

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Biogas zur Erzeugung von Biomethan als Kraftstoff



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

ALB



PD Dr. Andreas Lemmer

Energieerzeugung und –nutzung im landwirtschaftlichen
Betrieb – Autarkie, Effizienz, Einkommensquelle
Fachgespräch der ALB-BW am 10. November 2022

1



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Aktuelle Entwicklungen der Biogasanlagen



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

2

Von Biogasanlagen



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

- Stand der Technik an 9.800 Biogasanlagen in Deutschland
- 2021: Biomasse liefert 8% der Bruttostromerzeugung (Quelle: destatis, 2022)
- Beispiel Forschungsbiogasanlage „Unterer Lindenhof“: Einsparung von >100.000 m³ Erdgas/a durch Wärmelieferung



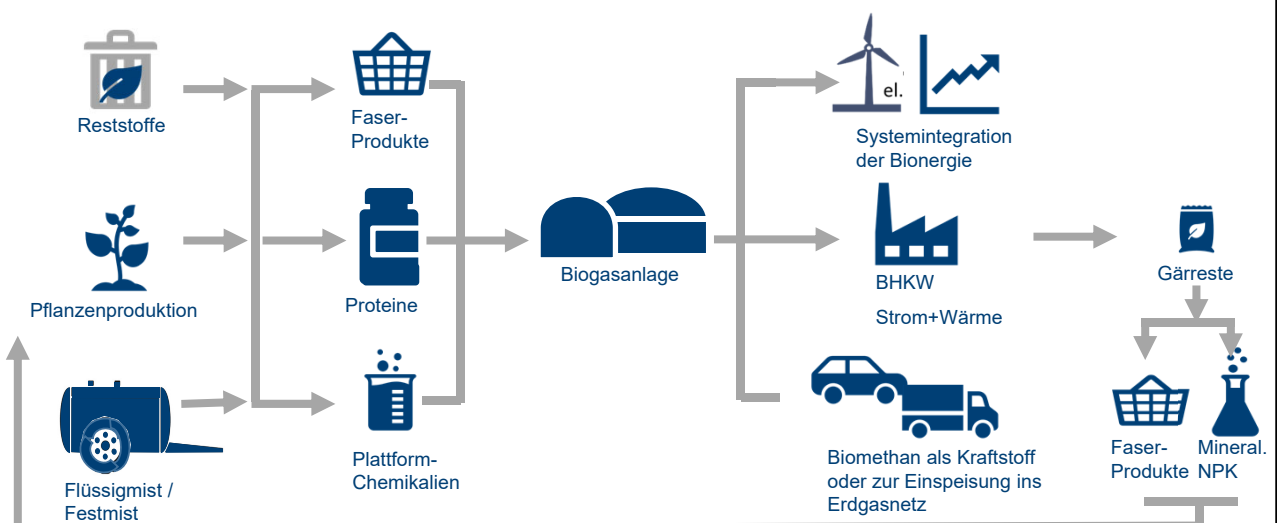
Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

