

# „Zielgerechte Logistikkonzepte in Betrachtung von LNG-Umschlageplätzen unter Berücksichtigung von Industrie 4.0“

„Objective orientated logistic concepts with the view of LNG trans-shipment centres through application consideration of Industry 4.0”

*Christian Jenne, Bernd Noche*

*Universität Duisburg-Essen  
Fakultät für Ingenieurwissenschaften  
Institut für Produkt Engineering  
Transportsysteme und -Logistik*

**L**ogistikkonzepte in der Spedition und Transportgewerbe spielen heutzutage eine immer wichtigere Rolle, um Lohnnebenkosten so niedrig wie möglich zu halten. Gerade in der Spedition entsteht ein Zusammenspiel aus zeitnaher Lieferung von Konsumgütern und Optimierung der Lagerhaltungskosten bei dem die modulare Integration von Logistik, Informationstechnischen Systemen und vernetzter Kommunikation eine ganz spezifische Rolle hat. Anbindung von der Industrie zum Kunden wird dadurch immer mehr verstärkt, wobei sich somit dies zusehends zu einem Technologietransfer der Industrie 4.0 entwickelt. Die deutsche Wirtschaft steht augenblicklich am Übergabepunkt zur virtuellen Revolution im Industriezeitalter.

*[Schlüsselwörter: Logistikbranche, CO<sub>2</sub> Emissionen, Industrie 4.0, Lagerhaltungskosten, Prozessoptimierungsmechanismus]*

**L**ogistic concepts in the haulage industry and in the transportation sector in general are one of the most important factors in reducing associated business costs. Especially in the haulage business, where dispatch of goods is becoming even more important with a delivery model “just in time” in order to reduce logistic storage costs to a minimum. The integration of customised modular dispatch, information technology supported systems and interactive communication tools is vital. Customers and haulage companies are nowadays collaborating very closely with a noticeable development in a new industrial area called Industry 4.0. Currently, the German Industry is at a transition point towards a more virtual integrated Industry age.

*[Keywords: Haulage industry, CO<sub>2</sub> emission, Industry 4.0, Process optimization mechanism]*

## 1 EINFÜHRUNG

Deutschland ist eines der wichtigsten und strukturstärksten Wirtschaftsnationen innerhalb Europas und hat

die funktionelle Aufgabe, Import von Rohstoffen und Energiegütern stabil zu halten. Reduzierung von einzelnen Energieträgern kann für eine bestimmte Zeit aufgefangen werden. Europas zentrale Gasversorgung hat verschiedene Einspeisepunkte, jedoch nur einige Lieferanten. Bei der Naturgaslieferung für Deutschland und speziell für die Südstaaten in Europa wie zum Beispiel Spanien, Portugal und Griechenland ist die Grundversorgungsenergie für Industrie und Wärmeversorgung in dem privaten Bereich von fundamentaler Bedeutung. Die Mehrheit der Länder in Europa mit Gasselbstversorgung liegt nahezu bei null. Nur ein kleiner Prozentteil ist somit annähernd komplett vom Gasimport abhängig (Eder, 2014). Deutschland ist mit der Gasversorgung, den Anschlüssen der Pipelines und der außerordentlich gut zentralen geografischen Lage mehr als Bestens aufgestellt. Deutschland besitzt auch innerhalb Europas die größten Gasspeicherlager mit einer Speicherkapazität von 23‘800 Millionen m<sup>3</sup> welches im internationalen Bereich immerhin noch auf dem vierten Platz steht. (Joachim Müller-Kirchenbauer, 2014).

Gerade in dem Bereich Spedition sind Informationsflüsse von ankommenden LKWs (Lastkraftwagen), Lagerbestand von LNG (Liquefied Natural Gas) an der Lade/Entladestelle, ermittelter Verbrauch von benötigtem Treibstoff der Geschäftspartner mit Berücksichtigung des aktuellen Treibstofftagespreises eine enorme Herausforderung für Mitarbeiter. Um alle Prozesse und Abläufe im Überblick zu behalten, müssen vertraute Technologien eingesetzt werden, um diese komplexen Zyklen verarbeiten zu können. Gerade in wirtschaftlich unstabilen Zeiten ist der Konkurrenzdruck so stark, dass der Umsatz auf ein Optimum ausgelegt werden muss. Umschlagsplätze von LNG werden sich in den nächsten zehn Jahren als eines der neuen Kraftstoffalternativen im Straßengüterverkehr wie auch in der maritimen Wirtschaft auszeichnen. Diese Entwicklung hat zu einem mit dem günstigeren Unterhalt des Treibstoffes und zum anderen mit den geringeren Emissionsbelastungen von CO<sub>2</sub> durch bessere Motorverbrennung des Treibstoffes zu tun.

## 2 GASLIEFERUNGSIMPORT UND ZUVERLÄSSIGKEITSANALYSE

Seit November 2013, mit Beginn der Ukraine-Krise und Abspaltung der Halbinsel Krim, haben sich die Verhandlungen, Gaslieferungen und Weiterleitung des Gases von Russland aus als sehr problematisch dargestellt (Bildung, 2015). Da Europa solidarisch und vertraglich gebunden ist die Nachbarländer mit Gütern und Energieprodukten zu beliefern, darf deshalb das gut geografisch aufgestellte Deutschland bezüglich Gasspeicherung die Position nicht ausnutzen.

