



Funded by:



Federal Ministry
for Digital
and Transport

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Erneuerbares LNG als Kraftstoff – Perspektiven und zu lösende Fragestellungen

Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz

Universität Rostock

LKV - Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren



01 Einleitung - LNG heute

02 Herausforderung – LNG und THG Neutralität

03 Lösungswege und Forschungsbedarfe

04 Zusammenfassung





01 Einleitung - LNG heute

02 Herausforderung – LNG und THG Neutralität

03 Lösungswege und Forschungsbedarfe

04 Zusammenfassung

Status:

- LNG: Nutzung als Kraftstoff im kommerziellen Transportgewerbe – Truck (long haul) und Schiff
- Gute Speicherdichte und etablierte Betankungsverfahren
- Sehr sauberer Kraftstoff, ermöglicht geringste Schadstoffemissionen (Vergleich zu Diesel):
 - NO_x 
 - SO_x 
 - PM 
 - CO 
- Wichtiger Beitrag zur lokalen Verbesserung der Luftqualität (Städte, Hafenstädte, Ballungsgebiete – D, EU und international)



Beispiel LNG-Truck

Quelle: IVECO

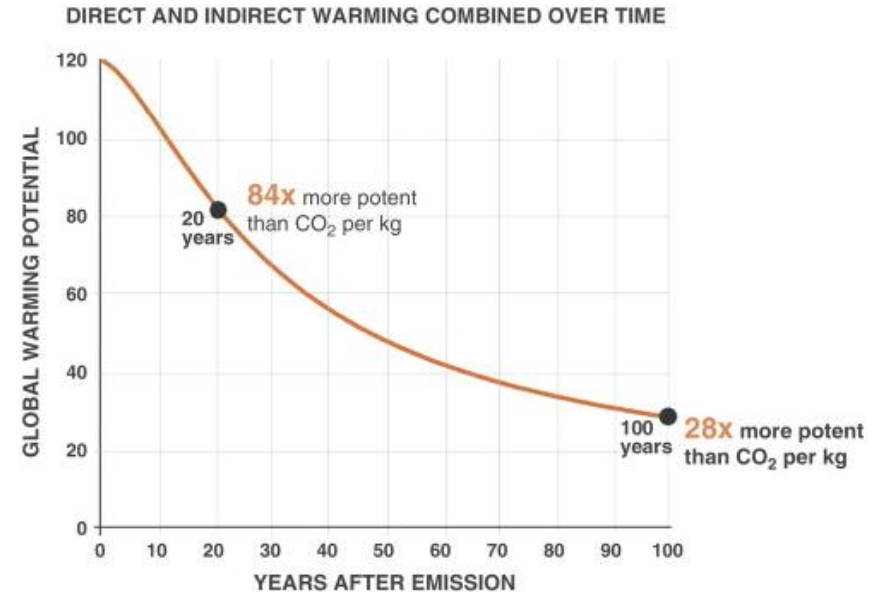


Beispiel Betankung LNG-Schiff

Quelle: © Juanjo Martinez/AIDA Cruises/dpa-tmn

Herausforderung:

- **Bereitstellung:** LNG heute fast ausschließlich fossil – daher nur geringe CO₂-Vorteile gegenüber Benzin/Diesel
- **Nutzung:** Einige Motorenkonzepte mit CH₄-Schlupf – massiv negativer Effekt auf THG-Bilanz



Current Opinion in Chemical Engineering

David T Allen, Methane emissions from natural gas production and use: reconciling bottom-up and top-down measurements, Current Opinion in Chemical Engineering, Volume 5, August 2014, Pages 78-83

01 Einleitung - LNG heute

02 Herausforderung – LNG und THG Neutralität

03 Lösungswege und Forschungsbedarfe

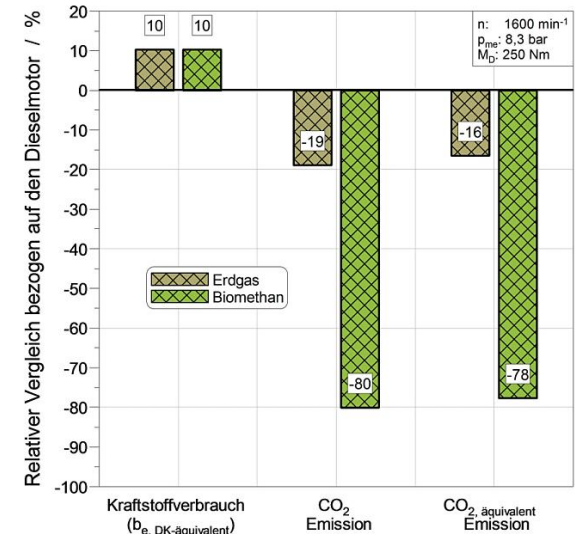
04 Zusammenfassung

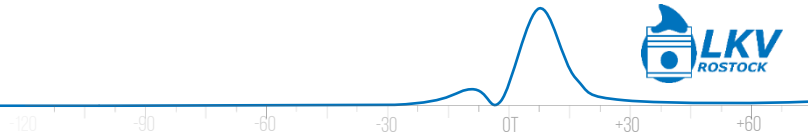
LNG Bereitstellung – THG-Neutralität ist machbar:

- Ersatz von LNG aus fossilem Erdgas durch LNG aus erneuerbarem Bio-Methan (perspektivisch zusätzliche Nutzung von synthetischem Methan)
- Bio-Methan: je nach Feedstock massive THG Reduzierungen bis zur THG-Neutralität in der Erzeugung
- Potential zur Bereitstellung von Bio-Methan/Bio-LNG ist erheblich
- Technologien und Kapazitäten für Transport und Lagerung vorhanden
- Inbetriebnahme der Pilotanlage für erneuerbares Methan am DBFZ ist wichtiger Impuls



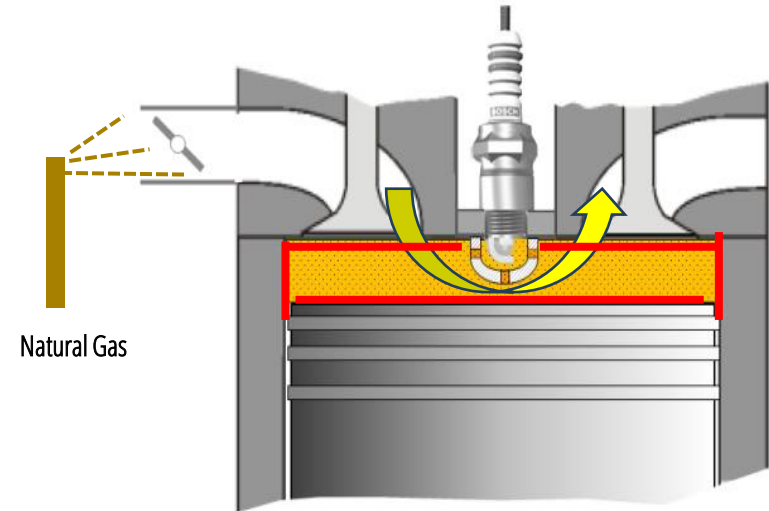
Quelle: Deutz-AG





Methanschlupf als kritische Herausforderung:

- Was ist Methanschlupf:
Je nach Brennverfahren verlässt ein Teil des zugeführten Methans den Brennraum unverbrannt!
 - Spülverluste !
 - Wall quenching !!
 - Flammenauslöschung !
- Stark negativer Einfluß auf THG-Bilanz auch bei Nutzung von regenerativem LNG!
- Maßnahmen zur deutlichen Reduzierung und Vermeidung des Methanschlupfs sind dringend notwendig
- Welche Möglichkeiten gibt es?

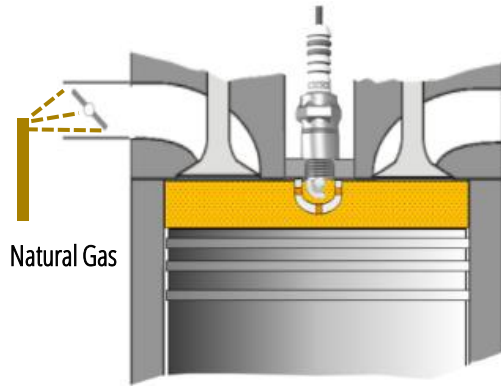


01 Einleitung - LNG heute

02 Herausforderung – LNG und THG Neutralität

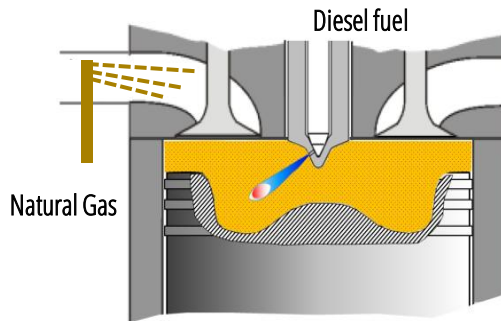
03 Lösungswege und Forschungsbedarfe

04 Zusammenfassung



Otto-Gasmotor, stöchiometrisch, $\lambda=1$:

- Vorherrschend by Truck, Bus, NRMM
- Vorgemischtes Brennverfahren, Fremdzündung (Zündkerze), Flammenfront
- Wirkungsgrad und Dynamik gut (relativ hohe Abgastemperaturen) +
- Partikelemissionen und Schwefeloxide extrem gering +
- NO_x und Methanschlupf (Wallquenching) erhöht !
- Bei Nutzung von 3-Wege-Kat: NO_x und Methanschlupf massiv reduziert ++
- Einfach, robust, zuverlässig, Potentiale bei Wirkungsgrad und Dynamik +

