

LNG (Flüssigerdgas) – Einsatzmöglichkeiten und Potentiale zur Erhöhung der Flexibilität in Österreich und Zentraleuropa

Laura Simmer*, Gerald Aschauer, Oliver Schauer

Logistikum, Wehrgrabengasse 1-3, 4400 Steyr, +43 (0)50804-33272, laura.simmer@fh-steyr.at, www.logistikum.at

Kurzfassung: In der Diskussion und Auseinandersetzung um alternative Energie- und Versorgungsstrategien rückt LNG (Flüssigerdgas) in den Vordergrund. Durch Flüssigerdgas entstehen neue Perspektiven im Energietransportsystem, denn LNG ist unabhängig von Pipelines und kann somit einen Beitrag zur Diversifizierung der Bezugsquellen und damit zur Vermeidung einseitiger Abhängigkeiten leisten. Neue, bisher unerreichte Bezugsquellen können erschlossen werden. Somit wird die Flexibilität bei sich verändernden Rahmenbedingungen für Unternehmen bei der Energieversorgung erhöht. Heute liegt der LNG Anteil am weltweiten Gashandel bei über 30 %, in Europa bei nur 15,5 %. Vor allem in Spanien, Frankreich, Italien und Großbritannien wird LNG in der Industrie und zur Pipeline Einspeisung verwendet. In Zentraleuropa gibt es noch keine Anwendungen. Gerade für die Verwendung als Treibstoff, welche die Erdölabhängigkeit reduzieren könnte, fehlen aber in ganz Europa Versorgungsmöglichkeiten für Endanwender. Auch die Infrastruktur ist noch in einer Entwicklungsphase. Das Ziel dieser Arbeit ist eine ausführliche Analyse und Bewertung der Entwicklungen rund um die Umsetzung und Einsatzmöglichkeiten von LNG in Zentraleuropa und Österreich. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Gerade im Bereich der kleinräumigen Verteilung (small scale Anwendungen) und im Treibstoffeinsatz gibt es bis dato nur beschränkte Versorgungsmöglichkeiten für Endanwender. Ebenso befindet sich die Infrastruktur immer noch in der Entwicklungsphase. Es gibt jedoch eine beeindruckende Menge an Arbeiten und Projekten, um diese Barrieren zu durchbrechen und LNG als alternative Energie- und Treibstoffquelle zu implementieren. Die Ergebnisse dieses Papers zeigen die Problemfelder als auch die Potentiale für LNG auf und sollen einen wesentlichen Beitrag für weitere Umsetzungsschritte leisten.

Keywords: Flüssigerdgas, LNG, Energieversorgung, alternativer Treibstoff

1 Einleitung

Neben Erdöl nimmt auch der Anteil des Erdgases als Primärenergieträger seit Jahren weltweit stetig zu und entwickelt sich zu einer der wichtigsten Hauptenergiequellen des 21. Jahrhunderts. Eine bereits mehrere Jahrzehnte alte, aber seit einigen Jahren stark expandierende Technologie im Bereich der Nutzung von Erdgas ist dabei die Verflüssigung des Erdgases für den Transport. Hierbei entsteht Flüssigerdgas (LNG = Liquefied Natural Gas) mit einer Temperatur von ungefähr -162 °C bei Umgebungsdruckverhältnissen. Durch

die Verflüssigung schrumpft das Volumen je nach Zusammensetzung auf etwa ein Sechshundertstel bezogen auf den Normalzustand bei 1,013 bar und 0 °C (Kumar et al. 2011). Durch die Volumenreduzierung bietet LNG viele Vorteile. LNG ist unabhängig von Pipelines und dadurch besser verfügbar, da Bezugswege diversifiziert und Abhängigkeiten reduziert werden können. Verbraucher haben größere Flexibilität zwischen den LNG Lieferanten zu wechseln, wodurch der Wettbewerb gefördert wird, welcher für eine effektive Gasmarktliberalisierung unverzichtbar ist (Groenendijk 2012). Kleine verstreute Quellen von Biogas (z.B. von Deponien, kleinen Biogasanlagen) können ebenfalls verflüssigt und somit zu den potentiellen Verbrauchern transportiert werden (Chrz und Emmer 2007).

International gesehen gibt es schon vielfältige und umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit LNG und im Bereich der technischen Einrichtungen (Fahl et al. 2009). Heute liegt der LNG Anteil am weltweiten Gashandel bei über 30 %, in Europa bei 15,5 % (BP 2013a). In der EU sind es vor allem die Länder Spanien, Großbritannien, Italien und Frankreich, welche im LNG Geschäft etabliert sind. Dabei wird das LNG meist in den großen Importterminals regasifiziert und anschließend industriell verwendet oder in Pipelines eingespeist. Derzeit rücken aber verstärkt kleine LNG Projekte, auch small scale genannt, in den Fokus. Dazu zählen Verflüssigungsanlagen mit einer Kapazität von weniger als 0,68 Mtoe pro Jahr (Maynitskiy 2012), außerdem das sogenannte „breaking bulk“, unter welchem die LNG Umladung von großen Schiffen auf kleinere Schiffe und auf Lkw verstanden wird, die Lagerung von LNG in sogenannten Satellit Stationen und der Einsatz von LNG als Treibstoff (Natural Gas Europe 2012, PwC 2013, Nogueras 2013). Im Gegensatz zum large scale LNG Markt ist der small scale LNG Markt noch neu. So gibt es nur beschränkte LNG Versorgungsmöglichkeiten für Endanwender und die Infrastruktur ist immer noch in einer Entwicklungsphase. Wie bereits erwähnt gibt es jedoch eine beeindruckende Menge an Projekten um diese Barrieren zu durchbrechen.

Das Ziel dieser Arbeit ist eine ausführliche Analyse und Bewertung der Entwicklungen rund um die Umsetzung und Einsatzmöglichkeiten von LNG in Zentraleuropa und Österreich. Mit spezifischem Fokus wird die potentielle Nutzung von LNG als alternativer Treibstoff für Fahrzeugflotten, Schiffe sowie industrielle Anwendungen inklusive der Gewinnung von verflüssigtem Biogas erforscht. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt.

2 Ergebnisse und Diskussion

2.1 Europäischer Gasmarkt

Die Gasproduktion ging 2012 in der EU um 5,5 % zurück und fiel damit auf 134,7 Mtoe (BP 2013b). Bis zum Jahr 2030 wird die eigene Gasproduktion voraussichtlich um 1,7 % pro Jahr fallen und somit zwischen 68 und 116 Mtoe pro Jahr betragen (Mohr 2011). Zusätzliche Gaslieferungen von außerhalb der EU werden daher von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit der Gasversorgung sein. Der Import von Erdgas stieg im Jahr 2012 in der EU um 1,8 % auf insgesamt 396,77 Mtoe. Dabei kamen ca. 32 % des Erdgases aus Russland, 30 % aus Norwegen, 14 % aus Algerien, 9 % aus Katar und die restlichen 15 % aus Nigeria, Trinidad und Tobago, Ägypten, Libyen und einigen weiteren Ländern. Die Erdgasabhängigkeit der EU betrug 2012 65,6 % (European Commission 2013b). Im Jahr

2030 soll der Importbedarf zwischen 358 und 561 Mtoe liegen (Mohr 2011), um die prognostizierte Gasnachfrage von 455 bis 658 Mtoe zu decken. Wichtige Faktoren dieser Prognosen sind die Entwicklung des Wirtschaftswachstums und der fossilen Brennstoffpreise, aber auch die Energie- und Klimapolitik und Technologieentwicklungen. Im Jahr 2012 lag der Gasverbrauch der EU bei 399,5 Mtoe (BP 2013b).

