

Statuskonferenz Bioenergie am 21.09.2023

# Katalytische und biologische Direktmethanisierung von Biogas

im Rahmen der Forschungsprojekte  
Power-to-Biogas, FlexBiomethane und IntenseMethane

Alexander Feldner, Simon Markthaler, Peter Treiber

Jürgen Karl

Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



# Workshop vom 14. September:

- Thema: Katalytische und Biologische Direktmethanisierung von Biogas
- Abschlussworkshop zu den Projekten:
  - Power-to-Biogas (22035318)
  - FlexBiomethane (03KB165A)
  - IntenseMethane (03EI5405C)
- Inhalt: Erforschung von Technologien zur Erzeugung von synthetischen Methan und Biomethan unter anderem zur Speicherung von Wasserstoff und Flexibilisierung von Biogasanlagen
  - Katalytische Direktmethanisierung von Biogas
  - Biologische Methanisierung von Holzgas

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Agenda:

1. Motivation und Projektüberblick
2. Background
3. Power-to-Bigas:
  - Aufbau und Feldtest der 20kW-Methanisierung
4. FlexBiomethane:
  - Reaktorkonzept und Fermenterkopplung
5. IntenseMethane:
  - Reaktorkonzept und Versuchsergebnisse
6. Fazit und Zusammenfassung des Abschlussworkshops



## 2. Background: Direktmethanisierung

- **Katalytische Methanisierung von CO<sub>2</sub>:**

- Reaktion an einem festen Katalysator



$$\Delta H_R = -165 \text{ kJ/mol}$$

- Bedingungen: 200-600°C, erhöhter Druck
- Starker Temperatureinfluss auf Gleichgewicht und Kinetik



- Methanisierung von biogenen Gasen:

- Zusätzliches Methan verschiebt Grenze zur Kohlenstoffbildung (Katalysatordeaktivierung)
- Gefahr der Deaktivierung durch Spurengase

- **Biologische Methanisierung:**

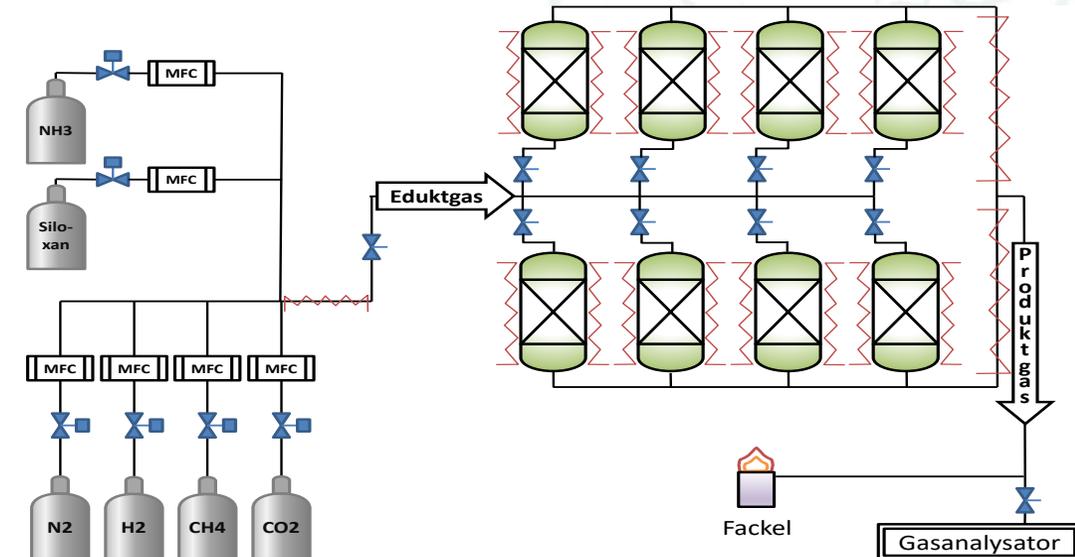
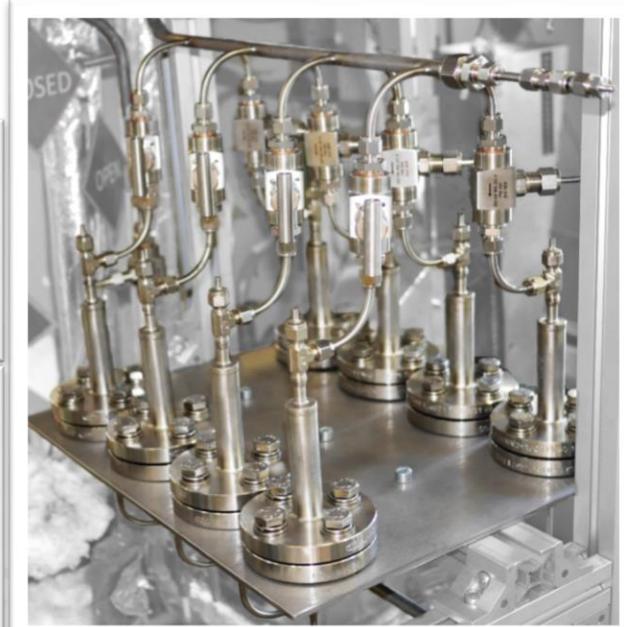
- Umsetzung durch Mikroorganismen
- Schrittweise Umwandlung von Fetten, Proteinen und Kohlenhydraten zu CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O
- Schritte: Hydrolyse → Acitogenese → Acetogenese → Methanogenese



- Moderate Betriebsbedingungen
- Weitgehende Toleranz gegenüber Fremdstoffen

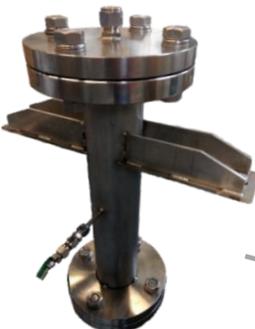
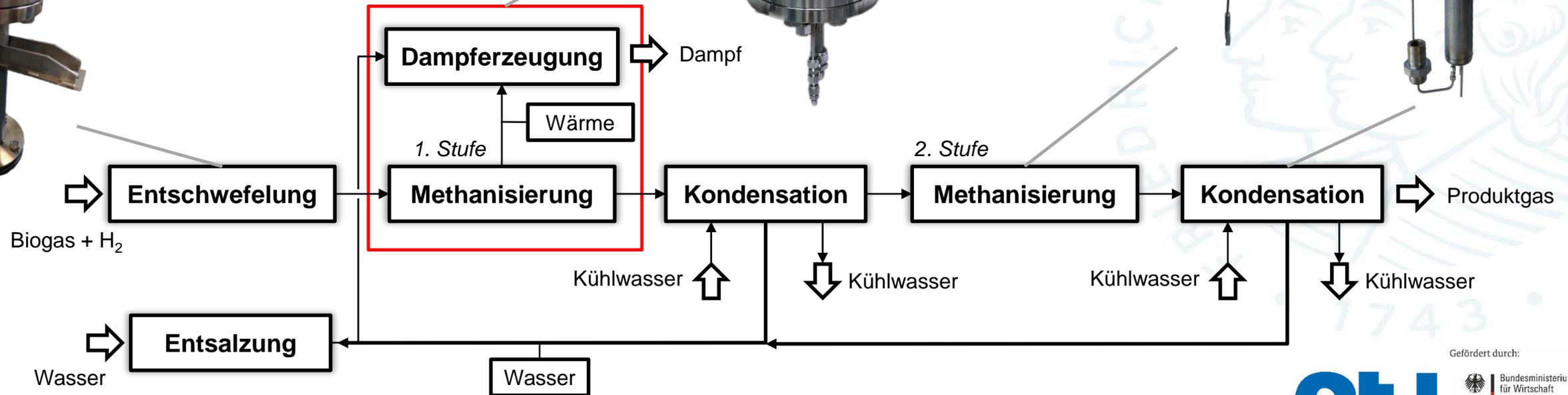
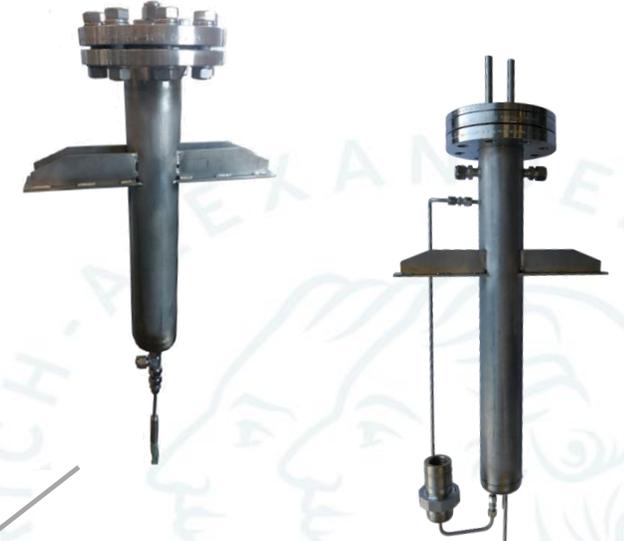
## 2. Background: Einfluss von Spurengasen

- **Kernfrage der katalytischen Methanisierung:**
  - Deaktivierung konventioneller Katalysatoren durch Spurenstoffe ( $\text{NH}_3$ , Siloxane,  $\text{H}_2\text{S}$ , Teere,...)?
- **Kontamination mit Ammoniak:**
  - $1 - 20 \text{ mg/m}^3$  Eduktgas
  - Keine Deaktivierung ( $t > 10 \text{ h}$ )
- **Kontamination mit Siloxan:**
  - $2,7 - 40 \text{ mg/m}^3$  Eduktgas
  - Katalysatorspezifisches Verhalten
- **$\text{H}_2\text{S}$ :** Deaktivierung des Katalysators durch kleinste Mengen
  - ➔ Verunreinigungen im Gas können problematisch für die eingesetzten Katalysatoren sein
  - ➔ Gasaufbereitung notwendig!