3

Von Biogasanlagen zu On-Farm Bioraffinerien

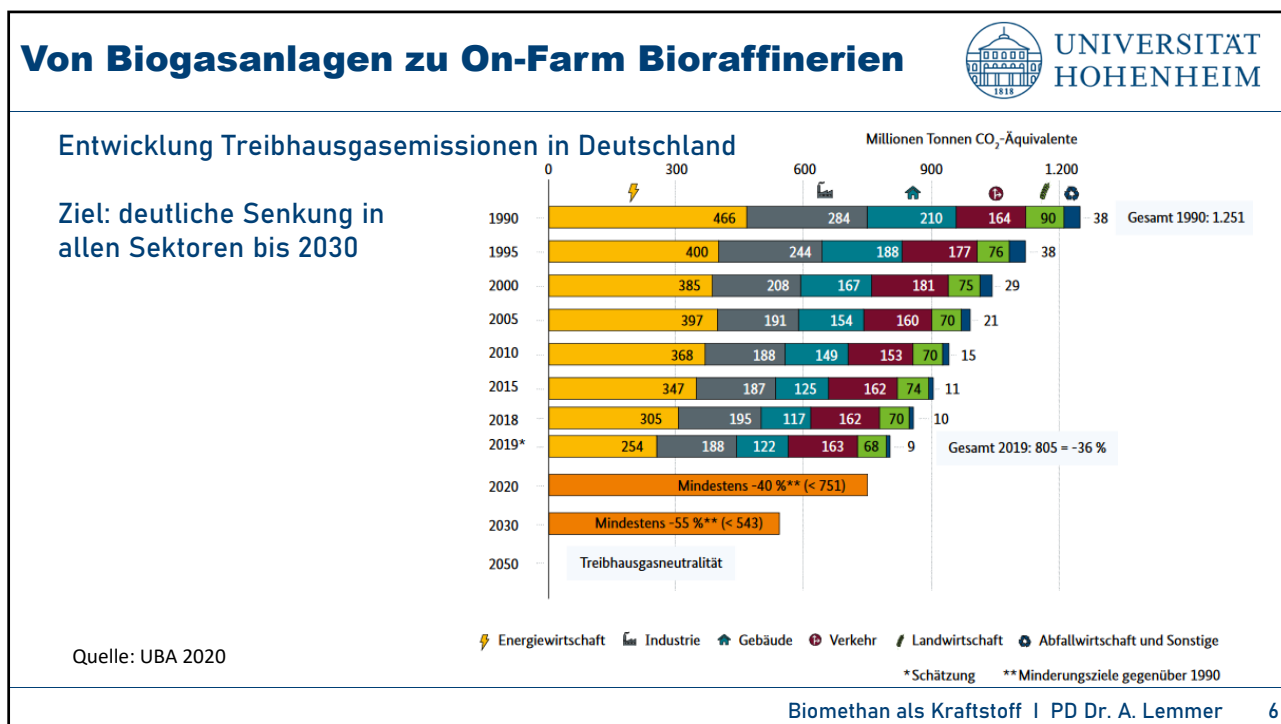
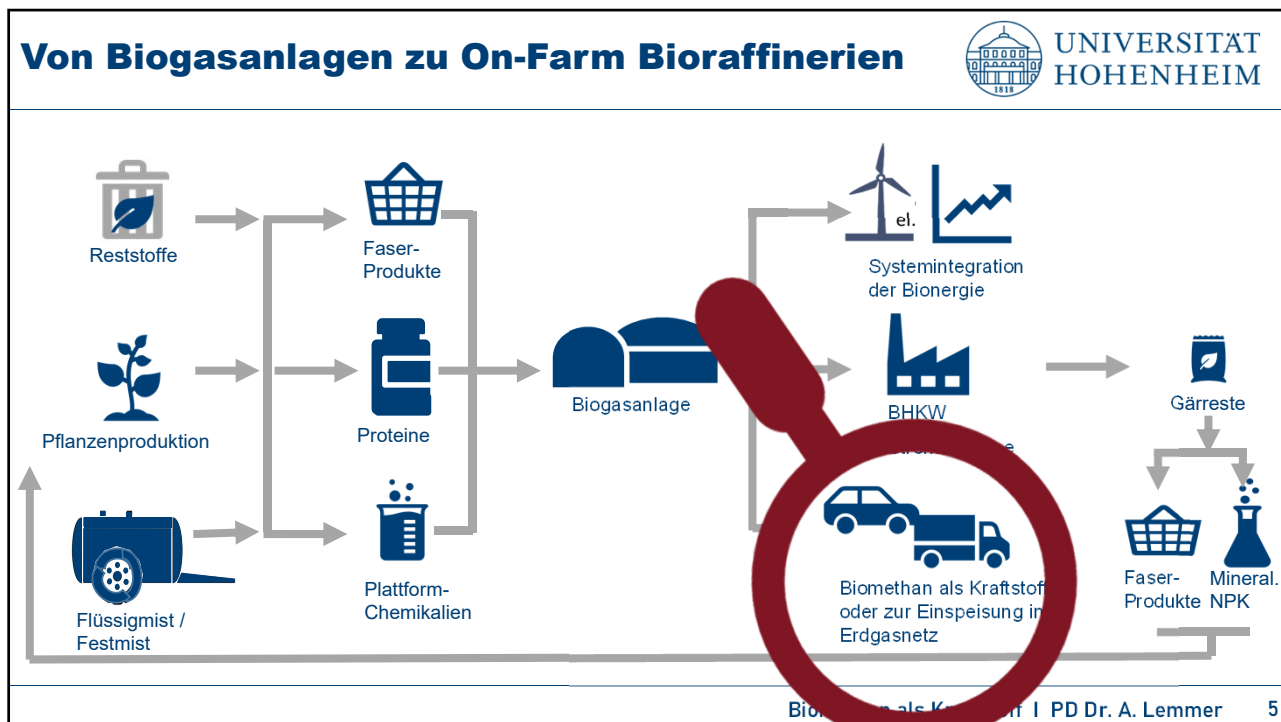


UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

4



Von Biogasanlagen zu On-Farm Bioraffinerien



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im **Verkehrssektor** liegt seit 2010 bei ca. 6% - 7% (Quelle UBA)

=> Neue rechtliche Rahmenbedingungen

- **Erneuerbare Energien Richtlinie (RED II)** mit CO₂ Bepreisung für einzelne Sektoren
- Gesetz der Bundesregierung zur Weiterentwicklung der **Treibhausgasminderungsquote** vom 24.09.2021: Anteil der EE im Verkehrssektor soll auf 14% im Jahr 2030 ansteigen.
Kraftstoffanbieter werden gesetzlich verpflichtet, die CO₂-Emissionen durch Otto- und Dieselmotoren in jährlichen Schritten um 25 Prozent bis zum Jahr 2030 zu senken. Beginnend ab 2022 steigt die Minderungsquote von bisher 6% auf zunächst 7% Prozent.
- Änderung des **Klimaschutzgesetzes** zum 31.08.2021: Klimaneutralität bis 2050 und zulässige CO₂-Emissionen für einzelne Sektoren werden abgesenkt
- **Brennstoffemissions-Handelsgesetz:** CO₂ Bepreisung für Sektoren Verkehr und Wärme im Rahmen des nationalen Emissionshandelsystems

Von Biogasanlagen zu On-Farm Bioraffinerien



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor liegt seit 2010 bei ca. 6% - 7% (Quelle UBA)

=> Neue rechtliche Rahmenbedingungen

[...]