Das wiederum bedeutet, dass die Lieferung von Erdgas/Compressed Natural Gas (CNG) innerhalb Europas weitergeleitet werden muss, und deshalb die Speichersituation einer potentiellen Beendigung der Gaslieferung nach Deutschland große wirtschaftliche wie finanzielle Folgen haben könnte. Um dieses potenzielle Energieszenario besser einzuschätzen zu können, wurde im Herbst 2014 ein so genannter „Gas Stress Test“ mit 38 Europäischen Ländern durchgeführt und kam zu dem Ergebnis, dass Europa mehr als die Hälfte und somit 53% der Energie importiert, welches unterteilt wird in:

- ✚ 83% Erdöl
- ✚ 66% Erdgas, hauptsächlich geliefert als CNG
- ✚ 42% Fester Brennstoff wie Kohle, Briquetts, Holz
- ✚ 40% Nuklearenergie

39% des Erdgases welches nach Europa importiert wurde, kam aus Russland, wobei dieses Land eines der Hauptquellen und somit Hauptlieferanten von Europa ist. Der zweitgrößte Gaslieferant ist demnach Norwegen gefolgt von Holland. Unter dem Stresstest außerhalb Europas waren auch Kanada, Japan, USA, Georgien, Ukraine, Schweiz, Norwegen und die Türkei beteiligt (Marlene Holzner, 2014). Des Weiteren wurde bei dem Gas Stress Test festgestellt, dass Finnland, Estland, Jugoslawien, Mazedonien, Bosnien, Serbien und Herzegowina eine Gas-Einbuße von über 60% erleiden würde, wenn die Gaslieferung von Russland nicht mehr bedient werden könnte (Commission, 2015).

Demzufolge ist die Gaslieferung aus Russland unumgänglich und kann nicht einfach so unterbrochen werden. Da die Lage in der Ukraine mit Russland seit nun fast 2 Jahren sehr verflochten, die Ukraine jedoch das Transitland für Gaseinspeisung für Europa ist, ergibt sich diese als eine sehr schwierige politische Situation. Aus diesem Grund werden aus mittelfristiger Sicht, Alternativen zu Erdgasimport außerhalb Russlands und ohne Transitland durch die Ukraine erkundet.

## 3 BIOGASPRODUKTION AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

Biogas, welches nach der Produktion getrocknet, gereinigt, veredelt und komprimiert wird, hat dann nahezu den gleichen Heizwert (Calorific Value) wie Erdgas. Biogasproduktion wird hauptsächlich von organischen Abfällen, agrarischen Grundstoffen wie Gülle, Stroh, Mais, Rogge, Weizen, Hirse und Abfälle kommend aus der Fleisch-, Fisch-, Gemüse-, Saft- und Milchproduktion verwendet. Falls das aufbereitete Biogas; danach Biomethan genannt, unterhalb der minimalen geforderten Heizwertgrenze des Erdgases liegt, kann es mit Propangas angereichert werden. Das Erdgas hat aber auch länderspezifische Heizwertgrenzen wie zum Beispiel in Holland, welches wesentlich niedriger ist als in Deutschland und dann als Low Energy Gas (L-Gas) verkauft werden muss.

Das Gas ist demnach auch vergleichsweise günstiger als High Energy Gas (H-Gas) jedoch ist auch die Qualität und somit dementsprechend die Energiedichte auf das Volumen gesehen geringer. Der Brennwert von Erdgas muss nach der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)-Arbeitsblatt G 260 "Gasbeschaffenheit – Gasfamilie 2 Erdgas" für H-Gas einen Wobbe-Index zwischen 12,8 kWh/Nm<sup>3</sup> und 15,7 kWh/Nm<sup>3</sup> enthalten. Dieser Heizwert wird dann mit der Zustandskennzahl des jeweiligen Energielieferanten multipliziert, damit der Preis pro kWh bezogen auf das Gewicht und nicht das Volumen immer gleichmäßig übertragen werden kann.

### 3.1 SYNTHETISCHE ERDGASERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

Methanproduktion als Erdgasqualität kann aber auch von erneuerbaren Energien kommen wie es Audi und ETOGAS GmbH als erstes Deutsches Unternehmen in eine industrielle Power-to-gas Anlage mit einer jährlichen Methankapazität von ca. 1000 Tonnen E-Gas investierte (Strohbach, 2013). Dort wird mit Hilfe einer Elektrolyseanlage Wasserstoff (H<sub>2</sub>) mit Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) verbunden. Durch die Elektrolysetechnologie wird dann Methan produziert. Diese Methode ist jedoch sehr strom- und energieaufwendig, hat aber den besonderen Vorteil, dass der Strom von Windkraftanlagen bei Stromüberschuss verwendet wird.

Dieses Verfahren bringt einige Vorteile mit sich zum Beispiel dass der Strom nicht in das Stromnetz bei eventuell gering anfallendem Strombedarf eingespeist oder eventuell nicht kostendeckend in das Ausland exportiert wird, anstatt dessen aber der Strom lokal verbraucht wird. Da die Gasproduktion als lokale Erzeugung innerhalb von Deutschland produziert wird, besteht keine Abhängigkeit eines Gasimportes aus dem Ausland und ist demnach auch noch das erzeugte Methan aus der dritten Generation von erneuerbaren Energien. Dieses Verfahren ist im Englischen als Power to Gas oder E-Gas bekannt, Dieses würde auch

Deutschland helfen, die vereinbarten erneuerbaren Energieziele im Jahre 2020 einfacher erreichen zu können, da diese Art von Biomethanproduktion zweifach gezählt werden kann und somit das EE-Ziel einfacher machen würde.

#### 4 LNG ALS NEUE ENERGIETRÄGERALTERNATIVE

Um die Abhängigkeit des Gasimportes von einem Land reduzieren zu können und somit das Risiko eines wirtschaftlichen Einbruchs minimieren zu können, müssen Alternativen zu den bisher führenden Energieträgern wie Öl und Gasimporten betrachtet werden. LNG (Liquefied Natural Gas) ist ein Treibstoff der aus herkömmlichem Erdgas hergestellt wird, was ein Methangehalt von mindestens 96% beinhalten muss, um in das Gasnetz eingespeist zu werden. Bis jetzt sind schon über 200 Biogaserzeuger daran beteiligt das aufbereitete Biogas in das Gasnetz einzuspeisen, welches ein Mischungsverhältnis von 5-100% Biomethan hat (Matthias Edel, 2014).