# 3. Power-to-Biogas

- Ziel: Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität
  - 20kW-Katalytische Methanisierung
    - Zweistufiges Reaktorsystem
    - Zwischenkondensation von Wasser verschiebt Reaktions-GGW auf die Produktseite
- ➔ Maximierung der CH<sub>4</sub>-Ausbeute



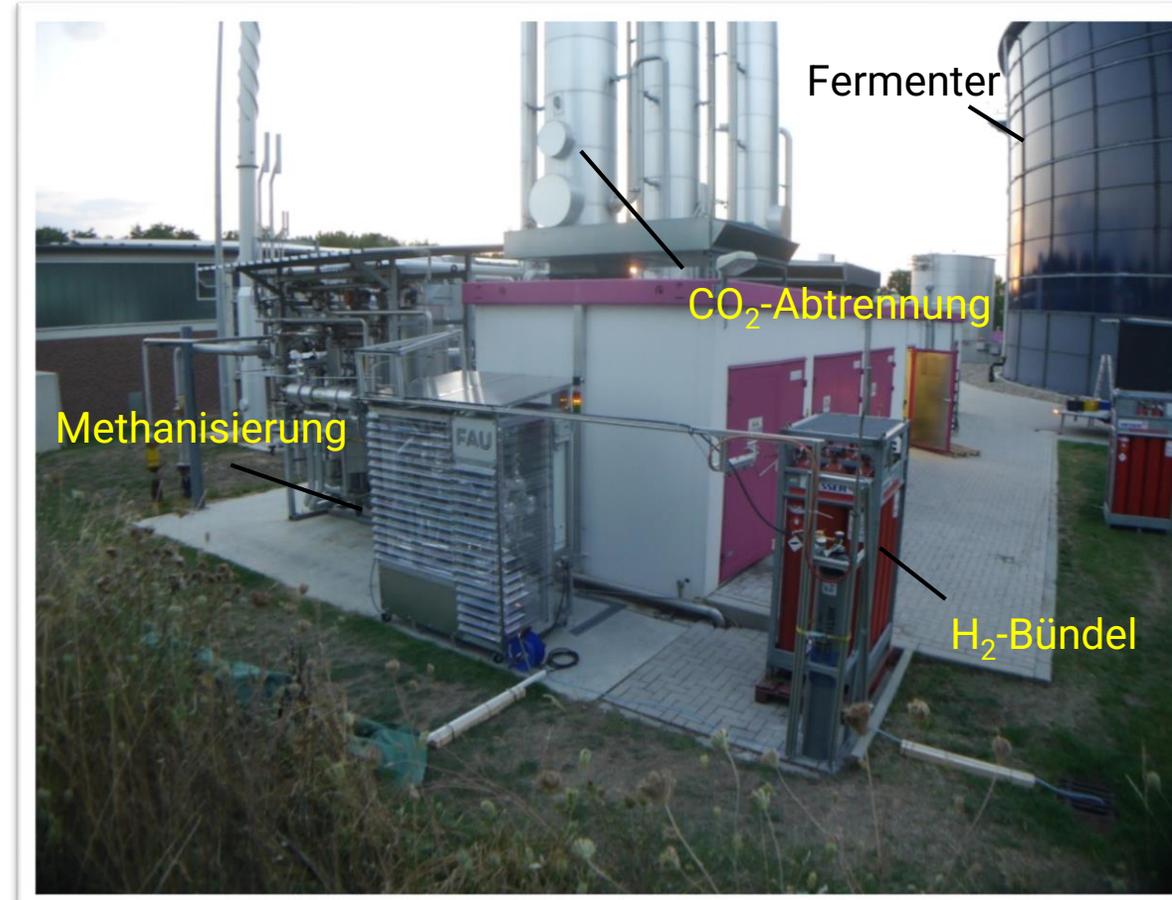
Gefördert durch:



# 3. Anlagenkopplung mit der Biomethananlage in Dülmen



revis bioenergy

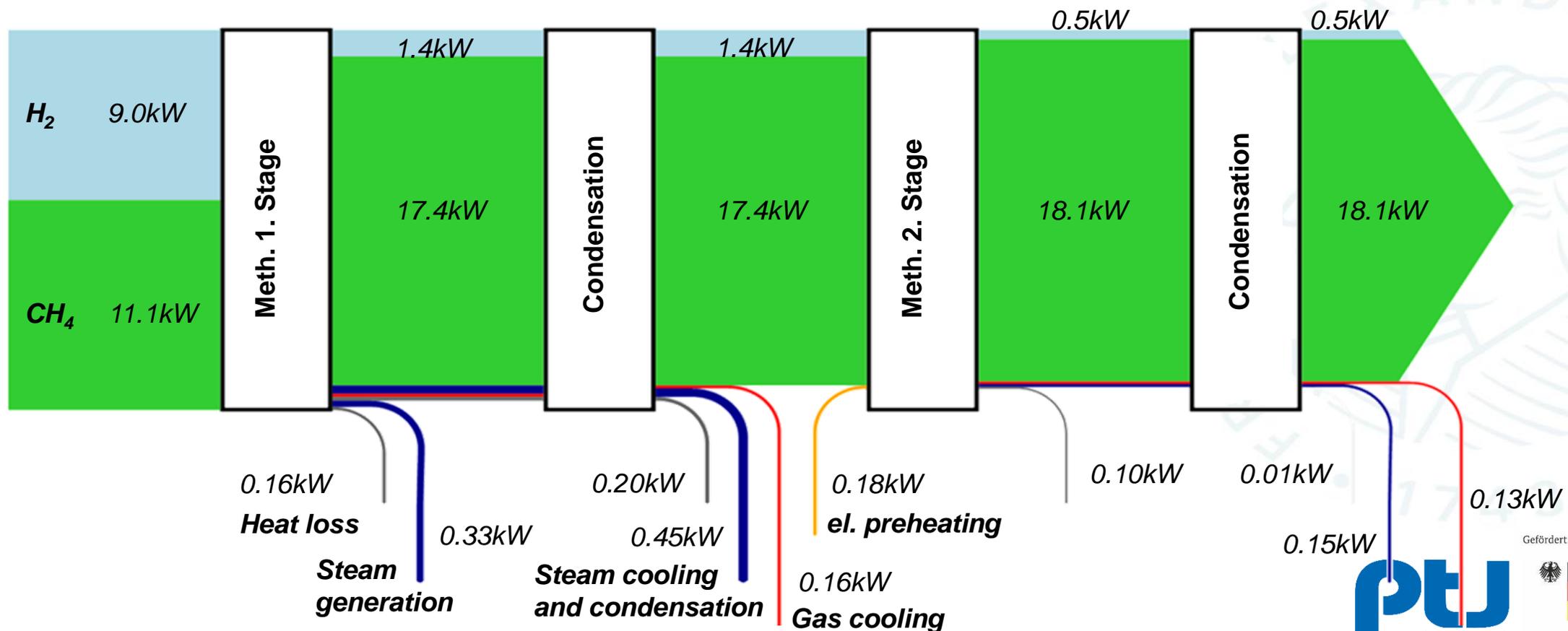


Gefördert durch:



## 3. Anlagenkoppung: Energiebilanz

- Wirkungsgrad: 78% der chem. Energie im Wasserstoff in Methan (vgl. optimaler Wirkungsgrad  $\approx 83\%$ )
- Bez. auf  $H_2$ -Input: im Dampferzeuger ca. 3,7 % als Abwärme in Zwischenkondensation ca. 6,8 % als Wärme an das Kühlwasser
- Methangehalt im Produktgas bis max. 98%



Gefördert durch:


 Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich

 aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 3. Fazit Power-to-Biogas

- Demonstration mit über 1000 h ohne Katalysatordeaktivierung
- Produktgasmethangehalt im Bereich 87 – 98 %
- Rund 4 % als Abwärme im Dampferzeuger (+ 6,8 % in Kondensator)
- Betriebsoptimierung über Reinforcement Learning erfolgreich



### und Ausblick

- Feldtest an der Kläranlage Nürnberg (Direktmethanisierung von Klärgas)
- Scale-Up auf Pilotanlage im Leistungsbereich von 200kW bis 1MW



Gefördert durch:

## 4. FlexBiomethane: ADDmeth

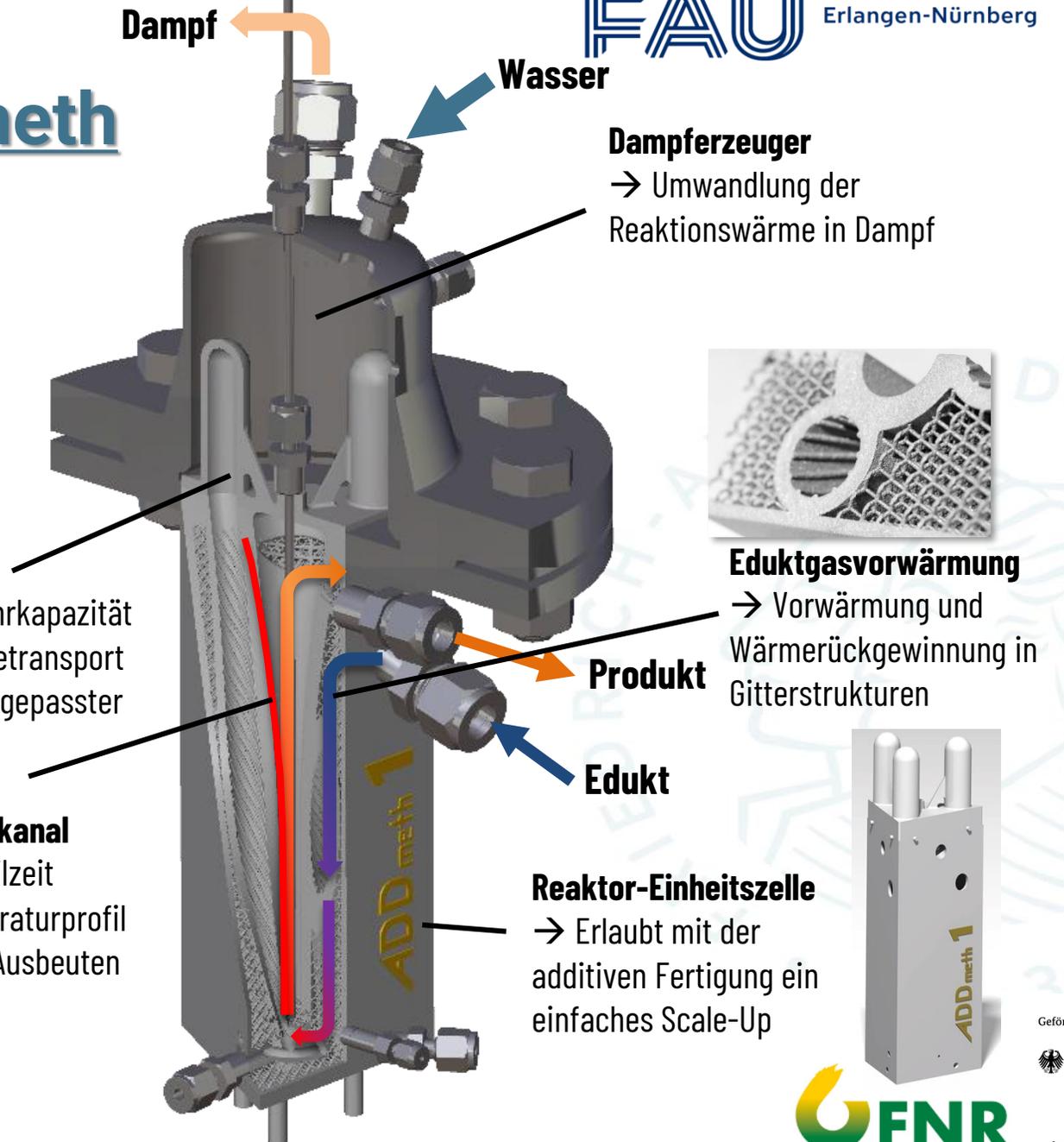
- Ziel: Vereinfachung der Methanisierung (Reduzierung der Prozessschritte) und Umsatzsteigerung
  - Anwendung der additiven Fertigung
  - ADDmeth= **add**itive Fertigung + **Meth**anisierung