- Gesetz über die **Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge** (Umsetzung der Clean Vehicles Directive) vom 14. Juni 2021: Mindestziele für emissionsarme- und freie Busse im ÖPNV:
im Jahr 2025 Anteil von 45%

- Nachfrage nach Biomethan steigt an
- Umstellung von CNG-Tankstellen auf Biomethan



Vom Biogas zum Biomethan



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

9

Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze bzw. Nutzung als Kraftstoff



Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Rechtliche Anforderungen (Auszug)

	Einheit	Typische Werte Biogas (NaWaRo)
CH ₄	mol-%	50 - 55
CO ₂	mol-%	45 - 50
Σ H ₂ S, COS	mg·m ⁻³ (NTP)	< 3.000
H ₂ O	mg·m ⁻³ (NTP)	> 10.000
Brennwert	kWh·m ⁻³	5,0 – 5,5

➤ Zur Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität ist eine Auftrennung der, und eine Abtrennung einzelner, Bestandteile des biogenen Mischgases erforderlich

*) DVGW Arbeitsblätter

Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze bzw. Nutzung als Kraftstoff



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Derzeitiger Stand der Gasaufbereitung in Deutschland

- Erfahrungen mit der Biogasaufbereitung und -einspeisung sind insb. in der Schweiz, Schweden und in Deutschland vorhanden



FNR, 2022

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

11

Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze bzw. Nutzung als Kraftstoff



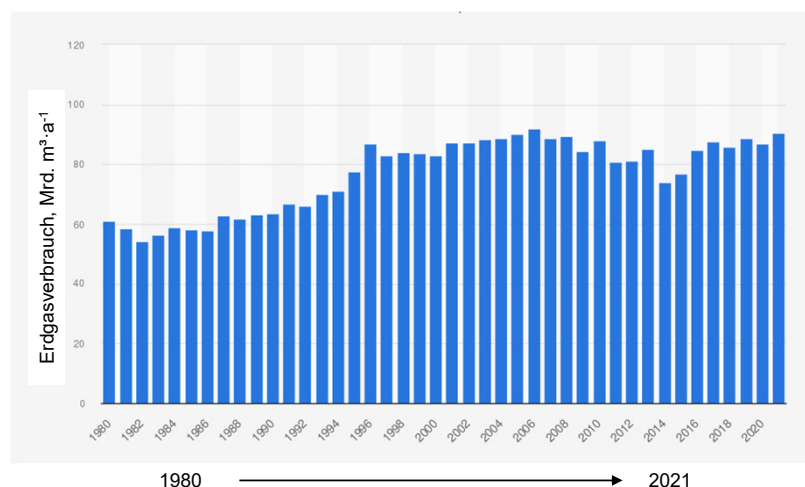
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Derzeitiger Stand der Gasaufbereitung in Deutschland

- Erdgasverbrauch seit 2016:
90,2 Mrd. m³·a⁻¹
- Biomethaneinspeisung:
1,18 Mrd. m³·a⁻¹
- Einspeiseleistung entspricht
ca. 1,2 – 1,4 % des Verbrauchs

Quelle: Statista, 2022



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

12

Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze bzw. Nutzung als Kraftstoff

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Gasaufbereitung bei unterschiedlicher Nutzung

- Heizkessel
- Motor-BHKW
- Mikrogas
- Stirlingmotoren

- Ne...
- Kraftstoffnutzung

UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer
13

Verfahrenstechnik der Gastrennung: Adsorption

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Adsorption: Selektive Beladung eines Adsorbens mit einer Gasfraktion (z.B. CO₂)

- Wechsel von Adsorption und Desorption (Regeneration des Adsorbens)
z.B. durch Änderung des Partialdrucks

$$p_i = x_i \cdot p_{gesamt}$$

p_i

Partialdruck des Gases

x_i

Stoffmengenanteil des Gases

p_{gesamt}

Gesamtdruck der Gasphase

UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Quelle: Graf u. Bajohr, 2013

Druckwechsel-Adsorption (DWA)

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer
14

Technik der Biogas-Aufbereitung



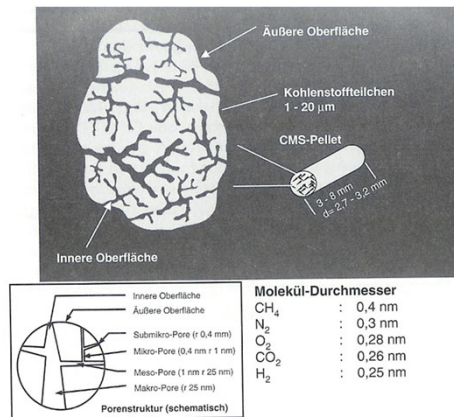
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Verfahrenstechnik der Gastrennung: **Druckwechsel-Adsorption**

Methananreicherung durch Adsorptionsprozess mittels Kohlenstoffmolekularsieb (CMS)

- Adsorption der „kleinen“ CO_2 -Moleküle in den Mikroporen der Aktivkohle bei hohem Partialdruck
- Regeneration des CMS durch Senkung des Partialdrucks (Desorption)