Erdgas welches hauptsächlich aus Methan besteht, ist ein Gas das aus verschiedenen fossilen und nicht fossilen Quellen erzeugt werden kann. In der von Russland kommendes Gas via Gasnetzleitungen, welches sich über mehrere tausend Kilometern erstreckt, wird das Erdgas mit Hochdruck befördert. In Deutschland ist der Gasdruck in den unterirdischen Gashauptleitungen bis maximal 100 bar zulässig, wird aber größtenteils aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zwischen 4 - 60 bar gehalten. Das Erdgas wird aus Sicherheitsgründen über mehrere Verteilerstationen heruntergedrosselt, damit das Erdgas dann beim Endkunden mit 20 Millibar Betriebsdruck reduziert ankommt (Netz, 2014).

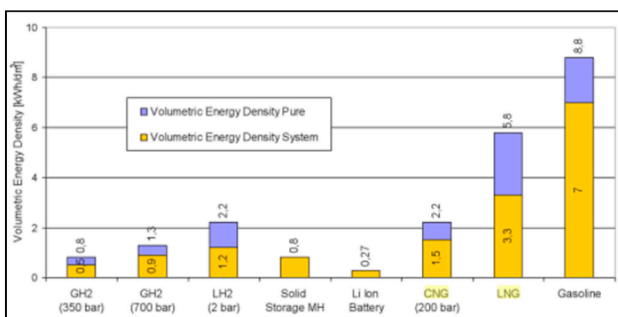


Abbildung 1 - Energiedichtenvergleich von verschiedenen Treibstoffen (Helmut Eichseder 2012)

Vergleicht man CNG mit LNG, was in Speichercontainern üblicherweise bis 250 bar Druck gespeichert wird, kann man aus LNG wesentlich mehr als das doppelte an Energiedichte auf das Gewicht betrachtet herausholen (Helmut Eichseder, 2012). Die genaue Energiedifferenz jedoch lässt sich nicht so leicht feststellen, da dies von verschiedenen Faktoren wie der Umgebungstemperatur des Speichers, Temperatur des Gases (welches sich auf die Dichte auswirkt), Umgebungsdruck, Zusammensetzung

des Erdgas- und Methangehalt, Gasqualität, Komprimierungsdruck des Erdgases, Reinheitsgrad der Gase, Kohlenstoffdioxidanteil, usw. abhängt.

LNG hat jedoch einen sehr großen Nachteil, da es nur einige Tage gelagert werden kann (GEW, 2015). Dies hängt jedoch sehr stark mit den Umgebungstemperaturen, Zustand und Qualität des isolierten Speichers und der Tankfüllmenge, bezogen auf das Volumen des Treibstofftanks, ab. Da die Lagerfähigkeit nur sehr begrenzt ist und das LNG nicht wochenlang in dem Tank verweilen kann, macht es folglich nur Sinn, dies für Fahrzeuge und Schiffe einzusetzen, welche einen hohen Treibstoffverbrauch aufweisen können.

Darüber hinaus sollte der Tankinhalt innerhalb von 7-10 Tagen verbraucht werden und somit kommen nur Fahrzeuge in Betracht, die diese Anforderungen erfüllen können. Wird das LNG nicht in kürzester Zeit verbraucht, kommt es zum Erwärmen des Gases, welches sich dann vom flüssigen in gasförmigen Zustand verändert. Dies hat zur Folge, dass das Gas sich unter diesen chemischen Umständen in Druck ausbreitet, da die natürliche Dichte des LNG höher ist als das von CNG. Somit kommt es schließlich zum Verpuffen (boil-off gas), da der LNG Gastank nur einen gewissen Druck abhalten kann.

#### 4.1 WIRTSCHAFTLICHKEIT UND ENERGIEDICHTE VON CNG, LNG UND DIESEL

Da die Treibstoffdichte von CNG, LNG und Diesel bezogen auf des Gewicht und Volumen sich um ein hundertfaches unterscheidet, ist eine Vergleichstabelle sehr hilfreich. Der Energiegehalt; verglichen in Gewicht, von LNG gegenüber Diesel hat einen 18% höheren Heizwert, jedoch auf das Speichervolumen gesehen um nahezu die Hälfte. Vergleicht man Diesel mit 200 bar komprimiertem CNG vervierfacht sich der Energiegehalt bei gleicher Volumenmenge. Somit ist der Vergleich in der praktischen Anwendung nicht immer leicht, wenn die nötige Speicherkapazität in diesem Vergleich Volumen nicht vorhanden ist. Die Wirtschaftlichkeit hängt von der Investition des Speichers und dem Marktpreis des Treibstoffes ab, welches von Land zu Land erhebliche finanzielle Unterschiede ergibt. Zusammenfassend kann eine Wirtschaftlichkeitsberechnung erst dann gemacht werden, wenn die kompletten Investitionsvorhaben zur Berechnung bereit liegen.