Durch die weltweit steigende Erdgasnachfrage ist mit einer zunehmenden Konkurrenz auf den Gasmärkten zu rechnen. Diese zunehmende Konkurrenz ist eine der wichtigsten Herausforderungen der europäischen Gaswirtschaft in den nächsten Jahrzehnten (Hinterberger 2011). LNG wird dabei für die Versorgung Europas eine immer wichtigere Rolle spielen. Die E.ON Ruhrgas hat das bereits erkannt und plant einen intensiven Ausbau der LNG Beschaffungsaktivitäten sowohl im kurz-, mittel- als auch im langfristigen Bereich (E.ON 2011). So hat die E.ON z.B. einen Mittelfristvertrag (5 Jahre) über die Lieferung von LNG aus Katar zum Rotterdamer Regasifizierungsterminal GATE unterzeichnet. Ab 2014 sollen bis zu 10 Mrd. m³ in diesem Zeitraum geliefert werden (E.ON 2013). Ebenso wurde ein Liefervertrag mit dem kanadischen Unternehmen Pieridae Energy abgeschlossen. Ab 2020 bezieht E.ON damit rund 6,5 Mrd. m³ LNG jährlich aus Kanada. Der E.ON-Sprecher nannte den Vertrag einen "Meilenstein in der Diversifizierung" des Unternehmens (manager magazin online 2013).

2.2 Europäischer LNG Markt

Ab dem zweiten Quartal 2011 sind die LNG Importe in die EU gefallen. Auch im Jahr 2012 setzte sich dieser Trend fort (-31 % im Vergleich zum Jahr 2011). Insgesamt wurden im Jahr 2012 57,6 Mtoe in die EU importiert, wobei Spanien (19,6 Mtoe), gefolgt von Großbritannien (14 Mtoe) und Frankreich (9,7 Mtoe) die größten Importeure waren (Robin und Demoury 2012, Koyama 2013, IGU 2013). Einerseits steht hinter diesem erheblichen Rückgang der europäischen LNG Nachfrage eine Gesamtenergiebedarfsdepression inmitten der Wirtschaftskrise, andererseits war der Zustrom billiger Kohle, kombiniert mit niedrigen Kohlendioxidpreisen sowie die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien dafür verantwortlich (Koyama 2013). 20 Importterminals waren zu Jahresbeginn 2013 in der EU in Betrieb (GLE 2013, Global LNG Limited 2013, Prieto 2013) und die Regasifizierungs- und Speicherkapazitäten steigen weiter. Derzeit befinden sich drei (jeweils eines in Spanien, Frankreich und Italien) Terminals im Bau (IEA 2012, Global LNG Limited 2013).

Bezüglich der Preislage ist zu erwähnen, dass es innerhalb der EU große Preisunterschiede bei LNG gibt. Diese ergeben sich einerseits durch den Unterschied zwischen meist langfristigen Verträgen mit Ölpreisbindung sowie hub-basierten Verträgen und andererseits aus der Nicht-Existenz eines weltweiten einheitlichen Gasmarkts. In den ersten vier Monaten des Jahres 2013 lag der durchschnittliche Monatspreis zwischen 25 und 35 €/mWh (European Commission 2013c).

2.3 Österreichischer Gasmarkt

In Österreich gilt Erdgas als unverzichtbare Säule der heimischen Energieversorgung. Seit 1970 hat sich die Erdgasnachfrage auf etwa das 3,5-fache erhöht. Der Bedarf lag im Durchschnitt der letzten fünf Jahre bei 8,1 Mtoe jährlich (FGW 2012, BMWFJ 2013). Dabei trug die heimische Förderung im Jahr 2012 19 % zur Erdgasaufbringung bei. Die

verbleibenden 81 % wurden zu 70 % durch Importe aus GUS-Ländern und zu 30 % aus anderen Ländern (z.B. Norwegen) gedeckt (FGW 2012).

In Österreich ist LNG bisher noch sehr unbedeutend. Da es in den Eckpunkten der österreichischen Energieversorgung aber heißt:

„...müssen für Projekte, die zur Steigerung der österreichischen Versorgungssicherheit beitragen, entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dazu zählen Projekte zur Sicherung der österreichischen Öl- und Gasproduktion, Projekte zur Diversifikation von Importrouten und Quellen wie der Bau der Nabucco-Pipeline, der South Stream Pipeline und die Ermöglichung von Flussumkehr in den Erdgastransitsystemen, die Anbindung an LNG-Terminals, sowie der Ausbau von Erdgasspeichern“ (BMWfJ und BMLFUW 2010, S.15)

sollte LNG auch für Österreich bald eine Rolle spielen. Durch das europäische Projekt „LNG Masterplan Rhein-Main-Donau“ soll diese Entwicklung vorangetrieben werden. Das Projekt befasst sich mit der Implementierung von LNG als Treibstoff und Transportgut für die Donauschifffahrt und entwickelt einen Masterplan der dazu notwendigen Implementierungsschritte. Daneben soll die Einbindung von Industriepartnern die Nutzung von LNG als Energieträger für industrielle Anwendungen vorantreiben. Das Projekt besteht aus einer Reihe von Machbarkeitsstudien, technischen Konzepten und Versuchen sowie Pilotanwendungen für Schiffe und Terminalinfrastruktur. Es handelt sich um ein internationales Projekt an dem 33 Unternehmen und Institutionen aus 12 EU-Mitgliedsstaaten beteiligt sind (Seitz, 2013).

2.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Treiber für den Einsatz von LNG als Treibstoff sind einerseits die Unabhängigkeit von Öl und niedrigere Kraftstoffkosten, andererseits gewinnt LNG aber auch durch immer strenger werdende Emissionsregelungen an Bedeutung. Dies gilt sowohl für den Binnenschiffsverkehr als auch für den Schwerverkehr. Im Vergleich zu Diesel werden bei der Verwendung von LNG SO_x Emissionen und Feinstaub um fast 100 %, NO_x Emissionen um ca. 80-90 % und der CO₂ Ausstoß um fast 20 % reduziert (Kumar et al. 2011, Baumann et al. 2013).

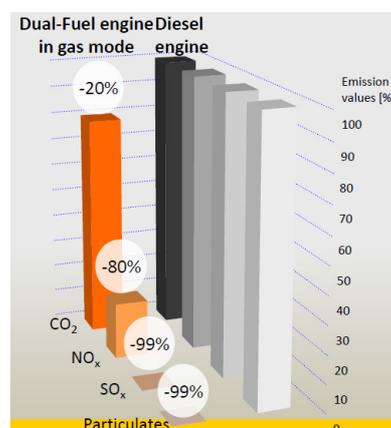


Abbildung 1: Reduzierung der Emissionen eines dual-fuel Motors im Gasbetrieb im Vergleich zu einem Dieselmotor

Quelle: Baumann et al. 2013

Seit 2011 gilt die Richtlinie 2009/30/EG, mit welcher die maximalen Schwefelgehalte aller Kraftstoffe der Binnenschifffahrt nur noch 10 ppm betragen dürfen (Schweighofer 2010). Für Motoren von Binnenschiffen gelten derzeit die in der Richtlinie 2004/26/EG festgelegten Standards. Diese Emissionslimits sind mit 5 g/kWh CO, zwischen 7,2 und 11 g/kWh für NO_x und HC sowie zwischen 0,2 und 0,5 g/kWh für PM, je nach Größe des Zylinders bzw. des Hubraums, definiert (European Commission 2013a). Bis 2016 sollen diese Grenzwerte nochmals verschärft werden (Pauli und Schweighofer 2008).

