





# CONRAD II

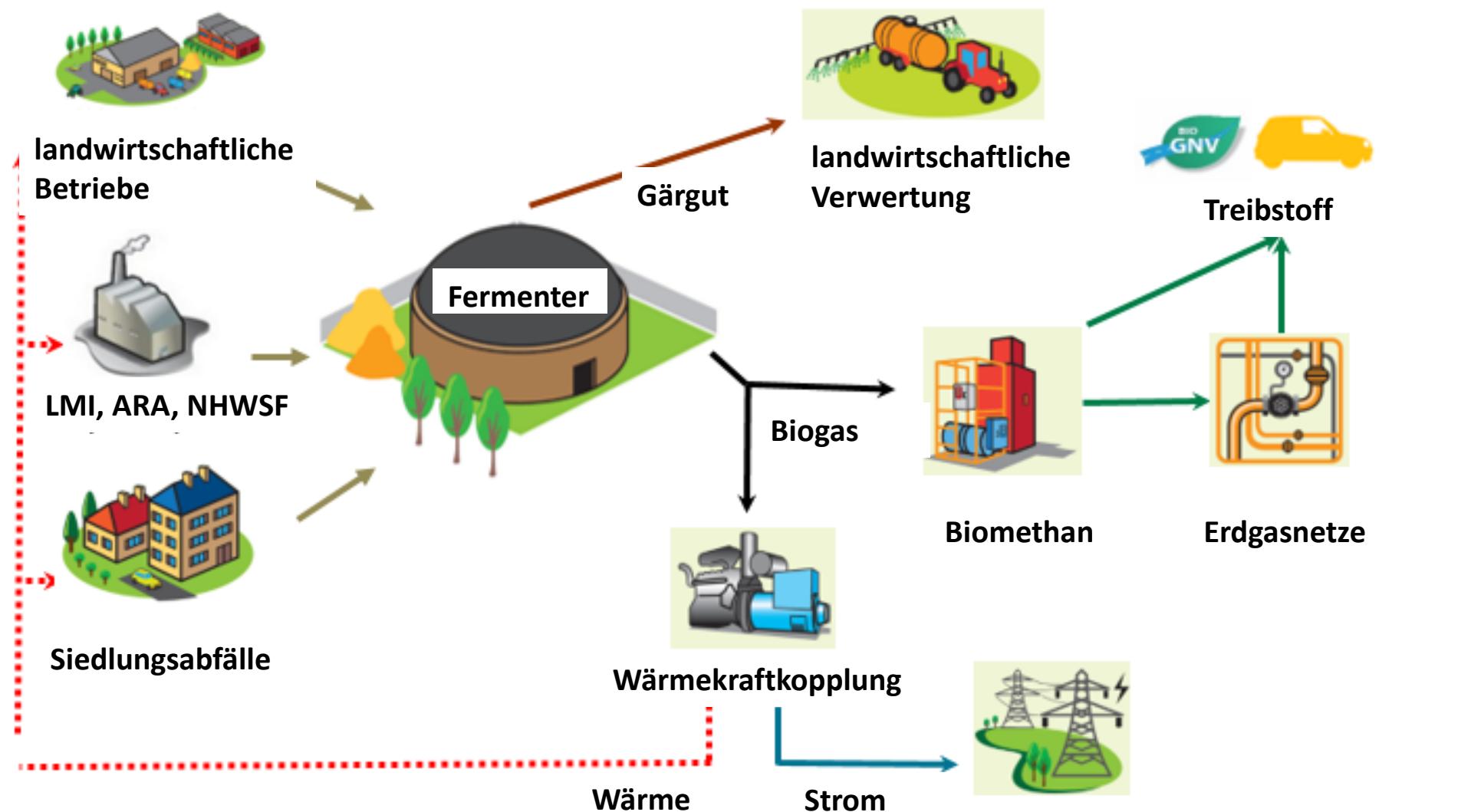
# $\text{CO}_2$ Enrichment in Anaerobic Digesters

Image : <https://www.gdscorp.com/>

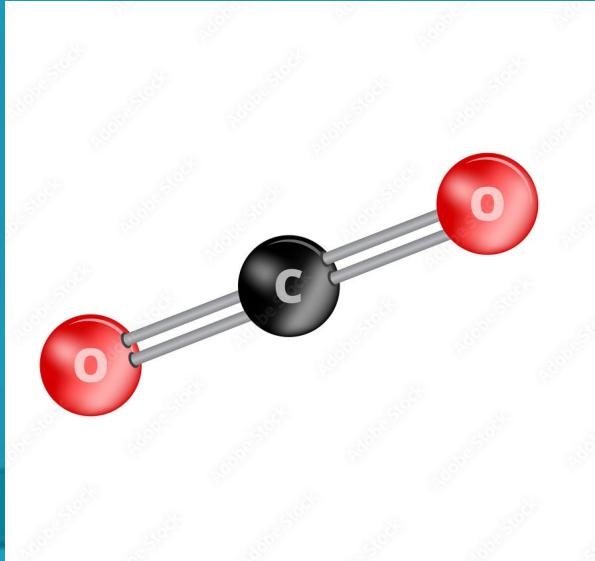


JULIETTE SAINT  
Wallisellen, 05/11/2025

# Anaerobe Vergärung



Biogas : 60%  $\text{CH}_4$ , 40%  $\text{CO}_2$

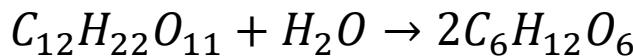


Bedeutung von  $\text{CO}_2$  in  
der anaeroben Vergärung

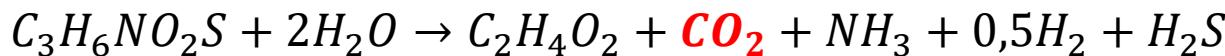
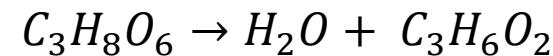
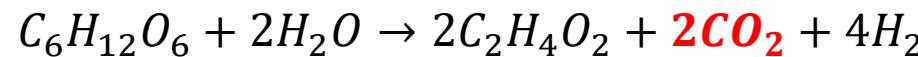


# Anaerobe Vergärung = 4 Schritte

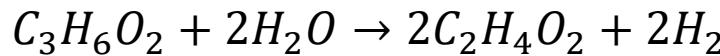
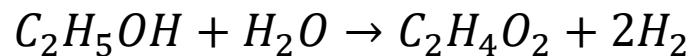
## Hydrolyse



## Acidogenese



## Acetogenese



## Methanogenese



# CO<sub>2</sub> Anreicherung : wie?

Anreichern = Zugabe von gasförmigem CO<sub>2</sub> in das Substrat, dann Auflösung von CO<sub>2</sub> und Verwendung im anaeroben Vergärungsprozess (Metabolisierung)

## Ansatz 1

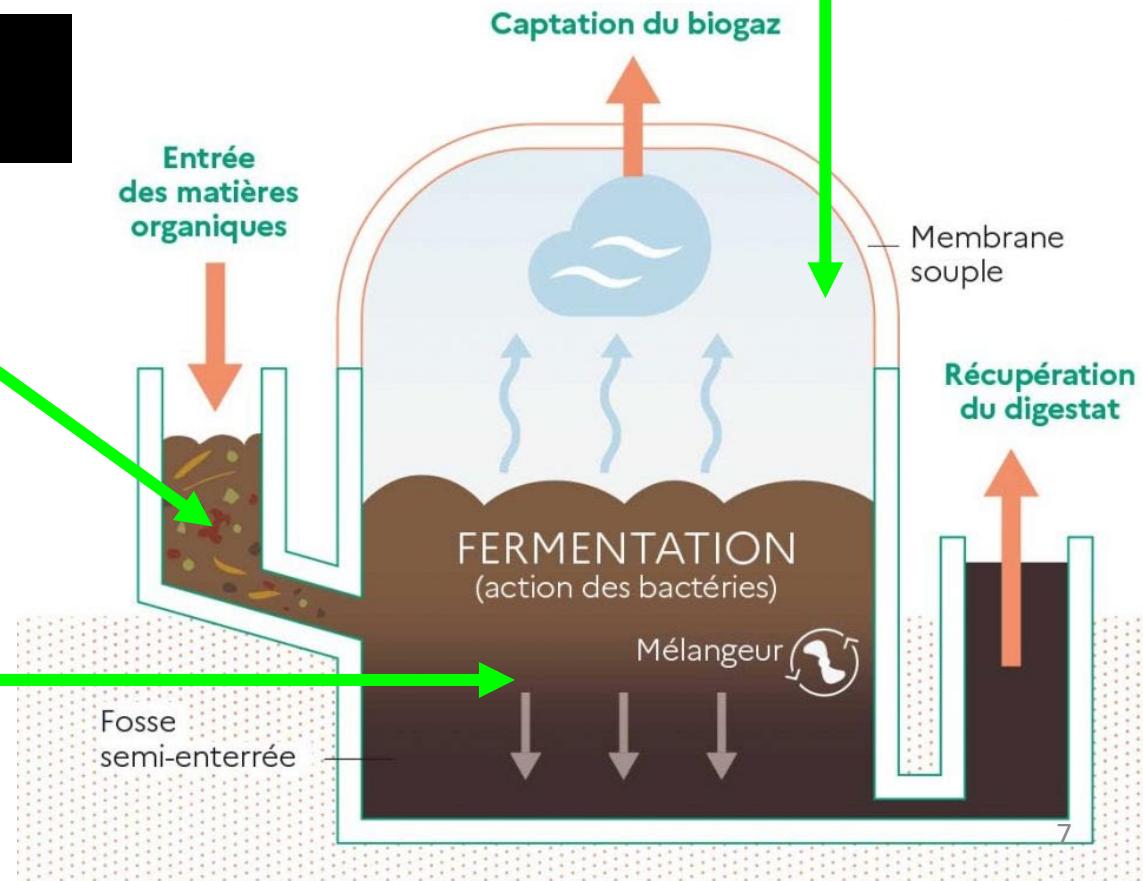
Anreicherung des Substrats

## Ansatz 2

Anreicherung des Fermenters

## Ansatz 3

Anreicherung des Kopfraums





# MOTIVATION

- Erhöhung des Methan-Ausbeute aus Klärschlamm
- Verwertung von  $\text{CO}_2$  aus anaerober Vergärung

## Quellennachweis (~ 20 Publikationen)

Substrate: Mist, Klärschlamm, Industrieabfälle, synthetische Lösungen

Volumen: von 1L bis 150 m<sup>3</sup>

Vergärung: mesophile (37°C)/einphasig oder zweiphasig

## Ergebnisse

**Spezifische Methanleistung : +30 bei 109%**

**Abgeschwächte Ergebnisse auf grosser Skala (V > 50L)**

- Begrenzung der Diffusionsvorgänge
- Kontrolle der  $\text{CO}_2$ -Menge

# CONRAD I – Anreicherung des Fermenters

## Fermenter 70L



Erhöhung des Methangehalts:

$62.7 \% \pm 0.3$  à  $66.8 \% \pm 0.5$

Methanausbeute:

$151 \pm 15 \text{ LCH}_4/\text{g}_{\text{SV}} \rightarrow 209 \pm 17 \text{ LCH}_4/\text{g}_{\text{SV}}$

Substrat  
C/N tief

Einfrieren

Pneumatisches  
Umwälzen

pH hoch (8)

$\text{CO}_2$  Mangel

Ungünstig für die  
Hydrolysephase



# Ziele

- Übertragbarkeit auf andere Vergärungsbedingungen
  - Arten des Rührens
  - pH
  - Regulierung Co-Substrate (Verhältnis C/N)
- Einfluss der organischen Belastung
- Vorgezogener Ansatz (1, 2)
- Übertragbarkeit auf grosser Skala  
(Auswirkung auf das Gärgut)

# Risikoerkennung und Strategie

	<u>Ansatz 1</u> Anreicherung des Substrats	<u>Ansatz 2</u> Anreicherung des Fermenters
<b>Biogas Verdünnung</b>	+	++
<b>Biogas Versauerung</b>	+	++
<b>CO<sub>2</sub> Menge</b>	sehr begrenzt (Zufuhr + Löslichkeit CO <sub>2</sub> )	begrenzt
<b>Biogas Aufbereitung</b>	++	-
<b>Grossskalierung</b>	Äussere Änderungen am Fermenter	Wesentliche Änderungen am Fermenter

# CONRAD II

**Projektdauer: 2 Jahre**

**Dezember 2024 – November 2026**

**Budget: 361'000 CHF**

## Finanzierung

- **BfE**
- **FOGA**
- **Fonds Vitale Innovation**

## Ablauf

**Phase 1 – Einrichten der Anlagen – 6 Monate**

**Phase 2 – Anreicherung des Substrats (Ansatz 1) – 9 Monate**

**Phase 3 – Optimierung (Ansatz 1 – Ansatz 2) – 9 Monate**

**Phase 4 – Langzeittest / Übertragbarkeit – 6 Monate**

# CONRAD II - Forschungsteam



**Juliette SAINT**  
Chemietechnik



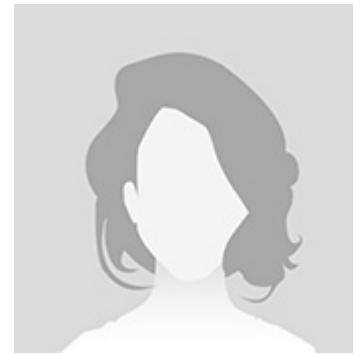
**Cyril M'Ahmed**  
Maschinenbau



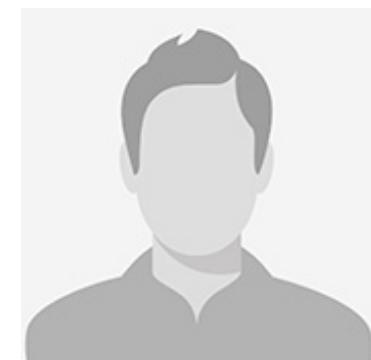
**Roger Röthlisberger**  
Teamleiter



**Mathias Baumann**  
Forschungsassistent



**Isabelle Monney**  
Analytische Chemie



**Jean Baptiste Carré**  
Modellierung/Skalierung

# FORTSCHRITTE UND REALISIERUNG



# CONRAD II – Ausrüstung anaerobe Vergärung

## Pneumatisches Röhren (CONRAD I)



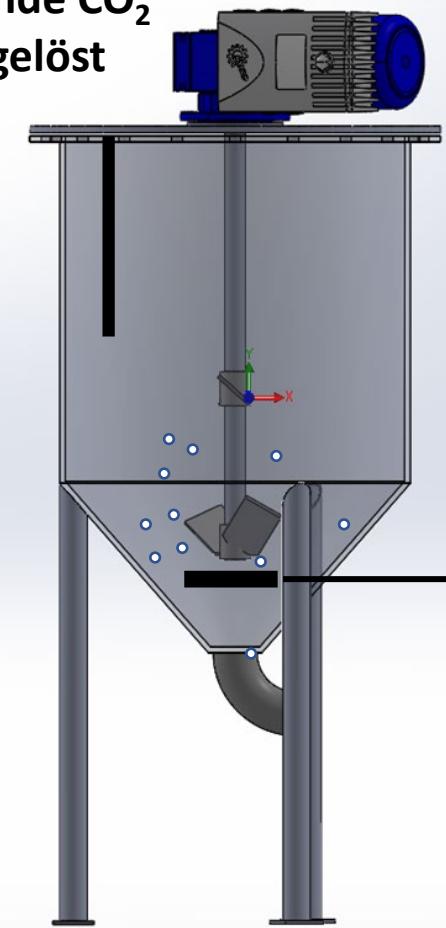
## Fermenter-Tandem Mechanisches Röhren (CONRAD II)



Messungen vor Ort: pH, ORP, Temperatur, Füllstand, CO<sub>2</sub> gelöst

# Anreicherung des Substrats – Januar-August 2025

Sonde CO<sub>2</sub>  
gelöst



Rührsystem

Diffusor  
(Titan, TOPTITECH)

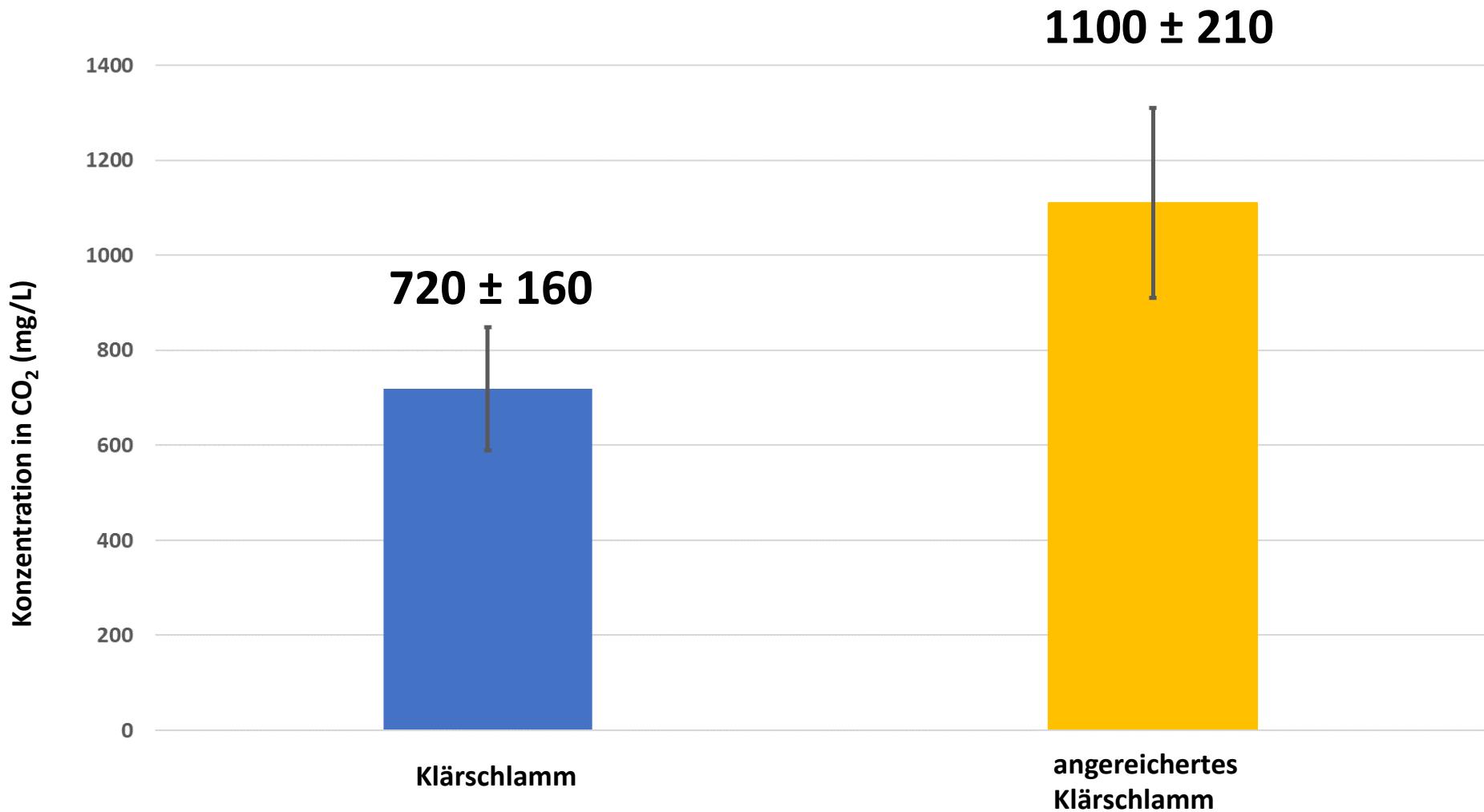


Anreicherungsbehälter  
V= 60 bis 100L

- ✓ Schnell und homogen
- ✓ Homogenität, Stabilität
- ✓ Skalierungsdaten für den Ansatz 2 (Reaktor identisch mit den TANDEM-Fermentern)<sup>16</sup>

# Anreicherungstests

Löslichkeit CO<sub>2</sub> bei 25°C : 1500 mg/L



# Anaerobe Vergärung

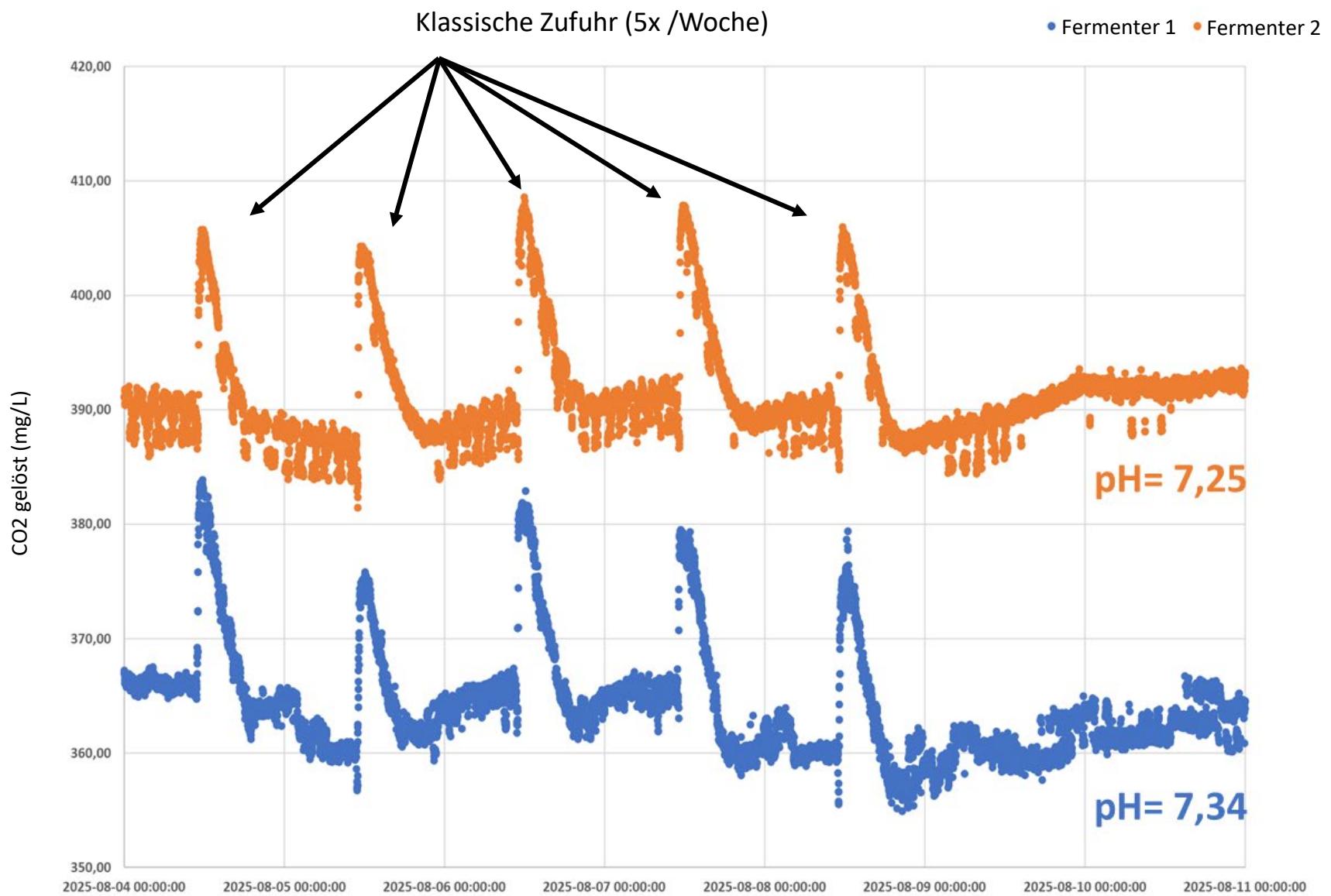
- Wie gehen Fermenter mit überschüssigem CO<sub>2</sub> um?
- Wie kann die Methanausbeute durch Anreicherung erhöht werden?



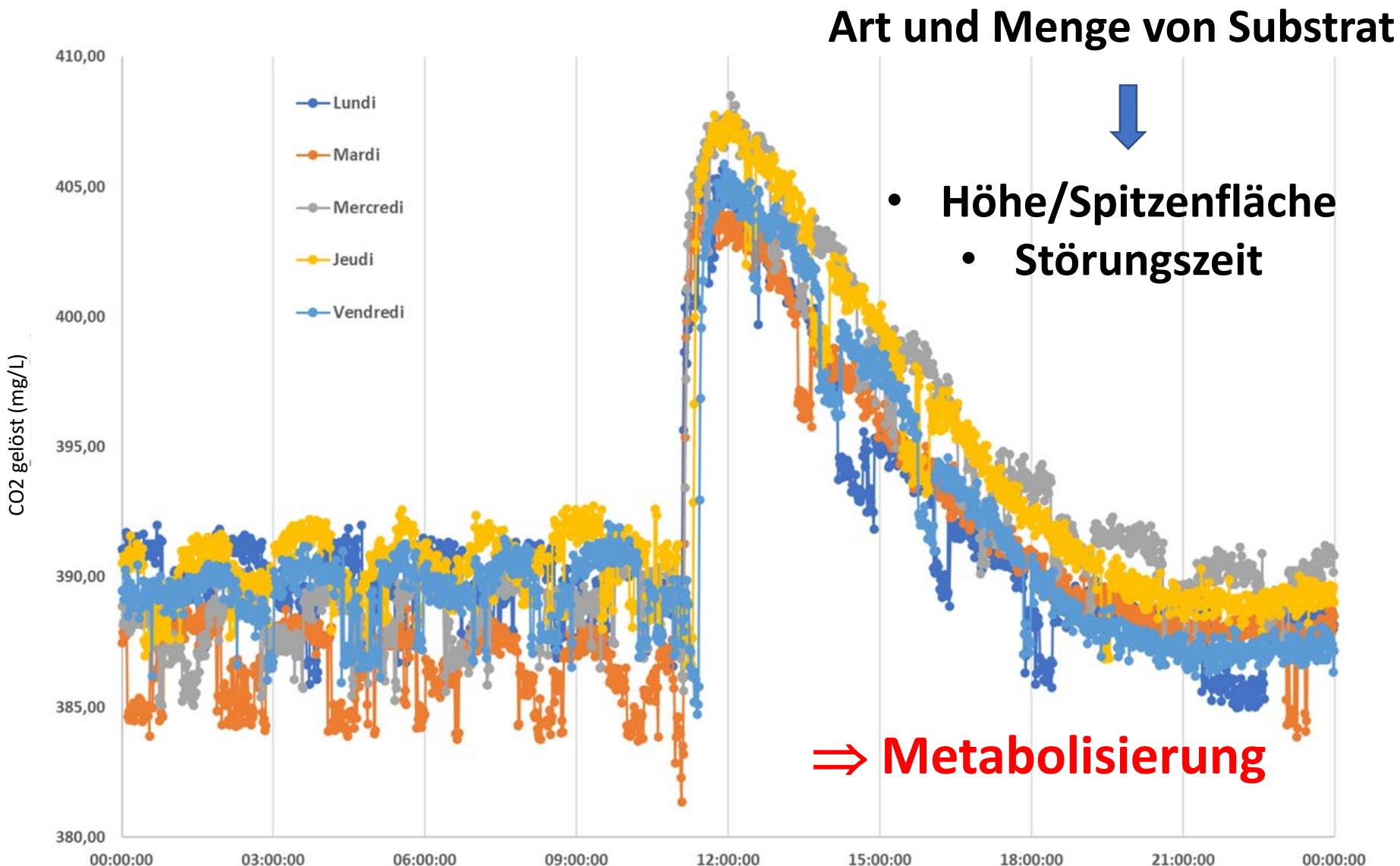
**Kontrolle und Überwachung von exogenem CO<sub>2</sub>**

→ Vor-Ort-Überwachung der Konzentrationen von gelöstem CO<sub>2</sub>

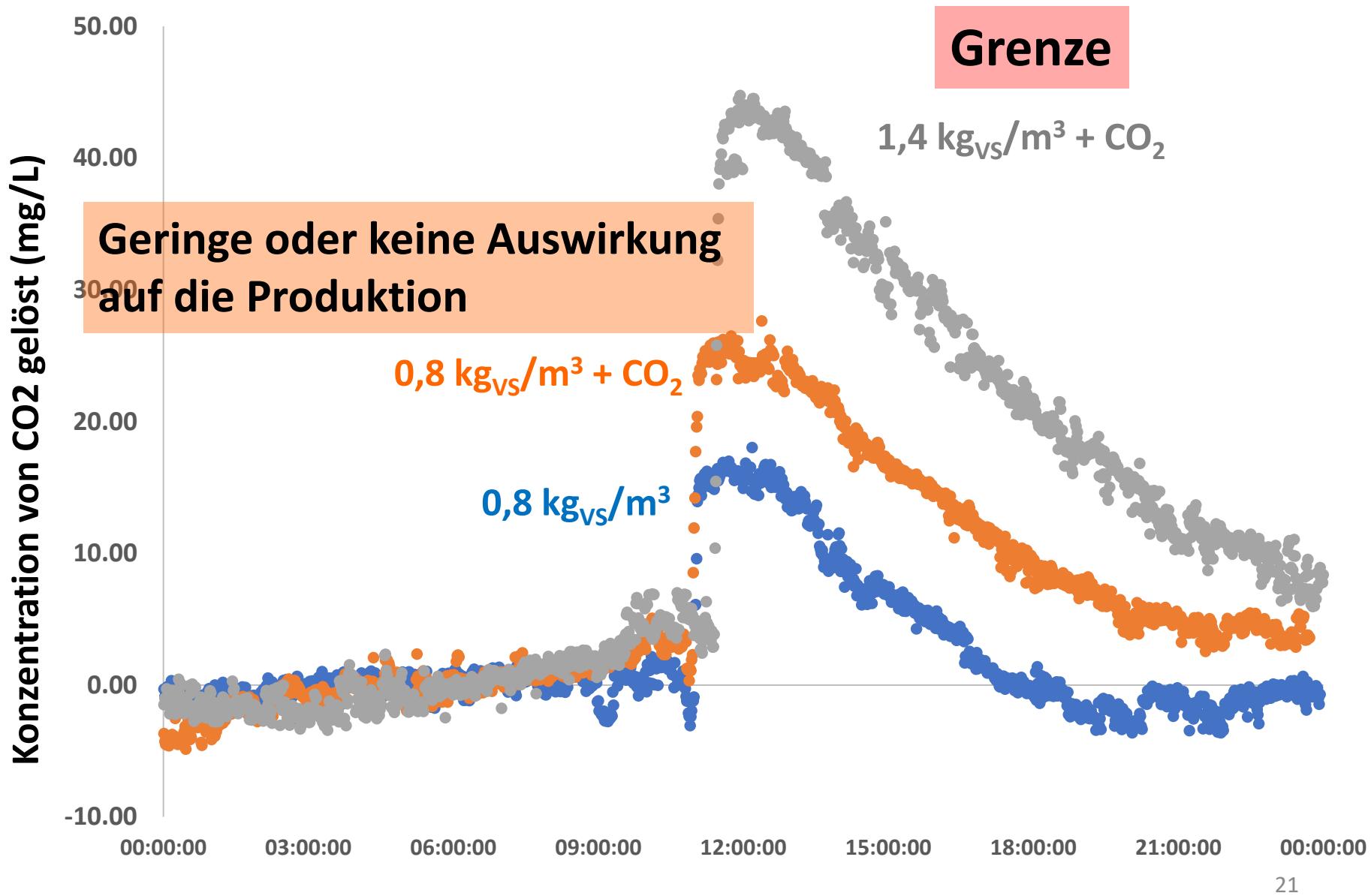
# Beitrag der Sonden für gelöstes CO<sub>2</sub>



# Konzentration von gelöstem CO<sub>2</sub> / Stabilität der Fermenter



# Überwachung vom CO2 endogen und exogen

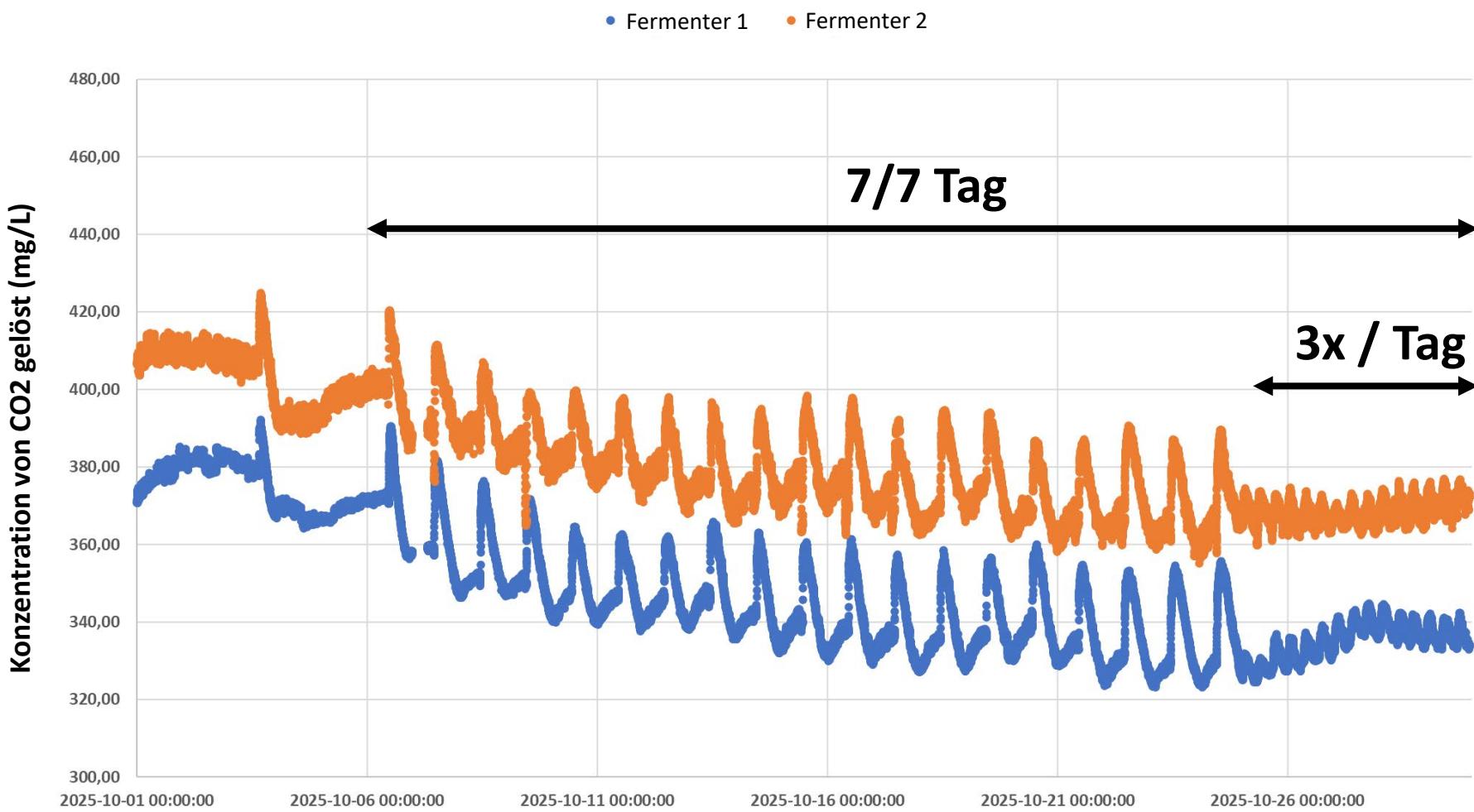


## Automatische Zufuhr

Erhöhen der Prozessstabilität und der Belastung der Fermenter

Bessere Metabolisierung von CO<sub>2</sub>

Mengenbestimmung Biogas



# CONCLUSION

Phase 1 – Beendet ✓

Phase 2 – Anreicherung des Substrats (im Gange)

Ermittlung der Grenzen ✓

Stabilisierung der CO<sub>2</sub> Konzentrationen ✓

## Nächste Schritte

- Stabilisieren der Leistungskohärenz der Fermenter (Produktion)
- Erhöhung der organischen Belastung
- Anreicherung mit CO<sub>2</sub> → Vorbehandlung der Biomasse

MERCI  
DE VOTRE  
INTENTION