Treibstoffsorte	Temperatur in °C (Kelvin)	Speicherdruck in bar	Treibstoffdichte Kg/m <sup>3</sup>	Energieinhalt <sup>2</sup> MJ/kg <sup>1</sup>	Energieinhalt <sup>2</sup> MJ/m <sup>3</sup> (kWh)
CNG <sup>1</sup>	15 °C (288.15)	1.013 (atm.)	0.716	50	37.8 (10.5)
CNG <sup>2</sup>	15 °C (288.15)	220	181.4	50	9'070 (2519)
LNG <sup>3</sup>	-162 °C (111)	1.013 (atm.)	422.4	50	22'120 (6144)
Diesel <sup>1</sup>	15 °C (288.15)	1.013 (atm.)	845	42	35'490 (9858)

<sup>1</sup> (Brill 2008)

<sup>2</sup> CNG ist mit 100% Methan berücksichtigt ohne jegliche Fremdstoffe

<sup>3</sup> Energieinhalte wurden von der Europäischen Website <http://www.afdc.energy.gov/> entnommen

Abbildung 2 - Energiegehalt bezogen auf Volumen und Gewicht (eigene Darstellung, 2015)

## 4.2 ZUSTANDSÄNDERUNG VON METHAN ALS GAS ODER FLÜSSIGEN ZUSTAND

In Deutschland hat Erdgas im H-Gas Bereich einen Reinheitsgrad von mindestens 96% Methan. Unter Normalbedingungen und atmosphärischem Druck ist Methan gasförmig mit einer spezifischen Dichte von  $0.72 \text{ kg m}^{-3}$ . Das wiederum macht Methan sehr sicher, da das Gas sich bei einer Leckage verflüchtigt und in die Atmosphäre aufsteigt, da es physikalisch gesehen eine geringere Dichte aufweist als Luft. Der Reinheitsgrad des Erdgases hat jedoch noch keine volle Aussagekraft über den Heizwert des Erdgases. Dieser wird speziell in der Verordnung des DVGW Arbeitsblattes G 260 zur Gasbeschaffenheit geregelt und in verschiedene Gasgruppierungen eingeordnet (DVGW 2008).

### *Kennwertparameters von Methan*

$T_0$  = Temperatur in Grad Celsius ( $0^\circ\text{C}$ )

$\Theta$  = Dichte von purem Methan von  $0.72 \text{ kg m}^{-3}$

$\lambda$  = Mittlerer Heizwert (Energiedichte) von  $10 \text{ kWh m}^{-3}$

$P_0$  = atmosphärischer Umgebungsdruck beziffert mit 1013 hPa oder 1.013 bar.

Die Energiedichte von Dieseldieselkraftstoff bezogen auf einen Kubikmeter Volumen von  $11 \text{ kWh} \times 10^3 \text{ m}^{-3}$  ist Methan unter atmosphärischem Druck im Vergleich um ein Hundertfaches geringer um dies wirtschaftlich gegenüber zu stellen. Um den Einsatz von Methan unter Normalbedingungen im Bereich „Mobilität“ attraktiv zu machen, muss die Speicherung durch die chemischen Eigenschaften wesentlich verbessert werden. Es gibt zwei Alternativen, diese Situation zu umgehen und die Energiedichte wesentlich zu verbessern, wobei Methan entweder verdichtet oder verflüssigt werden kann.

### 4.2.1 VERDICHTUNG VON METHAN

Durch Kompression des Methans in Relation auf den Druck  $P$ , lässt sich die Dichte, und damit die Energieeigenschaft von Methan stark erhöhen mit Berücksichtigung von konstanter Temperatur  $T$ .

$$P = P_0 \frac{P}{P_0} \text{ bei konstanten Temperaturbedingungen } T$$

Um die Energiedichte von Dieseldieselkraftstoff zu erreichen, müsste daher der Druck theoretisch auf mehr als 1100 bar von dem Ursprungsdruck erhöht werden. Technisch ist das zwar möglich, aber das Sicherheitsrisiko und Kosten sind zu groß, um diese Möglichkeit für den Sektor Mobilität ernsthaft in Betracht zu ziehen. Geringere Drücke von 300

bar zum Ursprungsdruck bedeuten, dass trotz größeren Tankinhalts die Reichweite von Kraftfahrzeugen gewöhnlich um mehr als den Faktor 3 geringer ist.

### 4.2.2 VERFLÜSSIGUNG VON METHAN

Die Siedetemperatur von Methan bei Umgebungsdruck beträgt  $-162^\circ$  Celsius und seine Dichte erhöht sich auf  $0.422 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , welches nahezu 600-mal größer ist als die von Erdgas unter atmosphärischem Druck (Brill 2008).

*„Die Bedeutung von LNG liegt im Sektor Energietransport trotz der Schwierigkeit, den Transport bei der sehr niedrigen Temperatur durchführen zu müssen. Das gängige Verfahren hat zur Folge, dass ein Teil des flüssigen Methans während des Transports verdampft. Für die Verdampfung wird thermische Energie benötigt, die dem flüssigen Methan entnommen wird und dieses dadurch konstant auf der Temperatur hält“* (Heidelberg 2015).

Es kann zusammengefasst betätigt werden, dass Methan auf das Gewicht bezogen einen höheren Heizwert als Diesel hat, jedoch auf Volumen gesehen nicht konkurrenzfähig ist und nur unter Druck oder in verflüssigtem Zustand annähernd eine Rolle spielt.

## 4.3 BERECHNUNG DER ZUSTANDSZAHL BEI KOMPRIMIERTEM ERDGAS IM ERDGASNETZ

Bei dem Abrechnen der Gaslieferanten kommen immer verschiedene Werte der Berechnung zustande, welche mit einer Zustandszahl ausgedrückt werden. Diese Zahl ermittelt die Druck- und Temperaturdifferenzen, welche dann mit einem Mittelwert des Heizwertes multipliziert werden. Somit bekommt der Kunde bei jeder monatlichen Abrechnung einen anderen Kennwert mitgeteilt, da diese Werte sich kontinuierlich verändern und folglich angeglichen werden.

*„Der Erdgasverbrauch wird von einem geeichten Gaszähler gemessen. Der Gaszähler misst dabei das Betriebsvolumen ( $V_b$ ) des durchfließenden Erdgases. Die Maßeinheit ist dementsprechend Normkubikmeter ( $\text{Nm}^3$ ). Der Erdgasverbrauch errechnet sich aus der Differenz des Zählerstandes zu Beginn und Ende einer Abrechnungsperiode. Beim Erdgas wird zwischen dem Normzustand und dem Betriebszustand unterschieden. Der Betriebszustand ist der Zustand des Erdgases im Gaszähler, der abhängig von Druck und Temperatur des Erdgases ist.*

*Zur Abrechnung der verbrauchten Erdgasmengen muss daher der Betriebszustand des Erdgases auf den Normzustand umgerechnet werden“* (GEW 2015).

