Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

Life Sciences und
Facility Management

ICBT Institut für
Chemie und Biotechnologie

UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Biomethankraftstoff direkt aus dem Biogasreaktor

Dr. Wolfgang Merkle, Jörg Steinbrenner, PD Dr. Andreas Lemmer

Dr. Wolfgang Merkle

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

ICBT Institut für Chemie und Biotechnologie

Fachstelle Umweltbiotechnologie

Einsiedlerstrasse 31 / Campus Reidbach / RS 18

CH-8820 Wädenswil

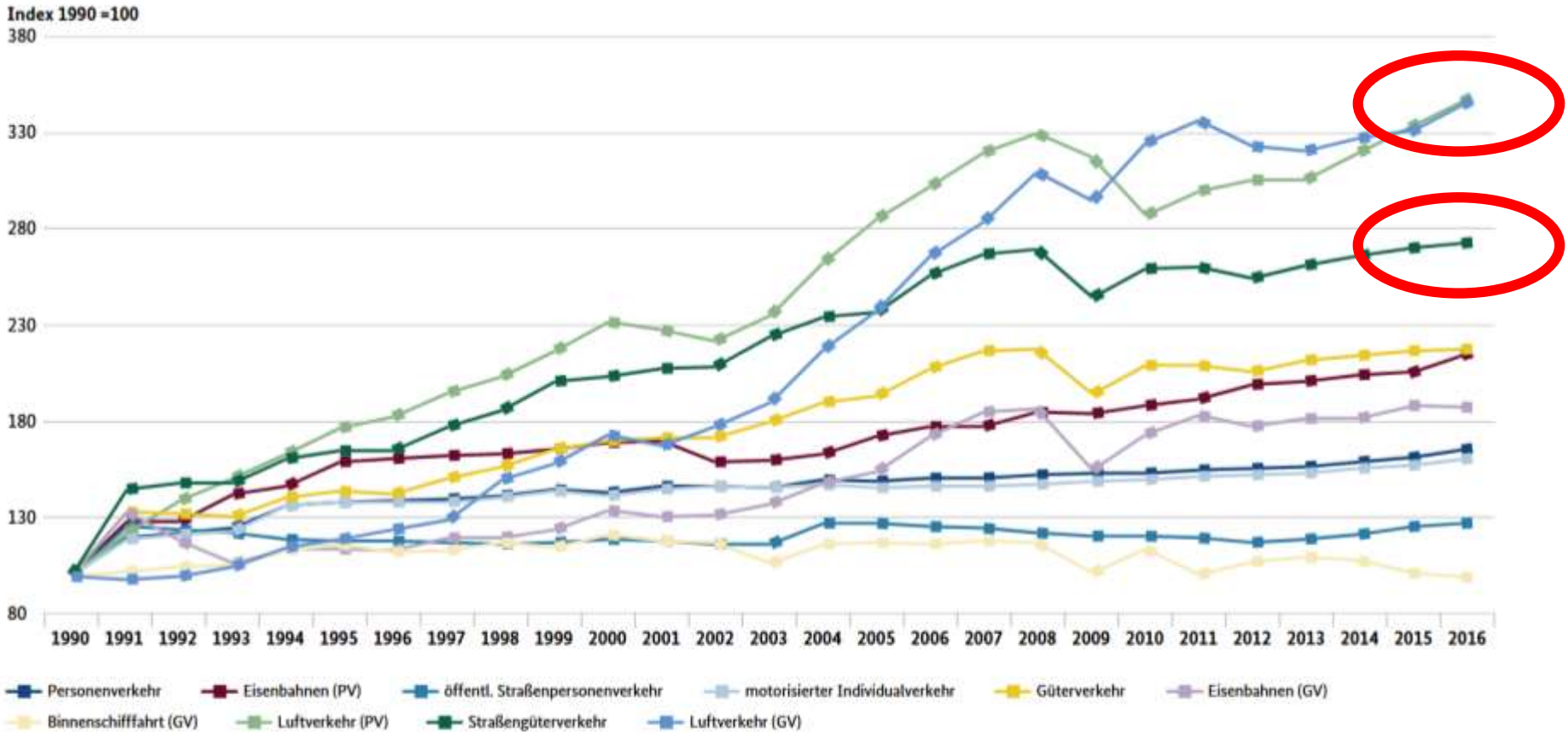
Büro: +41 (0) 58 934 52

Fax +41(0) 58 934 5995

wolfgang.merkle(at)zhaw.ch

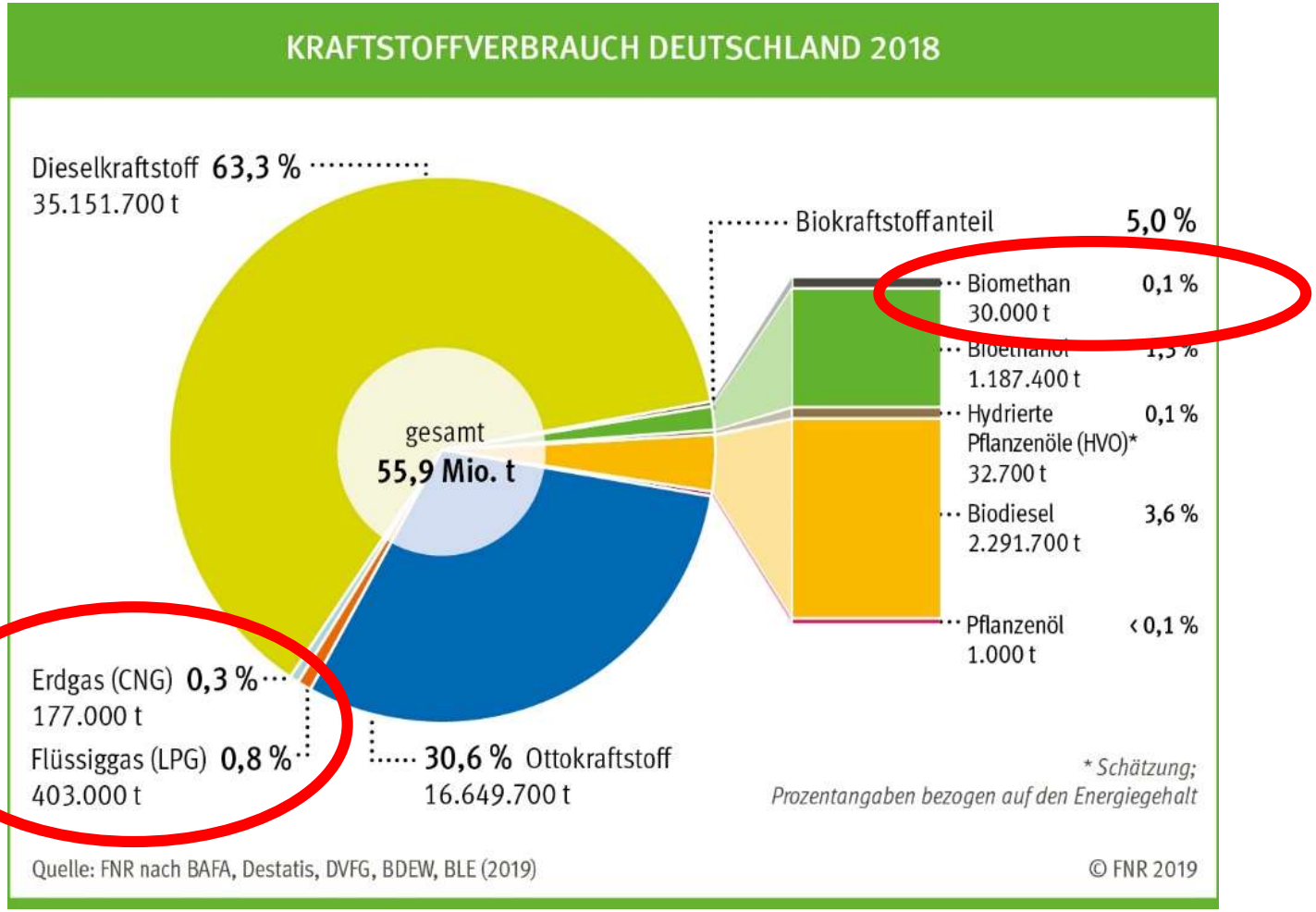
www.zhaw.ch/icbt/umweltbiotech

Entwicklung des Verkehrssektors am Beispiel Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Kraftfahrtbundesamt, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium der Finanzen

Zusammensetzung des Kraftstoffverbrauchs in Deutschland



Politische Rahmenbedingungen

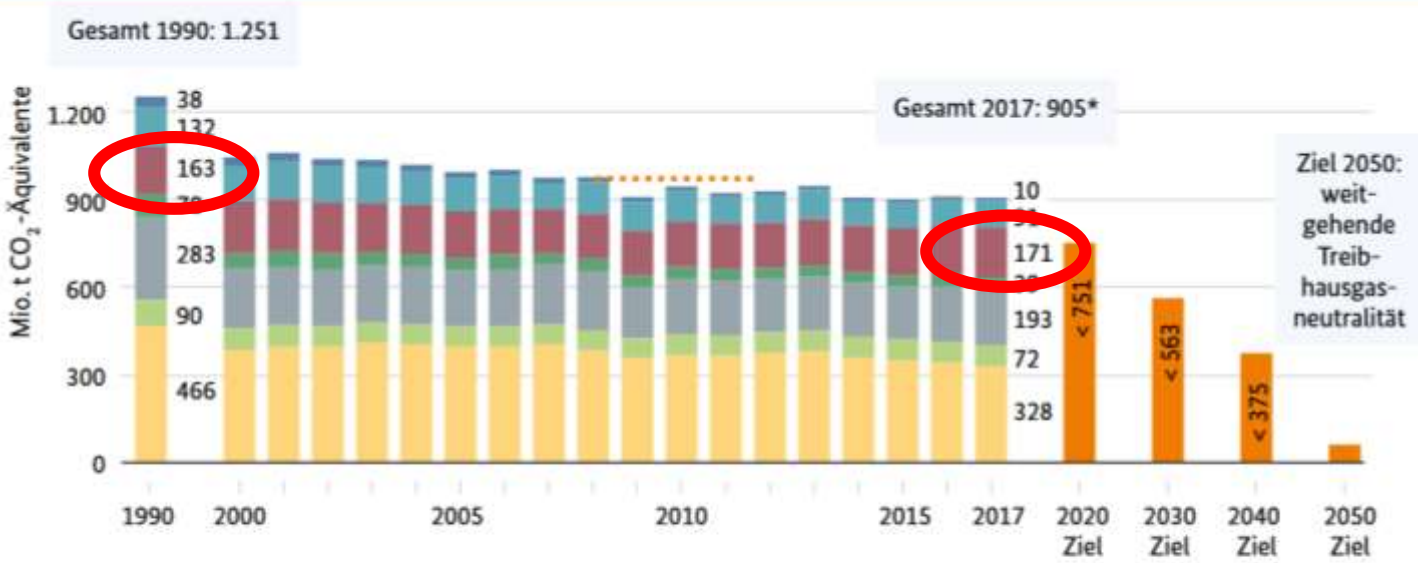
- Welt: Pariser Klimaschutzkonferenz (2015) haben sich 195 Länder erstmals auf ein allgemeines, rechtsverbindliches weltweites Klimaschutzübereinkommen geeinigt.
  - Das Übereinkommen die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen
- EU: Novellierung der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive, RED II) (2018)
  - Bis 2030: Anteil erneuerbarer Energien 32 % in EU
  - Bis 2030: Anteil erneuerbarer Energien ≥14 % im Verkehrssektor
- Deutschland: Klimaschutzplan 2050 (2016)
  - Bis 2030: >55 % THG-Minderung im Vergleich zu 1990
  - Bis 2050: 80-95 % THG-Minderung im Vergleich zu 1990

Treibhausgasemissionsminderungen in Deutschland

- Energiewirtschaft:
  - Bis 2030: THG-Minderungen 61-62 %
- Industrie:
  - Bis 2030: THG-Minderungen 49-51 %
- Gebäude:
  - Bis 2030: THG-Minderungen 66-67 %
- **Verkehr:**
  - **Bis 2030: THG-Minderungen 40-42 %**
- **Landwirtschaft:**
  - **Bis 2030: THG-Minderungen 31-34 %**

Entwicklung der Treibhausgase nach Sektoren

Abb. 12: **Entwicklung der Treibhausgase nach Sektoren (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)****



Quelle: UBA (2018a); Schätzungen 2017 basierend auf Pressemitteilung 09/2018

Herausforderungen im Verkehrssektor

- Anstieg von THG-Emissionen im Verkehrssektor aufgrund steigendem Ausbaus im Flug- und Straßengüterverkehr, trotz Effizienzsteigerungen
- Konstant geringer Anteil von 5 % aus Erneuerbaren Energien im Verkehrssektor
  - **Hohe Einsparungen bis 2030 notwendig (40-42 % im Vergleich zu 1990)**
  - **Ausbau der Produktion von Kraftstoffen aus Erneuerbaren Energien**
- Verfügbare Möglichkeiten:
  - Biodiesel
  - Elektrische Antriebe
  - Power-to-Gas (H_2)
  - **CNG und LNG aus Erneuerbaren Quellen**

Anforderungen im Bereich LNG und CNG

- LNG (Liquefied Natural Gas)
  - Verflüssigung bei -162 °C bis -130 °C und einem Druck zwischen 1 und 8 bar
  - CH_4-Gehalt: ca. 98 Vol. %
  - 1,0 kg LNG entspricht Energiegehalt von 1,4 Liter Diesel
- CNG (Compressed Natural Gas)
  - Verdichtet auf 200 bar
  - CH_4-Gehalt: L-Gas 80,1 bis 87 Vol. %; H-Gas 87 bis 98,9 Vol. %
  - 1,0 kg CNG (H-Gas) entspricht Energiegehalt von 1,4 Litern Diesel

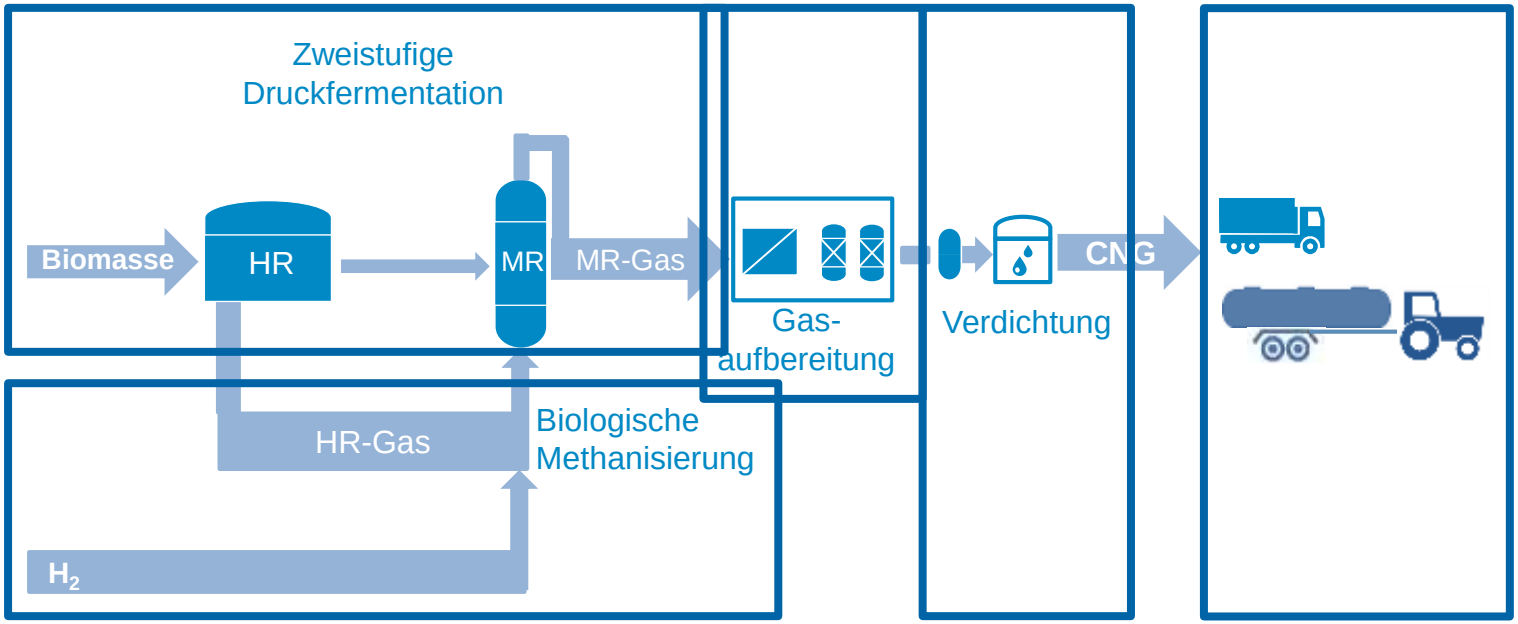
(Dena, 2016)

BMBF-Verbundprojekt «ProBioLNG»

Innovative Prozesskette zur ressourceneffizienten Erzeugung von Bio-LNG

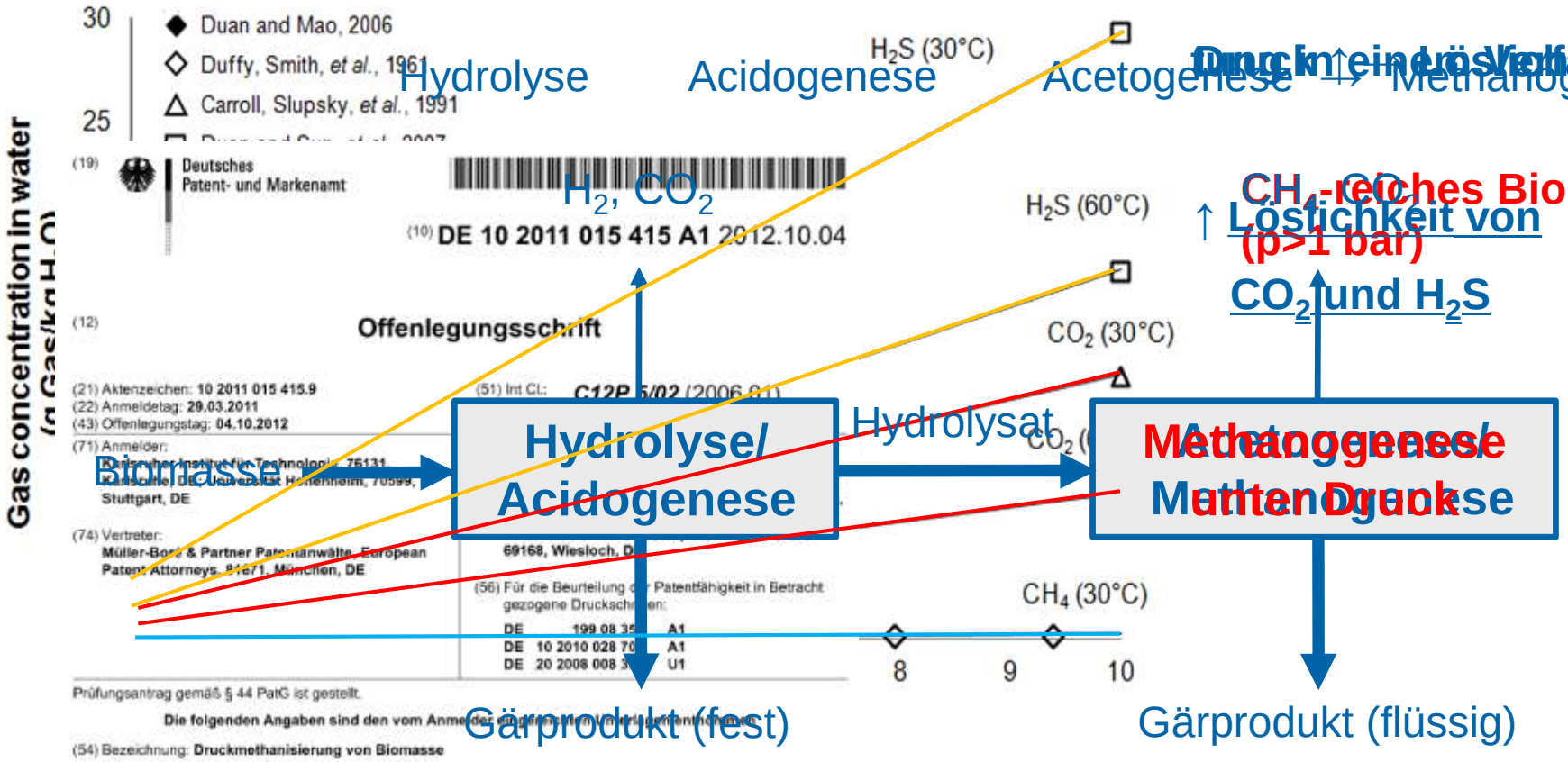
- Ziel: Entwicklung einer **innovativen** und **hocheffizienten Prozesskette** zur **kostengünstigen Erzeugung** von **biomethanbasierten Kraftstoffen**
- **Ökonomische, ökologische und soziale Evaluation** des innovativen Verfahrens-ansatzes zur Erzeugung und der Nutzung von Bio-CNG/Bio-LNG im Kraftstoffsektor

ProBioLNG-Verfahrenskette zur CNG Erzeugung



Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

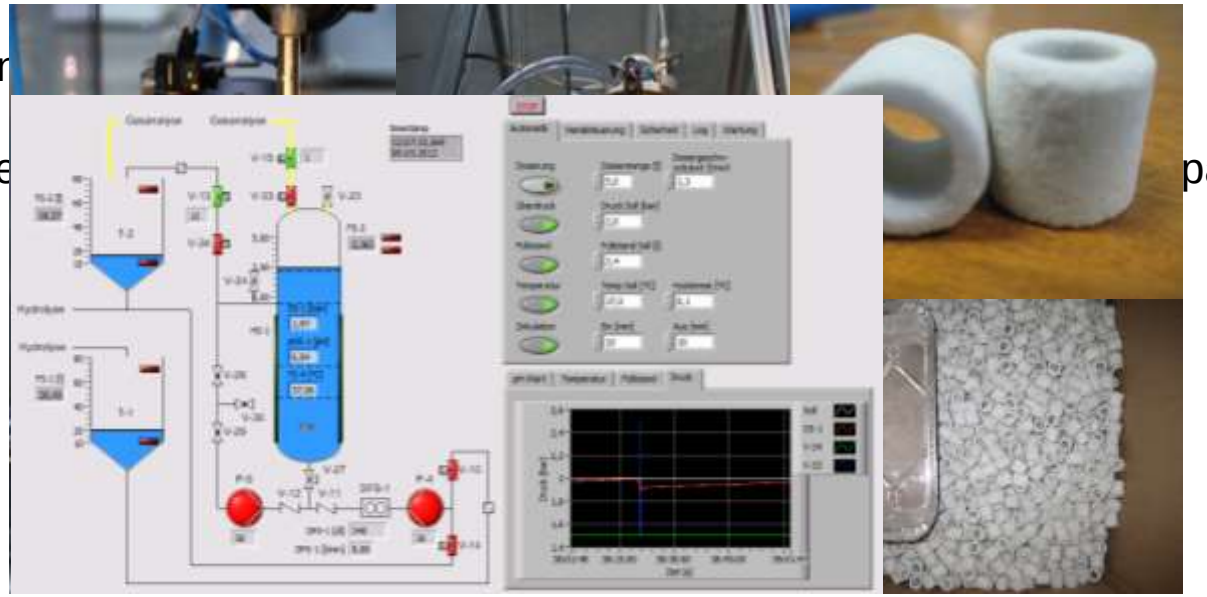
Konzept der zweistufigen Hochdruckfermentation



Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

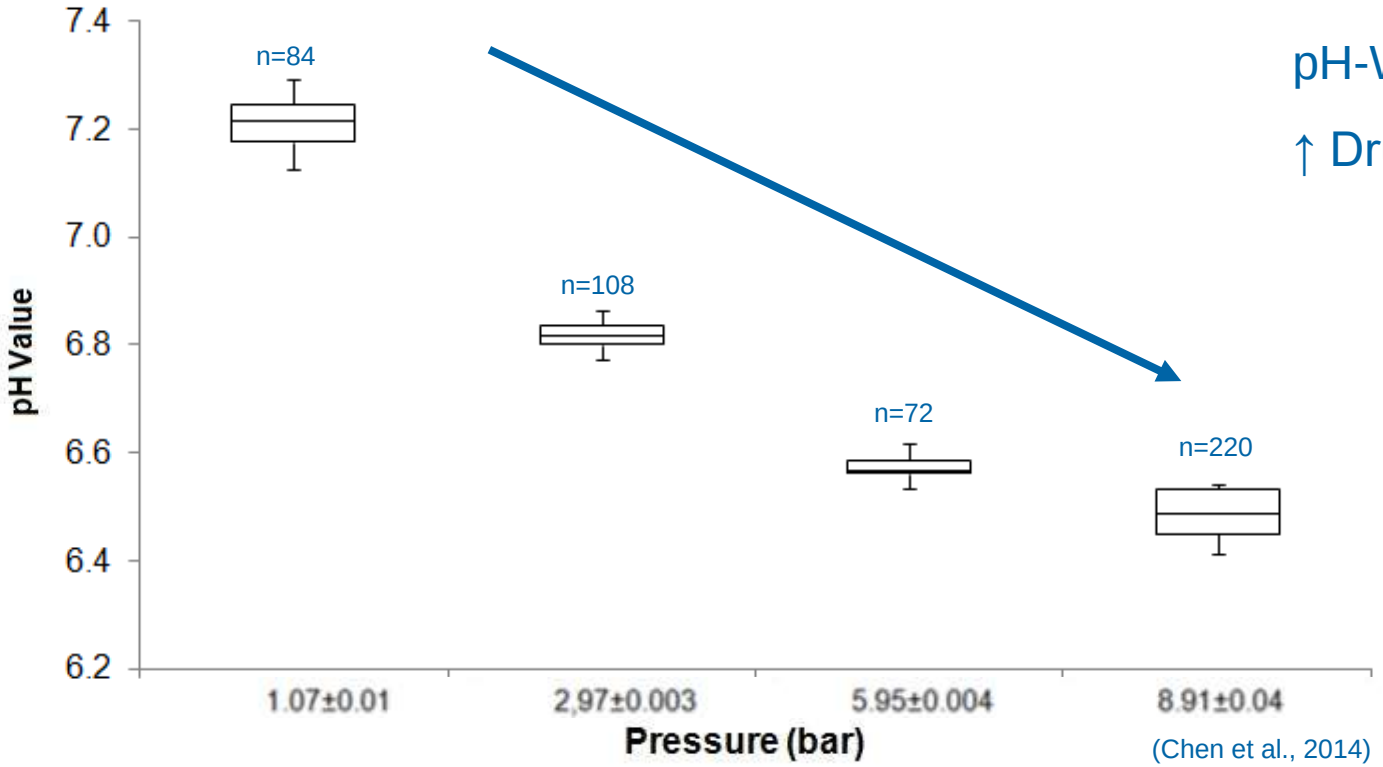
Projekt: Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse (B2G) (2010-2014)

- Ziel:
  - Entwicklung und Aufbau eines kontinuierlich betriebenen Druckmethanreaktors (10 bar)
  - Er
  - Ve parameter



Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Projekt: Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse (B2G) (2010-2014)



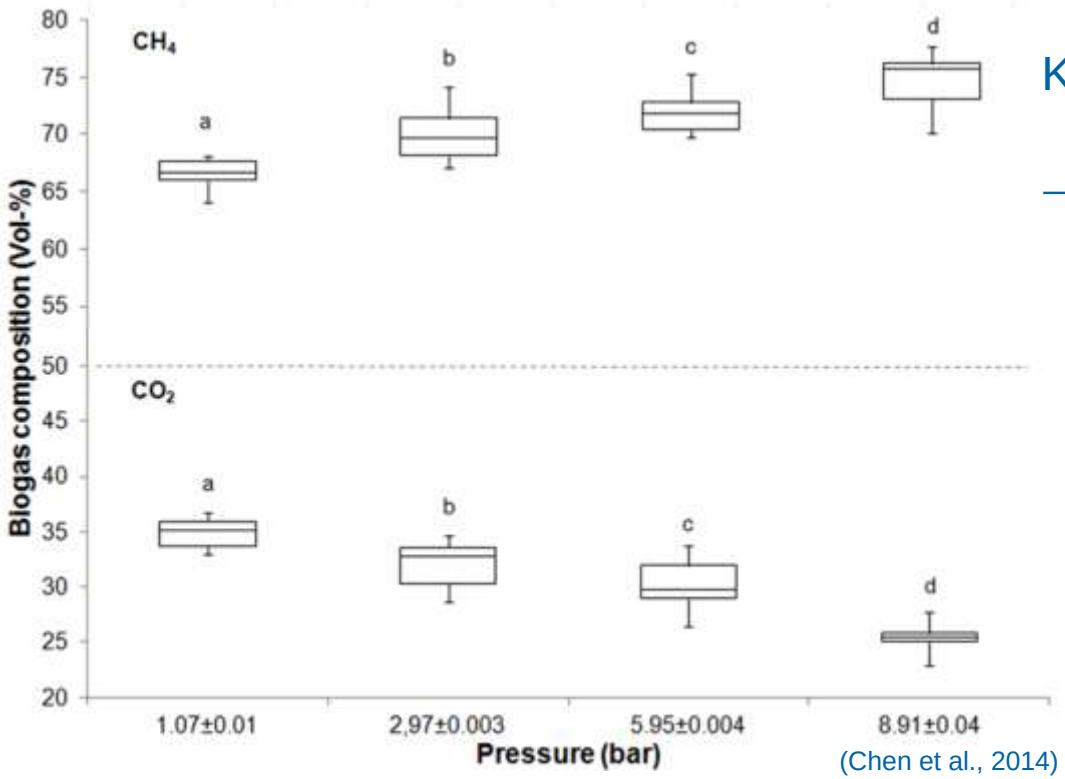
pH-Wert:

↑ Druck → pH-Wert ↓

(Chen et al., 2014)

Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Projekt: Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse (B2G) (2010-2014)



(Chen et al., 2014)

Kontinuierliche Versuche bis 9 bar

→ CH_4-Gehalt bis 86 Vol.-%

(Chen et al., 2014; Lemmer et al.,2015)

Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse des B2G-Projekts:

- Betrieb bis 9 bar problemlos möglich
- Keine Hemmung der Methanproduktion trotz sinkendem pH-Wert auf 6,55
- Methangehalte bis 86 Vol.-% realisierbar

➢ **Was für Potential bieten noch höhere Drücke?**

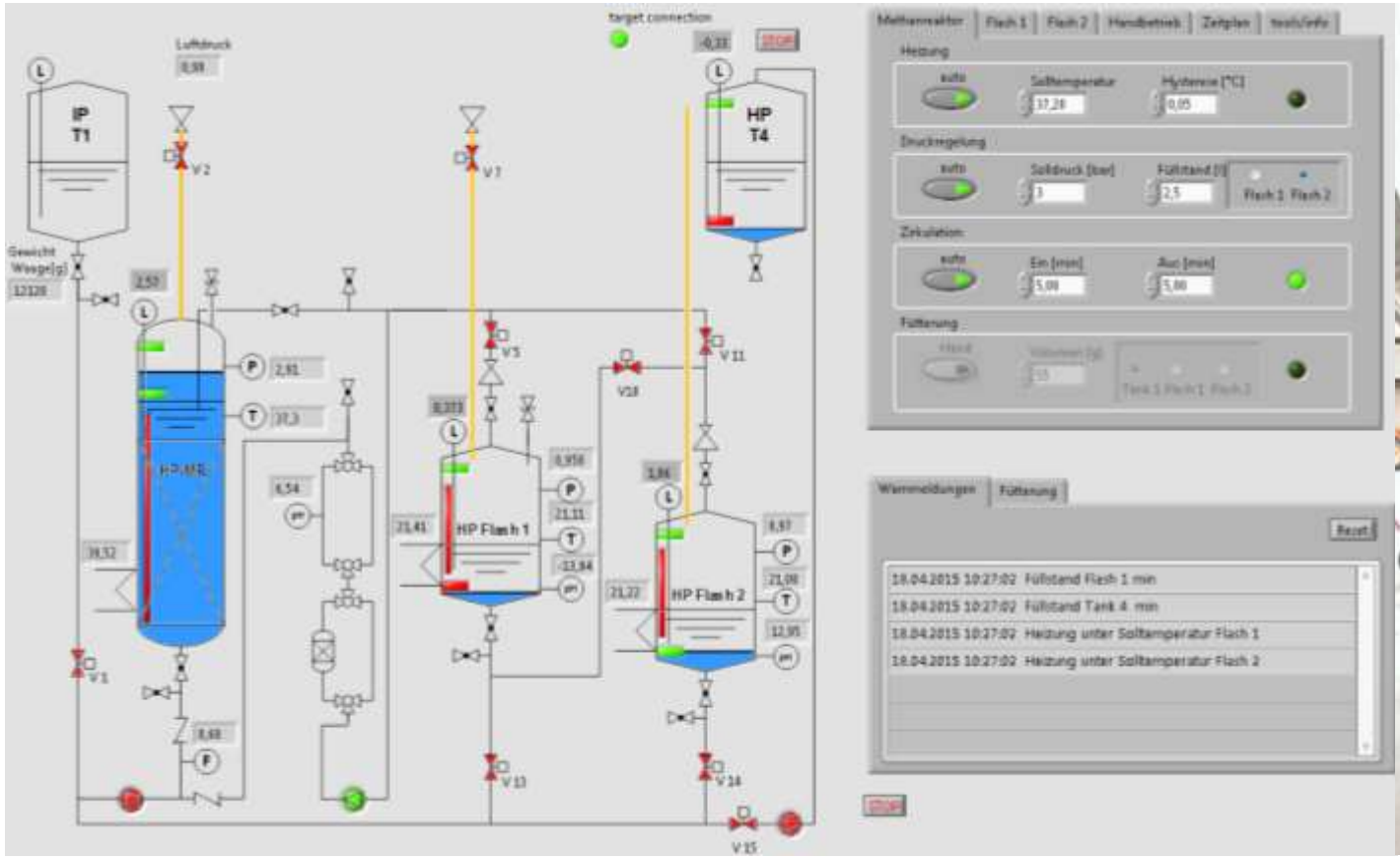
Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Projekt: Autogenerative Two-Phase High Pressure Fermentation (AG-HiPreFer) (2013-2018)

- Ziel:
  - Entwicklung und Aufbau eines kontinuierlich betriebenen Hochdruckmethanreaktors (100 bar)
  - Entwicklung der notwendigen Mess- und Regelungstechnik
  - Kopplung der Anlage mit einer Membranfiltration
  - Versuche zum Einfluss des Drucks auf unterschiedliche Prozessparameter

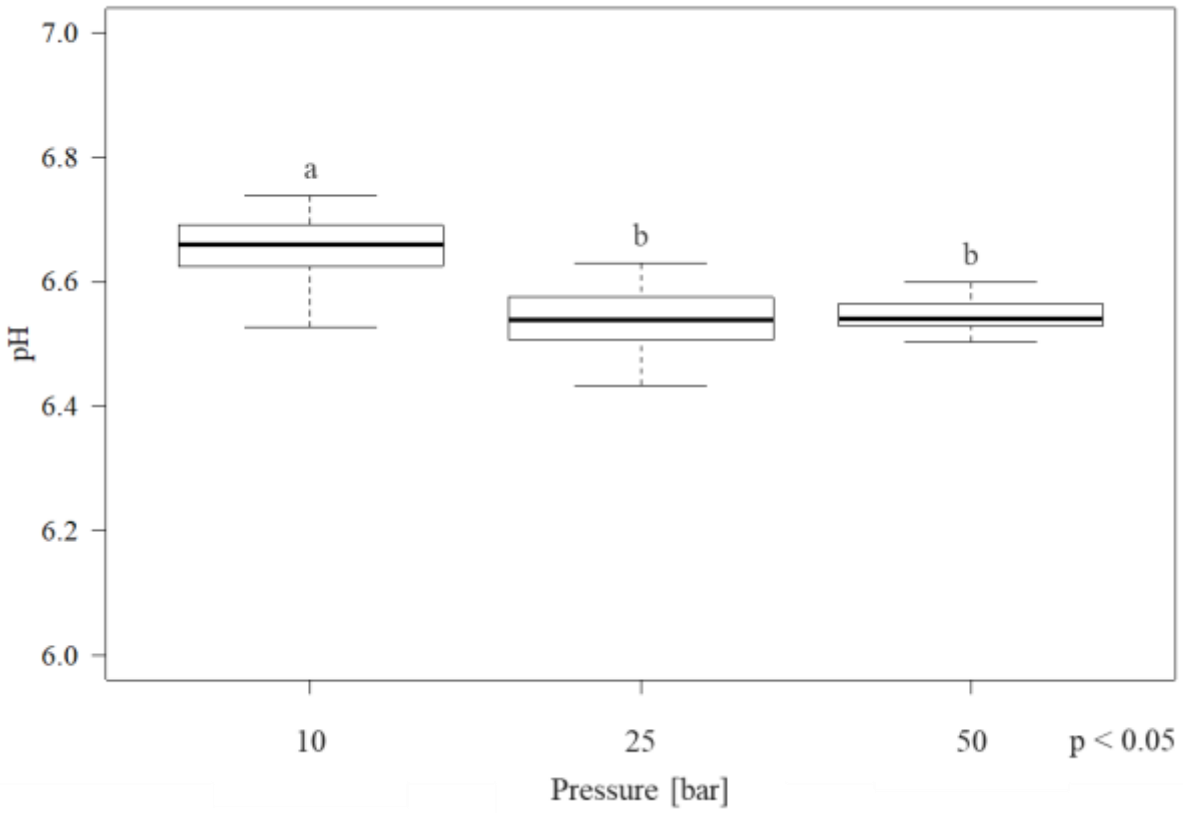
Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Anlagenbeschreibung



Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse: pH-Wert



- pH-Werte sinken mit zunehmendem Druck
- Höhere pH-Werte als Chen et al. (2014)

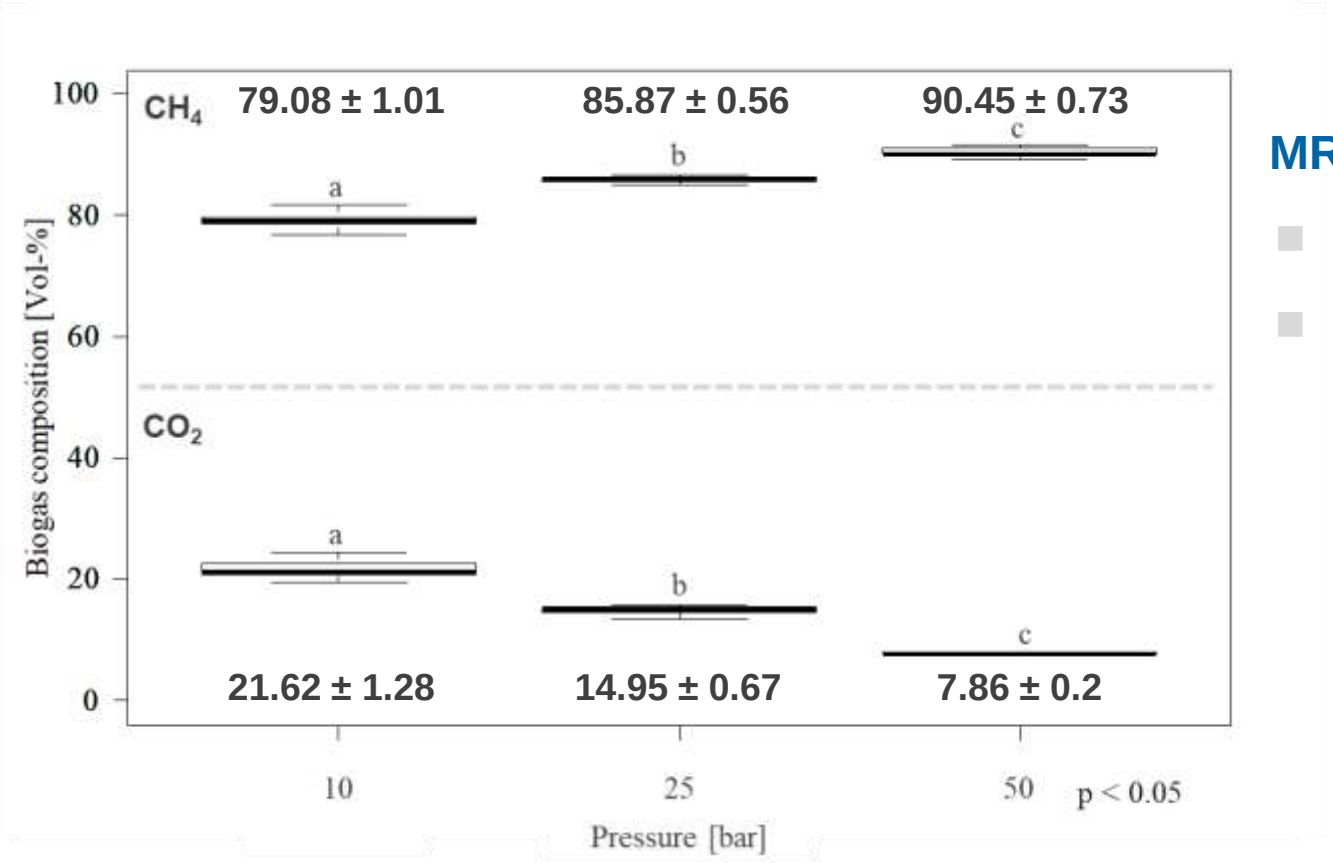
Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse: Flüssigkeitsanalysen

	Feed			Methanreaktor		
	10 bar	25 bar	50 bar	10 bar	25 bar	50 bar
Actetic acid (g kg^{-1})	3.36	2.94	3.13			0.08
Propionic acid (g kg^{-1})	1.53	1.14	1.22			0.43
iso-Butyric acid (g kg^{-1})	0.10	0.09	0.13			0.04
n-Butyric acid (g kg^{-1})	1.31	1.25	1.20			0
iso-Valeric acid (g kg^{-1})	0.21	0.18	0.19	**vollständiger**		0.04
n-Valeriic acid (g kg^{-1})	0.44	0.75	0.68	**Abbau**		0.01
Caproic acid (g kg^{-1})	0.33	0.47	0.51			0.01
Lactic acid (g kg^{-1})	0.83	0.97	0.67			0
Ethanol (g kg^{-1})	0.30	0.31	0.36			0.02
IC (g L^{-1})	0.26	0.26	0.29	1.69	1.64	1.54
TC (g L^{-1})	6.95	6.73	6.26	2.49	2.42	2.68
COD (g L^{-1})	17.89	17.48	17.12	**87.6%**	**87.1 %**	**80.4 %**

Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse: Gasqualität



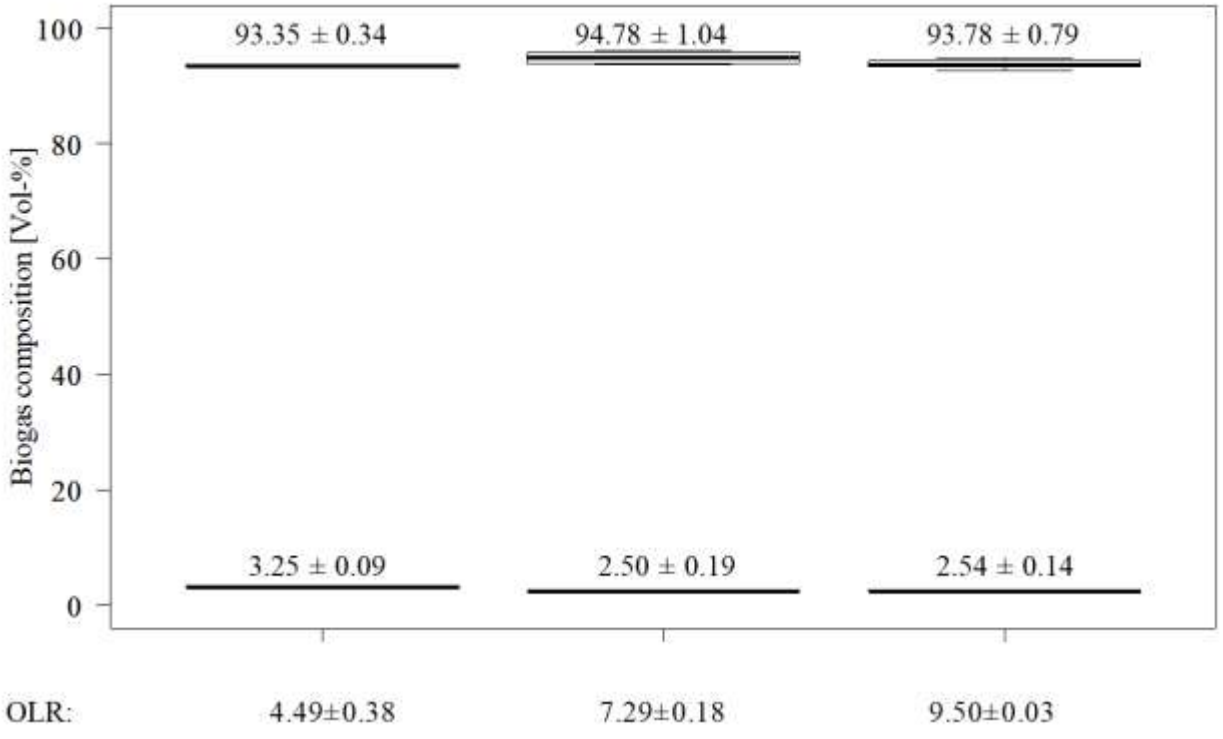
MR:

- CH_4-Gehalte > 90 Vol.%
- CO_2-Gehalte < 8 Vol.%

Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse: Gasqualitäten bei 25 bar (nach Kopplung mit Membranfiltration)

AG HiPreFer



MR:

- Hohe Methangehalt auch bei niedrigeren Drücken realisierbar

Verfahrenstechnik der Hochdruckfermentation

Ergebnisse des AG-HiPreFer-Projekts:

- Betrieb bis 50 bar technisch problemlos möglich
- Hemmung der Methanproduktion bei Drücken über 25 bar erkennbar
- Methangehalte bis 94 Vol.-% realisierbar
- Für CNG-Erzeugung nur Post-Trocknung und Post-Entschwefelung des Gases notwendig
- **Bau der Druckfermentation im Pilotmaßstab**

Forschungsbiogasanlage Unterer Lindenhof

Pilotanlage am Unteren Lindenhof

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Universität Hohenheim - Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie 740
Garbenstr. 9 | 70599 Stuttgart
Tel.: 0711 459 22856/22684
E-Mail: wolfgang.merkle@zhaw.ch; joerg.steinbrenner@uni-hohenheim.de; andreas.lemmer@uni-hohenheim.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung