Zwischenstufe Synthesegas u.a. Wasserstoff, Ammoniak und Methanol zu nennen.

Beispielsweise würde die Jahresmenge von 144 Mrd m³, die derzeit abgefackelt wird, einer jährlichen Methanolmenge von 150 - 180 Mio Tonnen (100-120 Megamethanolanlagen à 5.000 Tonnen/Tag) entsprechen, d.h. mehr als die derzeitige weltweite Produktionskapazität von 160 Mio Tonnen (2021) ²⁰.

²⁰ Statista, 13.Jul.2022