### Heatpipes

→ Große Wärmeabfuhrkapazität und isothermer Wärmetransport bei an die Reaktion angepasster Kühlung

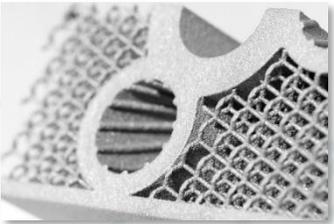
### Konischer Reaktionskanal

→ varrierende Verweilzeit verbessert das Temperaturprofil und führt zu höheren Ausbeuten



### Dampferzeuger

→ Umwandlung der Reaktionswärme in Dampf



### Eduktgasvorwärmung

→ Vorwärmung und Wärmerückgewinnung in Gitterstrukturen

### Produkt

### Edukt

### Reaktor-Einheitszelle

→ Erlaubt mit der additiven Fertigung ein einfaches Scale-Up



Gefördert durch:

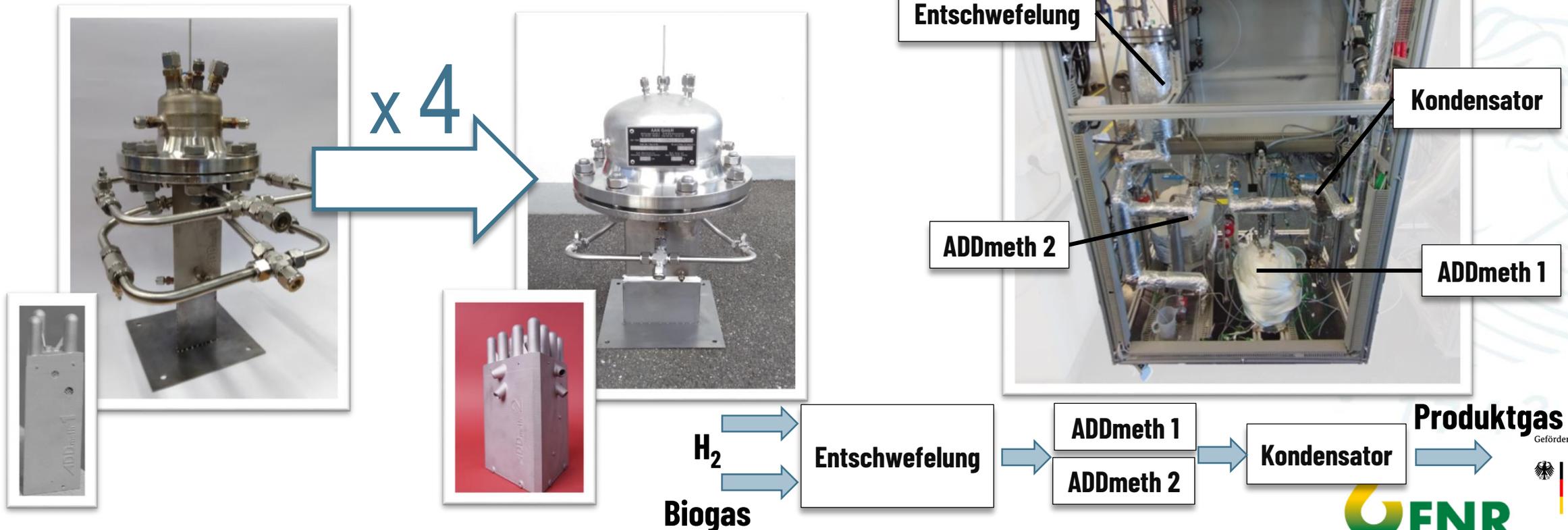


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# 4. Upscale und Methanisierungs-Prüfstand

- Scale-Up von 1 auf 4 Zellen zum Erreichen größerer Umsatzleistungen → ADDmeth2
- Reduzieren auf wenige Komponenten zur Verringerung der Prozesskomplexität



# 4. Fermenterkopplung an der TH-Ingolstadt

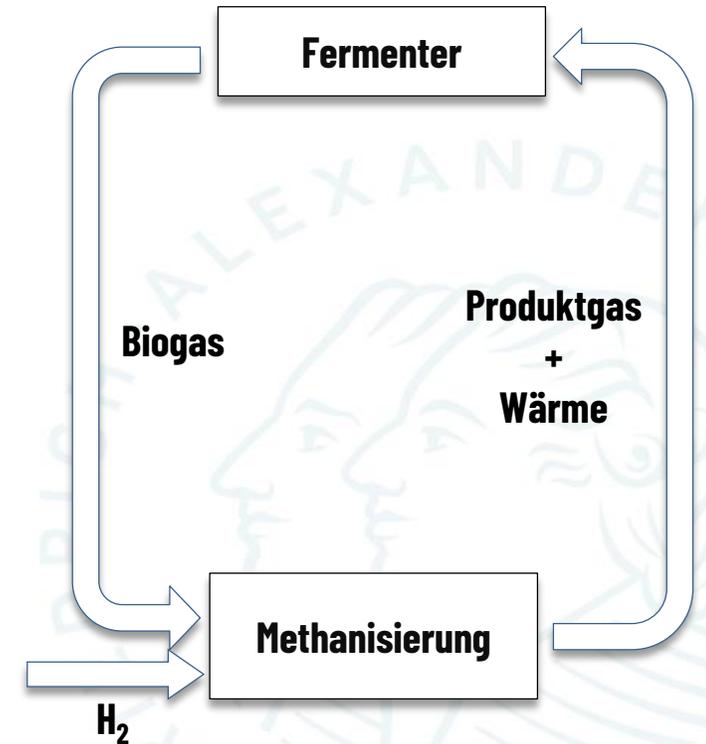
Methanisierung



Biologischer Fermenter



+



- Kopplung von katalytischer Methanisierung mit biologischen Fermenter
- **Ziel:** Untersuchung der Methananreicherung im Fermenter

Gefördert durch:

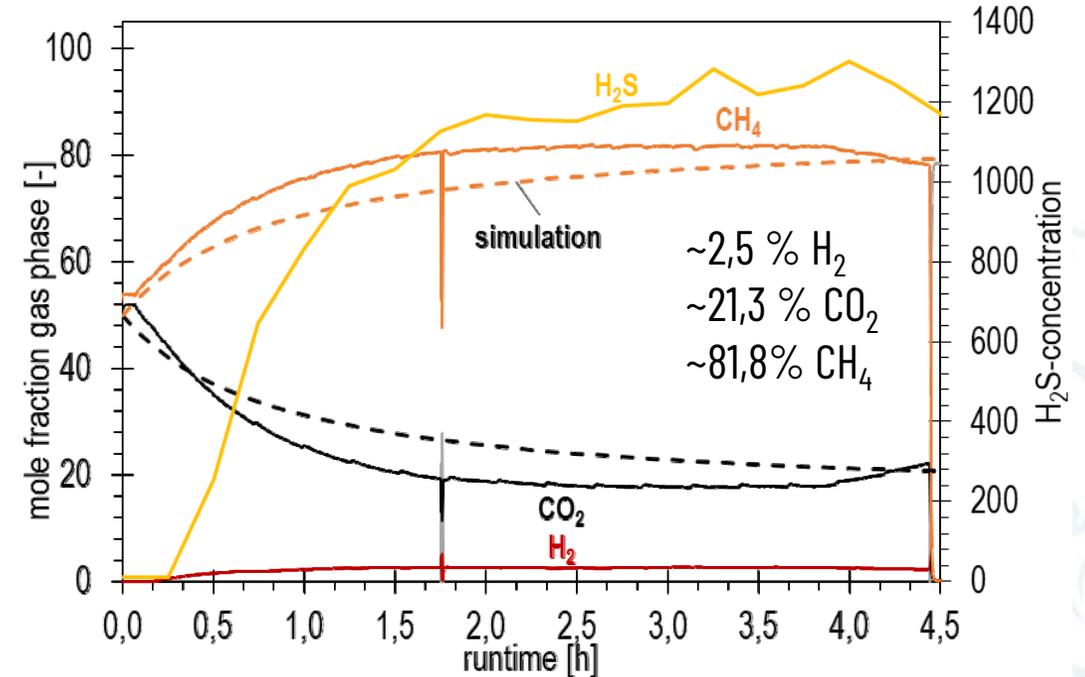


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## 4. Fermenterkopplung an der TH-Ingolstadt

- **Methanisierung:** Anreicherung des Biogases von ca. 45% auf ca. 90%-CH<sub>4</sub> → Rückleitung in Fermenter
- **Kernfrage:**
  - Erreichbare Methananreicherung?
- **Ergebnisse:**
  - Methananreicherung auf >80% möglich (übereinstimmend mit Berechnungen)
  - Aber: massiver Anstieg der H<sub>2</sub>S-Konzentration → Negativer Effekt auf die Biologie?
- **Dynamische Versuche:**
  - Tag-Nacht-Speicherzyklus problemlos durchführbar
  - Methananreicherung auf ca. 75 %
  - Keine Hinweise auf negative Auswirkung auf Biologie



Gefördert durch:

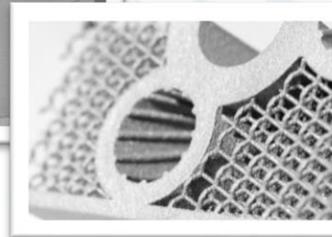

 aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

## 4. Fazit FlexBiomethane

- Erfolgreiche Anwendung eines additiv gefertigten Methanisierungsreaktor
- Methananreicherung des Fermenters auf bis zu 80% ist möglich
- Fermenterkopplung ohne negative Effekte auf Biologie durchführbar

### und Ausblick

- Weitere Erprobung und Optimierung von additiv gefertigten Reaktoren
- Scale-Up auf 200kW und Feldtest im Umfeld einer realen (kleineren) Biogasanlage



Gefördert durch:



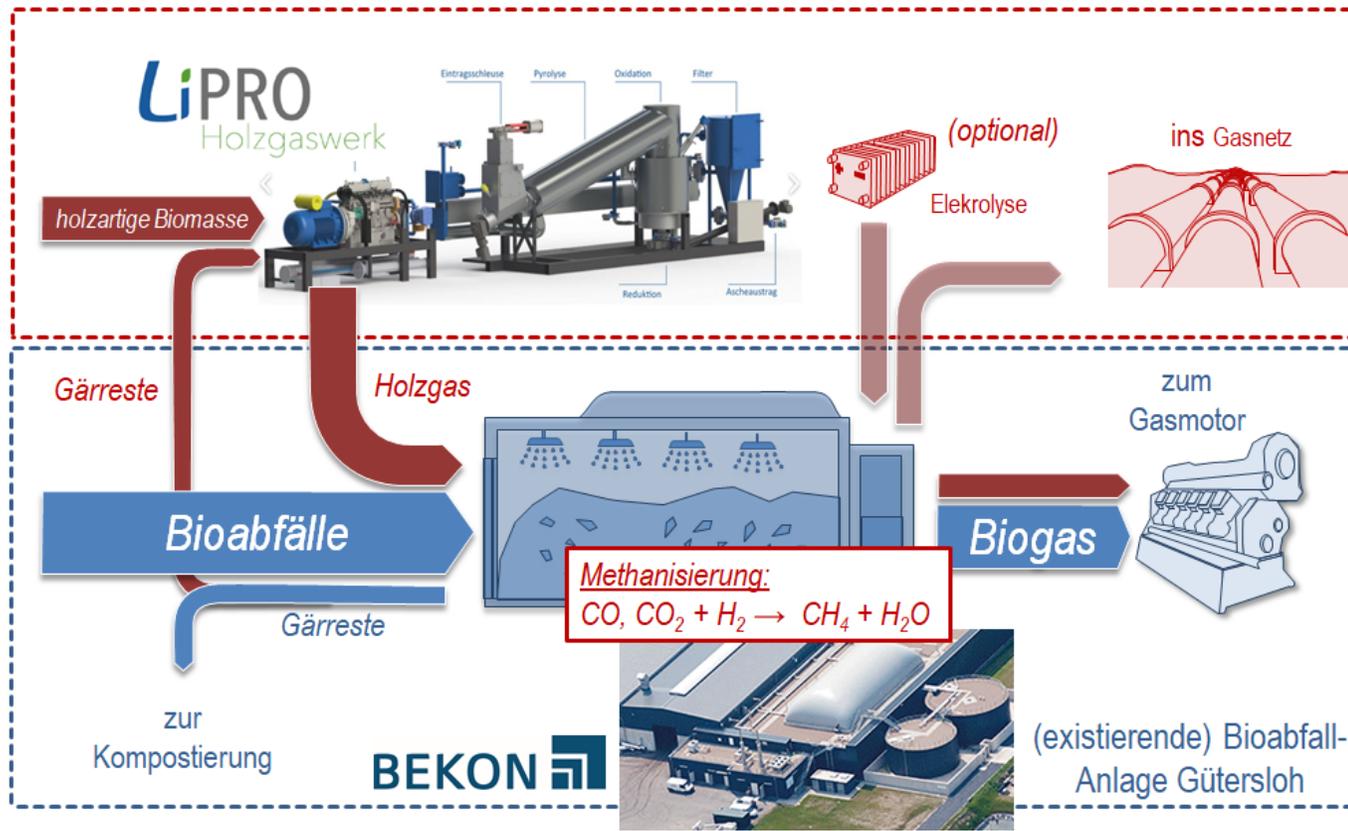
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# 5. Forschungsprojekt „IntenseMethane“

## Herausforderungen:

- Anpassung der Vergasung zur Stickstoff-Minderung
- Anpassung der Methanisierung/ Biologie im Fermenter auf die im Holzgas enthaltenen Gase und Verunreinigungen (CO-Methanisierung, Teer-Abbau)
- Möglichst geringe (Prozess-) Komplexität
- Möglichst hohe Gaserzeugungsleistung (Fermenter)

### IntensMethane Anlagen-Konzept



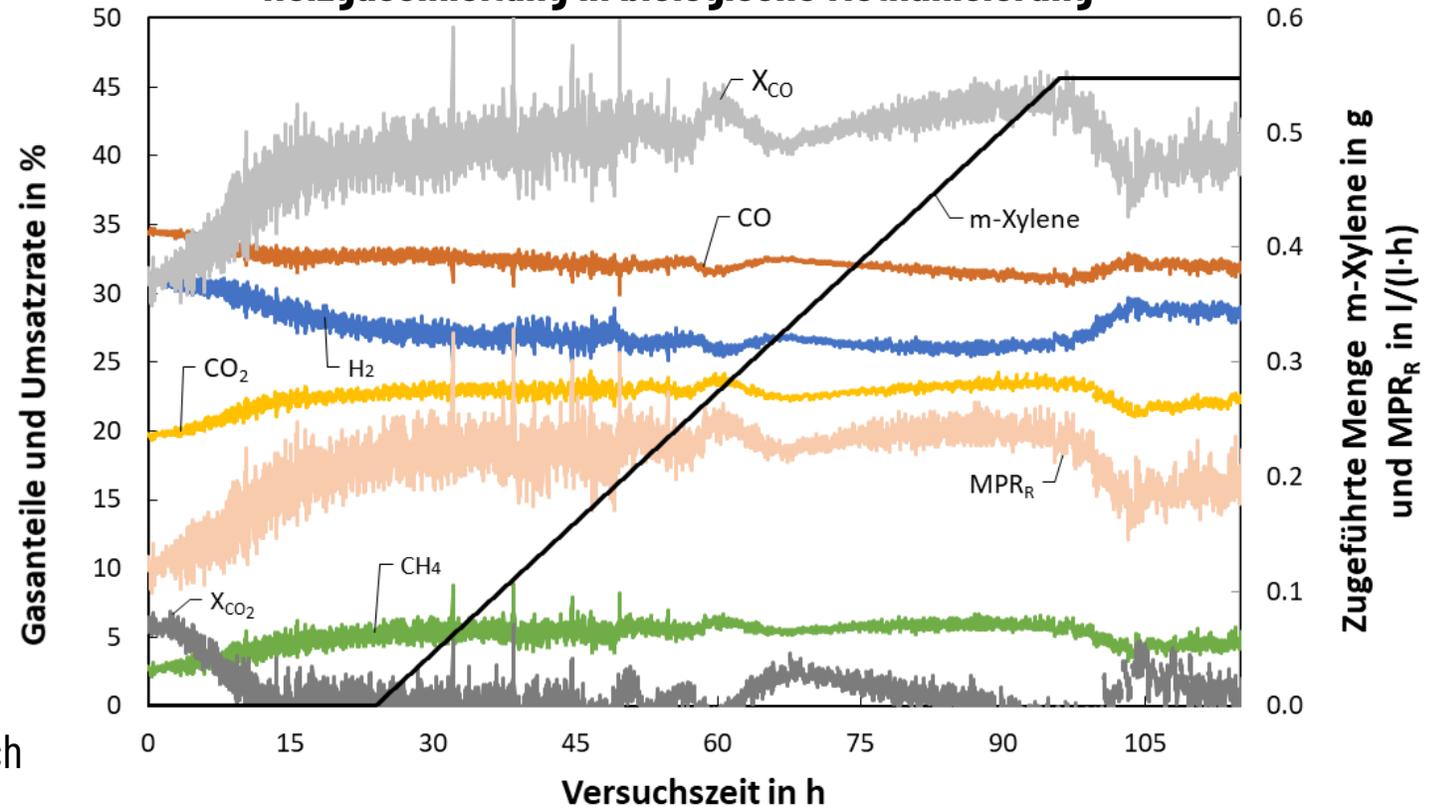
Gefördert durch:

# 5. Versuche mit BGA-Perkolat und synthetisch nachgestelltem LiPRO-Holzgas



- Methanisierung von  $\text{CO}_2$  mit  $\text{H}_2$  mit Perkolat erfolgreich
- Ebenfalls Umsatz von  $\text{CO}$  messbar
- Synthetische Teere in geringer Menge\* haben kaum Einfluss auf Methanisierung

Holzgaseinleitung in biologische Methanisierung



\*Konzentration: Worst-case Szenario LiPRO-Vergaser Holzgas

Gefördert durch:

## 5. Fazit IntenseMethane

- Methanisierung: erfolgreicher Umsatz von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  mit Perkolat im Labor (EVT), in der Trockenfermentationsanlage (Enger) und im Versuchs-Fermenter (Bremen)
- Biologie:  $\text{CO}$ -Umsatz möglich, Teere haben in geringer Konzentration kaum Einfluss
- System: Kopplung von Holzvergaser und Versuchs-Fermenter erfolgreich



## und Ausblick

- Methanisierung in Rieselbettfermenter für besseren Stoffaustausch
- Fermenter-ScaleUp und Langzeitversuche für Systemstabilität
- Einbindung der Elektrolyse für  $\text{O}_2$  (Vergaser) und  $\text{H}_2$  (Methanisierung)

Gefördert durch:

## 6. Fazit und Ergebnisse des Abschlussworkshops



- Katalytische Methanisierung ist bereit zum Scale-up auf Pilot-Maßstab
- Kopplung mit Fermenter möglich und erfolgreich
  - Stattfindende Mechanismen sollten noch weiter untersucht werden
- Interesse aus der Anwendung (z.B. Biogasanlagenbetreibern) ist vorhanden
- Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden für wirtschaftlichen Betrieb von Pilotanlagen

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Workshop

**ADVANCES IN  
BIOLOGICAL METHANATION**  
Microbes As Game Changers  
For A Sustainable Future

5. & 6.10.2023  
Regensburg

For more information see the ORBIT II project homepage  
<http://orbit-projekt.de>

Organizer:

**ORBIT II**

supported by:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
on the basis of a decision  
by the German Bundestag

UR  
Universität Regensburg

OTH  
OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG