probioLNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

## Biomethan als Kraftstoff

PD. Dr. Andreas Lemmer & Elena Holl

ALB-Mitgliederversammlung am 19. April 2023

PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich
GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
UNIVERSITÄT HOHENHEIM
DVGW
KIT Karlsruher Institut für Technologie
Air Liquide creative oxygen
LIQUIND
CLAAS

## Forschungsprojekt

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

- Erzeugung von Biomethan als Kraftstoff mit einer neuartigen Prozesskette
  Projekt „Pro-bioLNG, 09/2019 bis 03/2023
  Partner: DVGW-Forschungsstelle, KIT-Mobima, Claas GmbH, Air Liquide GmbH, Liquind

PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

- Nutzung von bio-CNG und bio-LNG in Bussen des ÖPNV
  Projekt „NeoBUS“, 10/2021 bis 03/2023
  Partner: Lauer&Weiss, Omnibus Bühler, Bottenschein Reisen, Energiehof Duelli

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg

- Clusterung von Biogasanlagen zur gemeinsamen Aufbereitung
  Projekt „BGA - Cluster“, 11/2021 bis 01/2024
  Partner: DVGW-Forschungsstelle (Leitung), Erdgas Südwest, FvB, Grinix, keep it green

FNR

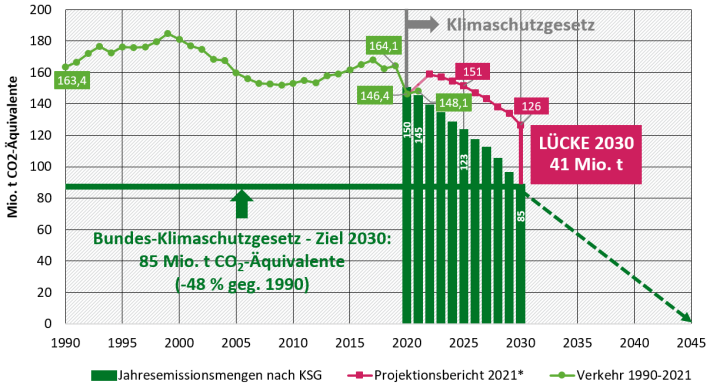
# Motivation

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

**Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland**
im Sektor Verkehr des Klimaschutzgesetzes (KSG)




** Berechnete Werte des „Projektionsbericht 2021“(rote Linie, basierend auf Daten mit Stand August 2020) weichen für die Jahre 2020 und 2021 von den später veröffentlichten offiziellen IST-Werten (grüne Linie) ab.*

Quelle: UBA 22.03.2022



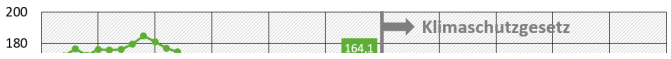
# Motivation

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

**Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland**
im Sektor Verkehr des Klimaschutzgesetzes (KSG)




**Entwicklung einer innovativen und hocheffizienten Prozesskette**

**zur dezentralen Erzeugung Biomethan-basierter Kraftstoffe**

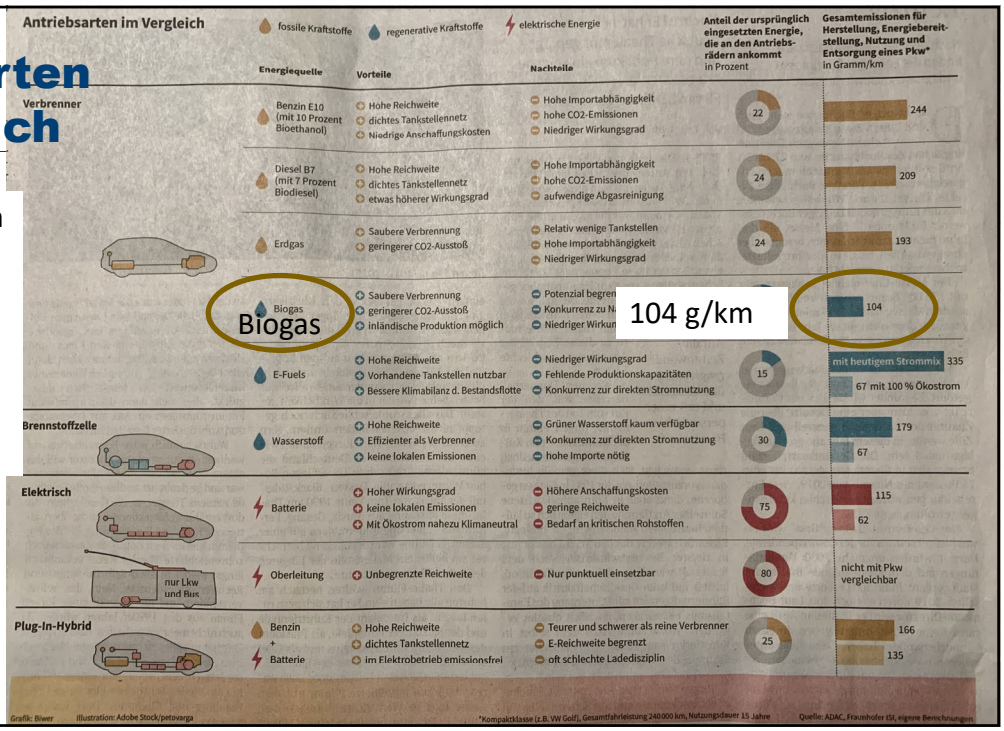
** Berechnete Werte des „Projektionsbericht 2021“(rote Linie, basierend auf Daten mit Stand August 2020) weichen für die Jahre 2020 und 2021 von den später veröffentlichten offiziellen IST-Werten (grüne Linie) ab.*