Die Zustandszahl (Z) berechnet sich nach folgender Formel:

$$Z = \frac{V_n}{V_b} = \frac{T_n}{T_{eff.}} * \frac{P_{umg.} + P_{eff.}}{P_n}$$

Nach der Ermittlung der Zustandszahl wird diese mit dem Heizwert des Erdgases multipliziert um die Abrechnung so genau wie möglich zu erfassen.

- Z = Zustandszahl
- $V_n$  = Normvolumen [m<sup>3</sup>]
- $V_b$  = Betriebsvolumen [m<sup>3</sup>]
- $P_{eff.}$  = Überdruck am Gaszähler [mbar]
- $P_n$  = Normluftdruck = 1013,25 mbar
- $T_n$  = Normtemperatur = 0°C = 273,15 Kelvin
- $T_{eff.}$  = Temperatur des Erdgase = 15°C + 273,15 K = 288,15 Kelvin
- $P_{umg.}$  = Luftdruck am Gaszähler [mbar] = 1.016 -(0,12 x H/m)
- H = zugeordnete mittlere geodätische Höhe des Gaszählers in Höhenmetern

## 5 LOGISTIKKETTE UND LAGERUNG VON FLÜSSIGGAS

Es gibt zwei Logistikkonzepte Flüssiggas von der Produktionsstätte zum Verbraucher zu befördern. Die Verflüssigung kann mit Hilfe von Aufbereitungsanlagen vor Ort geschehen oder es kann extern z.B. vom Ausland importiert werden und dann über Terminals weiter mit Schiffen und Schwerlasttanker transportiert werden. Jedes Investitionsprojekt hängt jedoch stark von der Größe der Anlage, Verfügbarkeit von Erdgas/Synthetischem Gas/Biogas, Logistikkapazitäten und lokaler Infrastruktur ab. In der Zukunft wird LNG eine immer wichtigere Rolle spielen.

Die Wirtschaftlichkeit der Verflüssigung von Methan wird auch sehr stark in Zukunft die Herkunft von lokaler/internationaler Bedeutung sein. Regionale und lokale LNG-Erzeugung, gekoppelt mit Unsicherheiten in der Treibstoffbeschaffung durch Umwelteinflüsse und wirtschaftliche Unstabilitäten wird dies nur bestärken. Des Weiteren wird sich die Fokussierung von Schiefergas über Alternativen hinsichtlich Biogas, Power to Gas und EE-Methan hinausstrecken. Investitionen in Lagervorkommen müssen aufgebaut werden um die großen Lieferungen am Hafen speichern zu können. Logistische Transportmittel wie isolierte Tankcontainer, Fahrzeugflotten und ausgebildetes Fachpersonal ist eine Grundvoraussetzung um den logistischen Ansprüche gerecht zu werden.

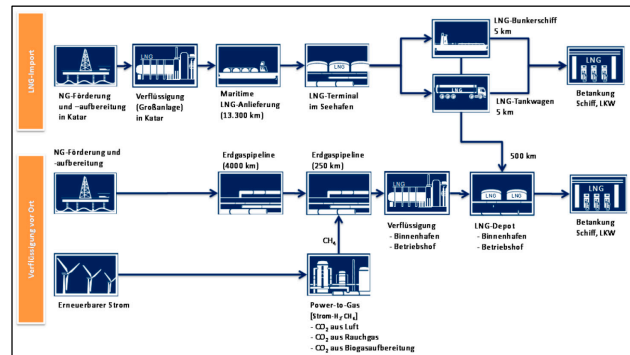


Abbildung 3 - Gewinnung, Transport und Lagerung von Flüssiggas (BMVI, 2011)

## 5.1 SICHERHEIT UND HANDHABUNG VON CNG UND LNG

CNG kann ohne jegliche Sicherheitsausrüstung per Druckunterschied in das Fahrzeug gepumpt werden. Durch das Befüllen des Gases wird das Metallende der Befüllkupplung etwas kalt, welches jedoch nur ein begrenztes Sicherheitsrisiko ist. Beim Entkoppeln der Kupplung wird die Druckkammer durch einen Druckunterschied ausgeglichen, welches sich in einem lauten Knall wiedergibt. Durch das Entkoppeln des Befüllschlauches entsteht ein Druckunterschied zur atmosphärischen Umgebungstemperatur zwischen Tankstutzen und Befüllkammer. Da der Druckschlauch einem Druck von bis zu 220 bar betragen kann, besteht ein geringeres Sicherheitsrisiko bei der Befüllung durch einen eventuellen defekten Befüllschlauch.

LNG ist drucklos und dennoch ein Risiko von Explosionen durch undichte Leitungen minimiert. Die Handhabung jedoch, konnte sich durch das gekühlte Medium im Behälter des Speichers und Tankwagens schwierig gestalten da durch die Leitung in den LKW umgepumpt wird und bis zu -162 Grad Celsius entstehen. Somit ist das Be- und Entfüllen des tiefgekühlten LNG nur mit Sicherheitsausrüstung wie Kältehandschuhe, Sicherheitsschuhe und Gesichtsschutz zu erledigen. Es können Kältebrandverletzungen auftreten, welche zu schweren Verletzungen führen kann. Beim Entkoppeln der Befüllkupplung kann es zu Vereisungen kommen, wobei der Tankprozess mit höchster Sorgfalt und nur mit geschultem Fachpersonal durchgeführt werden sollte.

## 6 LNG TERMINALS IN DEUTSCHLAND

LNG Terminals sind bis jetzt noch eine Seltenheit in Deutschland, dies wird sich aber in den nächsten Jahren mit hoher Wahrscheinlichkeit ändern. Um logistische LNG Versorgungsstrukturen aufzubauen, sind LNG Terminals ein Muss, um das Importprodukt weiter vermarkten zu können. Bis zum Jahre 2025 sollten auf den Hauptverkehrsweegen innerhalb Europas, entlang der Hauptverkehrsstrecken wie Autobahnen LNG Tankstellen mit einem Abstand von

400 km erreichbar sein (Steltemeier, 2015) Um LNG überhaupt transportieren zu können, muss somit zwangsgebunden eine Infrastruktur hergestellt werden, welche von dem Ausland aus beliefert werden kann. Somit sind LNG Terminals in Hafengebieten unerlässlich, jedoch die Standortauswahl für Autobahnanschluss, LKW- und Hafen- Anbindung und potentielle Industrieanwendung des Flüssiggases von fundamentaler Entscheidungsgrundlage.

## 6.1 INVESTITIONSRISIKEN UM LNG SPEICHERTECHNOLOGIEN LUKRATIVER ZU MACHEN

Investitionen können wirtschaftlich gesehen nur getätigt werden, wenn eine gewisse Abnahmemenge vorhanden ist. Diese jedoch ist im Augenblick noch nicht ausführbar und würde eine Investition in ein LNG Lager in Duisburg, Bundesland Nordrhein Westfalen nicht rechtfertigen. Würden gewisse Aktoren diese LNG bekommen, wären diese Industriebetriebe unter Betrachtung eines positiv wirtschaftlichen Umstands bereit, eine alternative Energie als LNG zu verwenden. Diese potenziellen Industriesektoren sind jedoch augenblicklich nicht gewillt, in eine neue Technologie zu investieren, wenn momentan noch kein LNG in benötigter Größe verfügbar ist. Somit ist es ein unendlicher Kreislauf, wobei die Industrie auf die LNG Speicherkapazitäten wartet, jedoch die LNG Betreiber auf die Umstellung der Technologie von der Industrie aus kommend noch zögerlich voran schreitet.

In den Niederlanden sind schon LNG-Speicherkapazitätslager in zweistelliger Größenordnung vorhanden. Die Holländer haben diese alternative Treibstoffvariante schon früh erkannt und setzen verstärkt auf Investitionen, um in der Zukunft gut und konkurrenzfähig aufgestellt zu sein. Wenn Deutschland sich in dieser Technologie nicht bald anschließt, werden Alternativanlagen von LNG Speichern in anderen Ländern erschlossen. Demzufolge ist es wichtig, sich an dieser neuen Treibstofftechnologie zu beteiligen. Mit dieser Betrachtung ist es sehr schwer Investoren für ein solches Vorhaben zu gewinnen, wenn die Abnahme von LNG nur sehr zögerlich vorankommt. In den Niederlanden war genau das gleiche Problem wie in Deutschland erkennbar, wurde aber von den Investoren selbst gelöst.

Aus diesem Grunde wurde die Investition in LNG Speichertechnologien, Logistikinfrastruktur und in eine eigene LNG betriebene LKW-Flotte investiert und dann als Leasingmodell am freien Markt angeboten. Somit war das ganze Investitionsrisiko für Angebot und Nachfrage in den Händen der Investoren, folglich jedoch sehr zentrale wirtschaftliche Marktanreize für Industrie geschaffen worden (Keil, 2015). Dementsprechend liegen auch die Technologierisiken von LNG bei den Betreibern. Mit diesen guten Voraussetzungen sind demnach die Logistikunternehmen bezüglich Investitionen nahezu risikofrei aufgestellt.

## 6.2 ANWENDUNG VON LNG-TREIBSTOFF IN DER BINNENSCHIFFFAHRT UND LOGISTIKBRANCHE

Da das Verdampfen von LNG eine sehr große Rolle spielt und sich somit das flüssige Gas in seine ursprüngliche chemische Ausgangslage zurück entwickelt, ist es wirtschaftlich notwendig das überschüssige Gas zu verwenden. Frachtschiffe nutzen dieses Potenzial des LNG Transportes aus und verwenden das verdampfte LNG; jetzt wieder in der Ursprungsform als CNG als Treibstoff für den eigenen Antrieb des Schiffsaggregats. Die Verwendung als Treibstoff hat einige grundlegende Vorteile gegenüber Schiffsdiesel. Das Schiff kann das beförderte LNG als Treibstoff verwenden und am ankommenden Binnenhafen als Ladegut übergeben werden.

Das Schiff muss keine separate Ladung für den eigenen Treibstoff bereitstellen und somit ist diese Form von Treibstoff mehr platzeffizient als mit herkömmlichen Schiffsmotoren. Des Weiteren ist die Verbrennung von LNG als Treibstoffalternative gegenüber Schiffsdiesel umweltschonender, wobei bis zu 80% Schwefel- und Stickstoffoxid und bis zu 20% Kohlemonoxid reduziert werden kann (Yeelyong Noh, 2015)

Bis zum Jahre 2020 möchten die drei größten Reeder in Japan 90 LNG-Flüssiggastanker bestellen und in der Schifffahrt einsetzen. Dies macht eine Investition von LNG-Terminals in Deutschland unausweichbar um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu bleiben. Nun stellt sich die Frage wo diese LNG-Lager installiert werden sollen und wer dies wirtschaftlich vertreten kann.

*„Die Schifffahrt muss sich darauf verlassen können, dass LNG in den Häfen zur Verfügung steht. Nur dann wird sich dieser kostengünstige und umweltfreundliche Treibstoff durchsetzen. Ein LNG-Terminal in Hamburg zahlt auf die Zukunftsfähigkeit des Hamburger Hafens ein sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht“*  
(Schifffahrts-Zeitung, 2013)

## 7 INFORMATIONSTECHNISCHE SYSTEME DES DIGITALEN ZEITALTERS DER INDUSTRIE 4.0

Intralogistische Zyklen müssen heutzutage mit computergesteuerten Systemen unterstützt werden, um die Verarbeitung der anfallenden Datenmenge effizient analysieren zu können. Somit sind die Vernetzungen von Schiffen, Straßengüter- und Schienenverkehr ein immer mehr wichtiges Thema um mit dem Wettbewerb mithalten zu können. Effektive Systeme mit Verwendung von so genannten cyberphysischen Produktionssystemen welches eine Entwicklung und Potenzial einer dezentralen Intelligenz hat. Prozesse werden mit Hilfe von Global Positioning systems (GPS) selbststeuernd vernetzt, welche von ausgehenden und ankommenden LKWs Informationen gesendet werden. Somit können verstärkt Daten aufgezeichnet werden, ab wann ein Fahrer eine Pause antreten muss.

Demzufolge kann der genaue Standort ermittelt werden, wobei die geschätzte Ankunftszeit ermittelt wird. Diese Informationen sind sehr hilfreich bei eventuell spontan auftretenden logistischen Veränderungen um unnötige Leerfahrten auf ein Minimum zu beschränken. Das GPS welches alle Daten vom Fahrverhalten, Bremszyklen, Beschleunigung, Pausenzeiten, Tankfüllstand und Motormanagement aufzeichnet hat den Vorteil, dass das Fahrverhalten der einzelnen LKW-Fahrer auf ökonomisches Fahren überprüft und gegebenenfalls geschult werden kann (Budach, 2015). Die Industrie 4.0 ist der Verbindungsmechanismus zwischen einer virtuellen und einer realen Fertigungswelt. Diese komplexe technische Revolution soll den Mitarbeitern die Denkprozesse wesentlich erleichtern und somit systematisch potentielle Fehlerquellen minimieren.

*„Auf der wissenschaftlichen Seite muss es gelingen, die Anforderungen potenzieller Anwender so zusammenzufassen, dass die Gemeinsamkeiten eine Kernstruktur für Softwareinstrumente ergeben, die durch Wahlmöglichkeiten bei den einzelnen Instrumenten zu einem neuen sinnvollen, durchgängigen und kohärenten Supply-Chain-Konzept führen“ (Zelewski, 2011).*



Abbildung 4 - Effiziente Transportsysteme durch Planwirtschaftliche Berechnungsanalysen (Duisport, August 2015)

Diese innovative Technologie wird in Zukunft immer mehr Einfluss auf die Wertschöpfungskette haben und Prozesstechnologien teilweise autark und ohne menschlichen Einfluss steuern. „Embedded Systems“ sind kleine Module die in einem komplexen System verbaut sind und somit die Erleichterung und Entscheidungsfähigkeit der Mitarbeiter unterstützen sollen. Mit diesen komplexen Verknüpfungsmechanismen ist es möglich, Lieferungen von Gütern direkt bei Bestellung zu produzieren oder z.B. bei Auftragsingang zu versenden, welches immer mehr dem Trend zu „just in time“ folgt. Das hat den Grund die Lagerhaltungskosten und somit Lagerkapazitäten auf ein minimales zu beschränken, welches sich somit kostengünstig bei dem Dienstleister im Wettbewerb widerspiegeln wird.

Supply-Chain Operation Reference (SCOR) ist ein Instrument was benutzt wird, um den Logistikprozess zu analysieren. Diese Methode setzt den Maßstab für vergleichbare Fahrten, wenn zum Beispiel gleiche Produkte immer

vom gleichen Ort aus zu dem Kunden gebracht werden. Somit kann die Effektivität sehr gut verglichen werden, da die Wiederholrate der Fahrten mit den gleichen Produkten nahezu konstant bleibt. (Noche, 2013).

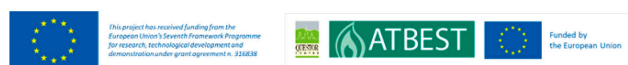
Datalogic zum Beispiel hat einen Handcomputer LogiMAT X3 entwickelt der innerbetriebliche Systemdaten weiterleiten kann und zur Abfrage Echtzeitwerte, also aktuelle Informationen wiedergeben kann. Dies ist ganz besonders wichtig, wenn viele verschiedene Produkte auf einem engen Raum zu verschiedenen Stationen bewegt werden müssen. Der Mitarbeiter kann bei Störungen der internen Logistikkette sofort feststellen ob zum Beispiel der wartende LKW noch auf Produktlieferungen angewiesen ist und wenn ja wo diese zu diesem Zeitpunkt gerade festsetzen (Baumann, 2015).

## 8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch nachhaltige Recherche in dem Bereich LNG kann die Schlussfolgerung lauten, dass Methan auf das Gewicht bezogen einen höheren Heizwert hat als Diesel, jedoch auf das Volumen gesehen durchaus nicht konkurrenzfähig ist und nur unter Druck oder in verflüssigtem Zustand annähernd eine Rolle spielt. Um das Methan zu verdichten oder zu verflüssigen, braucht es viel elektrische Energie. Das Methan kann man jedoch auch vor Ort verflüssigen, ohne lange Transportwege zu erzeugen. Des Weiteren kann man mit dem überschüssigen Nachtstrom der Windkraftanlagen günstig Elektrizität erwerben, welches die Wirtschaftlichkeit positiv aufwerten würde. Dieses hätte zur Folge dass die Stromspitzen in den Verteilernetzen entlastet würden und zugleich der Energielieferant eine sichere Versorgungsquelle innerhalb Deutschlands hätte.