Für schwere Nutzfahrzeuge hingegen ist die derzeit geltende Rechtsvorschrift die Richtlinie 2005/78/EG. Dieses Gesetz legt die Abgasnorm Euro V, welche seit Oktober 2008 gültig ist, fest (Lindqvist 2012). Die Euro V enthält dabei folgende Abgasnormen: 2 g/kWh NO_x, 0,46 g/kWh HC, 1,5 g/kWh CO und 0,02 g/kWh PM (Schweighofer und Seiwert 2007). Im Jahr 2009 wurde die jüngste Gesetzgebung (595/2009) verabschiedet. Diese Richtlinie enthält Euro VI Normen, die ab Januar 2014 für alle neuen Lkw gelten. Diese strengeren Regelungen (0,4 g/kWh NO_x, 0,01 g/kWh PM) sollen zu einer Verringerung von 80 % NO_x und 66 % PM im Vergleich zu Euro V Grenzwerten führen. Die Emissionsgrenzwerte für Kohlenwasserstoffe (HC) werden ebenfalls auf 0,13 g/kWh herunter gesetzt (Lindqvist 2012). Um diese Rechtsvorschriften einzuhalten, werden immer aufwendigere und kompliziertere (damit auch teurere) Filtertechniken notwendig. Bei der Verwendung von LNG als Treibstoff reicht ein einfacher Drei-Wege-Katalysator bzw. Diesel-Partikelfilter und eine selektive katalytische Reduktion aus, um Abgasnormen zu erreichen (Deal 2012).

2.5 Einsatzmöglichkeiten

Neben dem Einsatz von LNG als Brennstoff für Schiffe, sowie für den Scherverkehr kann LNG auch im Kraftwerksbereich und bei der Wärmeerzeugung genutzt werden. Dabei ist die Entwicklung der „small scale LNG Belieferung“ wichtig. Dazu kann LNG in kleinere Schiffe umgeladen werden, welche dieses dann dezentral über die existierende Transportinfrastruktur verteilen können, zum Beispiel mit Binnenschiffen, Tankwaggons oder Tankwagen. Satellitenanlagen (zur LNG Speicherung) können als „Hub“ in dieser Transportlogistik fungieren.

Die Nutzung der Abwärme der Kraftwerke zur Regasifizierung des LNG könnte ein positiver Nebeneffekt sein, womit die Wirtschaftlichkeit der Kraftwerke weiter erhöht werden kann. Ebenso möglich wäre die Nutzung zu Kühlzwecken, um vielleicht sogar auf die Entnahme von Flusswasser und die damit verbundenen negativen Implikationen (Erhitzung der Gewässer im Sommer, sowie damit einhergehende Sauerstoffarmut) zu verzichten (AEU 2013).

2.5.1 Lagerung und Einspeisung

LNG kann in großen Lagertanks, welche ein Volumen zwischen 30.000 m³ und 200.000 m³ besitzen, bei atmosphärischem Druck gespeichert werden (Näslund 2012). Im „small scale Bereich“ sind aber vor allem zylinderförmige Tanks (auch bullet tanks genannt) mit Volumen bis zu 1.000 m³ relevant. Diese Tanks halten einem Druckanstieg von bis zu 15 bar stand (Suvisaari 2012, Fahl et al. 2009). Der Vorteil einer solchen Druckfestigkeit ist, dass das Boil-off Gas (verdampftes LNG in den Tanks), im Gegensatz zu den atmosphärischen Drucktanks, welche über ein Rückverflüssigungssystem verfügen, im Tank verbleiben kann. Die Zeitdauer, in welcher das Boil-off Gas im Tank gelagert werden kann, hängt einerseits

von den Tankspezifikationen ab und andererseits wie voll der Behälter ist. Je weniger LNG im Tank, desto mehr Platz gibt es für den Dampf. Einige Hersteller behaupten, in ihren Tanks besteht die Notwendigkeit zur Entlüftung erst nach drei Wochen (Suvisaari 2012). Das Boil-off Gas kann jedoch auch abgeführt werden und zweckmäßigerweise dazu genutzt werden, einen Teil der notwendigen Wärme für die Wiederverdampfung bereitzustellen (Fahl et al. 2009). 0,2 % Boil-off pro Tag ist dabei ein akzeptables Niveau. In neuen Tanks kann sogar ein Boil-off von 0,1 % pro Tag erreicht werden (Hansson 2008). Durch technologischen Fortschritt beim Tankbau minimieren sich die Nachteile von LNG gegenüber anderen Energieträgern wegen des Boil-off Gases zusehends.

In den Satellitenanlagen werden oft mehrere zylinderförmige Tanks nebeneinander angeordnet, um das gewünschte Gesamtvolumen zu erhalten. Die Tanks können dabei vertikal oder horizontal aufgestellt werden. Versorgt werden die Anlagen mit LNG durch kleine Tankschiffe (z.B. in Norwegen), Tanklaster (z.B. in Deutschland, Spanien) oder Eisenbahnkesselwagen (z.B. in Japan: Fahl et al. 2009). Das LNG wird dabei mittels Pumpe oder durch Druckentladung in den vakuumisolierten Druck-Lagertank gefüllt (Chrz und Emmer 2007). Satellitenanlagen arbeiten typischerweise vollautomatisch mit einem Steuer- und Notfall-System, ohne Bedienpersonal. Das Nachfüllen der Tanks wird nur durch den Lkw Lenker oder durch die Schiffsscrew betrieben. Das LNG kann verdampft, odorisiert und nach einer geringen Druckreduktion in ein Rohrleitungsnetz eingespeist werden.

Ein Beispiel einer Satellitenstation (Abbildung 2) ist die Anlage Sunndalsora in Norwegen mit drei Tanks von jeweils 500 m³. Zurzeit sind in Norwegen mehr als 30 Satellitenstationen in Betrieb, außerdem zehn in Polen, über 60 in der Türkei und mehr als 300 in Spanien (Chrz und Emmer 2007, Nogueras 2013).



Abbildung 2: LNG Satellitenanlage in Sunndalsora (Norwegen)
Quelle: Chart 2006

2.5.2 Treibstoff LKW

Obwohl die Verwendung von LNG als Treibstoff für den Schwerverkehr ständig häufiger wird, ist die fehlende Infrastruktur noch immer die größte Herausforderung für die Verbreitung von LNG als Treibstoff. 38 Tankstellen gibt es derzeit in Europa, welche ca. 200 Fahrzeuge mit LNG versorgen (Lage 2012). Neben dem Mangel an Tankstellen stehen aber auch die geringe Akzeptanz bzw. das Unwissen seitens der Verbraucher und der hohe Preis der Fahrzeuge einer großflächigen Einführung entgegen (Amt für Veröffentlichungen

2013). Die Kosten eines Trucks könnten aber mit einem Roll-out der Infrastruktur und der Akzeptanz von LNG als bevorzugter Treibstoff über die Zeit gesenkt werden, sodass sie mit Ende dieses Jahrzehnts konkurrenzfähig sind. Derzeit ist ein neuer LNG Lkw noch rund 45.000-55.000 € teurer als ein Diesel-Lkw (Abbildung 3). Diese Mehrkosten sind durch höhere Materialkosten, höhere Sicherheitsanforderungen und einer geringen Produktionszahl zu erklären sind. Die Nachrüstung von einem Diesel-Lkw kostet mindestens 15.000-20.000 €, bedingt vor allem durch den teuren LNG Tank, welcher montiert werden muss (PwC 2013).

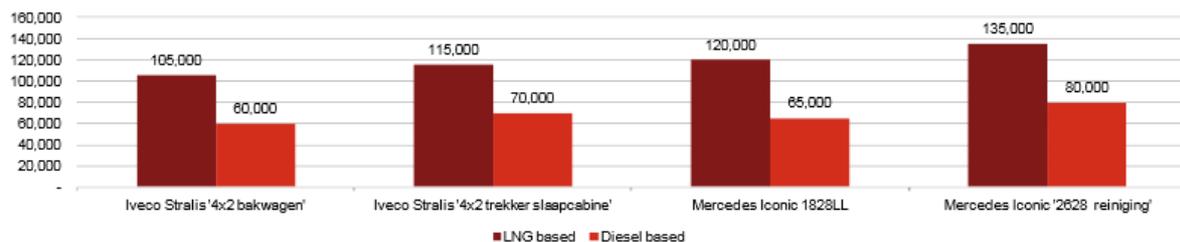


Abbildung 3: Kaufpreis in € von LNG vs. Diesel-Lkw pro Typ
Quelle: PwC 2013

Trotz teurerer Anschaffungskosten bietet LNG als Kraftstoff einige Vorteile. Die beiden wichtigsten sind die herausragenden Potentiale bezüglich Kraftstoffkosten und die Umweltfreundlichkeit. Ein weiterer Vorteil ist das leisere Arbeitsgeräusch. Dadurch können LNG Trucks auch zu jenen Tagesrandzeiten in Innenstädten fahren, die für andere gesperrt sind (Schmidt 2013, Chrz und Emmer 2007). Ein Nachteil von LNG ist unter anderem die Notwendigkeit einer ziemlich konsistenten Fahrzeugnutzung, denn das LNG im Tank wird trotz Isolierung wärmer. Dadurch verdampft ein Teil des LNG und der Druck im Tank steigt an. Wird dieser Druck nicht verringert (durch das Fahren des Fahrzeuges) erreicht er schließlich ein Niveau, das das erste Überdruckventil öffnet um einen Teil des Dampfes aus dem Tank zu entladen. Das Zeitintervall zwischen LNG Betankung und Tankentlüftung wird als Haltezeit bezeichnet. Typische Haltezeiten sind in etwa eine Woche, wenn das Fahrzeug nicht gefahren wird (America's Natural Gas Alliance 2013). Reichweiten von mit Dieselmotoren betriebenen Lkw liegen bei ca. 1.900 km, die von LNG angetriebenen Lkw bei 600 bis 1.000 km. Dadurch müssen LNG Fahrzeuge öfter betankt werden und der Tankvorgang beansprucht zusätzliche Zeit (Willms 2013, PwC 2013). Spezialhandschuhe und Augenschutz sind an der LNG Zapfsäule obligatorisch (Willms 2013). Aufgrund der aktuell begrenzten Verfügbarkeit einer LNG Infrastruktur könnten auch zusätzliche Kilometer anfallen, um zur Tankstelle zu gelangen (PwC 2013). Außerdem sollte es bei den Betankungskupplungen Standards geben, um alle LNG Fahrzeuge betanken zu können (America's Natural Gas Alliance 2013), denn einerseits wird z.B. von der Firma Chart ein Einzelschlauch zur Füllung mit einem Arbeitsdruck von sieben bis zehn bar angeboten, andererseits wird z.B. von der Firma Indox ein Doppelschlauch zum Befüllen und Entlüften mit einem Arbeitsdruck von 18 bar hergestellt. Dies erschwert die Möglichkeit, ein Netzwerk von harmonisierten LNG Tankstellen zu entwickeln (Lage 2012).

Trotz mancher Barrieren gibt es jedoch erfolgreiche Pilotanwendungen in Europa, und auch in Zentraleuropa. Eine davon ist die Verwendung von LNG in den kommunalen Nahverkehrsbussen von Krakau. Das Problem der Abgasemissionen ist in Krakau besonders akut. Um eine Verbesserung des Lebensstandards in der Stadt zu ermöglichen, hat die VTC (Vehicle Transport Company) im Rahmen eines Projektes 15 Gelenkbusse SM18 LNG und 16 Standardbusse SM12 LNG gekauft. Die Busse wurden von dem polnischen Unternehmen Solbus geliefert und mit Cummins-Motoren aus den USA ausgestattet. Der Bau der LNG Tankstelle wurde von der Firma KRI SA umgesetzt. (Cebrat und Anacker 2010).

Ebenso setzt das niederländische Unternehmen Vos Logistiks mit bereits 14 LNG Lkw und einer Tankstelle auf eine Verbesserung der CO₂ Bilanz. Weitere 50 bis 100 LNG Lkw sollen folgen (Verhoeven 2012, Verhoeven 2010).

In Deutschland wurden LNG Fahrzeuge durch das Unternehmen Hellmann Worldwide Logistics einem vierwöchigen Praxistest unterzogen. Nun sind die ersten LNG Fahrzeuge für den Fuhrpark bestellt. Eine Genehmigung für die Tankstelle liegt auch schon vor. (Huelemeier 2013).

Um das Thema LNG fachlich voranzubringen, politisch zu platzieren und rechtlich abzusichern, gibt es viele Projekte und Aktivitäten. Das „LNG Blue Korridor Projekt“ ist ein mit acht Millionen Euro gefördertes Projekt der EU (Call: FP7-TRANSPORT-2012-MOVE-1) welches das Wissen und das Bewusstsein für LNG als alternativen Kraftstoff für den Mittel- und Langstreckenstraßengüterverkehr verbessern soll. Den Kern des Projektes bilden vier Korridore (West-Ost, Süd-Nord, Atlantik und Mediterran), entlang derer 14 neue LNG bzw. LCNG Stationen aufgebaut werden, um damit rund 100 Lkw zu betreiben. (Denys 2013, Blue Corridor 2012). Das „BiME (Liquid biomethane and methane diesel technology in trucks)“ ist ein nationales LNG Korridor-Projekt in Schweden, das Ende 2013 ausgelaufen ist. Ziel dieses Projektes waren 100 LNG betriebene schwere Langstreckennutzfahrzeuge und der Bau von mindestens drei Tankstellen (Göteborg, Stockholm, Malmö; Larsson 2012, Persson 2012). Unter dem Namen „Green Deals“ startete die niederländische Regierung 2011 ein Programm für die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Regierung um Emissionsziele zu erreichen. Mehr als 150 sogenannte „Green Deals“ wurden unterzeichnet. Einer davon ist der Green Deal „Rhein und Wattenmeer“. Ziel des Projektes sind jeweils 50 LNG betriebene Binnen- bzw. Seeschiffe und 500 LNG betriebene Lkw bis 2015 (Rotterdam Climate Initiative 2013, Kager 2013, Cnubben 2013).

2.5.3 Treibstoff Binnenschiff

LNG wird schon lange als Kraftstoff in LNG Tankschiffen verwendet. Vor allem das Boil-off Gas wurde in dual-fuel Motoren eingesetzt. Im letzten Jahrzehnt ist der LNG betriebene Schiffsmarkt in Europa gewachsen. Dieses Wachstum ist vor allem auf die strengen Umweltauflagen in den Küstengebieten zurückzuführen (Herdzik 2011). Die LNG Antriebstechnik in Schiffen ist ausgereift und bewährt, jedoch ist der Mangel an einem Vertriebsnetz trotz allem derzeit noch eine große Herausforderung. Oft werden daher dual-fuel oder three-fuel Motoren eingesetzt, welche bei Gasmangel auch mit Schweröl oder Schiffsdiesel betrieben werden können (Herdzik 2011). Die Investitionskosten bei neuen Schiffen sind ca. 10-20 % höher im Vergleich zu herkömmlichen Antrieben. Diese Investition rentiert sich durch einen geringeren Treibstoffverbrauch, einen günstigeren Kraftstoff und die

reduzierten Wartungskosten über den gesamten Lebenszyklus eines Schiffes (Bagniewski 2010, Würsig 2012, Tellkamp 2011). Die Angaben reichen dabei von nahezu gleichen bis hin zu 50 % geringeren Wartungskosten (Meling 2012, CNSS 2011). In einer Untersuchung von 33 Studien wurden die Wartungskosten bezüglich LNG als positiv bewertet (Wang und Notteboom 2013).

Trotz einiger Nachteile, wie z.B. der fehlenden Betankungsinfrastruktur, höheren Schiffsanschaffungskosten oder des großen Platzbedarfes der Tanks, sowie Ungewissheiten bezüglich LNG, waren 2012 27 LNG betriebene Schiffe weltweit in Betrieb (Robin und Demoury 2012). Die meisten dieser Schiffe, darunter Fähren, Chemietanker, Patrouillenschiffe und Versorgungsschiffe für Plattformen, sind in Norwegen unterwegs, wo sie an vier Bunkerstationen betankt werden können (Karlsen 2012, Marhaug 2012, Koslowski 2013). Um das Thema LNG in der Schifffahrt voranzutreiben, beschäftigen sich viele laufende Projekte wie z.B. das „North European LNG Infrastructure Projekt“ oder das „Clean Baltic Sea Shipping Projekt“ mit dem Thema. Da diese Projekte jedoch alle außerhalb Zentraleuropas liegen, wird nicht näher darauf eingegangen. Wichtiger hier ist das Thema der Binnenschifffahrt.

Für Binnenschiffe ist LNG als Treibstoff in Europa zurzeit noch verboten, denn erlaubt sind nur Treibstoffe mit einem Flammpunkt höher als 55 °C. Der Flammpunkt von LNG liegt bei ca. -187 bis -135 °C (Kumar et al. 2011, EnCana Corporation 2011). Trotzdem gibt es bereits zwei erfolgreiche Beispiele von Binnenschiffen, welche mit einer Ausnahmegenehmigung fahren. Einerseits die Argonon, welche mit einem Gemisch aus 80 % Flüssigerdgas und 20 % Diesel betrieben wird (Argonon Shipping B.V. 2011) und andererseits die Greenstream. Beide Schiffe sind zwischen Rotterdam und Basel unterwegs. Bald soll auch das Schwesterschiff der Greenstream, die Greenrhine, ein mit 100 % LNG betriebenes Tankschiff der Reederei Interstream Barging in Betrieb gehen (ZKR 2013). Die einzige Tankstelle für LNG Binnenschiffe gibt es im Rotterdamer Hafen (Kok 2013). Mit dem Vorschlag einer Richtlinie über die Einführung einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe setzt auch die europäische Kommission auf LNG. In allen See- und Binnenhäfen entlang des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-T) sollen LNG Bunkerstationen errichtet werden. Im Rahmen des TEN-T Call 2012 werden sieben LNG Projekte finanziell unterstützt. Ein Projekt ist der bereits erwähnte „LNG Masterplan Rhein-Main-Donau“ (NGVA Europe 2013).

2.5.4 biologisches Flüssiggas

Biologisches Flüssiggas (Liquid Bio Gas - LBG) kann aus Flüssig- und Festmist, aus Klärschlamm, aus den organischen Bestandteilen im Müll, aus Reststoffen der Pflanzenproduktion, aus Haushalts- und Speiseabfällen, aus kommunalem und industriellem Abwasser und vielen weiteren Möglichkeiten gewonnen werden. Biogas besteht zu 55-65 % aus CH₄, zu 35-45 % aus CO₂, sowie aus geringen Mengen von Schwefelwasserstoff und Wasserdampf. Um Biogas als Kraftstoff zu verwenden, muss dieses zuerst gereinigt bzw. aufgewertet werden. Reinigung bedeutet dabei, dass Verunreinigungen aus dem Gasstrom entfernt werden. Dabei gibt es zahlreiche Technologien für die verschiedensten Verunreinigungen. Bei der Aufwertung, auch Methanreicherung genannt, wird der Energieinhalt durch Entfernen von CO₂ angehoben. Verschiedenste Technologien können zum Einsatz kommen. Die häufigsten Lösungen dabei sind: Druckwechseladsorption (Pressure Swing Adsorption), Absorption und Membrantrennung. Nachdem die Technik für

LBG verfügbar ist, wird die Frage der Wirtschaftlichkeit über den Erfolg am Markt entscheiden. Einige wenige Beispiele von LBG Projekten existieren in Europa. Eines ist das Biomethan Projekt der Albury Deponie in Surrey, Großbritannien. Gasrec produziert dort seit Juni 2008 zusammen mit BOC und SITA UK LBG aus Deponiegas. Die Anlage produziert rund sieben Mio. m³ pro Jahr. Dies ist genug, um 150 Lkw zu betreiben (Johansson 2008). Ein weiteres Beispiel ist die Biogas Verflüssigungsanlage in Sundsvall (Skandinavien), welche Biogas aus der kommunalen Kläranlage mit einer jährlichen Produktionskapazität von rund 600.000 m³ Flüssigbiogas produziert. Die Hauptmotivation hinter dieser Investition liegt in der Reduzierung der CO₂ Emissionen. Ein weiteres Ziel ist die Erprobung und Entwicklung neuer Technologien, die zu wertvollen Einsichten führen und anderen Gemeinden in ihren Entscheidungen helfen können. Die Gemeinde Sundsvall plant bereits die LBG Produktion zu erweitern, um auch biologische Gemeindeabfälle, sowie Abfälle aus der lokalen Zellstoff- und Papierindustrie, zu nutzen (Cebrat und Anacker 2010). Seit dem Sommer 2012 ist auch die Biogas Anlage in Lidköping, Schweden in Betrieb. Die Biogasproduktion basiert auf lokalen pflanzlichen Abfällen aus dem Getreidehandel und der Lebensmittelproduktion. Die Kapazität beträgt 26,6 m³ LBG/Tag, wird derzeit auf rund 70 % betrieben. Das verflüssigte Biogas wird in einem 115 m³ Behälter gespeichert und jeden zweiten Tag mit isolierten 50 m³ Trailern zu einer Gastankstelle nach Göteborg transportiert. Rund 30 % des Gases der Biogasanlage werden zu Compressed Natural Gas (CNG). Da sich die Nachfrage nach LNG in Schweden aber steigert, wird sich die CNG Produktion in Lidköping verringern (Lidköping biogas 2013).

Gebaut wird derzeit eine neue Biogasverflüssigungsanlage nordöstlich von Oslo. Aus 50.000 t Speiseresten pro Jahr sollen rund 14.000 m³ Gas pro Tag erzeugt werden. Das erzeugte LBG soll als Kraftstoff für Busse in Oslo verwendet werden (McCormack und Mayer 2012). Im Herbst 2012 startete auch die Biogasproduktion an der Deponie Schoterog und der Kläranlage Rijnland in den Niederlanden. Dabei wird zurzeit der größte Teil des Erdgases in das öffentliche Gasnetz eingespeist. Die Verflüssigungsanlage befindet sich noch in der Testphase, aber wenn die Tests erfolgreich sind, wird die Anlage eine Kapazität von 500.000 kg LBG pro Jahr haben, welches für small scale Anwendungen verwendet werden kann (NGGM 2012, PwC 2013).

3 Fazit und Ausblick

LNG wird den Gasmarkt weiter globalisieren und den Transport von Erdgas flexibilisieren. So werden immer mehr Gasquellen zugänglich. Damit auch Zentraleuropa von dieser Entwicklung profitieren kann, muss die Infrastruktur in allen Bereichen der Versorgungskette aufgebaut werden. Die Technologien dazu sind verfügbar, jedoch bietet die Thematik genug Raum für Forschungen und einige noch offene Fragen müssen geklärt werden. Wichtig ist auch eine Festlegung einheitlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen und Sicherheitsstandards für den Umgang mit LNG. Neue Emissionskontrollvorschriften machen LNG zu einer zunehmend attraktiven Option und die Verwendung von LNG könnte eine wichtige Weichenstellung für die weitere Erforschung der Nutzung von und auf dem Übergang zum Wasserstoff sein.

4 Literaturverzeichnis

- AEU (2013): Unsere Lösungsansätze. Online verfügbar unter <http://aeu-gmbh.com/Dienstleistungen.html>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- America's Natural Gas Alliance (2013): U.S. and Canadian Natural Gas Vehicle Market Analysis: Liquefied Natural Gas Infrastructure. America's Natural Gas Alliance. Online verfügbar unter http://www.anga.us/media/content/F7D3861D-9ADE-7964-0C27B6F29D0A662B/files/11_1803_anga_module5_cng_dd10.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- Amt für Veröffentlichungen (2013): ARBEITSUNTERLAGE DER KOMMISSIONSDIENSTSTELLEN ZUSAMMENFASSUNG DER FOLGENABSCHÄTZUNG Begleitunterlage zum Vorschlag für eine Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe /* SWD/2013/06 final */. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2013:0006:FIN:DE:HTML>, zuletzt geprüft am 24.10.2013.
- Argonon Shipping B.V. (2011): Argonon, sustainable ship. First inland barge on dual fuel. Online verfügbar unter http://www.deenshipping.com/files/documents/Argonon%20PressMap_LRES.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Bagniewski, Michal (2010): LNG fuel for ships. A chance or a must? DNV, 4. Online verfügbar unter http://www.dnv.pl/Binaries/LNG%20fuel%20for%20ships_tcm144-520589.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2013.
- Baumann, Katja; Kruyt, Bram; Van der Burg, Leo (2013): LNG-activities in Dutch-German cooperation. (MariTIM, LNG-Initiative Nordwest, WattenStart). Small Scale LNG Forum. MARIKO GmbH. Fleming Europe. Rotterdam, 2013.
- Blue Corridor (2012): LNG Blue Corridors. Online verfügbar unter <http://www.lngbluecorridors.eu/>, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- BMWFJ (2013): Erste vorläufige Daten zur Entwicklung der Energiewirtschaft im Jahr 2012. Online verfügbar unter <http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/PublishingImages/vorlDatenzurEntwicklung2012.pdf>, zuletzt geprüft am 16.09.2013.
- BMWFJ; BMLFUW (2010): Eckpunkte der Energiestrategie Österreich. Online verfügbar unter http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/PKPapier/eckpunkte_energiestrategie_100311.pdf, zuletzt geprüft am 12.09.2013.
- BP (2013a): BP Energy Outlook 2030. Online verfügbar unter http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/BP_World_Energy_Outlook_booklet_2013.pdf, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- BP (2013b): BP Statistical Review of World Energy 2013. Online verfügbar unter http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Cebat, Gerfried; Anacker, Claudia (2010): Documentation and Evaluation of International Case Studies. Compiled within the European research project. Deriving effective least-cost policy strategies for alternative. Hg. v. Forschungsgesellschaft Mobilität – Austrian Mobility Research. Online verfügbar unter http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.alternative.org%2Findex.php%2Fpublic-documents%2Fdoc_download%2F357-d6casestudiesfv&ei=SDRyUtu2K8OBtAbnk4GoDQ&usq=AFQjCNF8KrOxEC_K2lz2_RCEuOBbVIXvuQ&bvm=bv.55819444.d.Yms, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Chart (2006): Chart Industires: Technologie bringt reine Energie zum Anwender. Online verfügbar unter www.chart-ferox.com, zuletzt geprüft am 28.12.2013.
- Chrz, Vaclav; Emmer, Claus (2007): LNG directly to customer stations. 15th International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas. Chart Ferox. Barcelona, 2007. Online verfügbar unter http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2007/fscommand/PO_12_Chrz_s.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Cnubben, Patrick (2013): TaskForce LNG Noord-Nederland. The Northern interregional approach. Energy Valley Foundation. Fleming Europe. Rotterdam, 2013.
- CNSS (2011): A review of present technological solutions for clean shipping. Online verfügbar unter <http://cnss.no/wp-content/uploads/2011/10/Summary-brochure10.pdf>, zuletzt geprüft am 16.12.2013.
- Deal, Anna Lee (2012): What Set of Conditions Would Make the Business Case to Convert Heavy Trucks to Natural Gas? – a Case Study. Hg. v. National Energy Policy Institute (NEPI). Online verfügbar unter http://nepinstitute.org/wp-content/uploads/2012/12/Natural_Gas_for_Heavy_Trucks_201211051.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2013.
- Denys, Tobias (2013): Alternative fuels for road transport. Workshop: Mobility: Technology Priorities and Strategic Urban Planning. Finnland, 2013. Online verfügbar unter <http://www.iea.org/media/workshops/2013/egrdrmobility/TobiasDenysAlternativefuelsforroadtransport.pdf>, zuletzt geprüft am 29.08.2013.

13. Symposium Energieinnovation, 12.-14.2.2014, Graz/Austria

- E.ON (2011): LNG-Terminal Gate in Rotterdam nimmt offiziell Betrieb auf. Online verfügbar unter <http://www.eon.com/de/presse/news/pressemitteilungen/2011/9/23/lng-terminal-gate-in-rotterdam-nimmt-offiziell-betrieb-auf.html>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- E.ON (2013): E.ON unterzeichnet Mittelfrist-LNG-Liefervertrag mit Qatargas. Online verfügbar unter <http://www.eon.com/de/presse/news/pressemitteilungen/2013/10/9/eon-unterzeichnet-mittelfrist-lng-liefervertrag-mit-qatargas.html>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- EnCana Corporation (2011): Material Safety Data Sheet. Liquid Natural Gas Fuel. Online verfügbar unter <http://www.encana.com/pdf/business/contractors/msds/lng.pdf>, zuletzt geprüft am 29.10.2013.
- European Commission (2013a): Directives on emissions from non-road mobile machinery. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/documents/legislation/emissions-non-road/>, zuletzt geprüft am 24.10.2013.
- European Commission (2013b): EU-27 imports of natural gas - percentage of extra-EU imports by country of origin. Online verfügbar unter http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:EU-27_imports_of_natural_gas_-_percentage_of_extra-EU_imports_by_country_of_origin,_2012.png&filetimestamp=20130529121346, zuletzt geprüft am 22.10.2013.
- European Commission (2013c): Quaterly Report on European Gas Markets. Market Observatory for Energy, Second quarter 2013. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/observatory/gas/doc/20130814_q2_quarterly_report_on_european_gas_markets.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2013.
- Fahl, Ulrich; Härdtlein, Marlies; Özdemir, Enver Doruk; Rath-Nagel, Stefan; Remme, Uwe; Eltrop, Ludger (2009): Möglichkeiten der LNG-Nutzung in Baden-Württemberg. Zentrum für Energieforschung Stuttgart e.V.; Gasversorgung Süddeutschland GmbH (Stuttgart). Online verfügbar unter http://www.zfes.uni-stuttgart.de/deutsch/downloads/LNG_IN_BW_090313.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- FGW (2012): Erdgas in Österreich. Zahlenspiegel 2012. Hg. v. Fachverband der Gas - und Wärmeversorgungsunternehmungen. Wirtschaftskammer Österreich (WKO). Online verfügbar unter <http://www.gaswaerme.at/de/?uid=2619>, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- GLE (2013): Map of the small scale LNG infrastructure in Europe. GLE Small Scale LNG STUDY - Scope of work. Online verfügbar unter http://www.gie.eu/index.php/publications/gle/cat_view/3-gle-publications, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Global LNG Limited (2013): World's LNG Liquefaction Plants and Regasification Terminals. Online verfügbar unter <http://www.globallnginfo.com/World%20LNG%20Plants%20&%20Terminals.pdf>, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Groenendijk, Wim (2012): Securing gas supplies for Europe: Developing infrastructure for LNG. Gas LNG Europe (GLE). Online verfügbar unter <http://www.gie.eu.com/index.php/publications/gle>, zuletzt geprüft am 26.08.2013.
- Hansson, Jens (2008): LNG As an Alternative Energy Supply in Sweden. Online verfügbar unter <http://www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/Documents/Fuels%20and%20environment/SGC%20LNG%20As%20an%20Alternative.pdf>, zuletzt geprüft am 22.08.2013.
- Herdzik, Jerzy (2011): LNG as a Marine Fuel – Possibilities and Problems. Online verfügbar unter http://ilot.edu.pl/kones/2011/2_2011/2011_herdzik_lng_as_a_marine_fuel.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2013.
- Hinterberger, R. (2011): Visions- und Strategiepapier für ein Smart Gas Grid. Online verfügbar unter http://download.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/1157b_visionpapier.pdf, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- Huelemeyer, Daniel (2013): Alternative Antriebskonzepte - Feldversuch Liquid Natural Gas (LNG). Online verfügbar unter <http://www.wirtschaft-pro-klima.de/default.asp?Menue=597&Firma=2802013>, zuletzt geprüft am 17.12.2013.
- IEA (2012): Medium-Term Gas Market Report 2012. Market trends and projections to 2017. Paris. Online verfügbar unter http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MTGMR2012_web.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- IGU (2013): World LNG Report - 2013 Edition. Online verfügbar unter http://www.igu.org/gas-knowhow/publications/igu-publications/IGU_world_LNG_report_2013.pdf, zuletzt geprüft am 11.09.2013.
- Johansson, Nina (2008): Production of liquid biogas, LBG, with cryogenic and conventional upgrading technology. Description of systems and evaluations of energy balances. Masterarbeit. Lund University, Lund, Schweden. Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies.
- Kager, Piet (2013): Small Scale LNG. Current State of Play in Europe and Outlook for the next Decade. NV Nederlandse Gasunie. Online verfügbar unter http://www.gie.eu/conference/presented/2013/S4_03_Gasunie_PKager.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- Karlsen, Lasse (2012): Approval of Ships using LNG as fuel. Hg. v. Norwegian Maritime Authority. Online verfügbar unter http://norwegen.ahk.de/fileadmin/ahk_norwegen/Dokumente/Presentasjoner/lng/KARLSEN_How_do_authorities_approve_LNG_ships.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Kok, Janny (2013): LNG went Far East. Natural gas use has long way to flow. Online verfügbar unter http://media.veth.net/media/727-LNG_Special_Veth_-_No_1_MbH_Jan-Feb_2013.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2013.

- Koslowski, Claudia (2013): LNG bald die Nummer 1 unter den Schiffstreibstoffen? Online verfügbar unter http://www.vng.de/VNG-Internet/de/zz_Dokumente/medium_gas/medium_gas_2013_2.pdf, zuletzt geprüft am 28.10.2013.
- Koyama, Ken (2013): 2012 Global LNG Demand (Imports) Down 1.9 % to 236 Million Tonnes. Online verfügbar unter <https://eneken.ieej.or.jp/data/4851.pdf>, zuletzt geprüft am 31.10.2013.
- Kumar, Satish; Kwon, Hyouk-Tae; Choi, Kwang-Ho; Lim, Wonsub; Cho, Jae Hyun; Tak, Kyungjae; Moon, Il (2011): LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. In: *Applied Energy* (88), S. 4264–4273.
- Lage, Manuel (2012): The use of Natural Gas in the transportation Industry. European LNG Blue Corridors. NGVA Europe (Natural & bio Gas Vehicle Association). Lissabon, Spanien, 2012. Online verfügbar unter http://www.apvgn.pt/documentacao/lage_agn_out12.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2013.
- Larsson, Hans (2012): BiMe Trucks. Developing the Uptake of Liquid Biomethane in Heavy Duty Transport. Global Biomethane Conference. Business Region Göteborg. Brüssel, 2012. Online verfügbar unter http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/11/11-Hans-Larsson_Case-Study-BiMe-Trucks-Developing-the-Uptake-of-Liquid-Biomethane-in-Heavy-Duty-Transport.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- Lidköping biogas (2013): English project description of Lidköping Biogas. Online verfügbar unter <http://www.lidkopingsbiogas.se/eng/>, zuletzt geprüft am 17.12.2013.
- Lindqvist, Kajsa (2012): Emission standards for light and heavy road vehicles. Hg. v. Air Pollution & Climate Secretariat. Online verfügbar unter <http://www.airclim.org/sites/default/files/documents/Factsheet-emission-standards.pdf>, zuletzt geprüft am 23.10.2013.
- Manager Magazin Online (2013): Eon sucht sich Gaslieferanten neben Gazprom. Online verfügbar unter <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/energie/a-903552.html>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- Marhaug, Leiv Arne (2012): Small Scale LNG. Reduce Emissions - Expand Potential. Gasnor AS. Norwegian University of Science and Technology, 2012. Online verfügbar unter <http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/lysark/LysarkMarhaug2012.pdf>, zuletzt geprüft am 17.12.2013.
- Maynitskiy, Igor (2012): The Evolution of Small-Scale LNG Markets. The View from Gazprom Export. Small Scale LNG Forum. Gazprom. Fleming Europe. Istanbul, 2012.
- McCormack, Karina; Mayer, Christopher (2012): Hamworthy lands breakthrough liquefaction contract for biogas plant. Hg. v. Hamworthy. Online verfügbar unter <http://www.hamworthy.com/News-and-Events/News/Hamworthy-lands-breakthrough-liquefaction-contract-for-biogas-plant/>, zuletzt geprüft am 05.09.2013.
- Meling, Jan Fredrik (2012): LNG as fuel. Online verfügbar unter http://smm-hamburg.com/fileadmin/img/content/programme/downloads/programmpunkte_de/491_7341_4.%20meling.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2013.
- Mohr, Manuel (2011): Europe's Energy Future: Natural Gas Supply between Geopolitics and the Markets. Work package I The future role of natural gas - Trends and projections for demand and supply in 2030. Unter Mitarbeit von Katrin Böttger, Severin Fischer und Matthias Jopp. Institut für europäische Politik. Online verfügbar unter http://www.iep-berlin.de/fileadmin/website/09_Publikationen/Sonstige/Europe_s_Energy_Future_WPI_2011-1.pdf, zuletzt geprüft am 30.10.2013.
- Näslund, Mikael (2012): LNG - Status in Denmark. Technology and potential. Project report. Danish Gas Technology Centre. Online verfügbar unter http://www.dgc.eu/sites/default/files/filarkiv/documents/R1204_lng_status_dk.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2013.
- Natural Gas Europe (2012): Small Scale: Big Opportunities for LNG. Online verfügbar unter <http://www.naturalgaseurope.com/small-scale-lng-europe>, zuletzt geprüft am 27.09.2013.
- NGGM (2012): LBG production installation. Online verfügbar unter <http://www.nggm.com/nieuws/1/35/lbg-production-installation.html>, zuletzt geprüft am 29.10.2013.
- NGVA Europe (2013): European Commission selects 7 LNG projects as winners in TEN-T call 2012. Online verfügbar unter <http://www.ngvaeurope.eu/european-commission-selects-7-lng-projects-as-winners-in-ten-t-call-2012>, zuletzt geprüft am 19.11.2013.
- Nogueras, Fernando Impuesto (2013): LNG Trucking: A First Step to the Development of LNG for Fuel for Transportation. Small Scale LNG Forum. Enagas. Fleming Europe. Rotterdam, 2013.
- Pauli, Gernot; Schweighofer, Juha (2008): Abgasemissionen auf Binnenwasserstraßen. Online verfügbar unter http://www.donauschiffahrt.info/uploads/talks_downloads/Abgasemissionen_und_Binnenwasserstrassen.pdf, zuletzt geprüft am 23.10.2013.
- Persson, Ylva (2012): Corridor of liquefied biomethane for road transports. Final Conference Scandria. Malmö, Schweden, 2012. Online verfügbar unter http://www.scandriaproject.eu/templates/File/Final%20Conference/Presentations/13-06_Copenhagen-Malm%F6/ScandriaFC_13Malm%F6_Persson.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2013.

13. Symposium Energieinnovation, 12.-14.2.2014, Graz/Austria

Prieto, Rocio (2013): Accessing European LNG terminals. 23rd Madrid Forum. Council of European Energy Regulators (CEER). Madrid, 2013. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/gas/doc-23/13.02_mf23_presentation_by_ceer_-_accessing_european_lng_terminals_-_roocio_prieto.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2013.

PwC (2013): Ökonomische Auswirkungen von LNG im Transportbereich. Online verfügbar unter http://www.nationaalngplatform.nl/wp-content/uploads/PwC-Economic-impact-of-small-scale-LNG_STC.pdf, zuletzt geprüft am 14.10.2013.

Robin, Jean-Yves; Demoury, Vincent (2012): The LNG Industry in 2012. GIIGNL (International Group of Liquefied Natural Gas Importers). Online verfügbar unter http://www.giignl.org/sites/default/files/publication/giignl_the_lng_industry_2012.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2013.

Rotterdam Climate Initiative (2013): Introduction of LNG as transport fuel will generate billions of euros and thousands of jobs. Online verfügbar unter http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/en/english-2011-design/news?news_id=1154, zuletzt geprüft am 29.08.2013.

Schweighofer, Juha (2010): Cleanest Ship: Theoretische Grundlagen, Praxisbeispiele. via donau – Österreichische Wasserstraßen GmbH (Wien). St. Pölten, 2010. Online verfügbar unter <http://www.wko.at/wknoe/verkehr/oewsv/symposium2010/schweighofer.pdf>, zuletzt geprüft am 23.10.2013.

Schweighofer, Juha; Seiwert, Petra (2007): Environmental Performance of Inland Navigation. Online verfügbar unter http://www.donauschiffahrt.info/fileadmin/group_upload/5/Newsroom/2007/paper_EIWNC_June2007.pdf, zuletzt geprüft am 23.10.2013.

Seitz, Manfred (2013): LNG as fuel for inland vessels and as a cargo on the rhine-main-danube. Small Scale LNG Forum. Pro Danube International. Fleming Europe. Rotterdam, 2013.

Smith, Rebecca (2012): Will Truckers Ditch Diesel? Surplus of Natural Gas Prompts Some Fleets to Switch; Lack of Fueling Stations. Online verfügbar unter <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052702304707604577422192910235090>, zuletzt geprüft am 17.12.2013.

Suvisaari, Sampo (2012): Delivering LNG in smaller volumes. In: *Wärtsilä technical journal* (1), S. 21–25.

Tellkamp, Jan (2011): LNG als Schiffsantrieb. Hg. v. DNV Germany. Hamburg. Online verfügbar unter http://www.dnv.de/Binaries/DNV_LNG-Kompaktinformation_tcm70-486640.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2013.

Verhoeven, Frank (2010): Vos Logistics opens first LNG filling station in the Netherlands. Online verfügbar unter [http://www.voslogistics.com/News%20and%20Information/News/Vos%20Logistics%20opens%20first%20LNG%20filling%20station%20in%20the%20Netherlands/\\$id1984/](http://www.voslogistics.com/News%20and%20Information/News/Vos%20Logistics%20opens%20first%20LNG%20filling%20station%20in%20the%20Netherlands/$id1984/), zuletzt geprüft am 18.11.2013.

Verhoeven, Frank (2012): Vos Logistics strengthens sustainable transport fleet by introducing LNG trucks for regional distribution. Hg. v. Vos Logistics. Online verfügbar unter [http://www.voslogistics.com/News%20and%20Information/News/Vos%20Logistics%20strengthens%20sustainable%20transport%20fleet%20by%20introducing%20LNG%20trucks%20for%20regional%20distribution/\\$id3494](http://www.voslogistics.com/News%20and%20Information/News/Vos%20Logistics%20strengthens%20sustainable%20transport%20fleet%20by%20introducing%20LNG%20trucks%20for%20regional%20distribution/$id3494), zuletzt geprüft am 29.08.2013.

Wang, Siyuan; Notteboom, Theo (2013): LNG as a ship fuel: perspectives and challenges. Online verfügbar unter http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=22&ved=0CDYQFjABOBQ&url=http%3A%2F%2Fwww.porteconomics.eu%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc_download%2F585-pti60-lng-as-a-ship-fuel-notteboom-a-wang.html&ei=urCuUpuyJMmmyQOC94CQDA&usg=AFQjCNGDUET5zekwQYrOHmHcRDpX4dK8Bw&bvm=bv.57967247.d.bGQ, zuletzt geprüft am 16.12.2013.

Willms, Oliver (2013): Alternative Antriebe. LNG-Antrieb von Iveco. Hg. v. eurotransport.de. Online verfügbar unter <http://www.eurotransport.de/test/alternative-antriebe-lng-antrieb-von-iveco-6508186.html>, zuletzt geprüft am 24.09.2013.

Würsig, Gerd-Michael (2012): LNG for Ships – some key elements. Hg. v. DNV Norway. Online verfügbar unter http://www.dnv.com/binaries/2.%20lng%20as%20ship%20fuel%20dnv%20nor-shipping%202013%20drop-in%20seminar_tcm4-553764.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2013.

ZKR (2013): Die Präsidentin der ZKR tauft das MS „Greenrhine“, ein zu 100 % mit LNG betriebenes Tankschiff, das künftig auf dem Rhein verkehren soll. Online verfügbar unter <http://www.ccr-zkr.org/files/documents/cpresse/cp20130903de.pdf>, zuletzt geprüft am 28.10.2013.