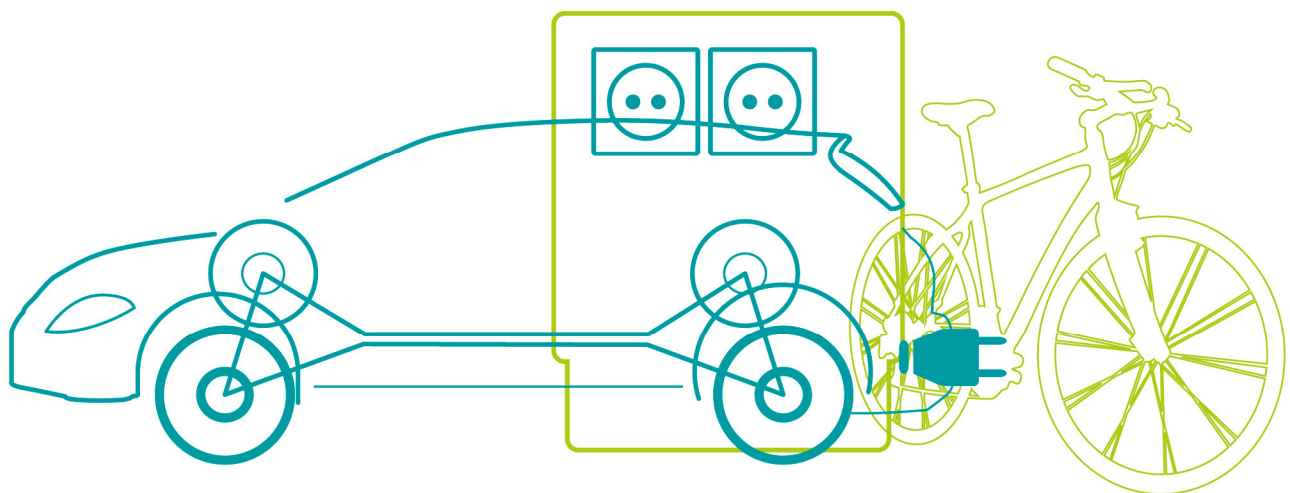




## LNG Antriebe für die Donau Binnenschifffahrt



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

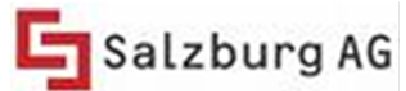
Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



**Klima- und Energiefonds des Bundes**



**viadonau**



## **„LNG Antriebe für die Donau Binnenschifffahrt“**

**Durchführbarkeitsstudie**

FFG Projektnummer 825471

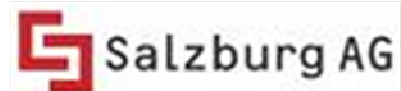
Prof. Dr. E. Pucher, DI L. Cachón, Mag. V. Vana  
TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik

Dr. J. Schweighofer, Mag. T. Hartl  
via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH

Ing. J. Schmidhuber  
Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation

**Wien, 2011**

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.



## LNG Antriebe für die Donau Binnenschifffahrt

### Kurzfassung

In der Durchführbarkeitsstudie „LNG Antriebe für die Donau Binnenschifffahrt“ wurde die nachhaltige Reduzierung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes, sowie der Partikel und NO<sub>x</sub> Emissionen mittels des Einsatzes von LNG (verflüssigtes Methan und Biomethan) in Donau-Binnenschiffen untersucht.

Der Transport mit dem Binnenschiff weist im Vergleich zu anderen Transportarten einen deutlich geringeren spezifischen Energiebedarf auf. Weitere Vorteile finden sich bei der Lärmbelastung der Anwohner von Verkehrswegen, sowie einer Entlastung des Straßensystems. Jedoch ließe sich der aus der Diesel-Verbrennung resultierende CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch den Einsatz kohlenstoffarmer Treibstoffe, wie Methan und Biomethan nochmals erheblich reduzieren. Aufgrund des teilweise hohen Alters der Schiffsantriebe von bis zu 30 Jahren, weisen diese außerdem einen heute unüblich hohen lokalen Schadstoffausstoß von Feinstaubpartikeln (PM) und Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) auf. Aus diesem Grund ist am Binnenschiffssektor eine Entwicklung hin zu klima- und umweltfreundlichen Antrieben nur bedingt zu erkennen. Eine EU-weit gültige Abgasnorm für neue Binnenschiffe wurde im Jahr 2005 eingeführt. Die darin enthaltenen spezifischen Emissionsgrenzwerte entsprechen jedoch nicht dem Standard der für vergleichbare Motorkategorien anderer Verkehrsträger gilt.

Im Rahmen dieser Studie wurde mittels eines Berechnungsmodells Verbesserungspotentials der klimarelevanten CO<sub>2</sub>- und Spurenstoffemissionen, NO<sub>x</sub> und Partikel von Donau-Binnenschiffen untersucht. Weiters wurde eine nachhaltige Umrüstmethode für Dieselmotoren typischer Donau-Binnenschiffe auf Methan-Zündstrahlbetrieb konzipiert. Zudem wurde ein Entwurf einer LNG Tanktechnologie für Binnenschiffe erstellt und eine mögliche LNG Betankungsinfrastruktur für Donau-Binnenschiffe erarbeitet. Um auch die rechtlichen Rahmenbedingungen zu erfüllen, wurde der diesbezügliche Änderungsbedarf für den Einsatz von flüssigem Methan und Biomethan in Binnenschiffen recherchiert. Abschließend wurde eine Kostenanalyse und Erhebung der Marktpotentials für die erarbeiteten Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen vorgenommen. Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines Workshops unter Beteiligung internationaler Schifffahrtsexperten präsentiert.

Durch den Einsatz von sauberen Kraftstoffen könnten somit insbesondere in ökologisch sensiblen Gebieten, wie dem österreichischen Donautal eine nachhaltige Reduzierung der klimarelevanten Abgasemissionen als auch der lokal direkt für den Menschen und die Natur schädlichen Ausstoß erreicht werden.

# Inhalt

1.	Einleitung .....	1
1.1	Aufgabenstellung .....	1
1.2	Schwerpunkte des Projektes .....	1
1.3	Einordnung in das Programm .....	2
1.4	Verwendete Methoden .....	2
1.5	Aufbau der Arbeit .....	3
2	Inhaltliche Darstellung .....	3
2.1	Modellierung CO <sub>2</sub> und lokale Schadstoffe .....	3
2.2	Umrüstmethode für Dieselmotoren auf LNG Betrieb.....	7
2.3	LNG Tanktechnologie für Binnenschiffe .....	9
2.4	Konzept für LNG Betankungsinfrastruktur für Binnenschiffe .....	9
2.5	Rechtlichen Vorschriften .....	11
2.6	Kostenanalyse für die erarbeiteten Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen sowie Erhebung des Marktpotentials .....	13
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	15
4	Ausblick und Empfehlungen .....	15
5	Literaturverzeichnis .....	16

## Abkürzungen und Formelzeichen

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
LNG	Liquid Natural Gas
BEP	Break Even Point
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
EF	Emissionsfaktoren
AD	Aktivitätsdaten
ECU	Electronic control Unit
IGC	International Gas Carrier
IGF	International Gas as Ship Fuel

<b>Kurzzeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
<b><math>E_i</math></b>	t	jährliche Emissionen des Abgases <i>i</i>
<b><math>KV_{m,j}</math></b>	t	Kraftstoffverbrauch der Art <i>m</i> von Binnenschiffgattung mit Motorentyp <i>j</i>
<b><math>EF_{i,m,j}</math></b>	t / t Kraftstoff	mittlerer Emissionsfaktor für die Abgasemission <i>i</i> bei Binnenschiffe mit Motorentyp <i>j</i> und Kraftstoffart <i>m</i>
<b><i>i</i></b>	-	Abgasemission (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> und Partikel)
<b><i>j</i></b>	-	Motorentyp
<b><i>m</i></b>	-	Kraftstoffart (Marinedieselöl MDO, Liquefied Natural Gas LNG).
<b><math>VL_{n,r,l}</math></b>	tkm	Transportleistung nach Verkehrsbereich <i>n</i> , Schiffgattung <i>l</i> und Fahrtrichtung <i>r</i>
<b><math>P_{r,j}</math></b>	kW	Abgegebene Leistung nach Fahrtrichtung <i>r</i> und Motorentyp <i>j</i>
<b><math>SKV_{m,j}</math></b>	g / kW und h	Spezifischer Kraftstoffverbrauch der Art <i>m</i> von Binnenschiffen mit Motorentyp <i>j</i>
<b><math>v_{r,l}</math></b>	km/h	Geschwindigkeit nach Schiffgattung <i>l</i> in Fahrtrichtung <i>r</i>
<b><math>T_l</math></b>	t	Tragfähigkeit des Schiffes nach Schiffgattung <i>l</i>

$a_{r,l}$	%	Auslastung nach Schiffgattung $l$ in Fahrtrichtung $r$
$n$	-	Verkehrsbereich (Empfang, Versand, Transit, Inlandverkehr)
$r$	-	Fahrtrichtung
$l$	-	Schiffgattung
$k_{fix}$	€	Fixkosten
$x$	Stück	Menge der benötigten Komponenten
$KV_a$	kg	Kraftstoffverbrauch pro Jahr $a$
$t_s$	h	Dauer in Fahrtrichtung $s$
$KV_{Fs}$	kg	Kraftstoffverbrauch pro Fahrtrichtung $s$
$R_a$	-	Rundfahrten pro Jahr $a$
$c_a$	€	Kraftstoffkosten pro Jahr
$p$	€	Kraftstoffpreis
$KV_a$	kg	Kraftstoffverbrauch pro Jahr
$k_{fix}$	€	Fixkosten
$c_{a, Diesel}$	€	Kraftstoffkosten Diesel pro Jahr
$c_{a, LNG}$	€	Kraftstoffkosten LNG pro Jahr

# 1. Einleitung

Die Binnenschifffahrt weist verglichen mit anderen Transportmöglichkeiten einen deutlich geringeren spezifischen Energiebedarf auf. Zudem kann die Lärmbelastung der Anwohner von Verkehrswegen reduziert und das Straßensystem entlastet werden. Die bei der Diesel-Verbrennung resultierende CO<sub>2</sub> – Emissionen können durch den Einsatz kohlenstoffarmer Treibstoffe, wie Methan und Biomethan nochmals erheblich reduziert werden. Bedingt durch das teilweise hohe Alter der Schiffsantriebe von bis 30 Jahren, weisen diese außerdem einen heute unüblich hohen lokalen Schadstoffausstoß von Feinstaubpartikeln (PM) und Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) auf. Die Entwicklung hin zu klima- und umweltfreundlichen Antrieben ist am Binnenschiffssektor somit nur bedingt zu erkennen. Im Jahr 2005 wurde eine EU-weit gültige Abgasnorm für neue Binnenschiffe eingeführt. Die darin enthaltenen spezifischen Emissionsgrenzwerte entsprechen jedoch nicht dem Standard der für vergleichbare Motorkategorien anderer Verkehrsträger gilt. In ökologisch sensiblen Gebieten, wie dem österreichischen Donautal. Durch den Einsatz von LNG, einem „sauberen Kraftstoff“, könnten insbesondere die klimarelevanten, aber auch die lokal direkt für den Menschen und Natur schädlichen Abgasemissionen nachhaltig gesenkt werden.

## 1.1 Aufgabenstellung

Diese Durchführbarkeitsstudie dient der Vorbereitung eines experimentellen Entwicklungsprojekts, das erstmals den Langstreckeneinsatz von alternativ angetriebenen Schiffen auf der österreichischen Donau vorsieht. Es wird insbesondere eine kostengünstige Lösung zur Nachrüstung von existierenden Schiffantrieben adressiert, da die Motoren, wie bereits erwähnt meist mehrere Jahrzehnte im Einsatz sind.

## 1.2 Schwerpunkte des Projektes

Hinsichtlich Ökologie, Ökonomie und gesellschaftlicher Akzeptanz wurde eine nachhaltige Lösung angestrebt.

Eine nachhaltige Reduktion der klimarelevanten Schadstoffe konnte errechnet werden. Nachdem eine Nachrüstlösung für im Betrieb befindliche Motoren angestrebt wurde, ist bei sorgfältiger Ausführung auch mit einer verbesserten Umwandlungseffizienz zu rechnen. Verschiedene Tanktechnologien wurden analysiert und ein Konzept für eine LNG Tanktechnologie sowie Betankungsinfrastruktur für Binnenschiffe erstellt. Verflüssigtes Erdgas kann am Weltmarkt, bezogen auf den Energieinhalt zu weniger als der Hälfte von Dieselöl eingekauft werden. Selbst jedoch zu dem in Österreich angebotenen Preis für LNG zeigt sich, dass die Kraftstoffkosten gesenkt werden, wodurch eine Umrüstung für Schiffbetreiber eine Motivation darstellen kann.

Eine Steigerung der Ressourceneffizienz ist wegen der kostengünstigen Umrüstung von existierenden Antrieben möglich.



Die internationale Abschlussstagung unter Einbindung von Experten und KollegInnen förderte die Qualifikation im Energie- und Klimaschutzbereich.

### **1.3 Einordnung in das Programm**

Energiestrategisch werden folgende Ziele des NE2020 Programmes adressiert.

Reduzierte CO<sub>2</sub>-Emissionen und lokale Schadstoffemissionen, die den Anwohnern und Passagieren unmittelbar zugutekommen, können durch den Einsatz von LNG in der Binnenschifffahrt erzielt werden und bringen somit nachhaltig ökologische Vorteile. Da der Preis von LNG wesentlich geringer ist als von Diesel, ist der Betrieb mit Erdgas mittelfristig gesehen auch ökonomisch günstiger. Außerdem kann Biomethan im Land hergestellt werden, wodurch die Bestrebungen einer Energieautonomie Österreichs unterstützt werden. Durch den Gütertransport am Schiff können Wirtschaftsstrukturen geschaffen werden, die langfristig klimaschützend wirken.

Durch die teilweise Substitution von Diesel durch den umweltfreundlichen Kraftstoff LNG kann der Verbrauch fossiler Energieträger nachhaltig gesenkt werden und somit auch die systembezogenen Ziele des Programmes angesprochen. Zudem wird die Optionenvielfalt sowohl hinsichtlich Technologie als auch Energieträger erweitert. Der niedrige Kohlenstoffgehalt von Methan kann eine verbesserte Effizienz der Treibhausgas – Reduktion bewirken.

Technologiestrategisch gesehen konnte im Rahmen des Projektes die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt werden. Zudem wäre durch den teilweisen Umstieg auf LNG in der Binnenschifffahrt eine Erhöhung der inländischen Wertschöpfung im Energiesystem zu erwarten.

### **1.4 Verwendete Methoden**

Zur Ermittlung des Verbesserungspotentials der klimarelevanten CO<sub>2</sub>- und Spurenstoffemissionen (NO<sub>x</sub> und Partikel) von Donau-Binnenschiffen wurde ein Kraftstoff- und Emissionsberechnungsmodell erstellt.

Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsdaten wurden statistisch ausgewertet und in dieses Modell integriert.

Konzepterstellung für Umrüstung von Dieselmotoren auf LNG-Mischbetrieb wurde sowie LNG Tanktechnologien als Kraftstoffspeichersystem für Binnenschiffe. Weiters wurden Auswahl und des Aufbaus der Betankungsinfrastruktur ohne Netzanschluss untersucht.

Neben den technischen Gegebenheiten erfolgte eine Recherche möglicher Sicherheitsaspekte zum Änderungsbedarf der rechtlichen Vorschriften, der Integration in europäische Normen.

Abschließend wurde eine Kostenbetrachtung für die erarbeiteten Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen durchgeführt, die Daten analytisch ausgewertet und mittels eines dementsprechenden Berechnungsmodells die Amortisationsdauer berechnet.

## **1.5 Aufbau der Arbeit**

Im Rahmen des Projektes wurde eine Umrüstmethode für dieselbetriebene Binnenschiffe auf Methan-Zündstrahlbetrieb untersucht. Zudem wurde ein Modell zur Berechnung des Verbesserungspotentials der klimarelevanten CO<sub>2</sub>- und Spurenstoffemissionen (NO<sub>x</sub> und Partikel) von Donau-Binnenschiffen erstellt und anschließend das zu erwartende Emissionsniveau bewertet. Weiters wurde ein Einbaukonzept einer LNG Tanktechnologie für Binnenschiffe (Erdgas und Biomethan) erstellt sowie eine LNG Betankungsinfrastruktur für Donau-Binnenschiffe zur Versorgung auf ihren typischen Fahrstrecken die erarbeitet.

Um die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von flüssigem Methan und Biomethan in Binnenschiffen zu untersuchen, wurde eine Recherche des Änderungsbedarfs der diesbezüglichen Vorschriften vorgesehen.

Anschließend wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für die erarbeiteten Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen durchgeführt.

Die Ergebnisse aus dem Projekt wurden in einem Abschlussworkshop internationalen Experten und politischen Entscheidungsträgern präsentiert und anschließend diskutiert.

Die hier erarbeitete Durchführbarkeitsstudie sollte als Vorbereitung für ein experimentelles Entwicklungsprojekt zur kurz- und mittelfristigen Umsetzung dienen.

## **2 Inhaltliche Darstellung**

### **2.1 Modellierung CO<sub>2</sub> und lokale Schadstoffe**

Das gegenständliche Arbeitspaket befasste sich mit der Modellbildung der spezifischen klimarelevanten CO<sub>2</sub>- und Spurenstoffemissionen (NO<sub>x</sub> und Partikel) von Binnenschiffen auf der österreichischen Donau.

Um die Berechnung des Verbesserungspotentials von Donau-Binnenschiffen durchführen zu können, wurde zuerst die aktuelle Emissionssituation auf der Donau analysiert. Das Vorliegen hochqualitativen Datenmaterials zu Luftschadstoffemissionen ist ein Schlüsselement der Umweltplanung. Dadurch können technische Prioritäten definiert und gesetzt, Luftqualitätsmodelle verbessert, eine Anpassung an nationale und internationale Ziele erreicht werden und der Wirkungsgrad von Strategieinterventionen hinsichtlich des Umweltschutzes erhöht werden.

#### **Berechnungsmodell**

Das Berechnungsmodell basiert auf dem Handbuch der European Environment Agency. Das Handbuch enthält technische Richtlinien zur Aufbereitung nationaler Emissionsbestandsaufnahmen und soll als Grundreferenz und für Mitgliedstaaten der Europäischen Union zur Emissionsberichtslegung gemäß der nationalen gesetzlich verordneten Emissionshöchstwerten, in Verbindung mit den UNECE Berichtsleitlinien, dienen. Auf Basis der Datenbank von Statistik Austria wurden die Transportleistungs- und Schifftypdaten statistisch ausgewertet. Dazu wurden die Leistungsprofile auf der Donau

analysiert um die Belastung der Donau-Binnenschiffe auszurechnen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über Transportleistungen und Belastungsprofile konnten in Emissionsfaktoren für die entsprechenden Schiffgattungen und Motorentypen übernommen werden. Dies diente zur Berechnung der nationalen sowie lokalen Emissionssituation. Das folgende Flussdiagramm stellt die Zwischenstufen der Berechnung von Kraftstoffverbrauch und Abgasmassenemissionen der Binnenschiffe dar.

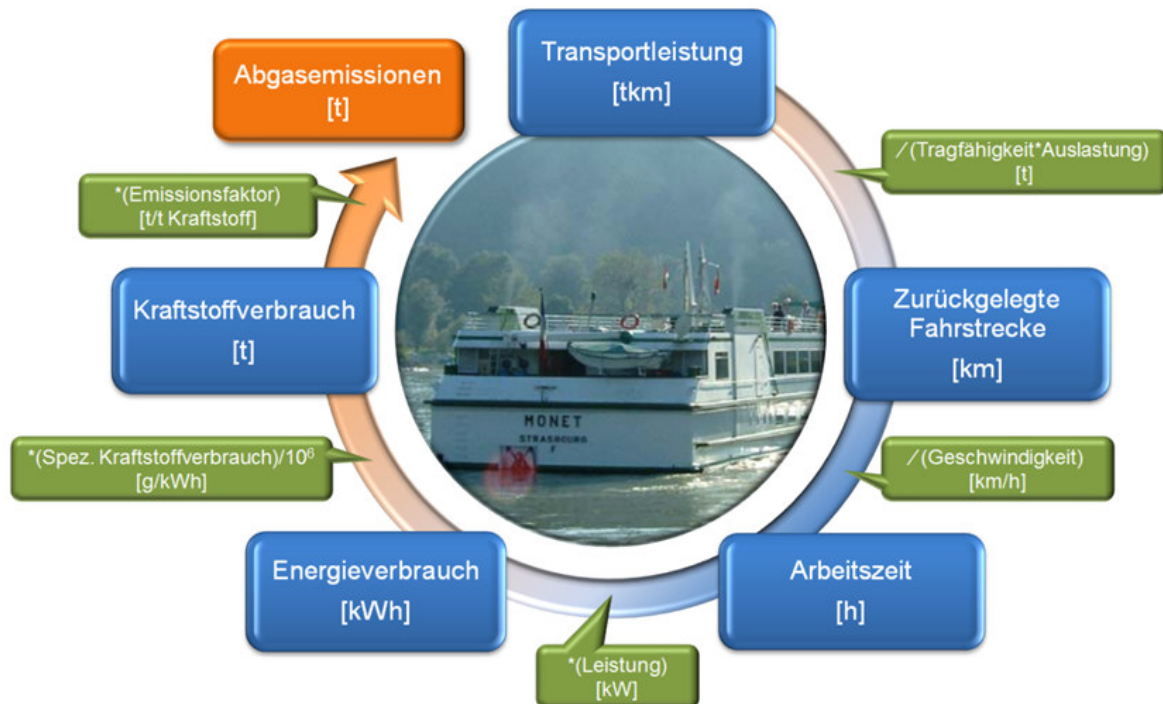


Abbildung 1 - Flussdiagramm zum Berechnungsmodell der CO<sub>2</sub> und Spurenstoffemissionen

## Methodik

Datenerhebungen aus dem Kumulativ aller Emissionsquellen sind extrem zeitaufwändig. Aus diesem Grund wird im Allgemeinen ein Schätzungsverfahren angewandt, bei dem Informationen im Ausmaß menschlicher Aktivität (auch Aktivitätsdaten oder AD genannt) mit Koeffizienten kombiniert werden, die Emissionen pro Einheit Aktivität quantifizieren, sogenannte Emissionsfaktoren (EF). Die Basisgleichung lautet:

$$\text{Emissionen} = \text{AD} \times \text{EF}$$

Im Energiesektor, beispielsweise, stellt der Kraftstoffverbrauch die Aktivitätsdaten und die Masse der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einheit Kraftstoffverbrauch einen Emissionsfaktor dar. Die Basisgleichung kann, unter gewissen Umständen, so modifiziert werden, dass andere Schätzungsparameter als Emissionsfaktoren, zum Beispiel, miteinbezogen werden um die Effekte zusätzlicher, sekundärer Reduktion zu erreichen.

Das Handbuch beschreibt eine gestaffelte Methode für Emissionsschätzungen. Für alle Quellen und Substanzen, die von Ländern, die Konventionsprotokolle ratifiziert haben, gemeldet werden müssen, liegen einfache Methoden (Tier 1) vor. Tier 2 Methoden werden

bei Schlüsselkategorien angewandt. Weitere Informationen gibt es für weiterentwickelte Ansätze für Schlüsselkategorien, in denen geeignete Methoden zur Verfügung stehen.

Tier 1 Methoden wenden eine einfache lineare Relation zwischen Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an. Die Aktivitätsdaten werden aus bereits verfügbaren statistischen Informationen (Energie- sowie Produktionsstatistiken, Verkehrserhebungen, Populationsgrößen, etc.) gewonnen. Die Standardemissionsfaktoren nach Tier 1 werden so gewählt, dass sie "typische" oder "durchschnittliche" Prozessgegebenheiten wiedergeben.

Für Tier 2 Methoden werden dieselben oder ähnliche Aktivitätsdaten verwendet wie bei Tier 1 Methoden, allerdings kommen länderspezifische Emissionsfaktoren zum Einsatz; deren Ableitung erfolgt durch auf Länder bezogene Daten hinsichtlich Prozessbedingungen, Kraftstoffqualität, Reduktionstechnologien, etc. In vielen Fällen können diese Methoden auch bei einem höheren Detailierungsgrad angewandt werden, das heißt, wenn Aktivitätsstatistiken in Subaktivitäten mit mehr oder weniger homogenen Prozesscharakteristika unterteilt werden.

Für die Modellbildung der spezifischen klimarelevanten CO<sub>2</sub>- und Spurenstoffemissionen von Donau-Binnenschiffen wurde ein Tier 2 Berechnungsmodell eingearbeitet entsprechend der zur Verfügung gestellten Informationen. Der Tier 2 Ansatz verwendet, wie Tier 1, Verbrauch nach Kraftstofftyp, benötigt allerdings länderspezifische Daten des Verhältnisses von Kraftstoff- zu Antriebtyp (Langsam-, Mittel- oder Schnellläufermotoren).

Für diesen Ansatz wird folgender Algorithmus angewandt:

$$E_i = \sum_m \sum_j KV_{m,j} \times EF_{i,m,j} \quad (\text{Fehler! Textmarke nicht definiert.})$$

wobei:

$E_i$  = jährliche Emissionen des Abgases  $i$  (Tonnen),

$KV_{m,j}$  = Kraftstoffverbrauch der Art  $m$  von Binnenschiffgattung mit Motorentyp  $j$  (Tonnen),

$EF_{i,m,j}$  = mittlerer Emissionsfaktor für die Abgasemission  $i$  bei Binnenschiffe mit Motorentyp  $j$  und Kraftstoffart  $m$  (Tonnen pro Tonnen Kraftstoff).

$i$  = Abgasemission (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> und Partikel)

$j$  = Motorentyp

$m$  = Kraftstoffart (Marinedieselöl MDO, Liquefied Natural Gas LNG).

Der Kraftstoffverbrauch wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$KV_{m,j} = \sum_n \sum_r \sum_l \frac{VL_{n,r,l} \times P_{r,j} \times SKV_{m,j}}{v_{r,l} \times T_l \times a_{r,l}} \quad (\text{Fehler! Textmarke nicht definiert.})$$

wobei:

$KV_{m,j}$  = Kraftstoffverbrauch der Art  $m$  von Binnenschiffen mit Motorentyp  $j$  (Tonnen),

$VL_{n,r,l}$  = Transportleistung nach Verkehrsbereich  $n$ , Schiffgattung  $l$  und Fahrtrichtung  $r$  (Tonnenkilometer),

$P_{r,j}$  = Abgegebene Leistung nach Fahrtrichtung  $r$  und Motorentyp  $j$  (Kilowatt).

$SKV_{m,j}$  = Spezifischer Kraftstoffverbrauch der Art  $m$  von Binnenschiffen mit Motorentyp  $j$  (Gramm pro Kilowatt und Stunde),

$v_{r,l}$  = Geschwindigkeit nach Schiffgattung  $l$  in Fahrtrichtung  $r$  (Kilometer pro Stunde),

$T_l$  = Tragfähigkeit des Schiffes nach Schiffgattung  $l$  (Tonnen).

$a_{r,l}$  = Auslastung nach Schiffgattung  $l$  in Fahrtrichtung  $r$  (Prozent).

$n$  = Verkehrsbereich (Empfang, Versand, Transit, Inlandverkehr)

$r$  = Fahrtrichtung (zu Berg, zu Tal)

$l$  = Schiffgattung (MGS; MSS;)

Für die Darstellung der aktuellen Emissionssituation auf der österreichischen Donau wurde das Jahr 2010 analysiert. Zuerst erfolgte die Auswertung der Transportleistung nach Verkehrsart und Fahrtrichtung. Anschließend konnte die Transportleistung nach Schiffsgattungen dargestellt werden. Dies diente zur Berechnung der gesamten zurückgelegten Kilometer der Binnenschiffe auf der Donau.

Weiters wurden die zurückgelegten Kilometer mit den mittleren Geschwindigkeiten der Binnenschiffe multipliziert um die Arbeitszeit ausrechnen zu können. Die Auswertung der Schleusenstatistik der via donau ergab repräsentative Zahlen. Bei den Schubverbänden dominieren die Formationen mit einem Schubschiff und zwei Leichtern, gefolgt von Formationen mit einem Schubschiff und vier, welche vorwiegend zum Erztransport eingesetzt werden. Für die Koppelverbände ergab sich ein ähnliches Bild: Dominierend sind Koppelverbände mit einem Motorgüterschiff und einem Leichter, gefolgt von Koppelverbänden mit einem Motorgüterschiff und 3 Leichtern.

Aus dem Leistungsprofil der Donau konnte der Leistungsbedarf der unterschiedlichen Schiffsgattungen abgeleitet werden und gemeinsam mit der Arbeitszeit ergab sich der gesamte Energieverbrauch der Binnenschiffe auf der österreichischen Donau.

### **Verbesserungspotential der klimarelevanten Emissionen**

Der Einsatz von Methan bietet aufgrund der chemischen Eigenschaften des Kraftstoffs ein Potential zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zu 15% im Vergleich zu Diesel. Bei Verwendung von Biomethan, einer der besten Biokraftstoffe, ist eine enorme Reduzierung der Klimarelevanz möglich. Methan verbrennt, physikalisch bedingt, praktisch rußfrei und stellt gegenüber den derzeit eingesetzten Motoren einen klaren Technologiesprung dar.

Dual-Fuel LNG Antriebe in Binnenschiffen ermöglichen bei geeigneter Applikation eine Reduktion von CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> sowie Partikel.

## **2.2 Umrüstmethode für Dieselmotoren auf LNG Betrieb**

Im dritten Arbeitspaket wurde eine Umrüstmethode für typische Donau – Binnenschiffe von Diesel- auf Methan – Zündstrahlbetrieb erarbeitet.

Allgemein gibt es vier unterschiedliche motorische Brennverfahren für die Nutzung gasförmiger Kraftstoffe<sup>1</sup>:

- $\lambda=1$  Gas-Ottomotoren (mit Fremdzündung)
- Gas-Ottomagermotoren (mit Fremdzündung)
- Diesel-Gasmotoren (mit Zündstrahl)
- Gas-Dieselmotoren (mit Zündstrahl)

Aufgrund ihrer maximalen Leistungsabgaben eignen sich sowohl das Diesel-Gas- als auch das Gas-Dieselfahren für den Einsatz als Dual-Fuel LNG-Antriebssystem in der Schifffahrt. In beiden Fällen abhängig von der Substitutionsrate des Dieselkraftstoffs durch Methan stehen unterschiedliche Betriebsarten zur Verfügung.

Bei den Diesel-Gasmotoren kann die Gaszuführung je nach Einsatzfall zentral vor oder nach dem Verdichter des Abgasturboladers oder mit Einzelgasventilen direkt vor den Zylindern angeordnet werden. Die Zündung des Brenngasgemisches erfolgt mittels der Einspritzung des Dieselkraftstoffs (Piloteinspritzung), die über die Selbstzündung die Entflammung des Brenngases einleitet. Der Energieinhalt dieser Zündölmenge ist um einige Zehnerpotenzen größer als der Funken einer Zündkerze, sodass mit diesem Verfahren auch sehr entflammungsträge Sondergase entzündet werden können, im Gegensatz zum ottomotorischen Brennverfahren. Neben dem Betrieb mit Gas können die Diesel-Gasmotoren auch als klassische Dieselmotoren betrieben werden.

Die Ausgangsbasis stellt einen üblichen Dieselmotor dar. Das Konzept kann auch in Kombination mit Abgasturboaufladung eingesetzt werden. Das Einspritzsystem wird für diese Anwendung um ein separates System für die Zündöleinspritzung ergänzt. Prinzipiell kann dies sowohl ein rein mechanisches,nockengetriebenes System als auch ein Common-Rail-System sein.

Bei diesem Aufbau erfolgt die Gaszufuhr mit zylinderindividuellen Gaseinblaseventilen, die direkt vor den Einlassventilen der Zylinder im Ansaugtrakt angeordnet sind. Die Ansteuerung wird elektronisch durchgeführt. Der erforderliche Gasvordruck beträgt ungefähr 1,5 bar oberhalb des maximalen Ladedrucks im Gasbetrieb. Damit ist eine einwandfreie Einblasung sichergestellt. Die Gaszufuhr erfolgt während die Einlassventile geöffnet sind und erst nach dem Schließen der Auslassventile. Dieses Timing verhindert, dass unverbranntes Gas direkt in das Abgassystem gelangt, was einerseits zu einer Verminderung des Wirkungsgrades

---

<sup>1</sup> Mohr, H., „Gasbetriebene Motoren für LNG-Tanker“. Schiffbau & Schiffstechnik, Antriebstechnik. Schiff & Hafen, Januar 2008, Nr.1.

führen würde und auch die Gefahr einer Ansammlung von unverbranntem Gas im Abgassystem birgt.

Das Dual-Fuel System funktioniert üblicherweise mit einem separaten Steuergerät zwischen dem Originalsteuergerät des Antriebssystems und dem Einspritz- und Einblassystem. Damit kann auch eine optimierte sequentielle Gaseinblasung abgebildet werden. Das Methan-Steuergerät (Gas ECU) ermöglicht ein Closed Loop Feedback System, das neben den Daten für die Gaseinblasung die Variablen des Dieselsystems (aus dem Diesel ECU) abliest und die Einspritzung des Restdiesels sowie das Einblasen des Methans überwacht und steuert. In diesem Zuge werden Lambdasonde- und Klopfensordaten, Einspritzdruck, Pedalposition, Kühlwassertemperatur, Gastemperatur und Gasdruck sowie weitere Daten wie Drehzahl ausgewertet und als Eingangswerte für die Gas-Diesel-Injektion genutzt.

Bei den Gas-Dieselmotoren, die mit Leistungen bis zu 17000 kW als 4-Takt-Mittelschnellläufer zur Verfügung stehen können, wird das Brenngas nicht über die Verbrennungsluft zugeführt, sondern mittels Hochdruckdirekteinblasung in den Brennraum gebracht. Dies hat den Vorteil, die klopfreudigen Brenngase erst direkt vor dem Beginn der Verbrennung zuführen zu können, wodurch sie nahezu keine Möglichkeit haben, durch Vorreaktionen ins Klopfen zu kommen. Dieses Brennverfahren zeichnet sich durch ein hohes Leistungsniveau aus. Allerdings wird für die Gaseinblasung ein sehr hoher Gasdruck von bis zu 350 bar benötigt, was eine Minderung des Wirkungsgrads als Folge hat.

Die Dual-Fuel LNG-Antriebssysteme werden in unterschiedliche Motorenkategorien eingebaut, von Heavy und Light Duty Motoren bis zu Lokomotiv- und Stationärmotoren. Diese Umrüstsysteme verfügen generell über die üblichen Komponenten für die Zufuhr des Gases wie Einblaseventile, Common-Rail-Systeme, die erforderlichen Sensoren für die Kontrolle und Überwachung sowie die entsprechenden ECUs für die Ansteuerung des Systems. Darüber hinaus gibt es auch Motorenhersteller, die serienmäßige Dual-Fuel LNG-Antriebssysteme anbieten, wie z.B. Wärtsilä.

### **Fallstudien**

Fast die Hälfte des wasserseitigen Umschlags in Österreich erfolgt im Hafen Linz der voestalpine, welche die Schifffahrt stark nutzt. Als wirtschaftlich starkes Unternehmen ist sie in der Lage Eisenerz über Jahrzehnte zu beziehen und einem Schifffahrtsunternehmen langjährige Verträge anzubieten, weshalb dieses mit relativ gesicherten Einkünften rechnen kann. Da die Einnahmen über einen langen Zeitraum verhältnismäßig gut vorhersehbar sind, kann das Schifffahrtsunternehmen in Innovationen investieren, die sich auch erst nach einigen Jahren amortisieren, wie beispielsweise die Umrüstung auf LNG Antriebe. Weiters können sowohl das produzierende Unternehmen, z.B. die voestalpine, als auch das Schifffahrtsunternehmen öffentlichkeitswirksam ihren Beitrag zum Umweltschutz und neuen Innovationen hervorheben und durch gesteigerte Akzeptanz, z.B. durch die Politik, ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern.

Als Fallstudie wurde ein Eisenerztransport von Izmail nach Linz und zurück gewählt. Der Transport wird mit einem Schubverband durchgeführt, welcher aus einem Schubschiff und vier Europa IIB Leichtern besteht.

Als weiterer Fall wurde ein Koppelverband bestehend aus einem Motorgüterschiff der Steinklasse und einem Europa IIB Leichter betrachtet, welcher Schüttgut von Passau nach Vidin und zurück transportiert. Die Vorgehensweise ist ähnlich zu jener für den Vierer-Schubverband, wobei hier der Einfachheit halber leicht modifizierte Ergebnisse aus dem EU Projekt CREATING verwendet werden.

Um eine repräsentative Westrelation zu untersuchen, wurde zusätzlich ein Eisenerztransport von Rotterdam nach Linz mit einem Koppelverband betrachtet, dessen technische Daten jenen des Falles c entsprechen. In Ermangelung genauerer Daten wird der erforderliche Kraftstoffbedarf mit Daten aus dem Handbuch der Donauschifffahrt, via donau, 2007, für die Transportlänge, Transportzeit und einem durchschnittlichen spezifischen Kraftstoffverbrauch ermittelt.

### **2.3 LNG Tanktechnologie für Binnenschiffe**

Der große Vorteil von LNG gegenüber gasförmigem Erdgas liegt im Volumen pro Energieeinheit. Durch die hohe Energiedichte ist es möglich dieses Produkt leitungsunabhängig zu transportieren. Der Transport erfolgt auf See in großen LNG Tankern, auf der Schiene als auch auf der Straße in speziellen LNG Tanks.

Im Speziellen müssen die LNG Tanks beziehungsweise Transportbehälter folgende Anforderungen erfüllen. Die Produkttemperatur von mindestens  $-162^{\circ}\text{C}$  muss bestmöglich gegen Erwärmung geschützt sein. Die Transportbehälter müssen einen Betriebsdruck bis 13 bar standhalten und die entsprechenden Wärmeausdehnungen ausgleichen können. Das Isoliervermögen eines LNG Tanks wird mit mindestens 50 Tage bis zum Erreichen des Betriebsdruckes angegeben. Die Transportbehälter müssen für den Transport gefährlicher Güter die Anforderungen gemäß ADR erfüllen.

Um den Einsatz des LNG möglichst flexibel zu gestalten wurde im Projekt ein Versorgungskonzept der Binnenschiffe über ein LNG Containersystem ausgearbeitet.

#### **LNG-Tankanordnung**

Da die Koppelverbände und Schubverbände vor allem den Ostverkehr gut wiedergeben und dort somit großes Potential liegt, werden diese Formationen in der Studie zunächst näher betrachtet. Die derzeit vorhandene LNG Infrastruktur, welche der Donauschifffahrt zur Verfügung steht, setzt sich aus mobilen Lösungen zusammen.

### **2.4 Konzept für LNG Betankungsinfrastruktur für Binnenschiffe**

Für die Herstellung von LNG wird das Erdgas zunächst aus den Vorkommen gefördert und anschließend in speziellen Anlagen verflüssigt. Dabei wird das Erdgas auf  $-162^{\circ}$  abgekühlt. Beim Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand verringert sich das Volumen des Erdgases auf 1/600 seines Volumens aus der Gasphase unter Normalbedingungen ( $0^{\circ}\text{C}$ ; 1013 mbar). LNG wird auf einen maximalem Betriebsdruck von 7-13 bar verdichtet. Dieses Produkt wird in speziell für den Gebrauch mit LNG isolierten Tanks gelagert und dann auf die



Tanker verladen, in denen das flüssige Erdgas verfrachtet wird. Im Zielhafen wird der Tanker dann entladen und das LNG wird wieder in Spezialtanks gelagert, ehe es für die weitere Verwendung entweder wieder vergast oder in flüssiger Form weitertransportiert wird.

Auch im europäischen Raum findet ein immer stärkerer LNG Transport statt. So werden vor allem Länder wie Frankreich, Skandinavien, Spanien, Italien und Portugal mit LNG versorgt.

Zurzeit wird an eine erhebliche Anzahl von LNG Terminals angeliefert und in den Europäischen Gasverbund eingespeist. An Terminals in Spanien, Belgien, UK und Norwegen ist die Verladung in Transportbehältern möglich. Diese Terminals wurden für die Betrachtung der LNG Transportlogistik herangezogen. Neben dem Ausbau weiterer Terminals befinden sich derzeit Verflüssigungsanlagen in Polen und UK in Bau. An diesen Anlagen wird LNG direkt aus Sondengas beziehungsweise einer Mischung aus Biogas und Erdgas hergestellt. Aufgrund der relativ kurzen Transportwege ist eine weitere Betrachtung der Binnen LNG Quellen zielführend.

### **LNG Herstellung an der LNG Tankstelle am Hafen**

Neben der LNG Anlieferung per Schiff, Bahn oder LKW wurde im Projekt auch die Herstellung direkt am Hafen betrachtet. Erdgas wird durch eine Kombination aus Komprimierung und Abkühlung verflüssigt. Bei dieser Kondensation ist es wichtig das Gas von Verunreinigungen zu befreien, um zu verhindern, dass sich diese auf den Kühlkreislauf negativ auswirken. Der Prozess, der das Vorgehen beim Verflüssigungsprozess theoretisch beschreibt ist der Joule- oder Brayton-Kreislauf, in dem durch abwechselndes Aufbringen von Druck, durch Entspannen und durch geeignete Wärme Zu- und Abfuhr das Gas abgekühlt wird.

### **LNG Tankstelle**

Neben der für dieses Projekt bevorzugten LNG Logistik über ein Containersystem wurde im Projekt auch die Versorgung über eine LNG Tankstelle am Hafen betrachtet.

Eine entsprechende Tankstelle, wird über einen LNG Transporter (z.B. CryoGo) aufgefüllt, wobei das flüssige Erdgas am Scheitel des LNG Tanks in diesen gegeben wird, um den Druck im Tank, zu senken. Dies erfolgt wie schon beim Transport des LNG dargestellt, indem das einfließende flüssige unterkühlte Erdgas, das im Tank schon teilweise verdampfte LNG kondensieren lässt und der Druck im Tank dann aufgrund der Volumenabnahme zurück geht. Wenn der Druck im Tank bei langer Lagerung zu stark ansteigt, wird aufgedampftes Erdgas aus dem Tank durch einen "Kondensator" geleitet und anschließend wieder zurück in den Tank gepumpt. Auf diese Weise werden Gasverluste durch Abblasen vermieden. Der Lagertank des LNG besteht in der Innenwand aus kaltzähem Chrom-Nickel-Stahl und an der Außenwand aus korrosionsgeschütztem Baustahl. Isoliert ist ein derartiger Tank durch evakuiertes, nicht brennbares Isolierpulver, das eine besonders Verlustfreie Lagerung ermöglicht. Wenn LNG am Tankstutzen entnommen wird, erfolgt die Förderung des Flüssigerdgases mit Hilfe einer LNG Tiefkaltpumpe.

Die Betankung des Schiffes erfolgt, vergleichbar wie bei herkömmlichen Flüssigkraftstoffen, über einen Betankungsschlauch und einer vom Bedienpersonal einfach zu bedienenden Füllkupplung, wie in folgender Abbildung dargestellt.

Die Anforderungen an den Aufstellungsort ergeben sich aus den für Flüssigkraftstoffe geltenden Richtlinien. Zusätzlich ist auf die Errichtung der Gasdruckentspannungsleitungen Rücksicht zu nehmen. Grundsätzlich gilt die Aussage, an Standorten welche für den Betrieb von Tankstellen für Diesel geeignet sind ist auch die Realisierung einer LNG Tankstelle ohne größere Zusatzaufgaben möglich.

## **2.5 Rechtlichen Vorschriften**

### **Besteuerung von Kraftstoffen für die Schifffahrt**

Die Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom ist in der Europäischen Union durch die Richtlinie 2003/96/EG geregelt. Diese Richtlinie empfiehlt die Steuerbefreiung von Energieprodukten für die Luft- und Schifffahrt beizubehalten, wobei aber den Mitgliedstaaten die Möglichkeit einer Einschränkung der Steuerbefreiungen eingeräumt wird. Gemäß Artikel 15 können die Mitgliedstaaten uneingeschränkte oder eingeschränkte Steuerbefreiungen oder Steuerermäßigungen für Lieferungen von Energieerzeugnissen zur Verwendung als Kraftstoff für die Schifffahrt in Binnengewässern der Gemeinschaft als auch für Erdgas und Flüssiggas gewähren, die als Kraftstoff verwendet werden.

Die steuerlichen Rahmenbedingungen für Mineralölprodukte und LNG zur Verwendung in der Binnenschifffahrt sind gleich, weshalb man mit keiner Einschränkung des Preisvorteils von LNG auf Grund unterschiedlicher Besteuerung zu rechnen braucht. Im Gegenteil, sollte es dazu kommen, dass irgendwann Steuern auf Schiffskraftstoffe eingehoben werden, könnte LNG wesentlich günstiger besteuert werden, da es eine höhere Umweltfreundlichkeit als Mineralölprodukte besitzt.

### **Technischen Vorschriften**

Für die Zulassung von Binnenschiffen in der Europäischen Union ist die Richtlinie 2006/87/EG - RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Dezember 2006 über die technischen Vorschriften für Binnenschiffe und zur Aufhebung der Richtlinie 82/714/EWG des Rates relevant. Diese Richtlinie regelt die technischen Anforderungen, die Binnenschiffe, die in der Europäischen Union betrieben werden sollen, für eine Zulassung erfüllen müssen. Die Richtlinie beschränkt sich nicht unbedingt nur auf Mineralölprodukte, aber auf den Einsatz von Verbrennungsmotoren, die nur mit Brennstoffen betrieben werden dürfen, deren Flammpunkt über 55°C liegt. Der Flammpunkt von LNG liegt deutlich niedriger, weshalb LNG Antriebe durch diese Richtlinie nicht geregelt sind. Für eine Verwendung von LNG als Schiffskraftstoff in der Binnenschifffahrt müsste die technische Richtlinie überarbeitet werden, wofür etwa 5 Jahre grob veranschlagt werden müssten. Für Pilotversuche besteht die Möglichkeit des Erhalts einer Ausnahmegenehmigung auf Basis

des Artikels 2.19, welcher die Gleichwertigkeit und Abweichungen von technischen Lösungen regelt. Die zuständige Behörde für die Zulassung von Schiffen in Österreich ist die Oberste Schifffahrtsbehörde, welche im BMVIT angesiedelt ist. Hier könnte eine vorläufige Zulassung in kürzerer Zeit erfolgen, wobei eine entsprechende Empfehlung vom zuständigen Ausschuss ausgesprochen werden muss, welcher aus Vertretern der einzelnen EU Staaten besteht. Derzeit liegen bereits vier Anträge für die Verwendung von LNG für Hauptantriebsmaschinen vor, die allerdings erst im zuständigen Ausschuss behandelt werden müssen.

Für den Transport von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen sind die Gefahrgutvorschriften nach ADN relevant. LNG hat die UN-Nummer UN 1972 und ist derzeit in der Tabelle C des ADN nicht angeführt. Daher darf es auch nicht in Tankschiffen befördert werden. Eine Beförderung ist derzeit nur im Trockengüterschiff in Behältern, die nach ADR, RID oder IMDG Code zugelassen sind, möglich. Für die Beförderung von LNG in Tankschiffen wäre eine Ausnahmegenehmigung nach dem Verfahren in Abschnitt 1.5.2 des ADN erforderlich. Unter 3.2.4.2 findet man das Muster des Antrags auf eine Ausnahmegenehmigung und unter 3.2.4.3 die Zuordnungskriterien, nach denen der Tankschiffstyp und die Ausrüstung festgelegt werden. Wenn sich nach diesen Kriterien ergeben sollte, dass der gewünschte Typ nicht zulässig ist, müsste eine Gleichwertigkeit nach Abschnitt 1.5.3 beantragt werden. Da die Gleichwertigkeit vom Verwaltungsausschuss der ADN-Vertragsparteien beschlossen werden muss, kann keine einzelne Behörde eine Zusicherung geben, dass eine Gleichwertigkeit erteilt wird (oder abgelehnt wird).

Derzeit ist nicht geregelt, welche Anforderungen der Schiffsführer und das Schiffspersonal erfüllen müssen, wenn LNG als Schiffskraftstoff verwendet wird. Da es sich bei herkömmlichem Marine Gasöl auch um gefährliches Gut handelt und hier keine Gefahrgutausbildung erforderlich ist, kann man davon ausgehen, dass für Schiffsbetrieb mit LNG eine geringfügige Zusatzausbildung anstelle der umfassenden Gefahrgutausbildung ausreichen wird. Wäre eine umfassende Gefahrgutausbildung erforderlich, würde dies die Umsetzung von LNG Antrieben sehr erschweren, da entsprechende Schiffsführer vorhanden sein und diese auch besser entlohnt werden müssen, ganz zu schweigen von der aufwendigen und teuren Zusatzausbildung.

Relevante Vorschriften aus der Seeschifffahrt sind der International Gas Carrier (IGC) Code, die International Gas as Ship Fuel (IGF) Interim Guideline, der IGF Code, welcher mit SOLAS 2014 in Kraft treten soll, und die Klassifikationsvorschriften des Germanischen Lloyd (Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships, in Kraft seit 2010).

Die ADN Vorschriften und die Vorschriften aus der Seeschifffahrt können als erste Grundlage für die Überarbeitung der technischen Vorschriften für Binnenschiffe herangezogen werden, wobei jene des Germanischen Lloyd von hohem Interesse sind, da der Germanische Lloyd eine anerkannte Klassifikationsgesellschaft für Binnenschiffe ist und die Möglichkeit der Anordnung von Tanks unter dem Wohnbereich vorantreibt. Weiters bleibt abzuwarten, was sich aus den derzeit laufenden Entwicklungen in den Niederlanden ergeben wird, und wie man diese Ergebnisse in der Überarbeitung der technischen Vorschriften berücksichtigen kann.

## 2.6 Kostenanalyse für die erarbeiteten Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen sowie Erhebung des Marktpotentials

Neben der nachhaltigen Reduzierung der klimarelevanten Abgasemissionen durch Einsatz von LNG kann für Schiffsbetreiber vor allem der Vorteil im Kraftstoffpreis von LNG gegenüber Diesel als Motivation für den Umbau auf LNG betriebene Schiffsmotoren genannt werden. Im gegenständlichen Arbeitspaket wurde eine Kostenanalyse durchgeführt und im Anschluss eine Berechnung des Break-Even für Umrüst- und Infrastrukturmaßnahmen angestellt. In das vorliegende Modell fließen verschiedene Kostenkomponenten ein, deren Berechnung im Folgenden näher erklärt wird.

Die unabhängig von der Menge an verbrauchtem Kraftstoff anfallenden Kosten sind Fixkosten und umfasst alle Komponenten, die für die Motorumrüstung, die Anpassung des Schiffes an den neuen Antrieb und die Transportkosten für den Treibstoff am Landweg.

$$k_{fix} = \sum_1^n k_{fix} \times x \quad (\text{Fehler! Textmarke nicht definiert.})$$

Wobei:

- $k_{fix}$  = Fixkosten  
 $x$  = Menge der benötigten Komponenten

Der Kraftstoffverbrauch pro Schiff in Kilogramm pro Jahr errechnet sich aus der Summe über die Produkte der Fahrzeiten stromaufwärts und abwärts und dem jeweiligen Verbrauch, multipliziert mit den Rundfahrten pro Jahr.

$$KV_a = \sum t_s \times KV_{Fs} \times R_a \quad (\text{Fehler! Textmarke nicht definiert.})$$

Wobei:

- $KV_a$  = Kraftstoffverbrauch pro Jahr a  
 $T_s$  = Dauer in Fahrtrichtung s  
 $KV_{Fs}$  = Kraftstoffverbrauch pro Fahrtrichtung s  
 $R_a$  = Rundfahrten pro Jahr a

Für die Substitutionsmenge an LNG wird der Jahresverbrauch an Diesel mit einem Verbrauchsäquivalent, das den Mehrverbrauch angibt und mit einem Substitutionsgrad, je nachdem welche Menge Diesel ersetzt werden soll, multipliziert.

Die jährlichen Kosten je Kraftstoff ergeben sich aus dem Produkt des jeweiligen Kraftstoffverbrauchs und des –preises.

$$C_a = p \times KV_a \quad (\text{Fehler! Textmarke nicht definiert.})$$

Wobei:

$c_a$  = Kraftstoffkosten pro Jahr  
 $p$  = Kraftstoffpreis  
 $KV_a$  = Kraftstoffverbrauch pro Jahr

Der errechnete Break-Even Point gibt die Anzahl der Jahre an nach denen die Summe der Fixkosten für Umrüstung, etc. und Kraftstoffkosten für LNG gleich viel beträgt wie die Dieseldkosten in diesem Zeitraum.

$$BEP = \frac{(k_{fix})}{c_{a, Diesel} - c_{a, LNG}} \quad (\text{Fehler! Textmarke$$

nicht definiert.)

Wobei:

$BEP$  = Break Even Point  
 $k_{fix}$  = Fixkosten  
 $c_{a, Diesel}$  = Kraftstoffkosten Diesel pro Jahr  
 $c_{a, LNG}$  = Kraftstoffkosten LNG pro Jahr

Die Break Even Analyse wurde beispielhaft für einen Schubverband mit vier Leichtern gerechnet. Die unabhängig von der Menge an verbrauchtem Kraftstoff anfallenden Kosten umfassen die Motorumrüstung, die Anpassung des Schubverbands sowie den Transport des LNG Containers zum Schiff. Die Berechnung der Umbaukosten erfolgt unter der Annahme, dass die Tanks im Laderaum angeordnet werden. Die Mietkosten für die Tanks sind im österreichischen Preis für LNG berücksichtigt.

Die Umbaumaßnahmen sind zudem mit einem geringfügigen Tragfähigkeitsverlust verbunden, welcher unter Umständen zu einem Einkommensverlust führen kann, der erst an Hand von konkreten Daten des jeweiligen Schifffahrtsunternehmens im Detail abgeschätzt werden können.

## Marktpotential

Um das Marktpotential im Detail darstellen zu können, wurde die Binnenschifflotte auf europäischer Ebene nach Schiffsgattungen aufgeteilt. Berücksichtigt wurden alle EU Länder und die Schweiz sowie EU Kandidaten wie Kroatien, Serbien und osteuropäische Staaten wie die Ukraine und Moldawien. Alle dieser Länder bilden vier Korridore (Rhein, Donau Süd-Ost, Ost-West und Nord-Süd) plus die skandinavische Region, Großbritannien, Italien und die iberische Halbinsel. Insgesamt werden über 40.000 km Wasserstraßen beinhaltet.

Zu dieser europäischen Binnenschifflotte gehören folgende Schiffsgattungen wie Motorgüterschiff, Motorschubschiff, Motortankschiff und Tankschiffe. Darüber hinaus wurde jede Schiffgattung nach verschiedenen Angaben wie maximale Beladung, Leistung und Alter des Binnenschiffes unterteilt<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> PINE Prospects of inland navigation within the enlarged Europe, Final Report, March 2004

Somit ergibt sich alleine am europäischen Markt ein sehr erhebliches Potential zur Umrüstung auf den alternativen Antrieb, bzw. Energieträger. Insbesondere kann die Umrüstung zusammengehöriger Flotten mit bis zu einigen hundert Schiffen als vielversprechend angesehen werden.

### **3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

- In der vorliegenden Durchführbarkeitsstudie konnte das Reduktionspotenzial der klimarelevanten Emissionen durch den Einsatz von Methan als Kraftstoff in der Binnenschifffahrt dargelegt werden.
- Zudem wurde deutlich aufgezeigt, dass die Substitution von Diesel durch LNG für Schiffsbetreiber eine Kostenersparnis mit sich bringt. Durch das deutlich günstigere LNG amortisieren sich auch die Umrüstkosten auf Methan- Zündstrahlbetrieb rasch.
- Aufgrund dieser Erkenntnisse wird seitens des Konsortiums ein experimentelles Entwicklungsprojekt angedacht.
- Die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft wurde aufgrund der komplementären Zusammensetzung des Konsortiums gestärkt.
- Die internationale Abschlusstagung unter Einbindung von Experten und KollegInnen förderte die Qualifikation im Energie- und Klimaschutzbereich am Binnenschifffahrtssektor.
- Durch den Betrieb mit LNG könnte der Gütertransport per Schiff eine umweltfreundliche Alternative zur Beförderung per LKW darstellen.

### **4 Ausblick und Empfehlungen**

Durch den Betrieb mit LNG könnte der Gütertransport per Schiff eine umweltfreundliche Alternative zur Beförderung per LKW darstellen.

Neben der nachhaltigen Reduzierung der klimarelevanten Abgasemissionen durch Einsatz von LNG kann für Schiffsbetreiber vor allem der Vorteil im Kraftstoffpreis von LNG gegenüber Diesel als Motivation für den Umbau auf LNG betriebene Schiffsmotoren genannt werden.

In Folge wäre die Untersuchung einer Umrüstung auch für Passagierschiffe für Betreiber im Tourismusbereich von Interesse, da auch die Geruchsbelästigung bei der Anwendung von LNG erheblich reduziert werden kann.

## 5 Literaturverzeichnis

Siehe Querverweise auf jeweiliger Seite

Weitere relevante Literatur:

PAULI, G. UND SCHWEIGHOFER, J. September, 2008. Die Entwicklung der Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 9/2008.

Cachón, L., Tóth, D., Pucher, E.: "Real-world Emission Monitoring of Natural Gas Vehicles with Higher Mileage", 2009-24-0151, SAE International, 2009

SCHWEIGHOFER, J. UND BLAAUW, H. G. Juni, 2008. Virtual Guided Tour of the Cleanest Ship. Danube Summit 2008, Konstantza, Rumänien, Vortrag.

SCHWEIGHOFER, J. UND SEIWERTH, P. November, 2007. Inland Environmental Performance. The Naval Architect. The Royal Institution of Naval Architects.

SEITZ, M., SCHWEIGHOFER, J. UND SEIWERTH, P. June 2007. Environmental Impact. CREATING Final Conference. Rotterdam, Niederlande.

SCHWEIGHOFER, J. UND SEIWERTH, P. 2007. Environmental Performance of Inland Navigation. Proceedings of the European Inland Navigation Conference, Visegrád, Ungarn.

KAMPFER, A., SCHWEIGHOFER, J. UND SEIWERTH, P. 2006. Emission Reduction Potentials of Inland Vessels. Proceedings of the International Conference on Ship and Shipping Research, Genua, Italien.

KAMPFER, A., SCHWEIGHOFER, J. et al. Dezember, 2006. Environmental Impact of Inland Navigation. EU project CREATING. WP 6. Final Report. Freigabe durch EK 2010 erwartet.

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

TU Wien, Institut für Fahrzeugantriebe und  
Automobiltechnik

- Prof. Dr. E. Pucher
- DI L. Cachón
- Mag. V. Vana

via donau - Österreichische Wasserstraßen-  
Gesellschaft mbH

- Dr. J. Schweighofer
- Mag. T. Hartl

Salzburg AG für Energie, Verkehr und  
Telekommunikation

- Ing. J. Schmidhuber

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

E-Mail: [office@klimafonds.gv.at](mailto:office@klimafonds.gv.at)

Web: [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige  
Verantwortung für den Inhalt dieses  
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise  
die Meinung des Klima- und Energiefonds  
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch  
die Forschungsförderungsgesellschaft  
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier  
enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH