







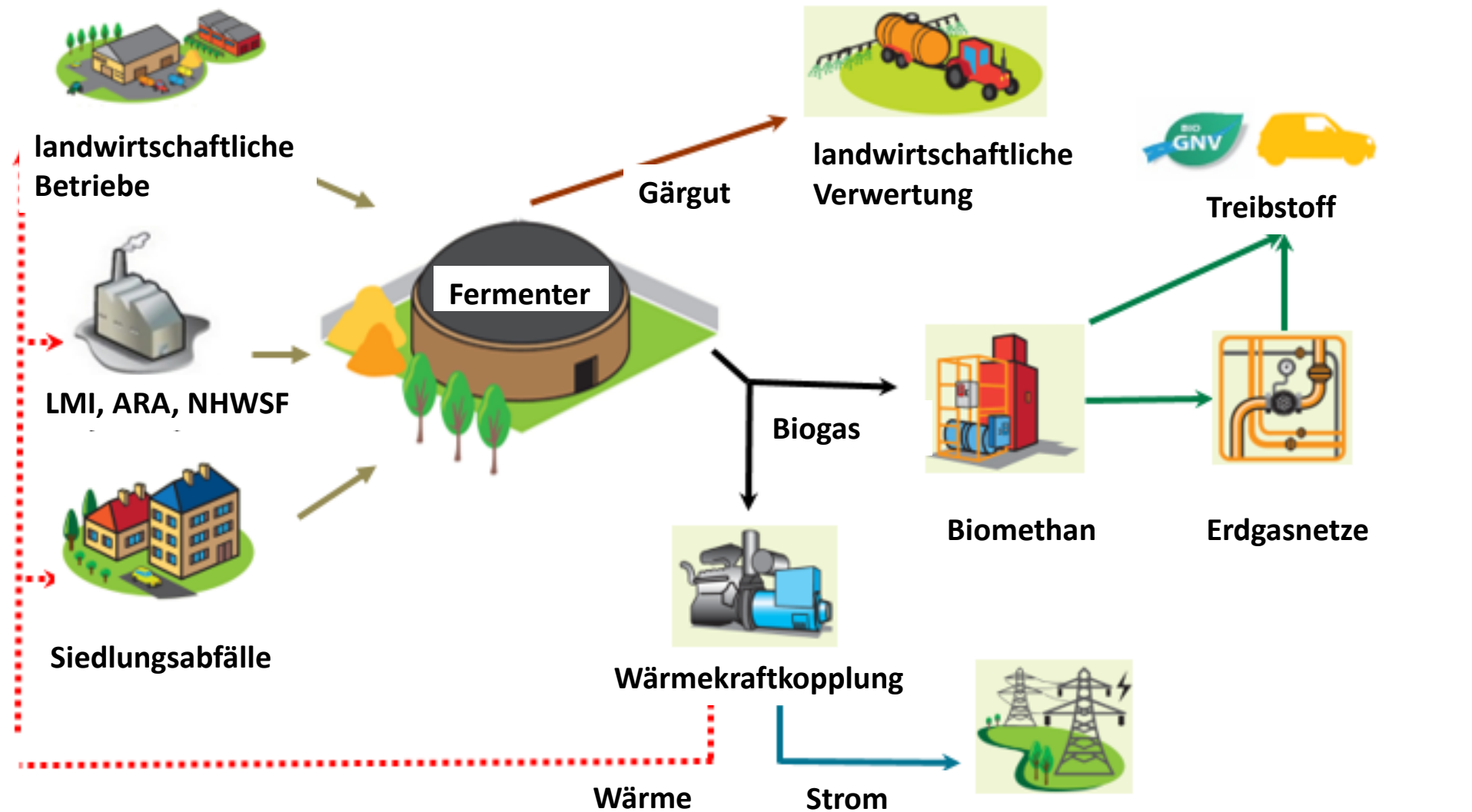
# CONRAD II

## CO<sub>2</sub> Enrichment in Anaerobic Digesters

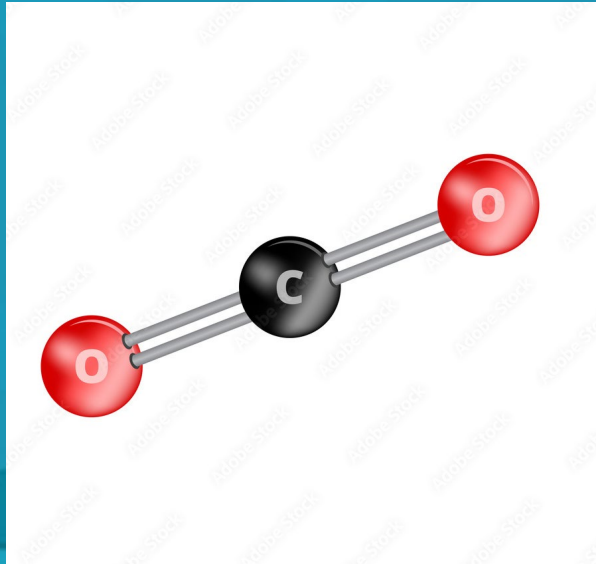


JULIETTE SAINT  
Wallisellen, 05/11/2025

# Anaerobe Vergärung



**Biogas : 60% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub>**

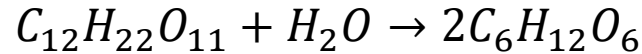


# Bedeutung von CO<sub>2</sub> in der anaeroben Vergärung

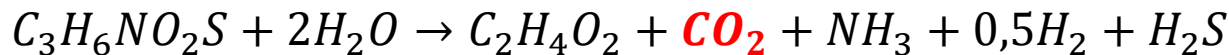
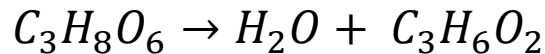
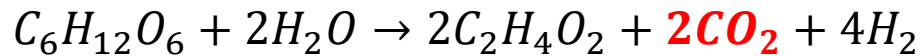


# Anaerobe Vergärung = 4 Schritte

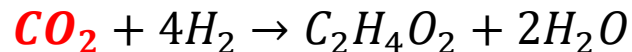
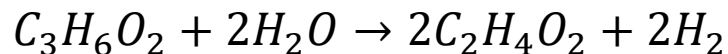
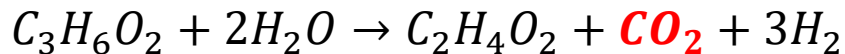
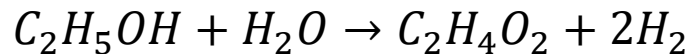
## Hydrolyse



## 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

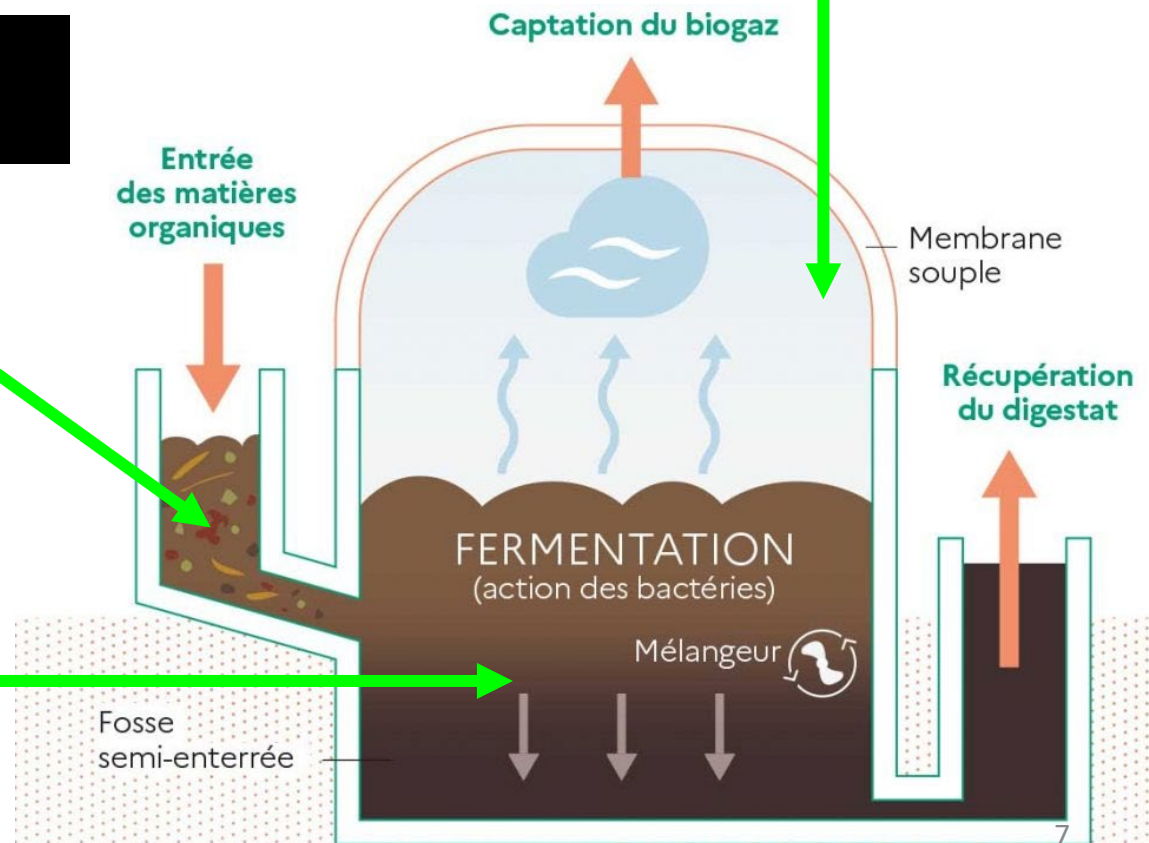
Anreicherung des Substrats

## 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 ( $V > 50\text{L}$ )**

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



# CONRAD I – Anreicherung des Fermenters

## Fermenter 70L

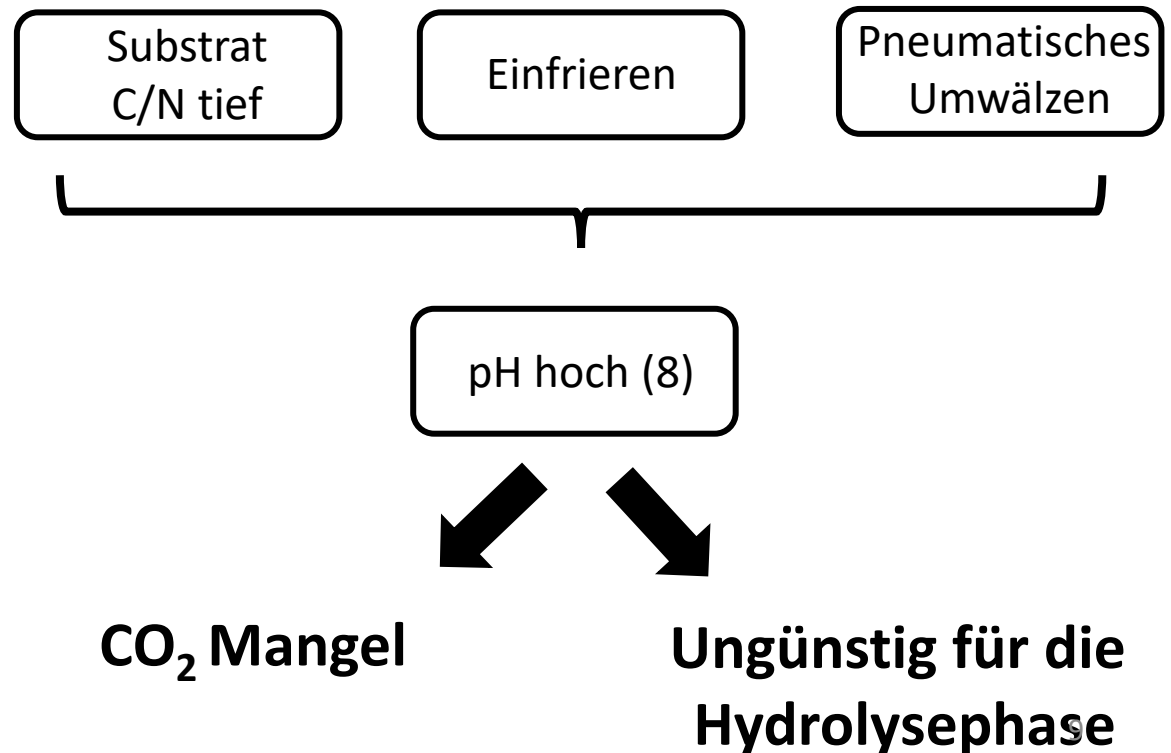


Erhöhung des Methangehalts:

62.7 %  $\pm$  0.3 à 66.8%  $\pm$  0,5

Methanausbeute:

151  $\pm$  15 LCH<sub>4</sub>/g<sub>SV</sub> → 209  $\pm$  17 LCH<sub>4</sub>/g<sub>SV</sub>





# 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

**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



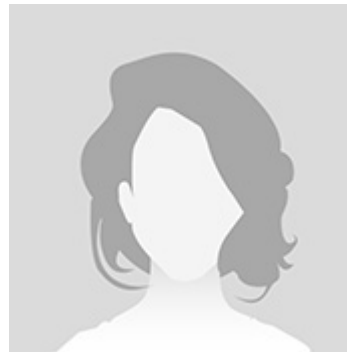
**Cyril M'Ahmed**  
Maschinenbau



**Roger Röthlisberger**  
Teamleiter



**Mathias Baumann**  
Forschungsassistent



**Isabelle Monney**  
Analytische Chemie



**Jean Baptiste Carré**  
Modellierung/Skalierung

# FORTSCHRITTE UND REALISIERUNG



# CONRAD II – Ausrüstung anaerobe Vergärung

## Pneumatisches Rühren (CONRAD I)



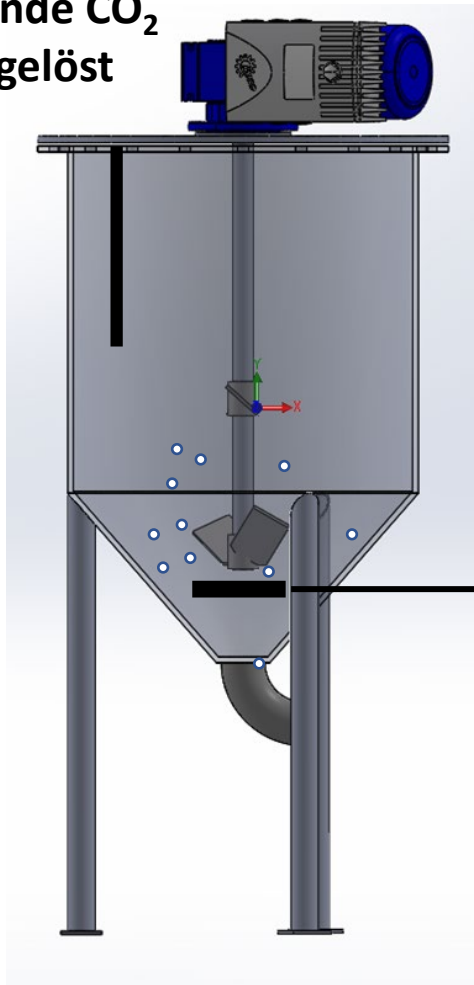
## Fermenter-Tandem Mechanisches Rühren (CONRAD II)



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**

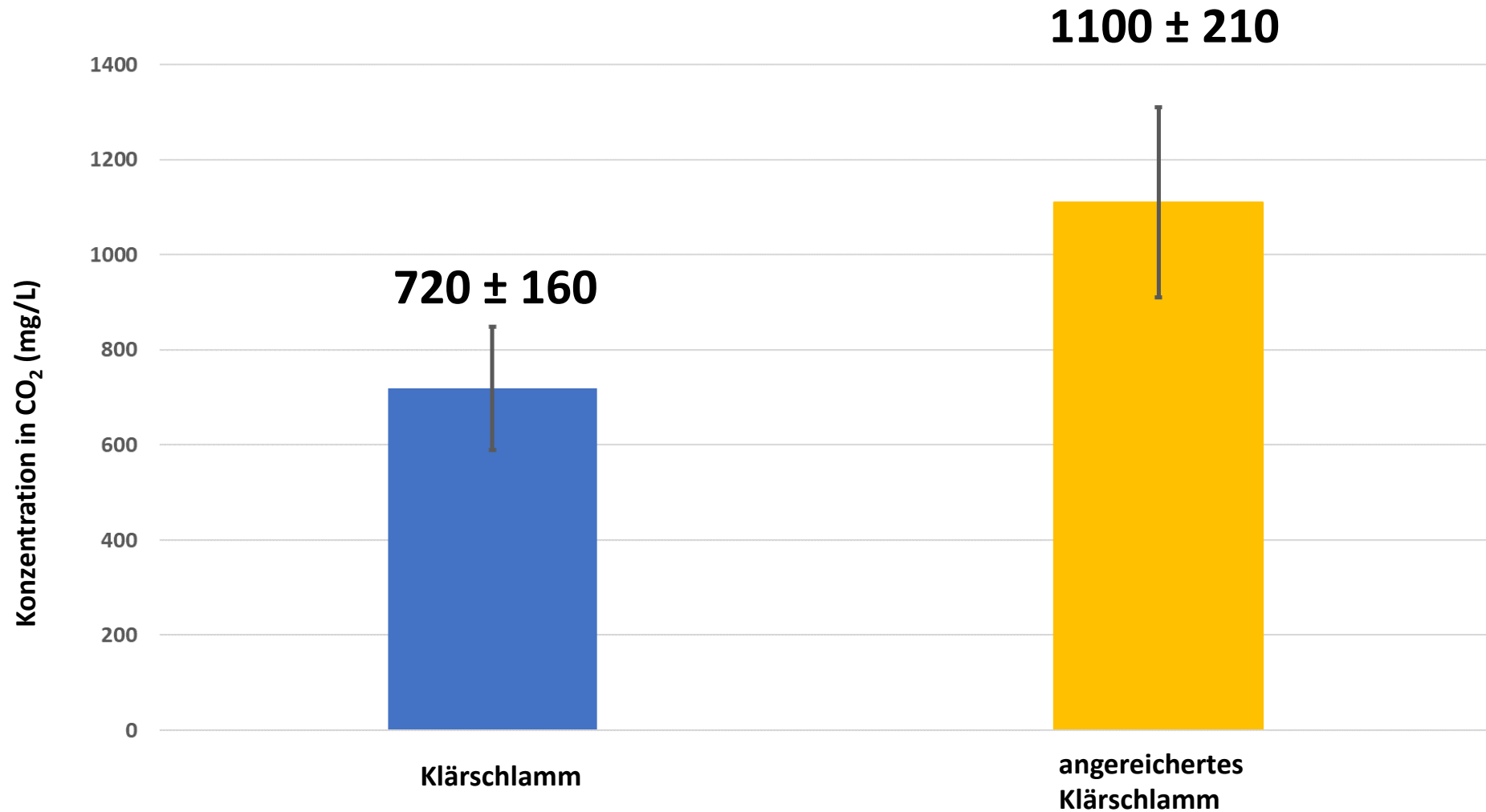


- ✓ Schnell und homogen
- ✓ Homogenität, Stabilität
- ✓ Skalierungsdaten für den Ansatz 2 (Reaktor identisch mit den TANDEM-Fermentern)<sup>16</sup>



# Anreicherungstests

Löslichkeit  $\text{CO}_2$  bei  $25^\circ\text{C}$  : 1500 mg/L



# Anaerobe Vergärung

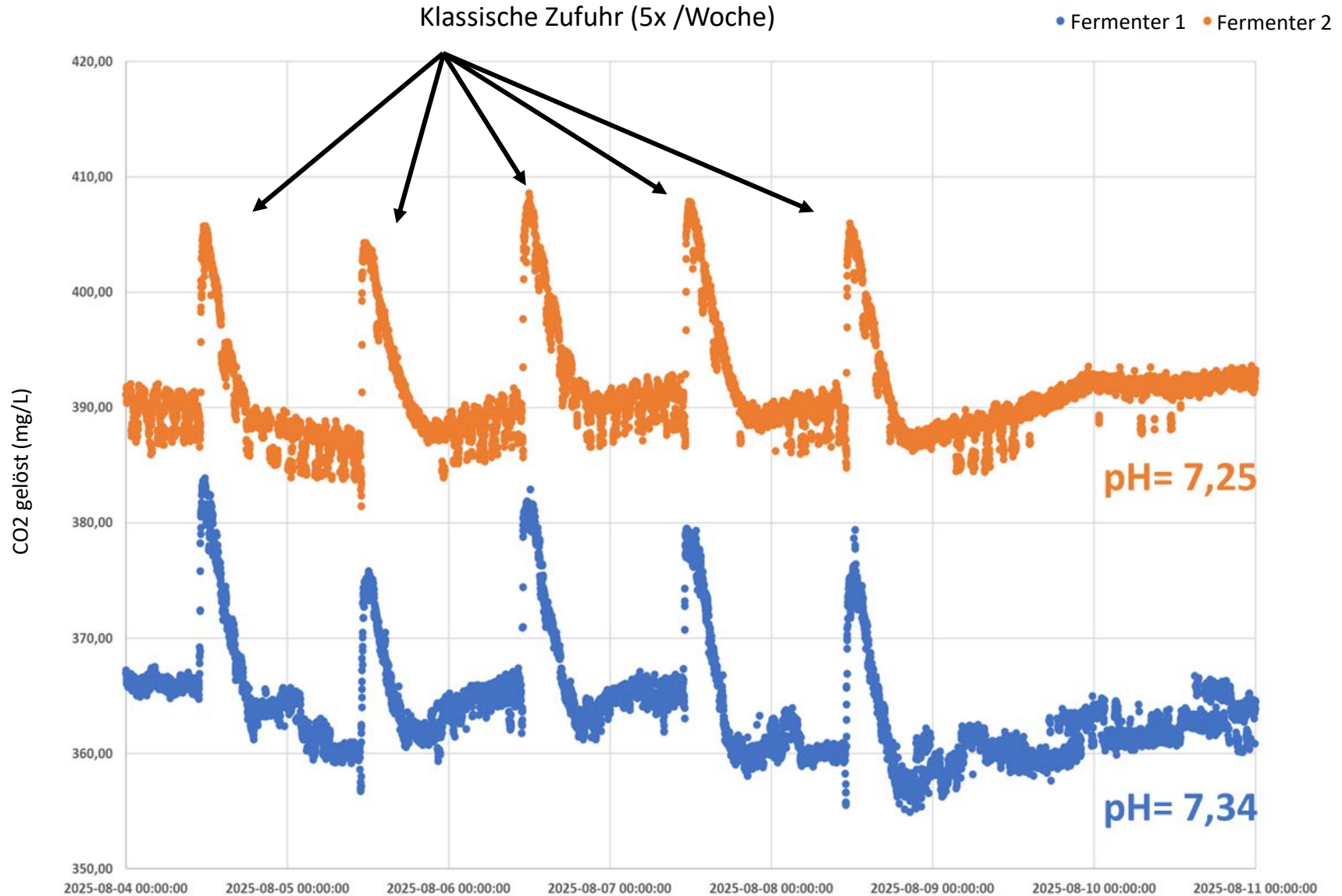
- Wie gehen Fermenter mit überschüssigem  $\text{CO}_2$  um?
- Wie kann die Methanausbeute durch Anreicherung erhöht werden?



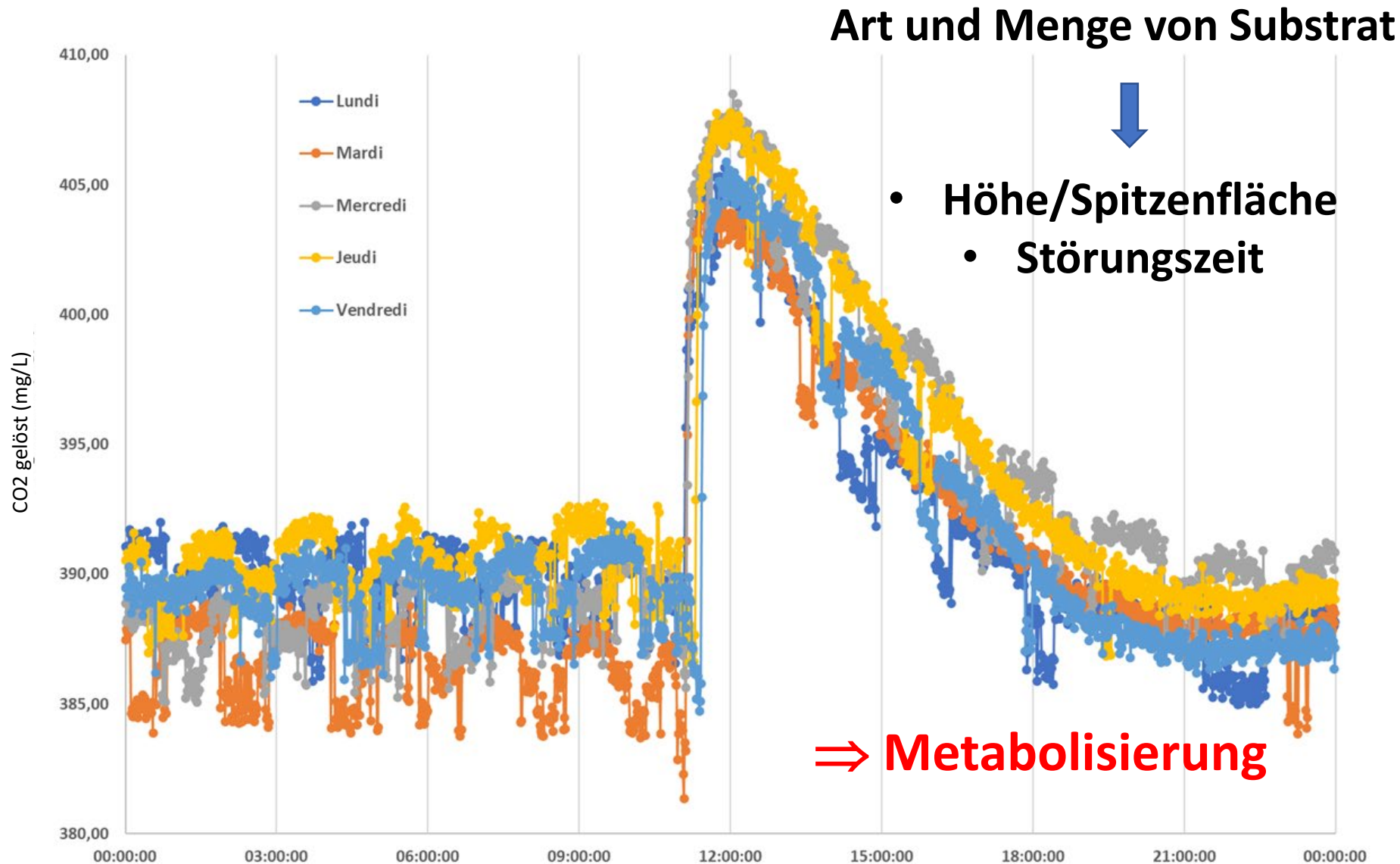
Kontrolle und Überwachung von exogenem  $\text{CO}_2$

→ Vor-Ort-Überwachung der Konzentrationen von gelöstem  $\text{CO}_2$

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

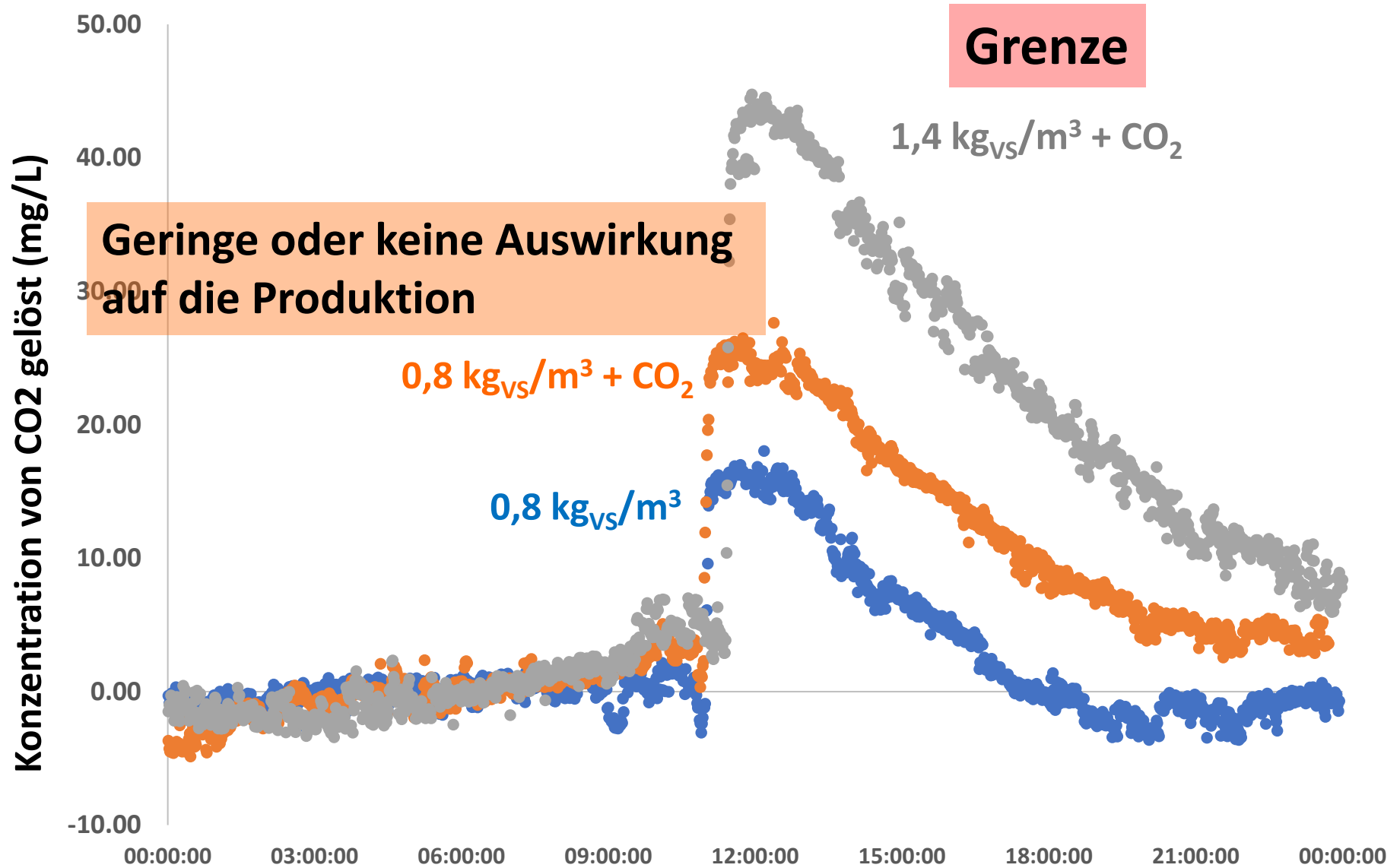


# Konzentration von gelöstem CO<sub>2</sub> / Stabilität der Fermenter



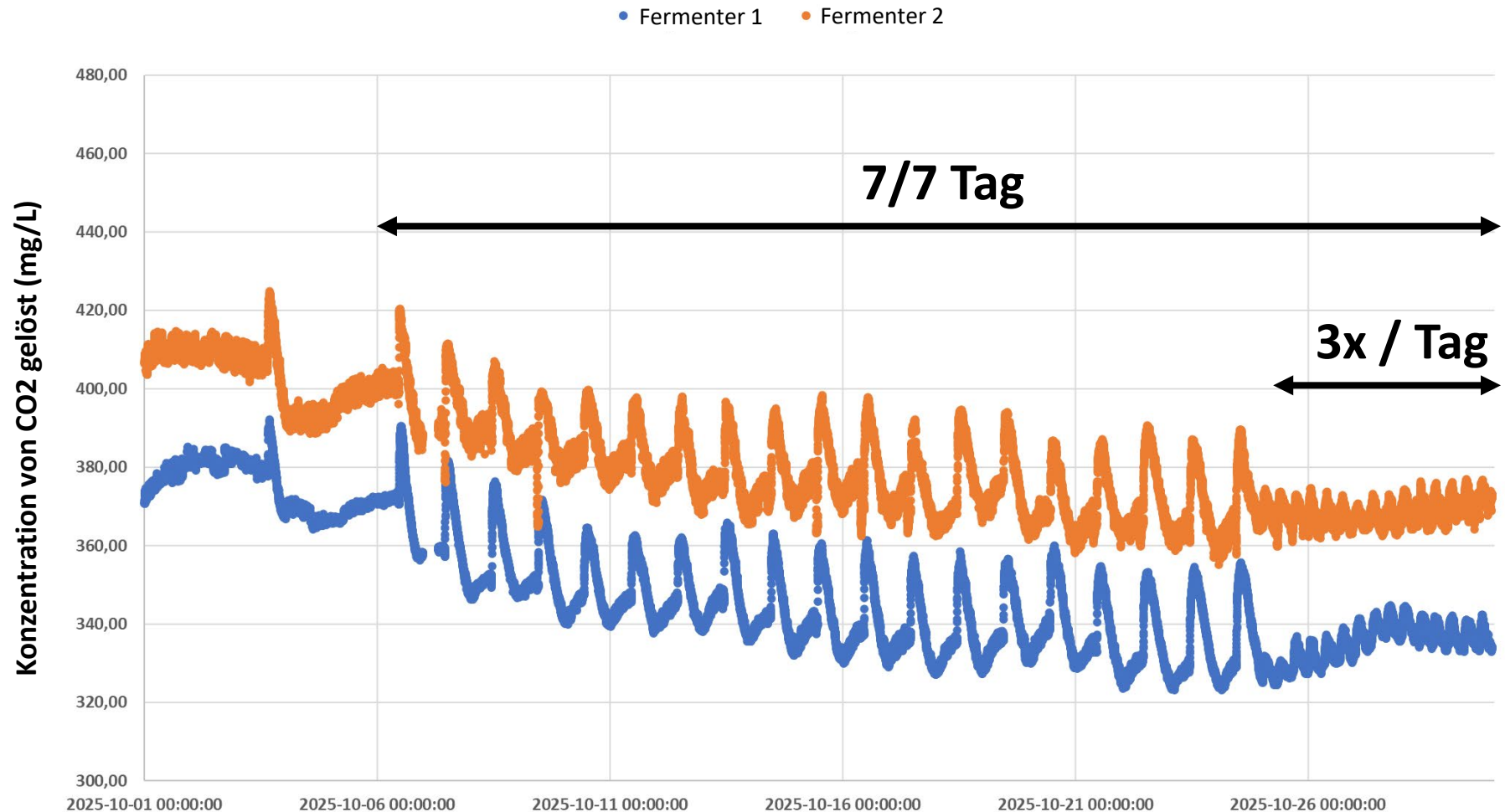


# Überwachung vom CO<sub>2</sub> endogen und exogen



# Automatische Zufuhr

Erhöhen der Prozessstabilität und der Belastung der Fermenter  
Bessere Metabolisierung von CO<sub>2</sub>  
Mengenbestimmung Biogas





**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**