LNG kann anhand verschiedener Indizien als Treibstoffersatz von Diesel und Erdgas in der nächsten Dekade gesehen werden. Leistungsfähigkeiten des neuen Treibstoffes sind noch nicht überall zu erkennen, die Wirtschaftlichkeit innerhalb der Kühlungstechnologie ist noch in den Kinderschuhen und detaillierte Erfahrungswerte müssen erst noch konkretisiert werden. Trotz der ausstehenden Unsicherheiten von LNG ist ein Potential als Kühlung in der Pharma-, Stahl- und Energieproduktion oder als Treibstoffalternative in naher Zukunft als kostengünstige Option erkennbar.

**Acknowledgements:** This research was financially supported by EU Marie Curie ITN ATBEST - FP7 project (Advanced Technologies for Biogas Efficiency, Sustainability and Transport) which is an EU collaboration project between Germany, Ireland, United Kingdom and Sweden.



## Literaturquellen

- Baumann, M. (2015). Datalogic bietet effiziente Logistikabläufe. *Materialfluss - Das Fachmagazin für den Logistiker*, 16.
- Bildung, L. f. (2015). *Nervenkrieg um die Ukraine*. Von <http://www.lpb-bw.de/ukrainekonflikt.html> abgerufen
- BMVI, B. f. (2011). *LNG als Alternativkraftstoff für den Antrieb von Schiffen und schweren Nutzfahrzeugen*. Berlin: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Institut für Verkehrsforschung.
- Brill, P. D.-I. (2008). *Gasfahrzeuge III - Die Schlüsseltechnologie auf dem Weg zum emissionsfreien Antrieb (S. 217,218) - ISBN 978-3-8169-2847-8*. Essen: Expert Verlag.
- Budach, M. (März 2015). Logistische Disposition einer kompletten LKW-Flotte von gefertigten Konsumgütern. (C. Jenne, Interviewer)
- Commission, E. (2015). *European Energy News*. Retrieved from Stress tests: cooperation key for coping with potential gas disruption : <http://ec.europa.eu/energy/en/news/stress-tests-cooperation-key-coping-potential-gas-disruption>
- DVGW. (2008). *DVGW Regelwerk - G 260 "Gasbeschaffenheit"*. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
- Eder, F. (2014). *Russlandkrise - So abhängig ist Europa wirklich von Russland*. Brüssels: Weltwirtschaft.
- GEW, G. W. (August 2015). *Thermische Energiemenge in der Erdgasabrechnung*. Von <http://www.gew-wilhelmshaven.de/privatkunden/erdgas/infos-zur-erdgasabrechnung/details.html> abgerufen
- Heidelberg, U. (2015). *Die Verflüssigung LNG Technologie*. Von Physikgrundlagen der Verflüssigung: <http://www.physi.uni-heidelberg.de/~pelte/energie/energie3/data/detail/3-8-4.htm> abgerufen
- Helmut Eichseder, M. K. (2012). *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik - Erzeugung, Speicherung, Anwendung (3. Auflage)*. Wiesbaden: Springer Verlag.
- Joachim Müller-Kirchenbauer, B. B. (2014). *Möglichkeiten zur Verbesserung der Gasversorgungssicherheit und der Krisenvorsorge durch Regelungen der Speicher (strategische Reserve, Speicherverpflichtungen)*. Berlin: Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- Keil, J. (August 2015). LNG Korridor plus - Analyse und Entwicklung auf dem Gebiet LNG in NRW. (C. Jenne, Interviewer)
- Marlene Holzner, N. B. (2014). *Gas stress test: Cooperation is key to cope with supply*. Brussels: European Commission.
- Matthias Edel, A. B. (2014). *Biogaseinspeisung in Deutschland und Europa - Markt Technik und Akteure*. Berlin: biogaspartner - gemeinsam einspeisen.
- Netz, N. (2014). *Erläuterungen zur thermischen Abrechnung nach DVGW Regelwerk G 685*. Viersen : NEW Netz GmbH .
- Noche, B. (2013). Approach to innovative supply chain strategies in cement industry; Analysis and Model simulation. *Elsevier*, pp. 362.
- Schiffahrts-Zeitung, D. (2013). *LNG-Versorgung für deutsche Häfen*. Hamburg: Schiffahrt und Energie.
- Steltemeier, D. F. (Juli 2015). LNG Investitionen von Speicherkapazitäten innerhalb NRW. (C. Jenne, Interviewer)
- Strohbach, O. (2013). *Weltpremiere: Audi eröffnet Power-to-Gas-Anlage*. Ingolstadt/Werlte: Audi Media Info. Von [http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung\\_durch\\_technik/content/2013/08/energiewende-im-tank.html](http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2013/08/energiewende-im-tank.html) abgerufen
- Yeelyong Noh, K. C. (2015). *Risk-based determination of design pressure of LNG fuel storage tanks based on dynamic process simulation combined with Monte Carlo method*. Republic of Korea: Elsevier.
- Zelewski, S. (2011). *Organisatorische Innovationen mit Good Governance in Logistik-Netzwerken - EffizienzCluster LogistikRuhr*, S. 63. Essen: Universität Duisburg-Essen.

---

**Christian Jenne, M.Sc.**, Research Assistant at the Chair of Logistics. He was born in Freiburg im Breisgau, Germany. After his mechanical engineering degree he continued a Master's degree in Renewable Energy Systems in Ireland before starting a Ph.D. with the topic in transportation logistics concepts of biogas with UDE in Duisburg.

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche** is Chairperson of the Department of Transport Systems and Logistics (TUL), University of Duisburg-Essen. He was born in Cedro-Pama, Peru and has received his doctorate in mechanical engineering in 1989. Prof. Noche became chief executive officer of a logistics consultancy company in Dortmund in Germany before coming into office at TUL in 2000.

**Address:** Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Transportsysteme- und Logistik, Universität Duisburg-Essen (UDE), Keetmannstraße 3-9, 47058 Duisburg, Germany, Phone: +49 (0)203 - 379 - 7044, Fax: +49 (0)203 379 - 3048, E-Mail: christian.jenne@uni-due.de