



FH MÜNSTER  
University of Applied Sciences

EGU

FB Energie · Gebäude · Umwelt  
Energy · Building Services ·  
Environmental Engineering

# Hochlastvergärung von Gülle und Abwässern

Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

12.09.2023

**Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling**

Jurek Häner, M.Eng.

Alexej Neradko, B.Sc.

Juliana Rolf, M.Eng.

Stegerwaldstraße 39  
D-48565 Steinfurt

fon +49 (0)2551 / 9 62-422  
fax +49 (0)2551 / 9 62-717

bruegging@fh-muenster.de  
www.fh-muenster.de/egu/fue

bio   
smart





Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

# Projekt Bio-Smart

## Problemstellung

---



Planet Erde

Klimawandel

---



Landwirtschaft

Emissionen u. a. durch Viehhaltung  
(11-18 % der weltweiten Emissionen) [1, 2]

---



Bioenergie

Weiterentwicklung der Technologie

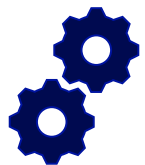
---



Reststoffnutzung

Ungenutztes energetisches Potential im Bereich der flüssigen  
Reststoffe → Bsp. **Schweinegülle** (zu ca. 84% ungenutzt) [3]

---



**Lösungsansatz: Hochlastvergärung**

---

# Projekt Bio-Smart

## Ziele

---

1. Optimierung der Hochlastvergärung für verschiedene Substrate (Gülle, Abwasser)
2. Bau und Betrieb einer Hochlastvergärung im halbtechnischen Maßstab
3. Ermittlung der Grundlagen für eine Maßstabsvergrößerung
4. Konzepte / Geschäftsmodelle zur Integration der Hochlastvergärung im Markt
5. Steigerung der Güllevergärung und Aufzeigen von Zukunftsperspektiven für Biogasanlagen in der Post-EEG Phase
6. Bau und Betrieb einer Hochlastvergärung im Technikums-Maßstab

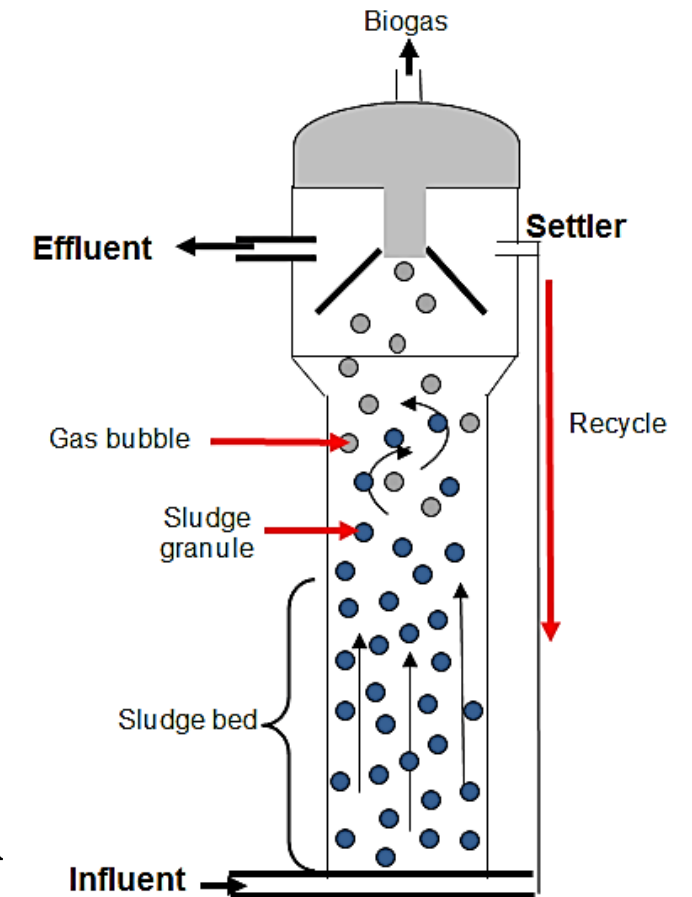
# Verfahren der Hochlastvergärung

## Anaerobe Hochlastverfahren

### EGSB-Reaktoren:

- Mikroorganismen aggregieren zu Pellets, verbleiben als Schlammbett im Reaktor
- Zufluss von rezirkuliertem und anfallendem Abwasser von unten, Abzug am Kopf des Reaktors
- Drei-Phasen-Abscheideeinrichtung: Rückhalt von Pelletschlamm und Abscheidung Biogas
- Umwälzung durch Gasaufstieg und Rezirkulation

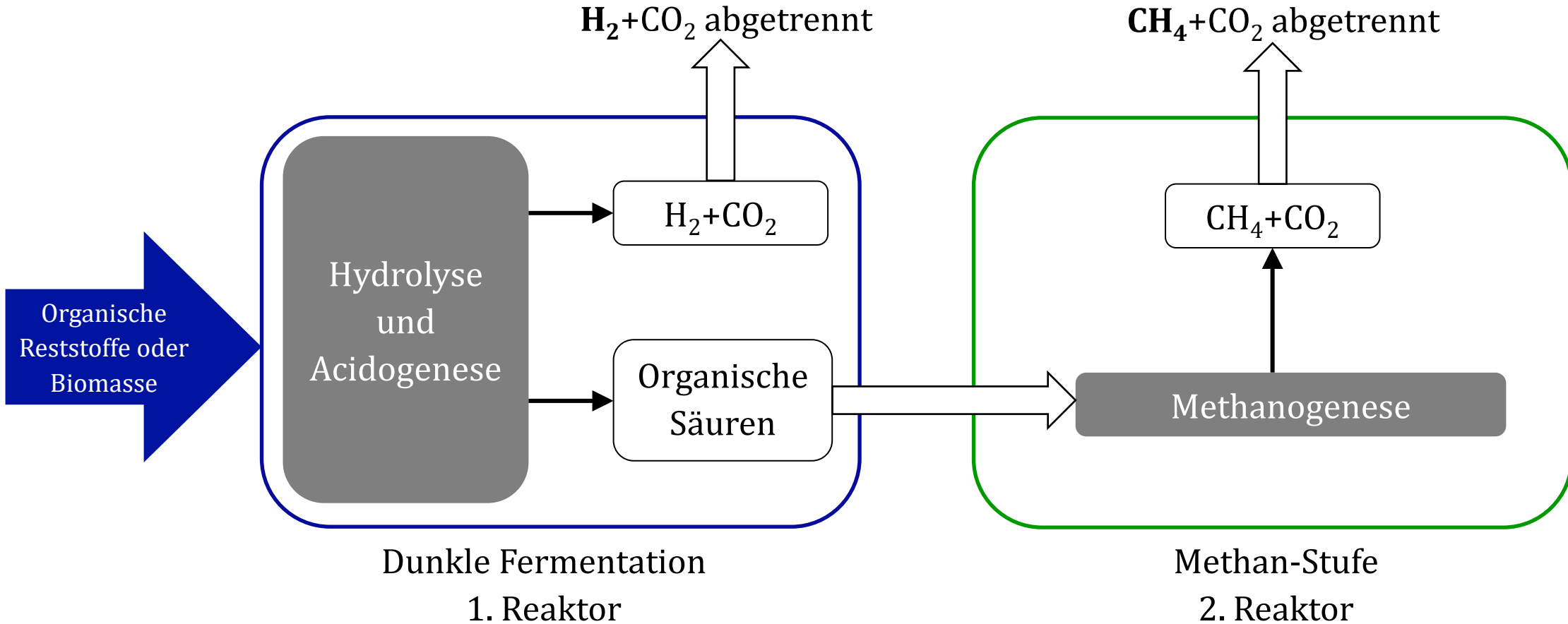
→ **Kurze Verweilzeiten und geringes Reaktorvolumen bei hoher Belastung**



[5]

# Verfahren der Hochlastvergärung

## Exkurs: Biowasserstoff



# Verfahren der Hochlastvergärung

## Exkurs: Biowasserstoff

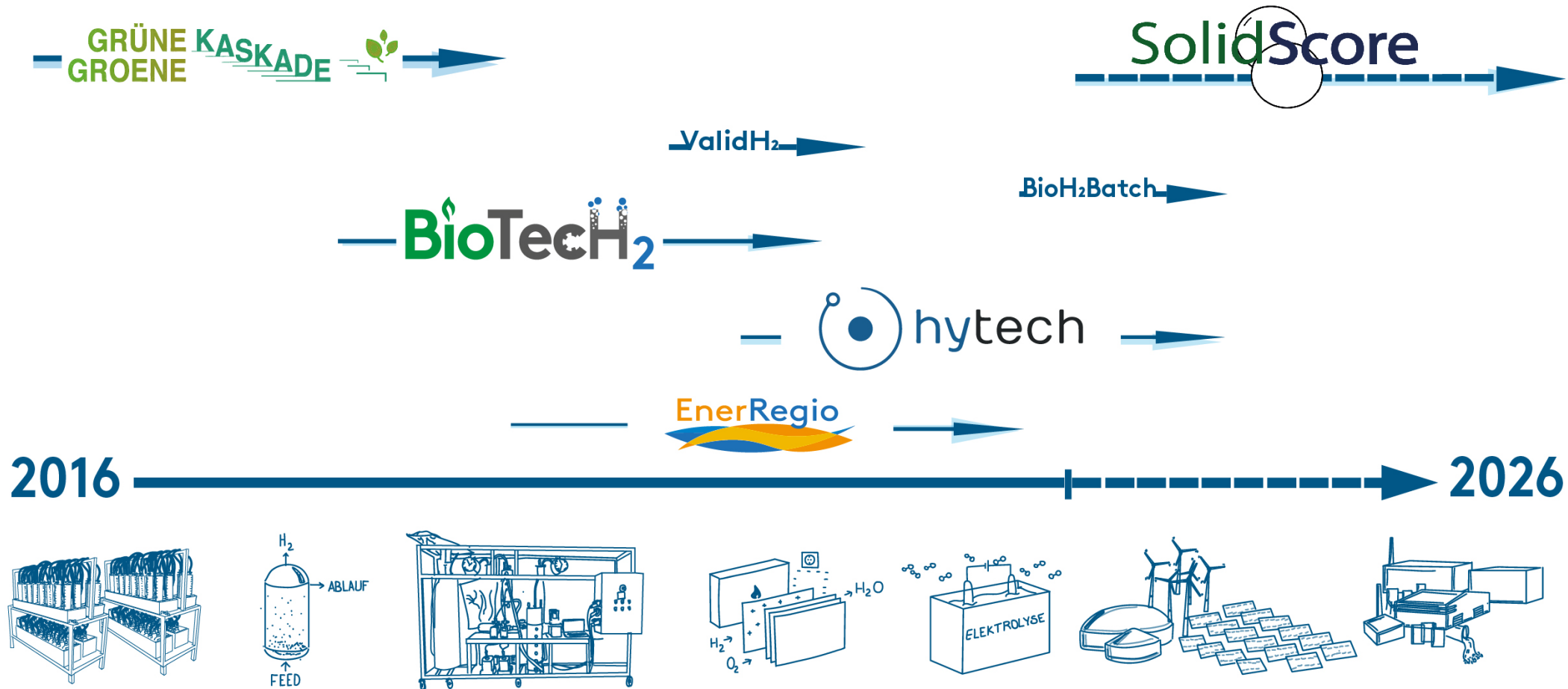
Beispielergebnisse aus der Anlage (Abwasser aus der Schokoladenherstellung)

Parameter	Wert	Gasmengen bei 350.000 m <sup>3</sup> Abwasser/a	MWh/a
H <sub>2</sub> -Ertrag	0,75 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> Abwasser	262.000 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /a	927,5 MWh/a
H <sub>2</sub> -Gehalt	37 Vol.-%	-	-
CH <sub>4</sub> -Ertrag	5,0 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> Abwasser	1.750.000 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /a	17.447,5 MWh/a
CH <sub>4</sub> -Gehalt	67 Vol.-%	-	-
Abbau Organik (CSB)	<90 %	-	-



# Verfahren der Hochlastvergärung

## Exkurs: Biowasserstoff

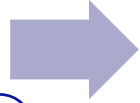


# Vorgehensweise in vier Phasen

## Aufbau der Forschungsarbeiten

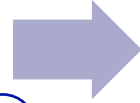
### 1. Substratauswahl und -kombination

- Ermittlung und Charakterisierung von Substraten
- Aufbau einer Reststoffdatenbank
- Ermittlung optimaler Mischungsverhältnisse



### 2. Versuche im halbertechnischen Maßstab

- Bau von drei Versuchsanlagen
- Paralleler Anlagenbetrieb unter versch. Betriebsbedingungen
- Ermittlung von Betriebsoptima



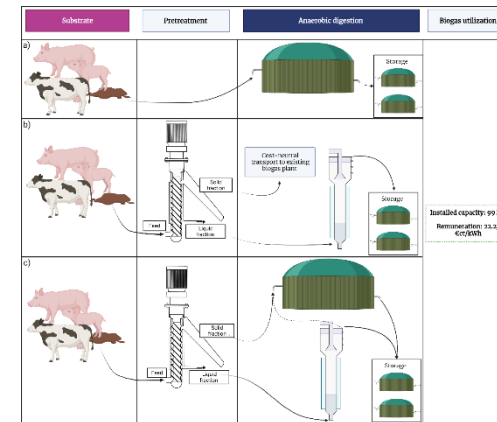
### 3. Erarbeitung von Verfahrenskonzepten

- Drei landwirtschaftliche Anwendungen
- Zwei industrielle Anwendungen
- Technische Auslegung und Abschätzung der Wirtschaftlichkeit



### 4. Versuche im Technikumsmaßstab

- Maßstabsvergrößerung
- Integration in bestehende Biogasanlage
- Reproduktion der Ergebnisse





# 1. Substratauswahl und -kombination

## Biogaspotentialbestimmung

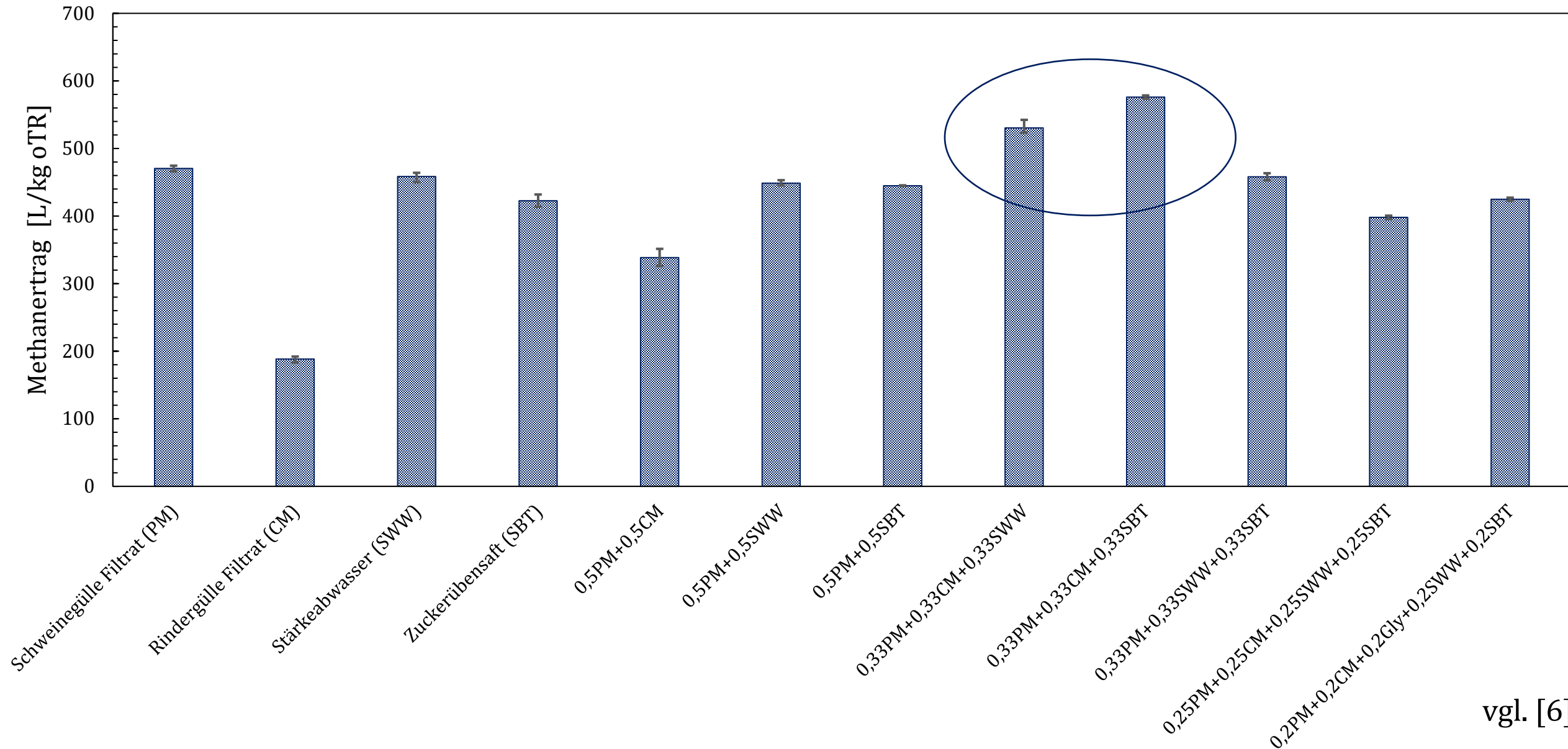
- Biogaspotentialbestimmung als Batch-Tests nach VDI 4630
- Untersuchung der Substrate und der möglichen Kombinationen
- Statistische Versuchsplanung

	TR-Gehalt	oTR-Gehalt
Schweinegülle Filtrat (PM)	1,8%	59,3%
Rindergülle Filtrat (CM)	5,3%	69,8%
Zuckerrübensaft (SBT)	15,2%	90,0%
Stärkeabwasser (SWW)	1,7%	75,6%
Glycerin	98,0%	99,9%



[6]

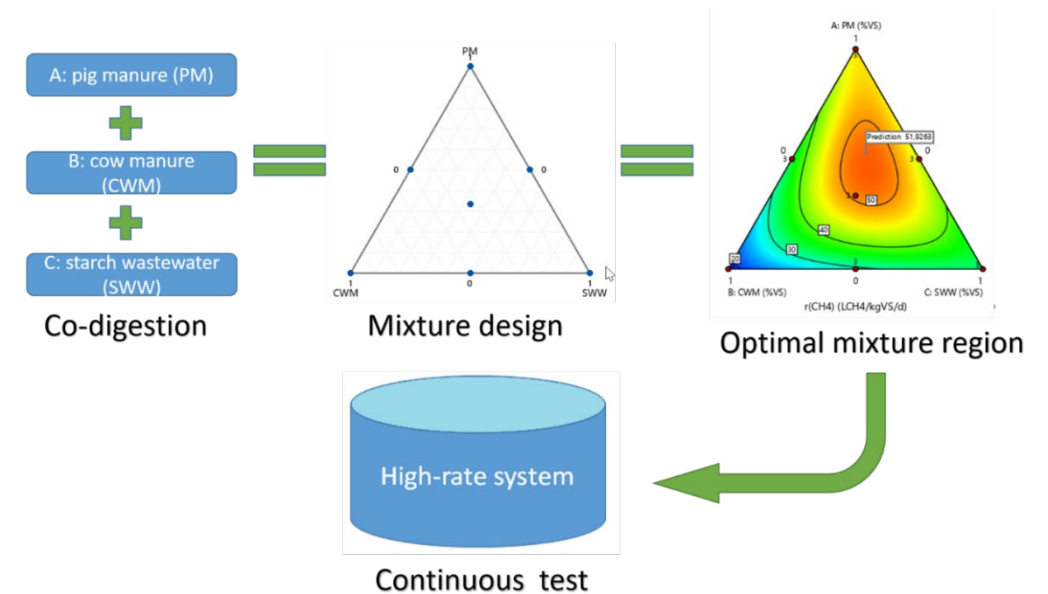
# 1. Substratauswahl und -kombination



# 1. Substratauswahl und -kombination

## Ergebnis

- Das größte Potenzial bieten Mischungen aus Schweinegülle und Rindergülle mit einem zusätzlichen hochkalorischen Substrat:
  - Positiver Kinetik-Effekt
  - Positiver Co-Fermentation Index
- Drei Substratkombinationen für kontinuierliche Versuche gewählt:
  - Schweinegülle + Rindergülle (Basis-Vergleich)
  - Schweinegülle + Rindergülle + Zuckerrübensaft
  - Schweinegülle + Rindergülle + Stärkeabwasser



vgl. [6]

# 2. Versuche im halbtechnischen Maßstab

## Versuchsaufbau



# 2. Versuche im halbtechnischen Maßstab

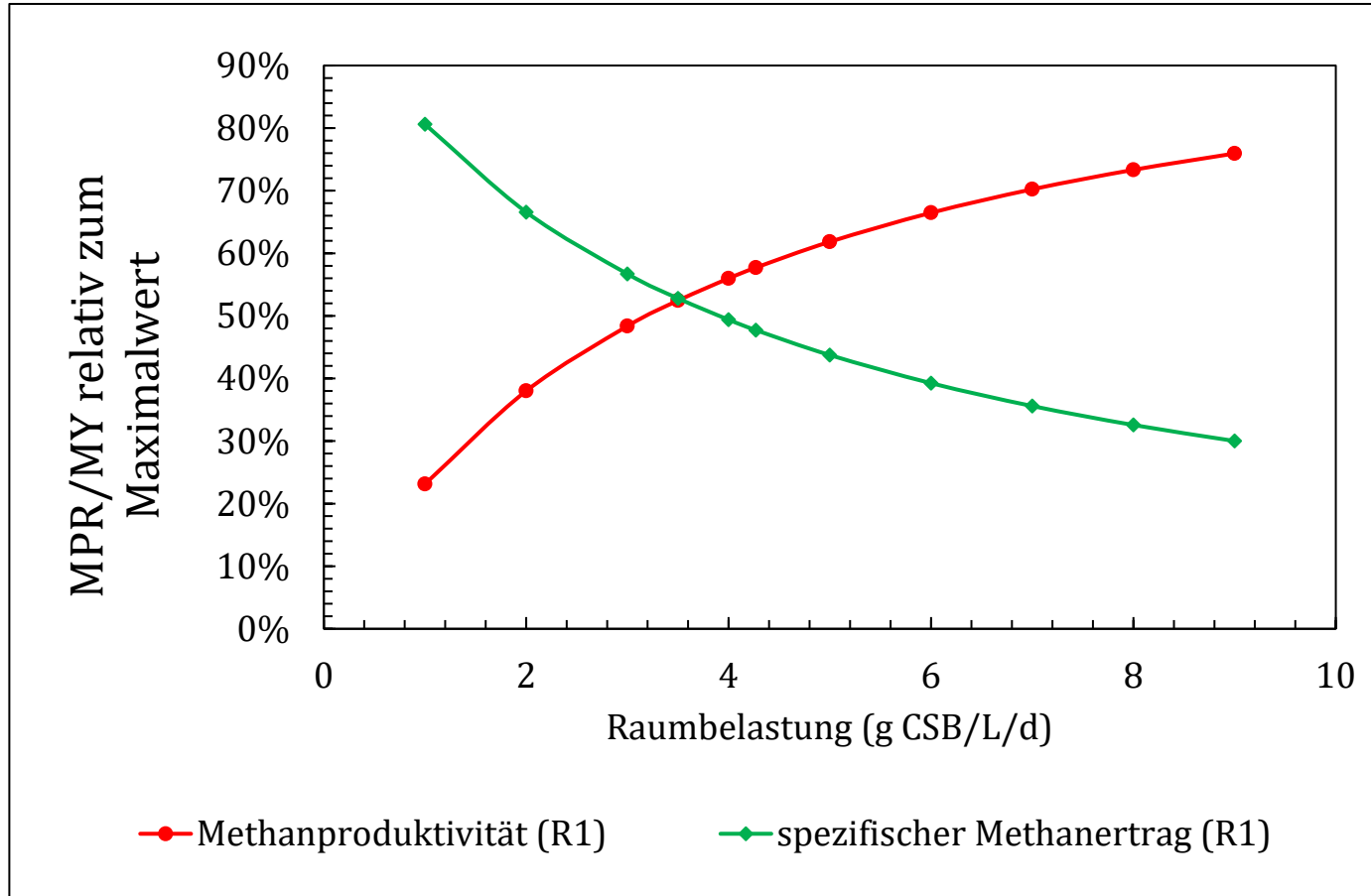
## Versuchsplanung

- Substratauswahl: Rindergülle (CM), Mastschweinegülle (PM), Zuckerrübenmus (SBT), stärkehaltiges Abwasser (SWW)
- Start-Up: Rindergülle + Schweinegülle
- Zeitraum: November 2020 – August 2021
- Betriebspunkte: 15 Tage; 10 Tage; 7 Tage; 5 Tage; 3 Tage; 1 Tag
- Ziel: Synergieeffekte aus den Batch-Tests reproduzieren, Grundlagen für Verfahrenskonzept und Upscaling ermitteln

Substratmix	Mischungsverhältnis oTR-spezifisch (%)	Mischungsverhältnis FM-spezifisch (%)
PM+CM	55:45	87:13
PM+CM+SWW	55:28:17	74:7:19
PM+CM+SBT	55:28:17	90:8:2

# 2. Versuche im halbtechnischen Maßstab

## Ergebnis



- Überführung der Versuchsergebnisse in Modelle für Methanproduktionsrate (MPR) bzw. Methanertrag (MY)  
→ Graphische Optimierung
- Kompromiss aus Methanertrag und Methanproduktionsrate bei einer Raumbelastung von **OLR = 3,5 g CSB/L/d**
- Entspricht einer Verweilzeit von **HRT = 9 d**

vgl. [7]

# 3. Erarbeitung von Verfahrenskonzepten (VK)

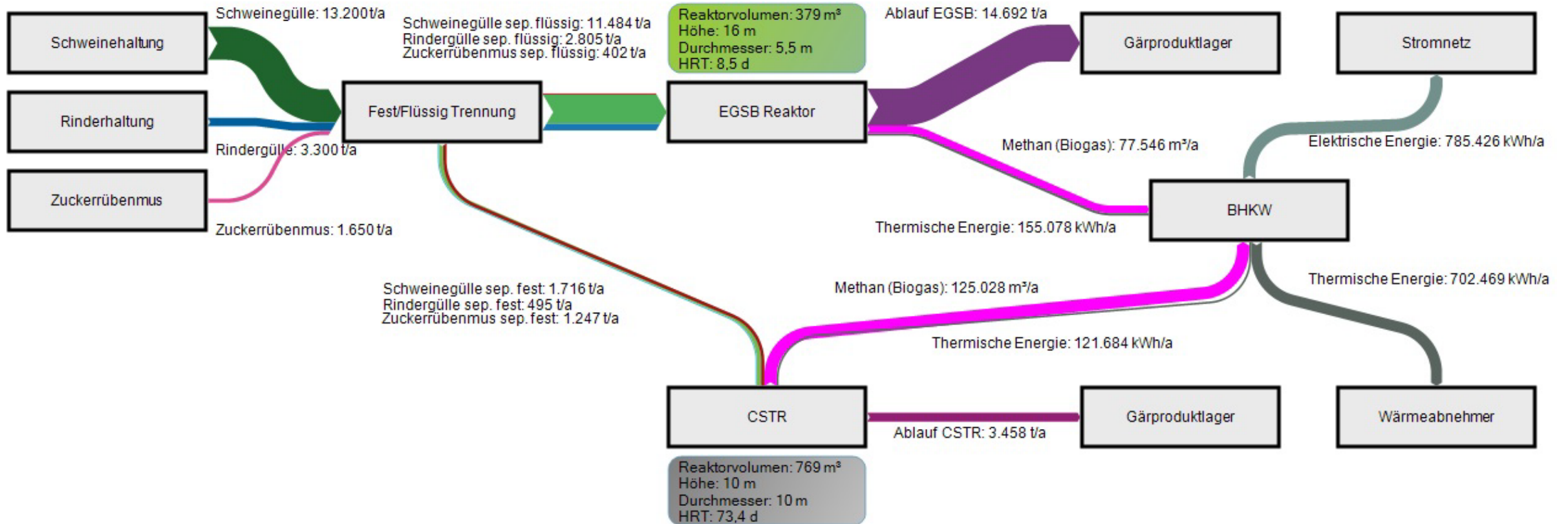
## Übersicht

---

- Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Praxisnähe anhand von Verfahrenskonzepten in Anlehnung an konkrete Geschäftsmodelle (Business Cases)
  - **VK1:** Hochlastvergärungsanlage als Güllekleinanlage (max. 99 kW) bei Nutzung der flüssigen Phasen
  - **VK1a:** Hochlastvergärungsanlage als Güllekleinanlage (max. 99 kW) bei energetischer Nutzung der flüssigen und festen Phasen
  - **VK2:** Erweiterung einer konventionellen Biogasanlage um einen Hochlastreaktor und energetische Nutzung von Schweinegülle und Rindergülle
  - **VK3:** Hochlastvergärung zur energetischen Nutzung der anfallenden Reststoffe einer Brauerei
  - **VK4:** Hochlastvergärung zur energetischen Nutzung der anfallenden Reststoffe eines Schlachtbetriebs

# 3. Erarbeitung von Verfahrenskonzepten

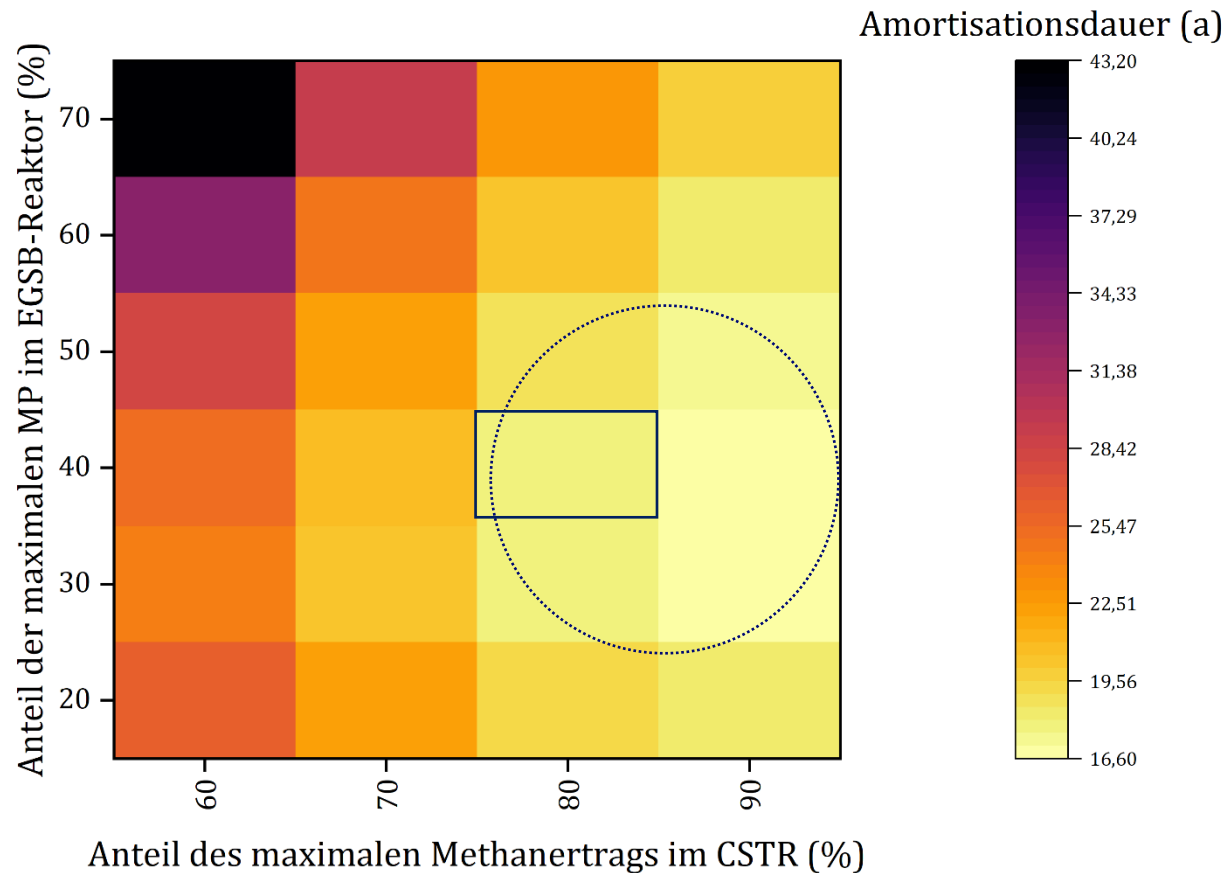
Güllekleinananlage (max. 99 kW) bei energetischer Nutzung der flüssigen und festen Phasen (VK1a)





# 3. Erarbeitung von Verfahrenskonzepten

Güllekleinanlage (max. 99 kW) bei energetischer Nutzung der flüssigen und festen Phasen (VK1a)



- Variation der Verweilzeit über die forcierte MPR/MY im CSTR und EGSB (relativ zum Maximum)
- Ermittlung ökonomischer Kennzahlen in Abhängigkeit zur Anlagenauslegung
- Wirtschaftlicher Anlagenbetrieb kann erreicht werden

# 4. Versuche im Technikums-Maßstab

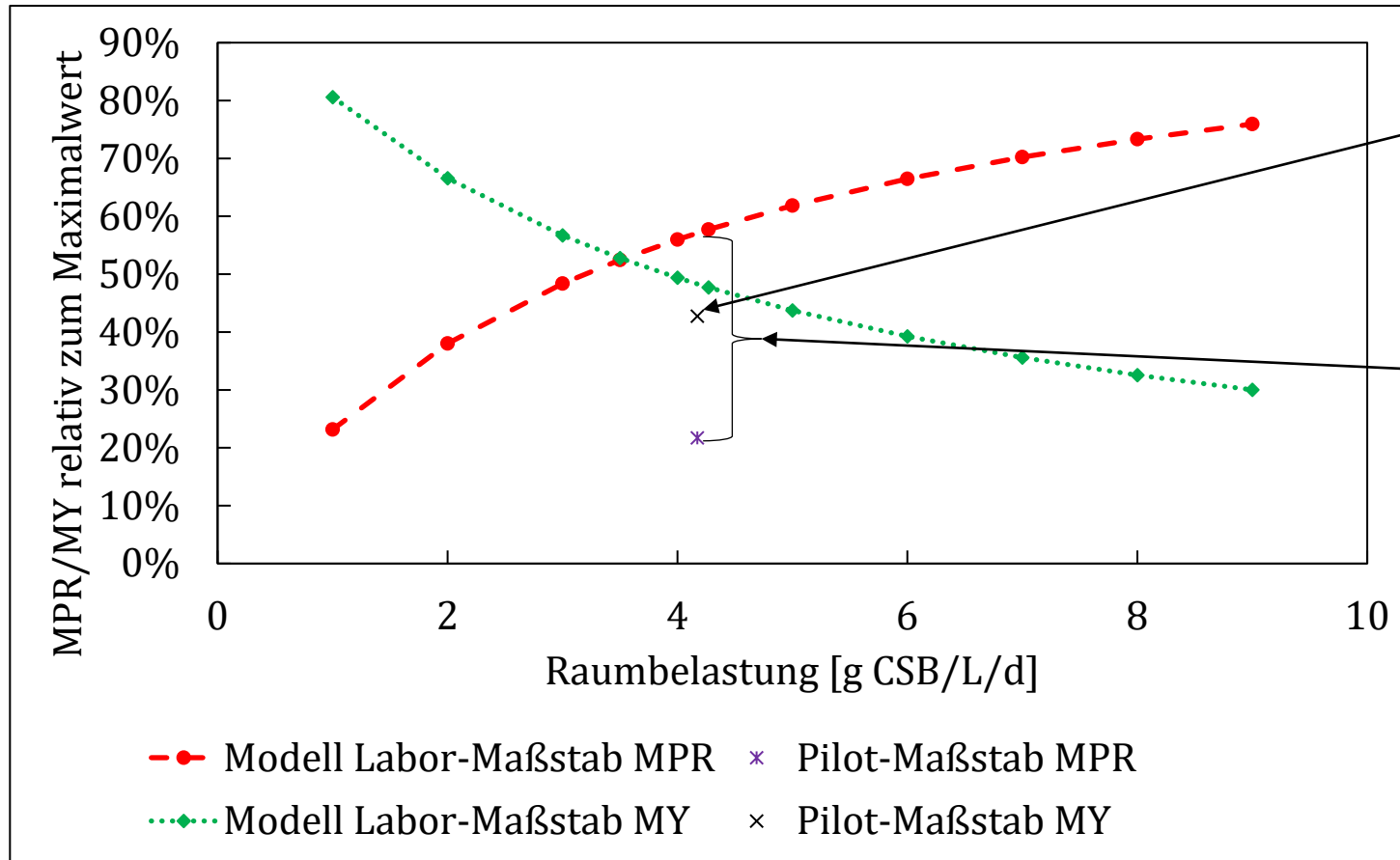
## Versuchsaufbau und -planung



- Reaktorvolumen: 564 L
- Vollständige Massenbilanz über Verwiegung des Zu- und Ablaufs/Gasproduktion
- Rezirkulation und Zulauf über Exzentrerschneckenpumpen
- Beheizung über Wärmetauscher in der Rezirkulation und elektrische Heizung
- Gasanalyse über zentrale Messstation

# 4. Versuche im Technikums-Maßstab

## Erkenntnisse



### Methanertrag (MY)

Relative Abweichung Labor- und Pilot-Maßstab: ca. -10 %

### Methanproduktionsrate (MPR)

Relative Abweichung Labor- und Pilot-Maßstab: ca. -60 %

- Technische Umsetzung in diesem Maßstab erfolgreich
- Erwartete Substratausnutzung trotz geringer Methanproduktion

# 4. Versuche im Technikums-Maßstab

## Erkenntnisse

Parameter	Einheit	halbtechn. Maßstab (BP1)	Technikums-Maßstab
BSB <sub>5</sub> /CSB-Verhältnis	[-]	0,18 ± 0,021	0,025 ± 0,01
CSB-Konzentration Zulauf	[mg/L]	26.439,9 ± 3.191,9	51.615,8 ± 8.833,2
BSB <sub>5</sub> -Konzentration Zulauf	[mg/L]	4.708,5 ± 797,3	1.243,0 ± 619,1
Trockenrückstand	[%]	2,3 ± 0,1	3,2 ± 1,1
Essigsäureäquivalent Zulauf	[mg/L]	4,04 ± 0,68	0,70 ± 0,8

Niedrigere BSB<sub>5</sub>-Konzentration trotz höherem CSB im Zulauf → sehr geringes BSB<sub>5</sub>/CSB-Verhältnis

Höherer Trockenrückstand nach der Separation → Biomasserückhalt beeinträchtigt?

Geringere Konzentration organischer Säuren im Zulauf

- Hochlastreaktoren sind eine Lösungsstrategie zur verstärkten Nutzung biogener Reststoffe mit hohem Wassergehalt
- Der Kompromiss aus Methanproduktion und Methanertrag liegt bei einer hydraulischen Verweilzeit von ca. 9 d (bei Schweinegülle + Rindergülle (55%/45% oTR-spez.)
- Vielversprechende Ergebnisse zur Hochlastvergärung im Technikums-Maßstab + Integration in Bestandsanlagen
- Eine Reduktion des benötigten Reaktorvolumens durch die Hochlastvergärung ist möglich



# Ausblick

## Neue / offene Fragestellungen

- Wie wirken Aufstromgeschwindigkeit und fluiddynamische Eigenschaften im Hochlastreaktor auf den Biomasserückhalt und die Wirtschaftlichkeit
- Erweiterung des Einsatzspektrums und der Verfahrenskonzepte
- Variation der Vorbehandlungsmethoden

→ Folgeprojekt bereits beantragt

- Welchen Einfluss/Mehrwert können thermophiler/mesophiler/psychrophiler Anlagenbetrieb in der Praxis bringen?
- Test-Betrieb auf LW-Betrieb





FH MÜNSTER  
University of Applied Sciences

EGU

FB Energie · Gebäude · Umwelt  
Energy · Building Services ·  
Environmental Engineering

# Hochlastvergärung von Gülle und Abwässern

Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven

12.09.2023

**Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling**

Jurek Häner, M.Eng.

Alexej Neradko, B.Sc.

Juliana Rolf, M.Eng.

Stegerwaldstraße 39  
D-48565 Steinfurt

fon +49 (0)2551 / 9 62-422  
fax +49 (0)2551 / 9 62-717

bruegging@fh-muenster.de  
www.fh-muenster.de/egu/fue

bio   
smart





Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

1. Philippe, F.-X. und Nicks, B. (2015), „Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure“, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199. Vol., pp. 10–25.
2. Meyer, A., Ehimen, E. A. und Holm-Nielsen, J. B. (2018), „Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production“, *Biomass and Bioenergy*, 111. Vol., pp. 154–164.
3. Brosowski, A., Thrän, D., Mantau, U., Mahro, B., Erdmann, G., Adler, P., Stinner, W., Reinhold, G., Hering, T. und Blanke, C. (2016), „A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany“, *Biomass and Bioenergy*, 95. Vol., pp. 257–272.
4. Paques (2022), “BIOPAQ®IC upgrade”, <https://de.paques.nl/services/submenu/rebuilds/de-biopaqic-upgrade1>
5. Anijiofor-Ike et al. (2017), “Aerobic and Anaerobic Sewage Biodegradable Processes: The Gap Analysis”, *International Journal of Research in Environmental Science*, Volume 3, Issue 3, <http://dx.doi.org/10.20431/245www.arcjournals.org>
6. Hernández Regalado et al. (2021), “Optimization and Analysis of Liquid Anaerobic Co-Digestion of Agro-Industrial Wastes via Mixture Design”, *Processes*, 9. Vol. (Issue 5), <https://doi.org/10.3390/pr9050877>



- 
7. Hernández Regalado et al. (2022), “Continuous Co-Digestion of Agro-Industrial Mixtures in Laboratory Scale Expanded Granular Sludge Bed Reactors”, Applied Sciences, 12. Volume (Issue 5), <https://doi.org/10.3390/app12052295>
  8. Hernández Regalado et al. (2022), “Techno-Economic Assessment of Solid-Liquid Biogas Treatment Plants for the Agro-Industrial Sector”, Energies, 15 Volume (Issue 12), <https://doi.org/10.3390/en15124413>