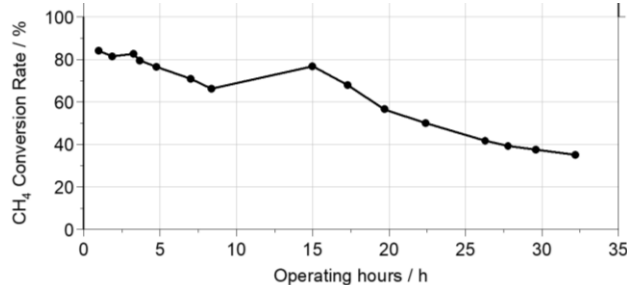


Diesel-Gasmotor, Magerbetrieb, oft als Dual-fuel Motor:

- Vorherrschend Schiffsmotor, wegen DF-Fähigkeit
- Vorgemischtes BV, Zündung mit Diesel-Pilot, Premixed und Flammenfront
- Wirkungsgrad sehr gut und Dynamik gut (relativ geringe Abgastemp.) ++
- NO_x , Partikelemissionen und Schwefeloxide extrem gering ++
- Methanschlupf (Wallquenching, z.T. Überspülen) erhöht !
- Keine effiziente und zuverlässige Kat-Technologie verfügbar !!
- Sehr zuverlässig, flexibel, hohe Wirkungsgrade +

Methan – Herausforderung Abgasnachbehandlung

- Methan ist ein sehr stabiles Molekül
- HC-Emissionen eines Gasmotors fast komplett Methan
- Katalytische Abgasnachbehandlung schwierig – hohe Light-off Temperaturen und Kats mit hoher Edelmetallbeladung
- Deaktivierung durch OH- Radikal – Regeneration nur bei sehr hohen Abgastemperaturen



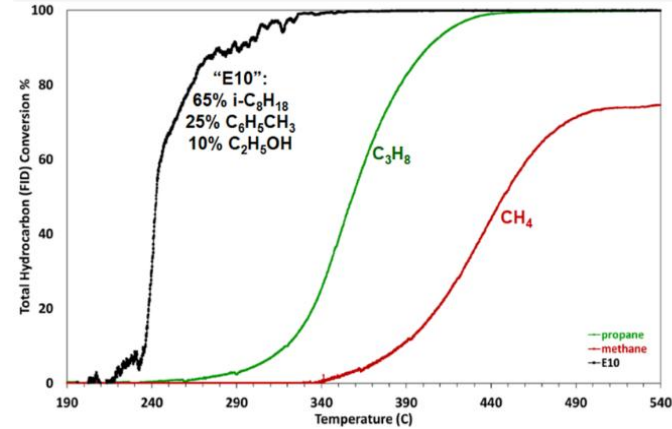
TEME 2030⁺

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Chevy Malibu TWC

aged* 50 h 800 °C

simulated exhaust*:

λ = 0.999

13% H₂O

13% CO₂

1670 ppm H₂

5000 ppm CO

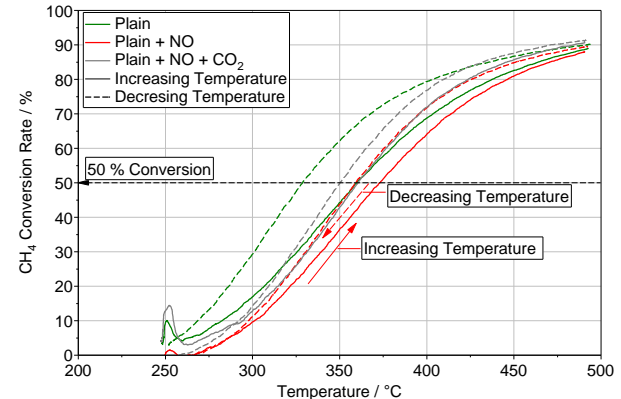
1000 ppm NO

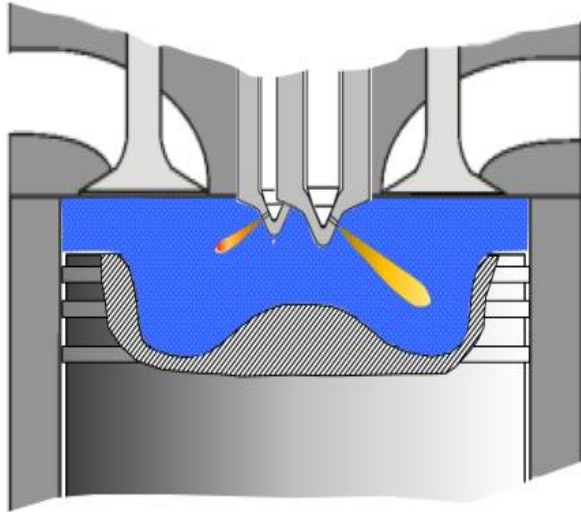
3000 ppm C₁ HC

0.70-0.86% O₂

SV = 30,000 h⁻¹

J. Parks, „Emissions Control for Natural Gas Fueled Trucks,” in *Natural Gas Workshop at NREL*, 2017.





Quelle: Volvo Truck



Quelle: MAN ES

Alternative: HD Direkteinblasung, Gas-Dieselmotor, Dual-fuel Ausführung möglich:

- Einzelne Anwendungen in Truck und Schiffen
- Dieserverfahren: Luftverdichtung, HD-Gaseinblasung im Bereich OT (oberer Totpunkt), Zündung mit Diesel-Pilot
- Heterogene Gemischbildung, diffusionslimitiertes Brennverfahren
- Höchste Wirkungsgrade, höchste Dynamik, kraftstoffflexibel (LNG, Propan, Ethan, Ammoniak) ++
- Methanschlupf, Partikelemissionen und Schwefeloxide extrem gering ++
- NO_x Emissionen erhöht !
- Kostengünstige, zuverlässige SCR-Kat-Technologie ++
- Insgesamt sehr teure Technologie – !!
geringe Marktanteile

01 Einleitung - LNG heute

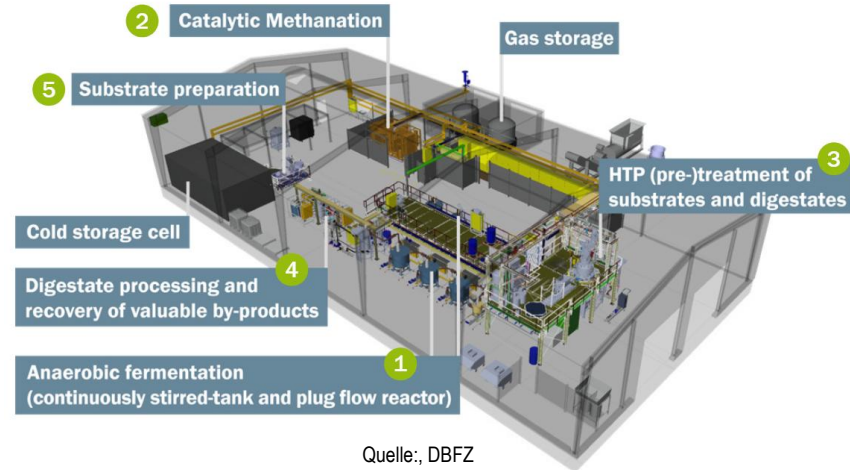
02 Herausforderung – LNG und THG Neutralität

03 Lösungswege und Forschungsbedarfe

04 Zusammenfassung

Erneuerbares LNG - Bereitstellung

- THG-Neutralität in der Bereitstellung möglich
- Uneingeschränkte Kompatibilität zu Infrastrukturen
- Jahresproduktion Biogas in D entspricht einer Energiemenge von ca. 50* bis 87 TWh**, weiteres Potential von ca. 30 bis 50 TWh (Gesamtbedarf Verkehr: 730 TWh)
- Nutzung des biogenen CO₂ im Biogas zur Produktion von E-LNG verdoppelt das Potential



* Quelle: Die Rolle von Biogas für eine sichere Gasversorgung in Deutschland, DBFZ, Mai 2022

**Quelle: Oliver Auras, Erdgas Südwest, „BioLNG für die Energiewende in der Mobilität“ Zukunft Gas-Mobilität, Berlin 2018

Erneuerbares LNG – Nutzung im Verkehr

- Ausreichende Energiedichte und sichere Betankung für mobile Anwendungen
- Uneingeschränkte Kompatibilität zu Antriebstechnologien
- Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gegeben, hohe Wirkungsgrade erreichbar
- Methanschlupf muss zur Sicherstellung der THG-Neutralität vermieden werden
- Forschungsbedarf bei Brennverfahren und Methan-Oxi-Kats
- Berücksichtigung von Methanschlupf in den Gesetzgebungen (z.B. EURO VI und NRMM Stage 5) ermöglicht Markteinführung neuer Technologien



Quelle: IVECO



Quelle: MAN ES



**THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION!**

Contact:

Universität Rostock, LKV
Prof. Dr.-Ing. Bert Buchholz
Albert-Einstein-Straße 2
18059 Rostock, Germany

bert.buchholz@uni-rostock.de
www.lkv-rostock.de
Phone: +49 (0)381 498-9150