Quelle: UBA 22.03.2022

# Antriebsarten im Vergleich

Gesamtemissionen für Herstellung, Energiebereit-stellung, Nutzung und Entsorgung eines PKW

*Stuttgarter Zeitung vom 06.02.2023 nach Fraunhofer ISI*



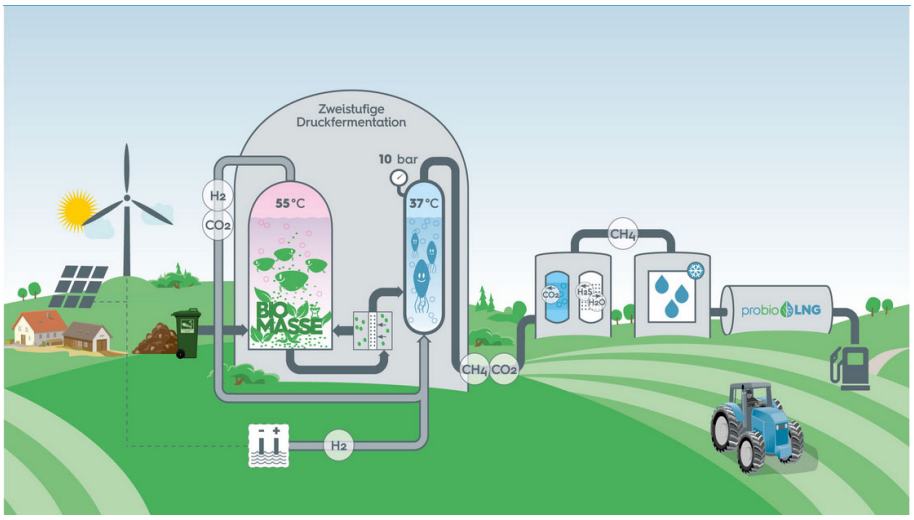

Biogas

104 g/km

# Prozesskette

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie



# Hydrolyse

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Hydrolyse-Reaktor

- Verflüssigung der Biomasse in einem CSTR bei T = 60 °C, pH 5,75 und $p_{atm}$
- Einsatzstoffe: Flüssigmist und leicht vergärbare Biomasse (z.B. Zuckerrüben, Maissilage, u.ä.)

| Parameters | pH 5.75 | |
|---|---|---|
| | VW | G/M silage |
| | Hydrolysate | Hydrolysate |
| Acetic acid (g $kg^{-1}$) | 4.05 ± 1.32 | 3.25 ± 0.27 |
| Propionic acid (g $kg^{-1}$) | 0.43 ± 0.06 | 0.62 ± 0.08 |
| *iso*-Butyric acid (g $kg^{-1}$) | 0.01 ± 0.02 | 0.03 ± 0.02 |
| n-Butyric acid (g $kg^{-1}$) | 1.72 ± 0.32 | 0.54 ± 0.06 |
| iso-Valeric acid (g $kg^{-1}$) | 0.00 ± 0.01 | 0.03 ± 0.02 |
| n-Valeric acid (g $kg^{-1}$) | 0.03 ± 0.04 | 0.05 ± 0.02 |
| Caproic acid (g $kg^{-1}$) | 0.04 ± 0.07 | 0.00 ± 0.01 |
| TC (g $L^{-1}$) | 8.30 ± 1.29 | 6.28 ± 0.59 |
| TOC (g $L^{-1}$) | 8.20 ± 1.39 | 5.98 ± 0.36 |
| IC (g $L^{-1}$) | 0.10 ± 0.16 | 0.31 ± 0.25 |
| TN (g $L^{-1}$) | 1.30 ± 0.08 | 1.07 ± 0.06 |
| COD (g $L^{-1}$) | 22.10 ± 2.40 | 15.03 ± 1.69 |

Hydrolysat – Zusammensetzung (Ravi et al., 2019)

VW vegetable waste (Marktabfälle)
G/M Grass/Maize silage (Gras-/Maissilage)



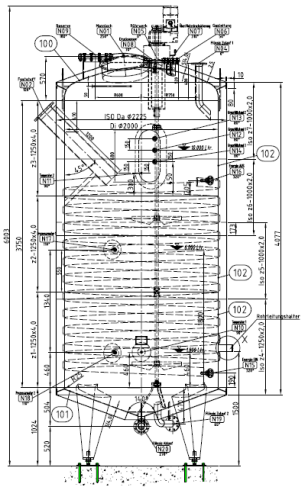
# Hydrolysis

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Hydrolyse Reaktor

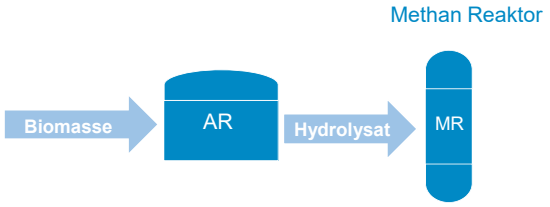
- 100 L im Labormaßstab
- 10 m³ Pilotanlage
- 70 % Flüssigmist, 30 % Zuckerrüben-Saft

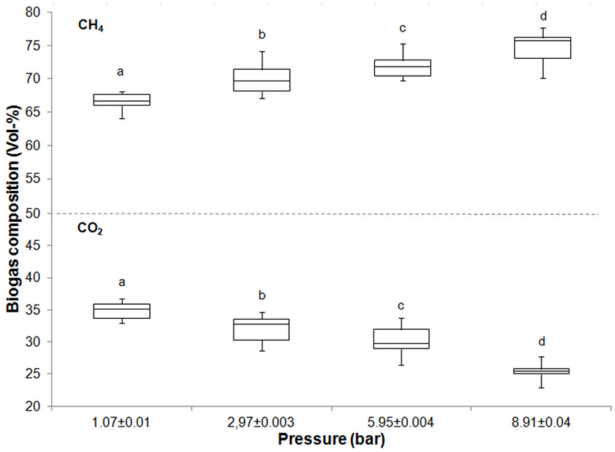


# Methan Reaktor

probioLNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie




Zusammensetzung des Biogases nach dem Methanreaktor (Chen et al., 2014)

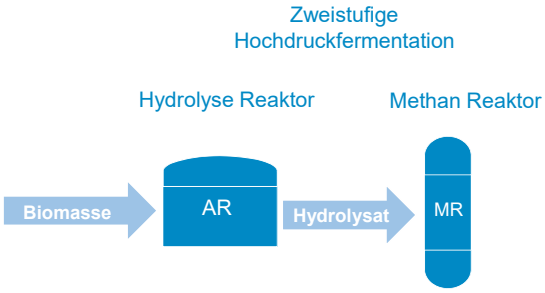
- Anaerobe Konversion der organischen Säuren in Methan und $CO_2$ bei T = 37 °C und p = 10 bar im Festbettreaktor

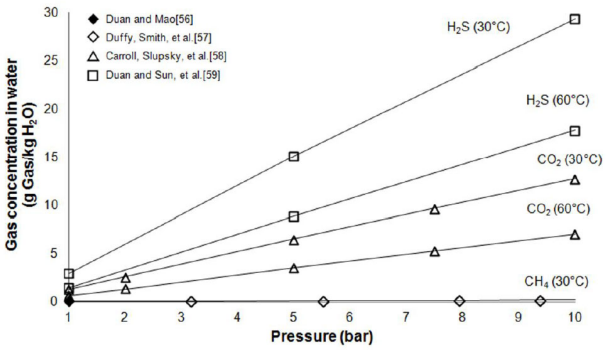


# Methan Reaktor

probioLNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie




Löslichkeit unterschiedlicher Gase in Wasser (Chen et al., 2014)

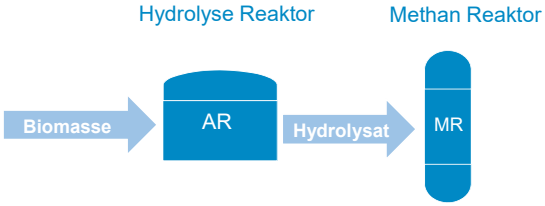
- $CO_2$ Abtrennung aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeit von $CH_4$ and $CO_2$ in der Prozessflüssigkeit

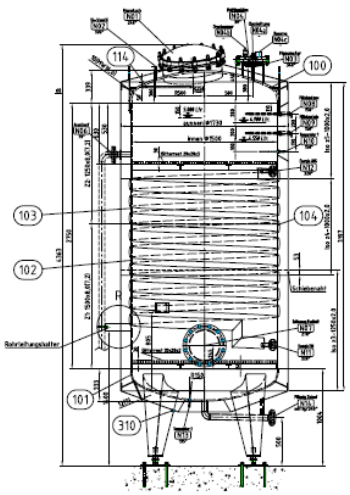
# Methan Reaktor

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Zweistufige Hochdruckfermentation



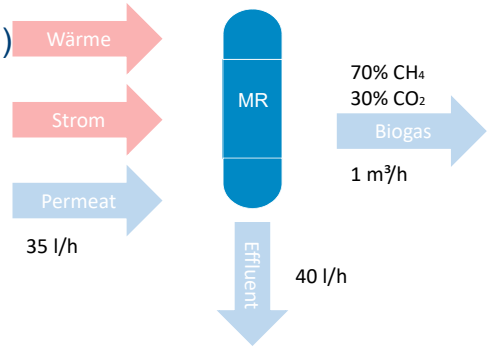
- 50 L Laborfermenter
- 5 m³ Pilotanlage



# Methanreaktor

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

- Festbettreaktor
- V = 5 m³
- Druck bis 10 bar
- Raumbelastung 12,5 kg_CSB/(m³ *d)
- Verweilzeit 4,5 Tage
- T = 37 °C



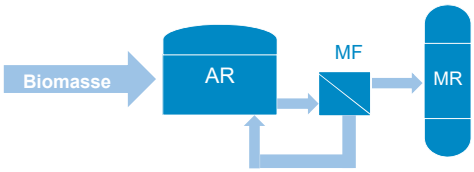
# Membran Filtration

probioLNG

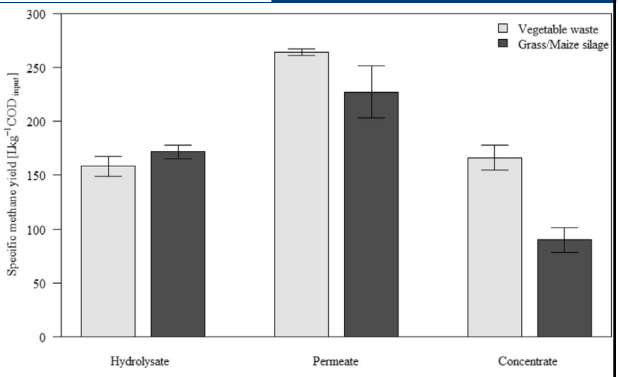
UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Membran Filtration




- Integration einer Membranfiltration mit Keramik-Membranen
  - ➢ Abtrennung und Rückführung nicht abgebauter Partikel in den AR




Spezifischer Methanertrag des Hydrolysats vor und nach der Membran-filtration (Ravi et al., 2019)

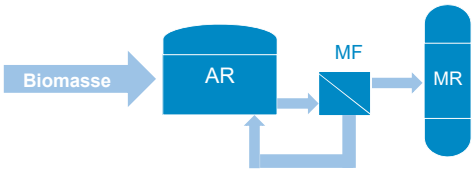
# Membran Filtration

probioLNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Membran Filtration



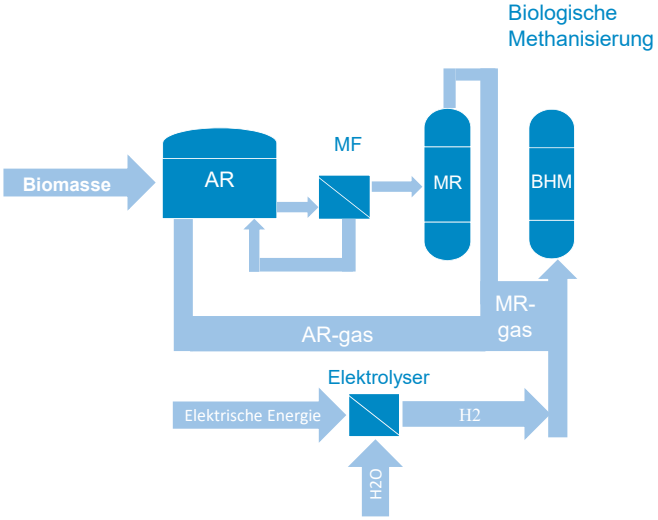

- Mechanische Vorfiltration mit Kantenspaltfilter (150 µm)
- 14 Keramikmembranen mit einem Porendurchmesser von 0,2 µm

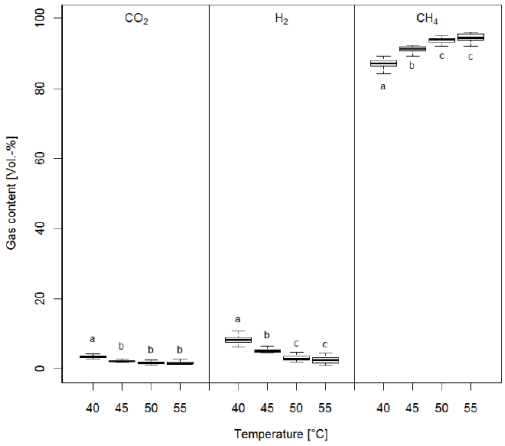
# Power-to-Gas

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie




Biogaszusammensetzung nach der biologischen Methanisierung (Lemmer and Ullrich., 2018)

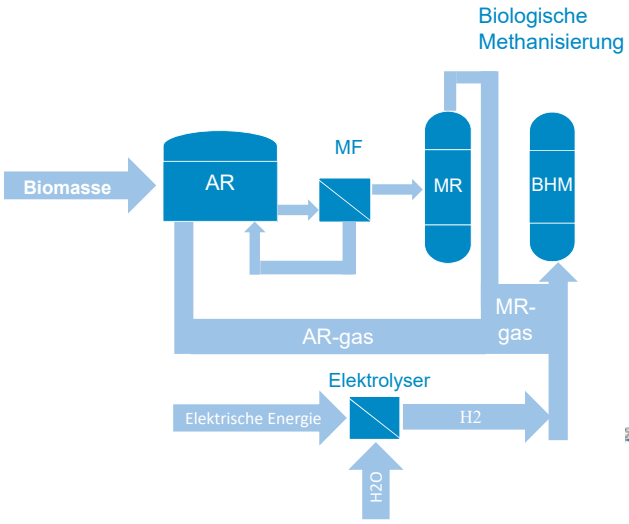


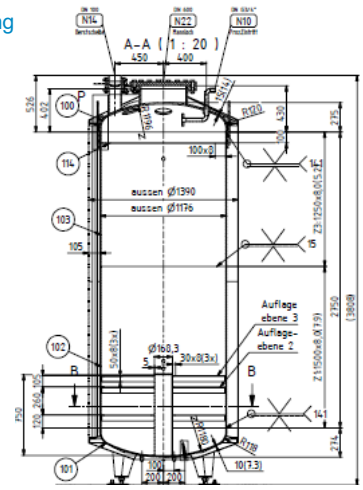
# Power-to-Gas

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

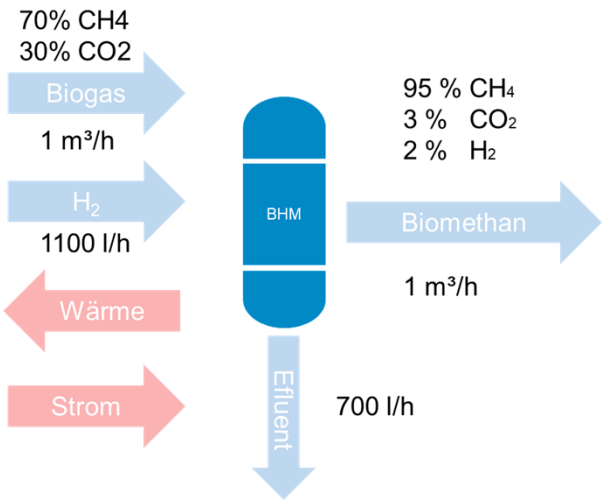


# Biogische Wasserstoff-Methanisierung

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

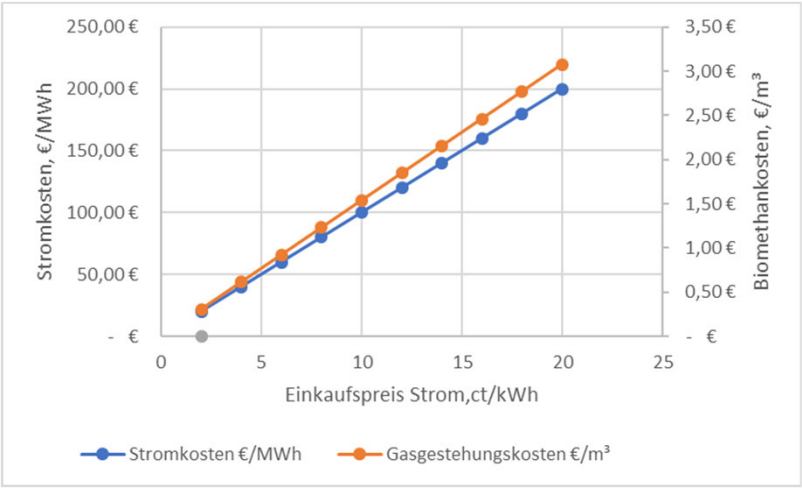
- Rieselbettreaktor
- V = 3,5 m³
- Druck bis 10 bar
- Verweilzeit 16 h
- T = 55 °C
- Temperaturregulierung über Berieselung
- Zufuhr $H_2$ : $CO_2$ im Verhältnis 4:1

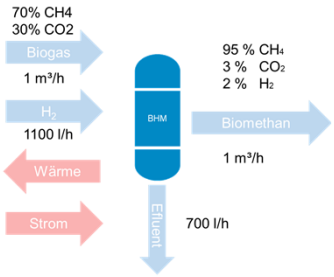





# Biogische Wasserstoff-Methanisierung

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

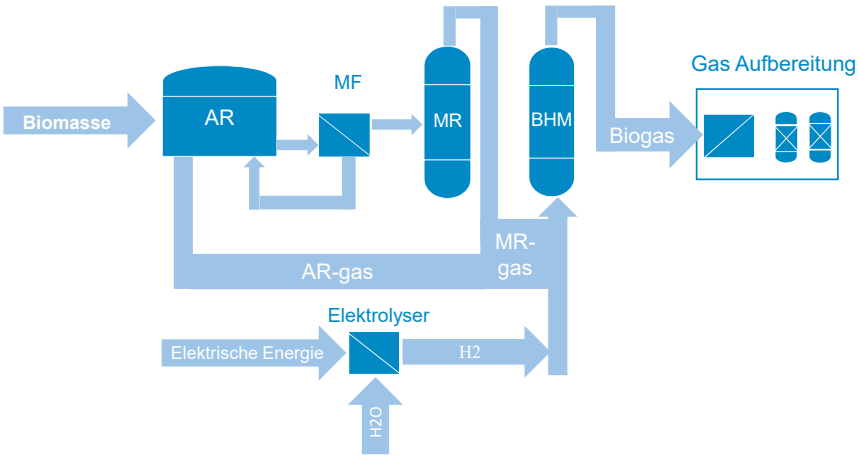


# Gas Aufbereitung

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

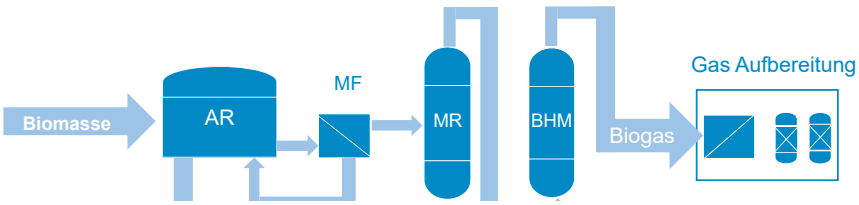





# Gas Aufbereitung

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

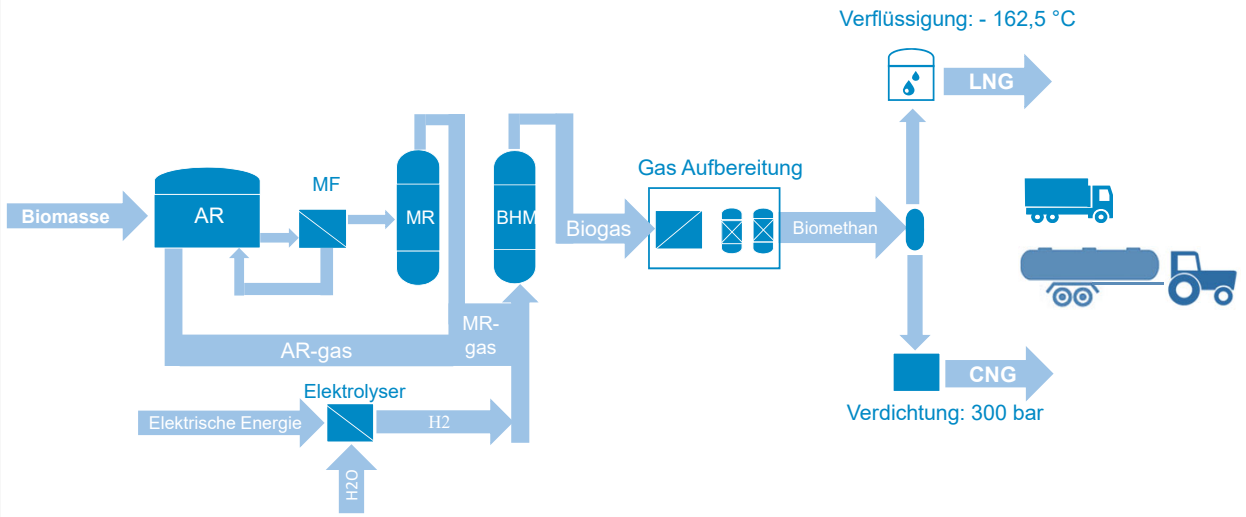


- Vorentschwefelung über NaOH-Wäscher
- Adsorptive Gastrocknung: Zeolithe
- Aktivkohlefilter zur Feinentschwefelung
- $CO_2$-Feinreinigung über ionische Fluide

## Alternative fuels

probio LNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie






## Stand der Arbeiten

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

## Aufbau BioCNG – Tankstelle

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Kompressor | Bankspeicher | Zapfsäule

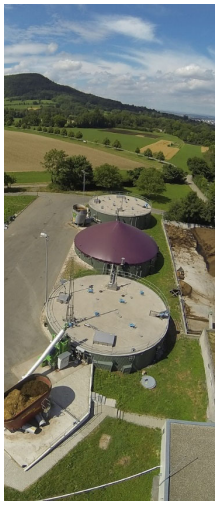
## Stand der Arbeiten

UNIVERSITÄT HOHENHEIM
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

## Gesamtbeurteilung der BHM: Systemintegration am Beispiel „Biogasanlage Unterer Lindenhof“

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)



Biogas: 1,19 Mio. $m^3 \cdot a^{-1}$;

52 Vol.-% $CH_4$; 47 Vol.-% $CO_2$

$CO_2$ : 65 $m^3 \cdot h^{-1}$

**Methanisierung**

$H_2$: 260 $m^3 \cdot h^{-1}$

Π=78% Elektrolyseur: 998 kW Leistung

$CH_4$:~ 45,5 $kg \cdot h^{-1}$(65,0 $m^3 \cdot h^{-1}$)
$H_2O$: 104,5 $kg \cdot h^{-1}$

$H_S$ ($CH_4$) = 648 $kWh \cdot h^{-1}$

Nutzung BHKW

Elektrisch: 266 $kWh \cdot h^{-1}$
Thermisch: 253 $kWh \cdot h^{-1}$

**Wirkungsgrade PtG-Konzepte:**
- „Strom zu Methan“: 51 - 65% *1)
- „Strom zu KWK“: 48 - 62% *2)

**Alternativ:** Produktion >> Nutzung => Abschalten Windkraftanlagen
*(Sterner et al., 2011)*

*1) Einspeisedruck SNG: 1 - 80 bar
*2) SNG => KWK: 40% Strom, 45% Wärme

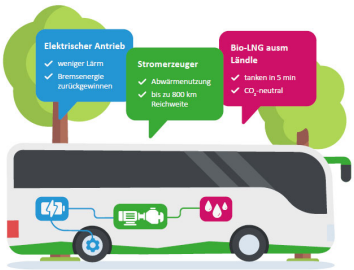
Biomethan als Kraftstoff I PD Dr. A. Lemmer 25

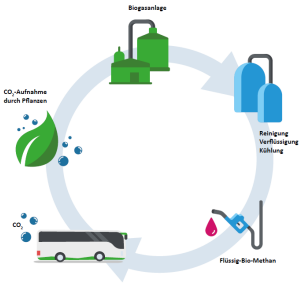
## NeoBus

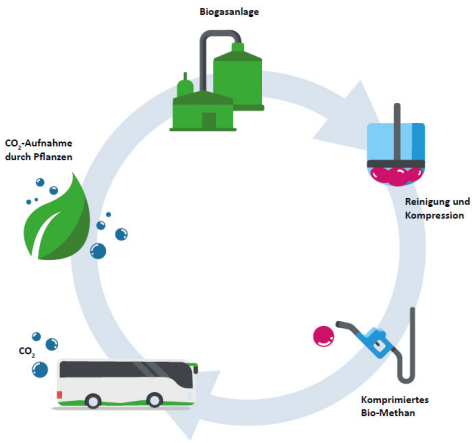
UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

- $CO_2$-neutraler ÖPNV mit bio-LNG und bio-CNG Bussen
- Kooperation zwischen Landwirten und Busunternehmern zur Nutzung regionaler Treibstoffe
- Retro-fitting eines Busses mit Generator-elektrischem Antrieb auf bio-LNG Basis




Biomethan als Treibstoff | **PD Dr. Andreas Lemmer** **26**

## Anwendung von bio-LNG oder bio-CNG in der Landwirtschaft?

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

- Derzeit einzige kommerziell verfügbare Anwendung: New Holland T6.180 Methane Power: monovalenter CNG-Motor
- Aufbau auf Basis eines Standardschleppers mit Zusatztank in der Fronthydraulik (Verlust eines Anbauraumes, ca. 100 l Dieseläquivalent Kraftstoffvorrat)
- Senkung der Partikelemissionen um 99%, NOX um 70%, CO um 90% und der THG-Emissionen um bis zu 80% gegenüber Dieselantrieb (neueste Stufe V für Dieselmotoren)

Bildquelle und techn. Angaben: New Holland, www.newholland.com/de

**Landwirtschaftliche Anwendungen:**

- Relativ große und schwere Tanks für CNG / LNG
- Begrenzter Bauraum und Achslasten
- Erntemaschinen: kurze Einsatzzeiten mit extrem hohen Kraftstoffbedarf pro Tag

➢ Bio-LNG: Omnibusverkehr und Schwerlast-LKW



## Zusammenfassung

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

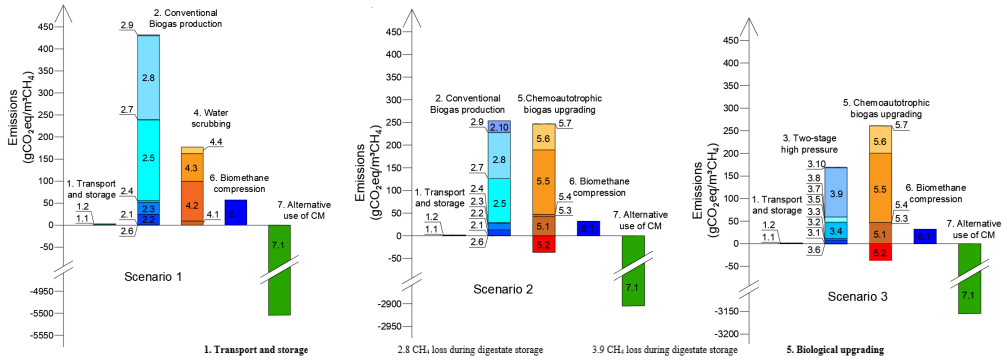
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

- Methanbasierte Kraftstoffe (bio-CNG und bio-LNG) können einen wesentlichen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen im Kraftstoffsektor leisten (Schwerlastverkehr)
- Verschiedene europäische Richtlinien (RED II; CVD; u.a.) führen zu einer steigenden Nachfrage methanbasierter Kraftstoffe, insbesondere auf Basis von Gülle und Abfallstoffen
- Betrieb einer eigenen Tankstelle für bio-CNG oder bio-LNG wird voraussichtlich nur für wenige Anlagenbetreiber einer interessante Option darstellen (kontinuierliche Abnahme, hohe Genehmigungsauflagen, Erreichbarkeit) => Kooperation mit Spedition oder Busunternehmer
- Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität und dessen Einspeisung in Kombination mit zentraler Verflüssigung reduziert Transport- und Lagerungslogistik
- Sofern neue Verfahren eine Kombination aus Verflüssigung und $CO_2$-Abtrennung ermöglichen, kann die bio-LNG Erzeugung für Landwirte ohne Zugang zu Erdgasleitung interessant werden

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

# Life cylce assessment (LCA)




**1. Transport and storage**
1.1 Biomass transport
1.2 Biomass sorage
**2. Conventional biogas production**
2.1 Substrate pumping
2.2 Substrate mixing
2.3 Substrate agitating
2.4 Substrate heating
2.5 Thermal energy loss in the reactor
2.6 Energy production by microbial activity
2.7 $CH_4$ loss during the process
2.8 $CH_4$ loss during digestate storage
2.9 Digestate management
**3. Two-stage high pressure**
3.1 Substrate pumping in the HR
3.2 Substrate stirring
3.3 Substrate heating
3.4 Thermal energy loss in the HR
3.5 Substrate pumping in the MR
3.6 Thermal energy recovery in MR
3.7 Therma energy loss in the MR
3.8 $CH_4$ loss during the process
3.9 $CH_4$ loss during digestate storage
3.10 Digestate management
**4. Water scrubbing**
4.1 Base operations
4.2 Biogas compression in absorption coloumn
4.3 Biogas and water injection in absorption coloumn
4.4 $CH_4$ recovery and water regeneration
**5. Biological upgrading**
5.1 Biogas heating
5.2 Microbial activity in upgrading process
5.3 Base operations
5.4 Hydrogen compression in the reactor
**6. Biomethane compression**
**7. Alternative use of CM**

Ferrari et al. (2022)



probio LNG

NEOBus $CO_2$frei mobil

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

# Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

## PD. Dr. Andreas Lemmer

Elena Holl

Universität Hohenheim - Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie 740
Garbenstr. 9 | 70599 Stuttgart
Tel.: 0711 459 22684
E-Mail: andreas.lemmer@uni-Hohenheim.de