Quelle: Schulte-Schulze Berndt, 2003

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

15

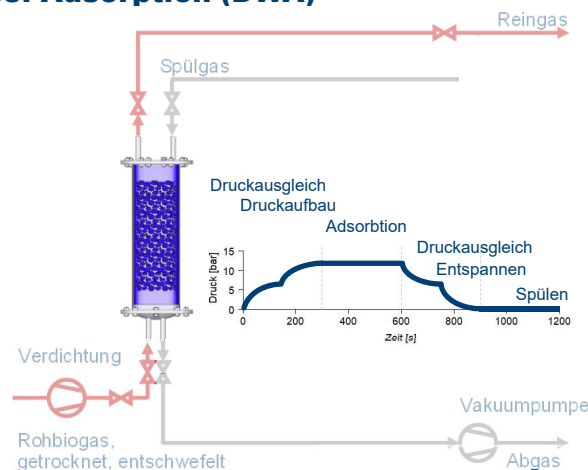
Technik der Biogas-Aufbereitung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Druck-Wechsel-Adsorption (DWA)



Eigene Darstellung

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

16

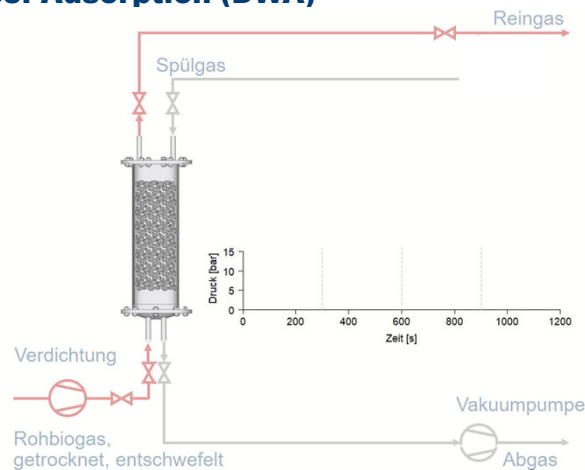
Technik der Biogas-Aufbereitung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Druck-Wechsel-Adsorption (DWA)



Eigene Darstellung

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

17

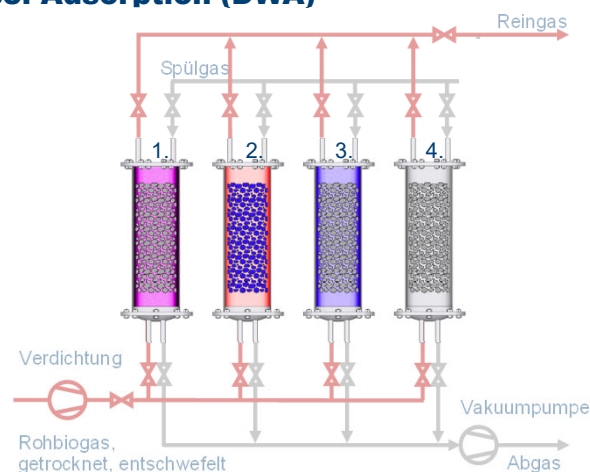
Technik der Biogas-Aufbereitung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Druck-Wechsel-Adsorption (DWA)



1. Druckausgleich, Druckaufbau
2. Adsorption
3. Druckausgleich, Entspannen
4. Spülen

Eigene Darstellung

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

18

Technik der Biogas-Aufbereitung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Verfahrenstechnik der Gastrennung: **Absorption**

- Zu entfernende Gasbestandteile werden in „Waschflüssigkeit“ gelöst

Physikalische Wäsche:

- Selektive Lösung von CO_2 bei hohem Partialdruck in Wasser
- Regeneration durch Absenkung des Partialdrucks

Chemische Wäsche

- Lösung und chemische Bindung des CO_2 OHNE Partialdruckerhöhung
- Regeneration durch Temperaturerhöhung



Quelle: Graf u. Bajohr, 2013

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

19

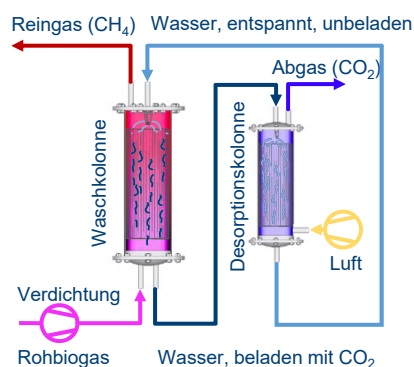
Technik der Biogas-Aufbereitung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Druck-Wasser-Wäsche (DWW): Gastrennung durch **Absorption**



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

20

Technik der Biogas-Aufbereitung

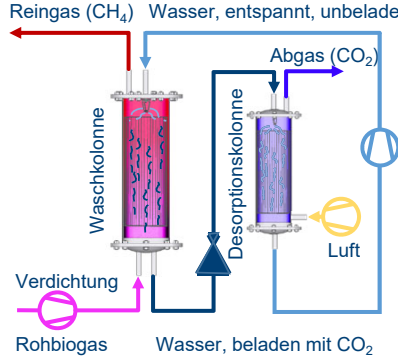


UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

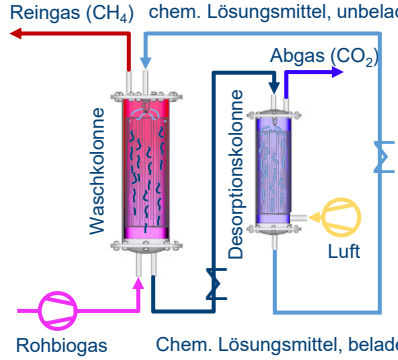
Druck-Wasser-Wäsche (DWW)

Absorption: 5-10 bar ($p_i \uparrow$)
Desorption: 1 bar mit Luftzufuhr ($p_i \downarrow$)



Chemische Wäsche

Absorption: 1 bar, 15-25 °C
Desorption: 1 bar, ~ 140 °C



Lösungsmittel: Monoethanolamin
Diethanolamin

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 21

Technik der Biogas-Aufbereitung



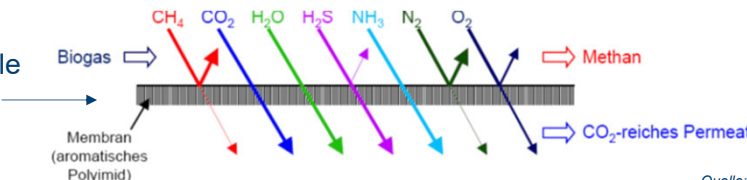
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Verfahrenstechnik der Gastrennung: Permeation

Auftrennung des Biogasstroms in ein CH₄-reiches Retentat und CO₂-reiches Permeat

- Auftrennung von Biogas: porenfreie Polymer-Membranen:
 - Absorption auf der Membranoberseite
 - Diffusion durch Membran
 - Desorption auf Unterseite
- Voraussetzung: Partialdruckgefälle
- Polymermembran
nm-dicke aktive Schicht



Quelle: TU

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 22

Kleine Aufbereitungsanlagen als Hoftankstelle



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

- Kompakte Aufbereitungsanlagen auf der Basis von Hohlfasermembranen
- 10 bis 100 m³/h Roh-Biogas
- Leistungsbedarf: 0,5 bis 0,9 kWh/m³ Biogas
- Vergleich: Energiegehalt Biogas: 5,2 kWh/m³



Quelle: Fa. APEX AB Däniken, 2022

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

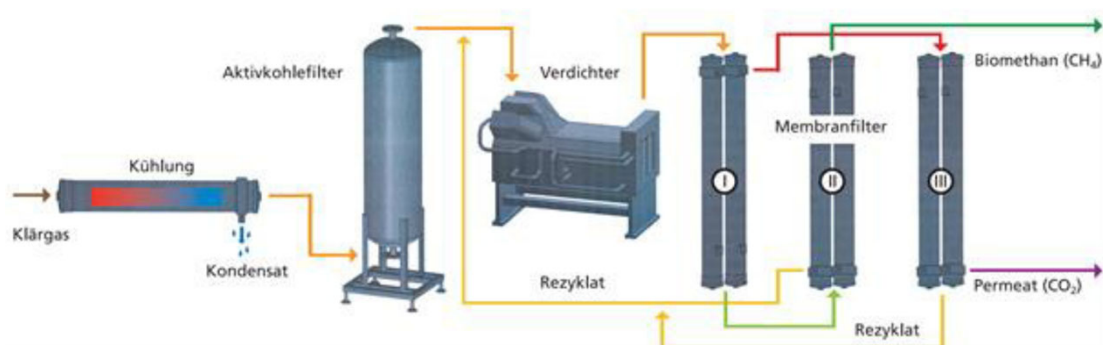
23

Kleine Aufbereitungsanlagen als Hoftankstelle



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

- Stufe 1: Vortrocknung über Kühlung (Rohrbündelwärmetauscher)
- Stufe 2: Entfernung von Schwefelverbindungen (Aktivkohlefilter)
- Stufe 3: Abtrennung von CO₂ und Wasserdampf (Permeat)



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

24

Einspeisung von Biogas in Erdgasnetze bzw. Nutzung als Kraftstoff



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Nutzung von Biogas in Schweden



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

25



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Und was macht die Forschung?



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

26

Forschung an der Landesanstalt



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



- 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



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

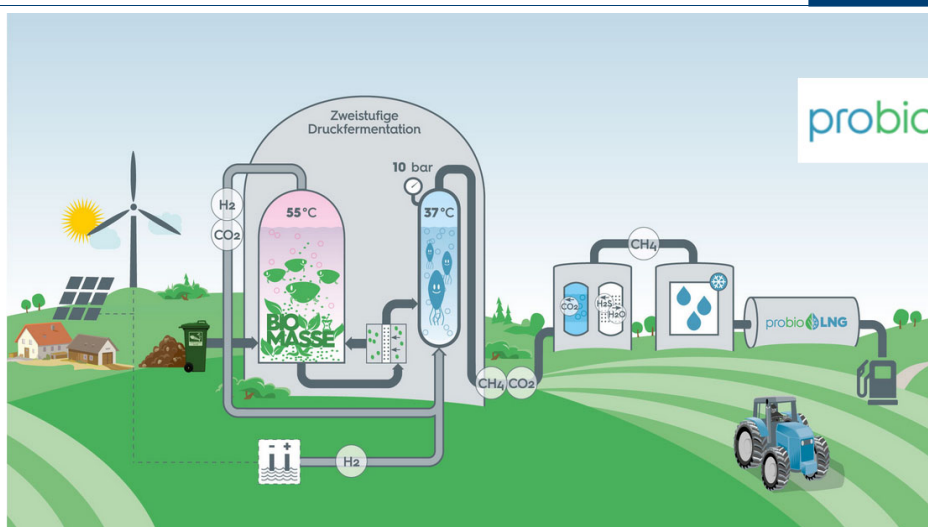
27

Forschungsprojekt Pro-bioLNG



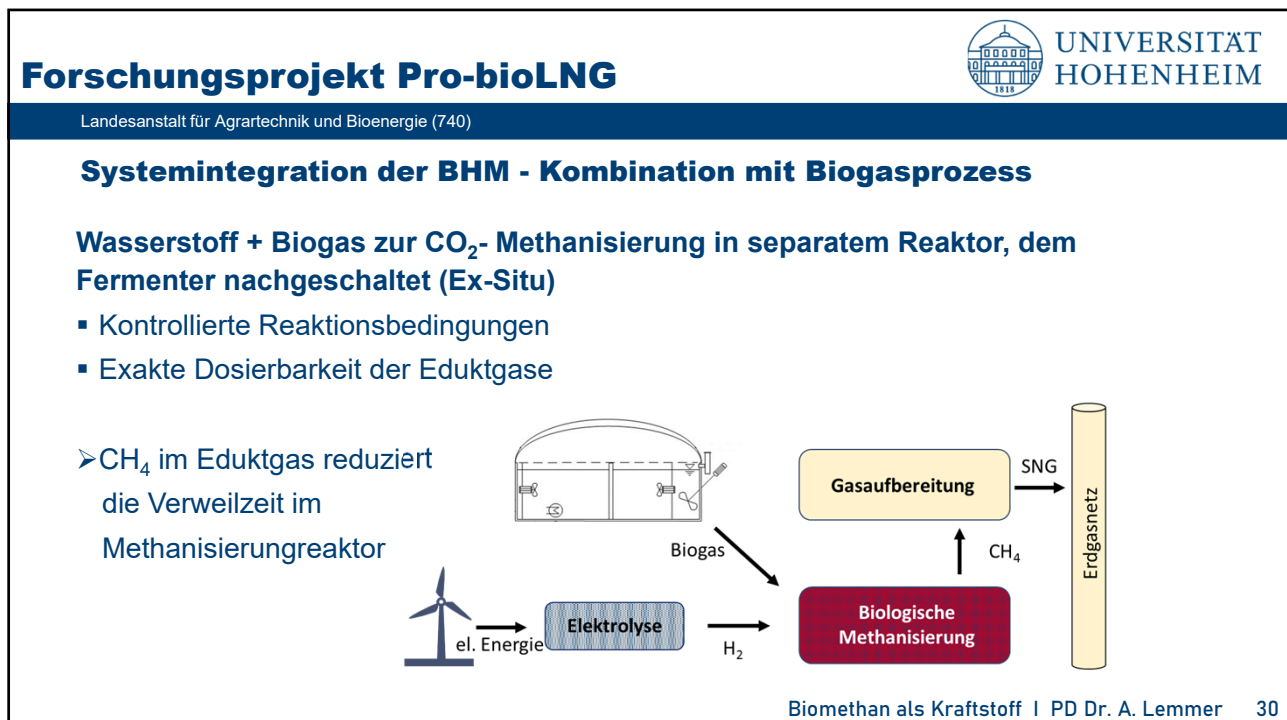
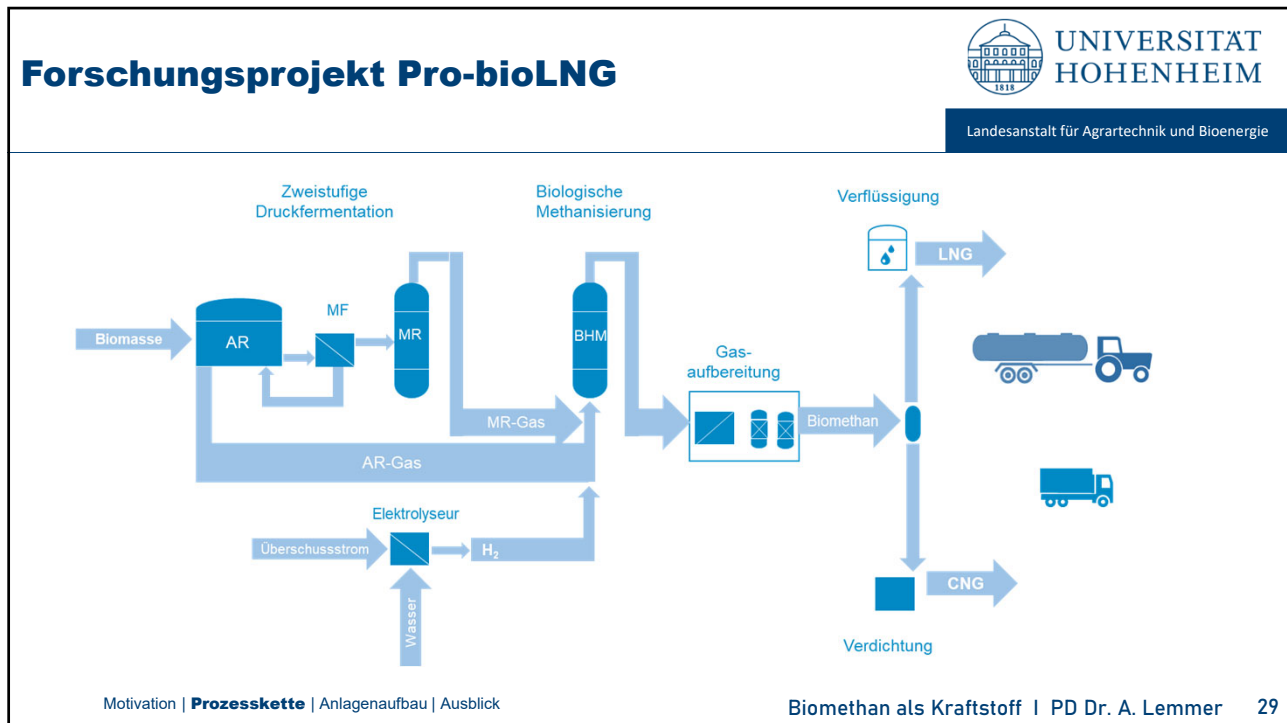
UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

28



Forschungsprojekt Pro-bioLNG

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

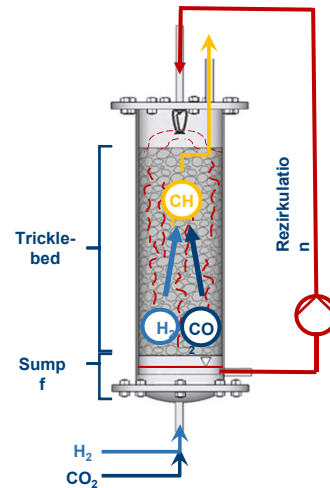


UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Ex-Situ Methanisierung

Tropfkörperreaktoren nach Gasaufbereitung:

- Eduktgase ausschließlich H_2 und CO_2
- Lange Verweilzeit der Gase im Reaktor: 2,25 – 4 h
(Burkhardt u. Busch, 2014)
- Große Phasenkontaktflächen durch Füllkörper:
 $313 - 859 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ (Strübing et al., 2017)
- Erhöhung Betriebsdrücke $\gg 1 \text{ bar}$
 - Verlängerung der Verweilzeit
 - Erhöhung der Partialdrücke



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

31



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

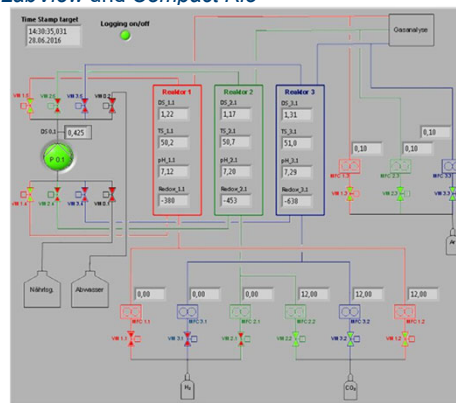
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)

Aktuelle Forschungsarbeiten zu BHM: Ex-Situ Methanisierung

- Versuchsaufbau im Labormaßstab: Fließschema (R&I - Schema)
- Vollständige Automatisierung des Prozesses auf Basis LabView und Compact Rio



Eigene Ergebnisse: Ullrich et al., 2018



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

32

Forschungsprojekt Pro-bioLNG

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

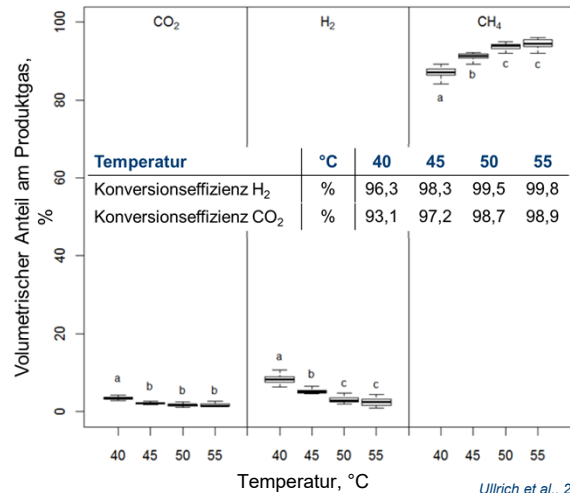
Ex-Situ Methanisierung

Einflussgrößen auf die Konversionseffizienz:

- Hohe Stoffwechselraten der methanogenen Mikroorganismen nur bei einer ausreichenden Versorgung mit Mikronährstoffen (Vintiloiu, et al., 2012; Jagadabhi, et al., 2017; Matheri, et al. 2017, Strübing et al., 2017)
- Sukzessive Optimierung einzelner Betriebsparameter

Ergebnisse:

- > 97 Vol.-% CH₄ konnten erreicht werden



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 33

Forschungsprojekt Pro-bioLNG

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Ex-Situ Methanisierung

Methanisierung in Tropfkörper-Reaktoren:

- Steigerung der MFR durch:
 - Erhöhung des Betriebsdrucks (1,5 – 9 bar) (Ullrich et al., 2017)
 - Reduktion der Berieselungsintensität (Ullrich et al., 2018)
 - Erhöhung der Betriebstemperatur (40 – 65 °C) (Strübing et al. 2017)
- Hohe Konversionseffizienz >98,5% der Eduktgase erreichbar (Burkhardt u. Busch, 2013, Strübing et al. 2017, Ullrich et al., 2018)
- MFR mit 7,6 – 15,4 L·L⁻¹·d⁻¹ deutlich höher als in anderen Reaktortypen (1-1,5 L·L⁻¹·d⁻¹) (Bassani et al., 2016; Strübing et al. 2017; Ullrich et al., 2018)
- Hohe Prozessstabilität und gute Lastflexibilität des Prozesses (Burkhardt u. Busch, 2013, Strübing et al. 2017, Ullrich et al., 2018)



Eigene Ergebnisse: Ullrich et al., 2017; 2018

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 34



**Gesamtbeurteilung der BHM:
Systemintegration am Beispiel „Forschungsbiogasanlage Unterer Lindenhof“**



Biogas: 1,19 Mio. m³·a⁻¹

52 Vol.-% CH₄; 47 Vol.-% CO₂

CO₂: 65 m³·h⁻¹

Methanisierung

H₂: 260 m³·h⁻¹

η=78% Elektrolyseur:
998 kW Leistung

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

Wirkungsgrade PtG-Konzepte:

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

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

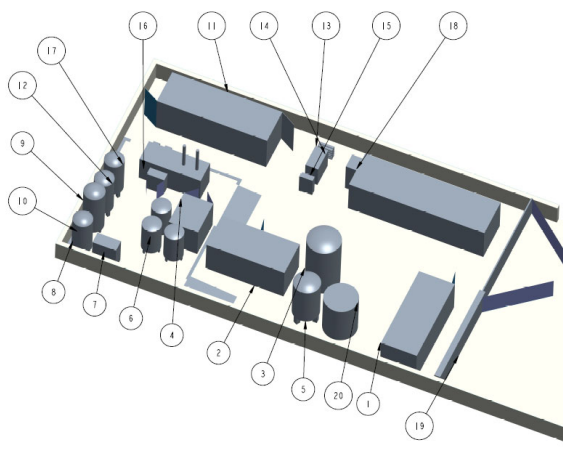
CH₄: ~45,5 kg·h⁻¹ (65,0 m³·h⁻¹)
H₂O: 104,5 kg·h⁻¹

H_S (CH₄) = 648 kWh·h⁻¹

Nutzung: BHKW

Elektrisch: 266 kWh·h⁻¹
Thermisch: 253 kWh·h⁻¹

Aufstellungsplan



Index	Komponente
1	SCHALTSCHRÄNKE UND -STEUERUNG
2	PUMPCONTAINER
3	HYDROLYSEREAKTOR
4	FILTRATIONSANLAGE
5	ANAEROBFILTER
6	ZWISCHENTANK 1-3
7	ELEKTROLYSEEEINHEIT
8	WASSERSTOFFSPEICHER
9	METHANISIERUNGSREAKTOR
10	WÄRMETAUSCHER
11	AKTIVKOHLEFILTER
12	DRUCKAUSGLEICHSBEHÄLTER
13	GASVERDICHTER
14	CNG-SPEICHER
15	CNG-ENTNAHMESTATION
16	CO ₂ -WÄSCHE
17	DRUCKAUSGLEICHSBEHÄLTER
18	LNG-STATION
19	SCHUTZWAND
20	SUBSTRATTANK

Aufbau H₂-Methanisierung



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Zweistufige Druckfermentation

+

Methanisierungsreaktor



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

37

Aufbau des Biomethan-Liquifizier

Verflüssigung bei -162,5 °C



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie



Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

38

Aufbau des Biomethan-Liquifier

Verflüssigung bei $-162,5\text{ }^{\circ}\text{C}$



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Steuerung



Stirling-Verflüssiger



LNG-Tank



Motivation | Prozesskette | **Anlagenaufbau** | Ausblick

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

39

Aufbau BioCNG – Tankstelle



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Kompressor



Bankspeicher



Zapfsäule

Motivation | Prozesskette | **Anlagenaufbau** | Ausblick

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

40

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)

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



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

Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

41

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 eine interessante Option darstellen (kontinuierliche Abnahme, hohe Genehmigungsauflagen, Erreichbarkeit) => Kooperation mit Spedition oder Busunternehmen
- 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 CO₂-Abtrennung ermöglichen, kann die bio-LNG Erzeugung für Landwirte ohne Zugang zu Erdgasleitung interessant werden

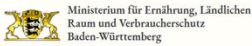
Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer

42


**UNIVERSITÄT
HOHENHEIM**

Vielen Dank für
PD Dr. A. Lemmer
andreas.lemmer@hohenheim.de
Landesanstalt für
Landwirtschaftliche
Versuchsanstalt






Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 43

Von Biogasanlagen zu On-Farm Bioraffinerien

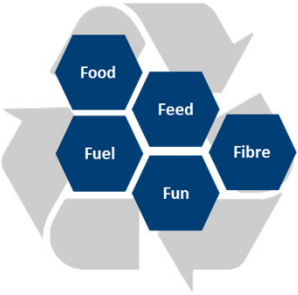

**UNIVERSITÄT
HOHENHEIM**




On-Farm Bioraffinerie

Kategorische Imperativ der Bioraffinerie

- Vielfalt auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen wird, bzw. muss zunehmen! Aber nur mit NaWaRo ist ein wesentlicher Beitrag der Bioökonomie zur Energie- und Rohstoffsicherung möglich
- Bestmögliche Nutzung sämtlicher Komponenten der Biomasse
Zielsetzung für alle Produkte: Senkung der THG-Emissionen gegenüber fossilem Komparator von >80%
- Wettbewerbsfähige Produkte, auch durch neue Eigenschaften.
Diese müssen vollständig rezyklierbar sein, so dass eine nachhaltige Deckung unserer Bedürfnisse möglich wird.




Biomethan als Kraftstoff | PD Dr. A. Lemmer 44