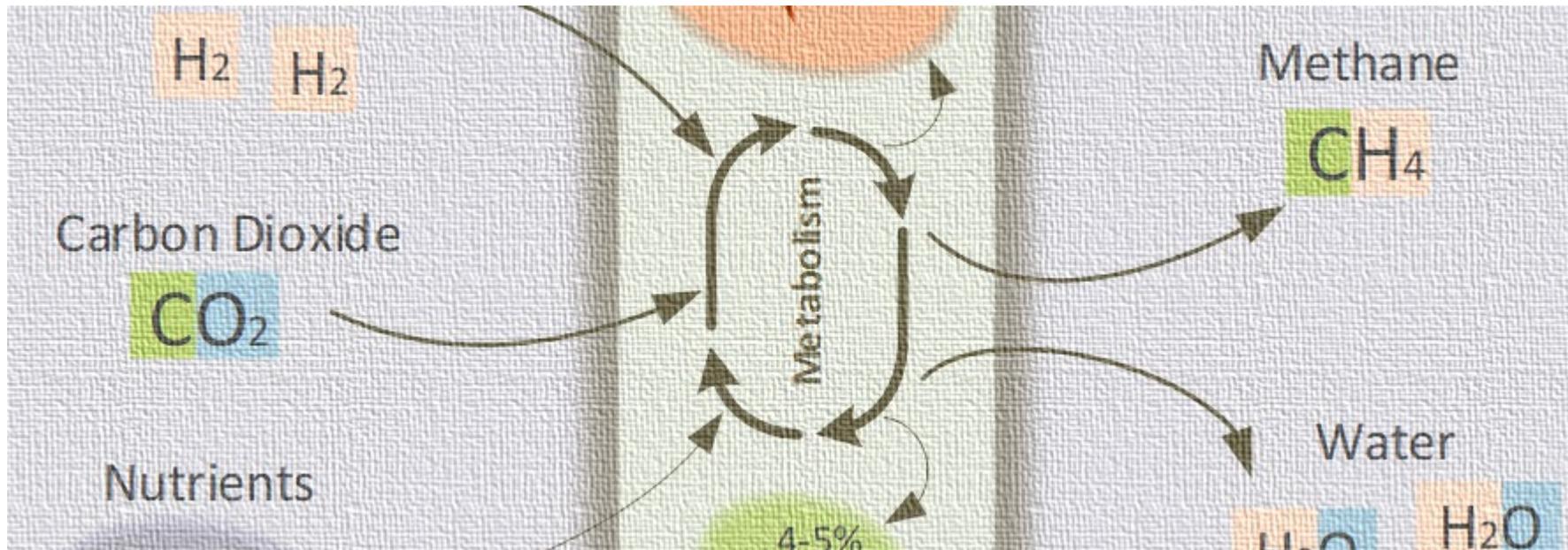


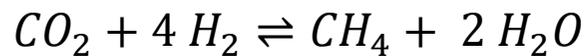
## “Charakterisierung und Optimierung der Ex-situ Biologischen Methanisierung»



Dr. Wolfgang Merkle | [wolfgang.merkle@zhaw.ch](mailto:wolfgang.merkle@zhaw.ch)

# Die Mikroorganismen sind bekannt.....

## ■ Reaktion:



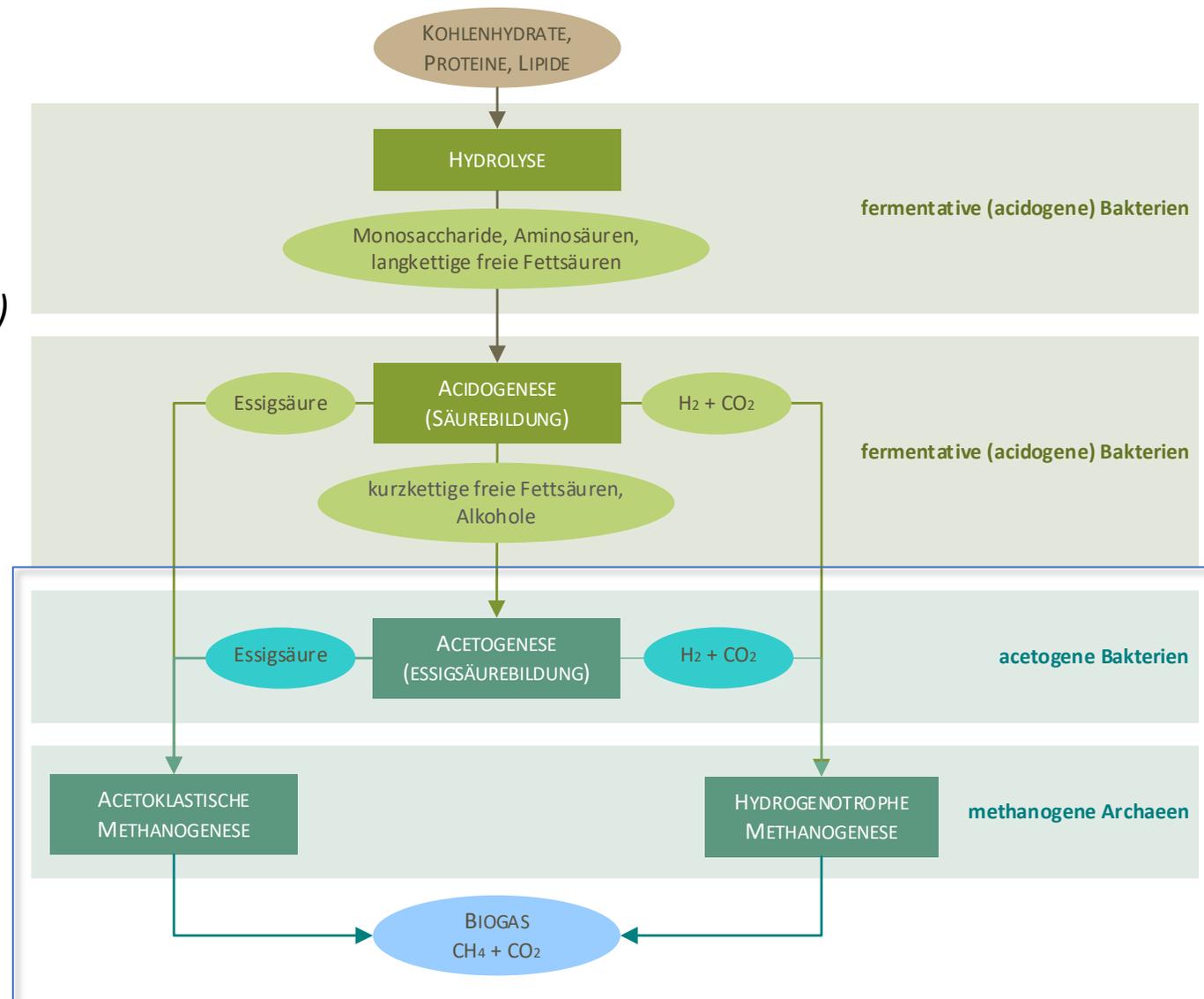
(hydrogenotrophe Methanogenese)

## ■ Mikroorganismen:

- Domain: **Archaea**
- Phylum: Euryarchaeota
- Pseudonym: Methanogene

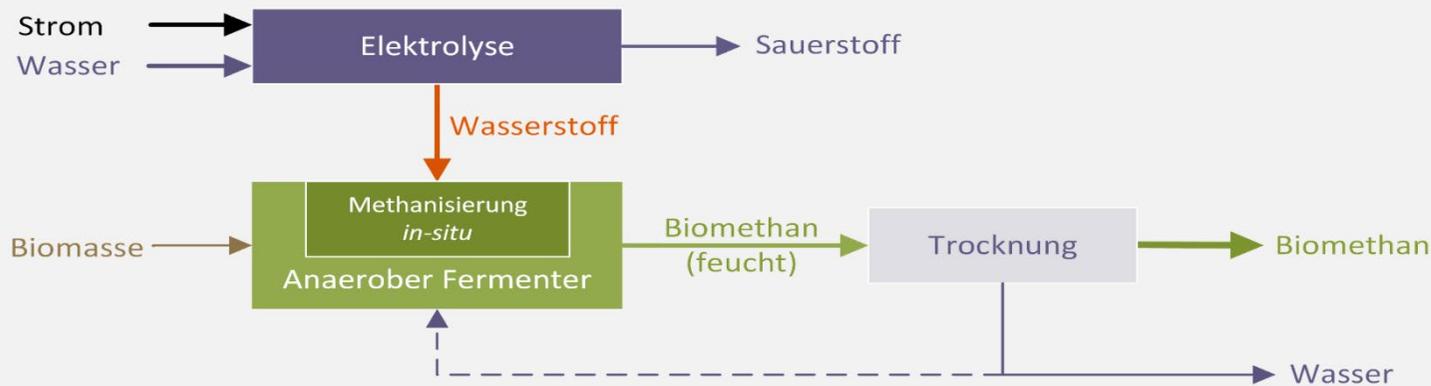
## ■ Wachstumsbedingungen:

- Anaerob, kein Sauerstoff
- Temperatur: 35°C – 75°C
- pH-Wert: 7 – 8

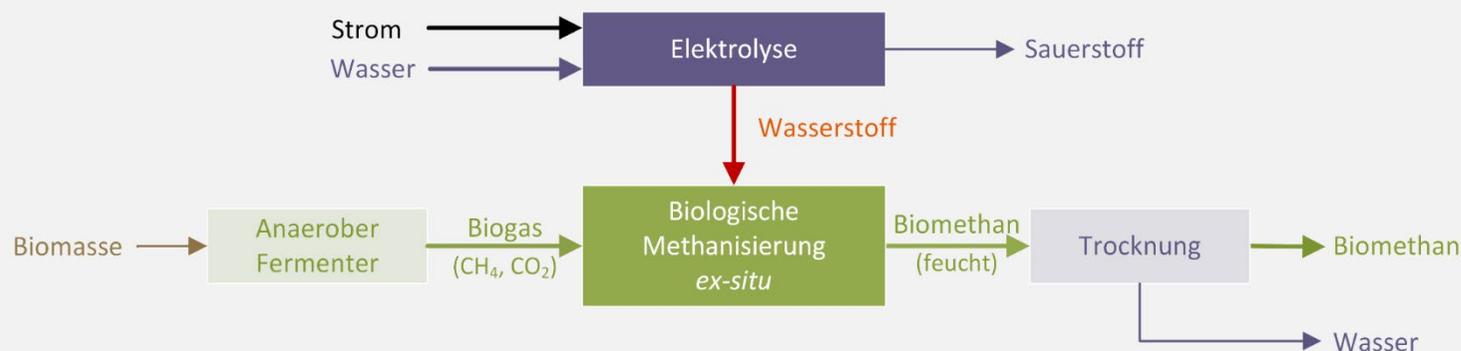


# .....aber es gibt immer noch viele Herausforderungen bei der Implementierung dieser Technologie.

## In-situ: H<sub>2</sub> direkt in anaeroben Fermenter



## Ex-situ: H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> in separaten Bioreaktor mit Methanogenen



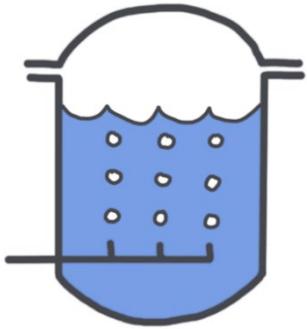
## Herausforderungen:

- Stofftransportlimitierung und optimales Dispergierung von Wasserstoff im Fermenter.
- Begrenzter Stofftransport von H<sub>2</sub> in ausgewiesenen Ex-situ-Bioreaktoren.
- H<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> – CH<sub>4</sub> Gleichgewicht und Effekt auf Mikroorganismen.
- Optimale Wachstumsbedingungen für «Rein»- und Mischkulturen von Archaeen.

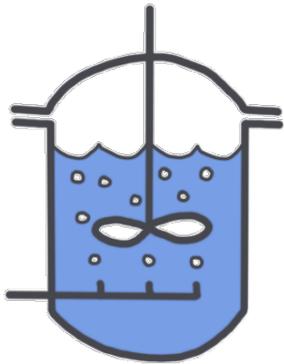
⇒ **Gibt es eine Obergrenze für CH<sub>4</sub> im Biogas aus In-situ-/Ex-situ Biomethanisierung?**

⇒ **Welches ist die optimale Bioreaktorkonfiguration für Ex-situ-Prozesse?**

# Reaktorsysteme für die Biologische Ex-situ Methanisierung

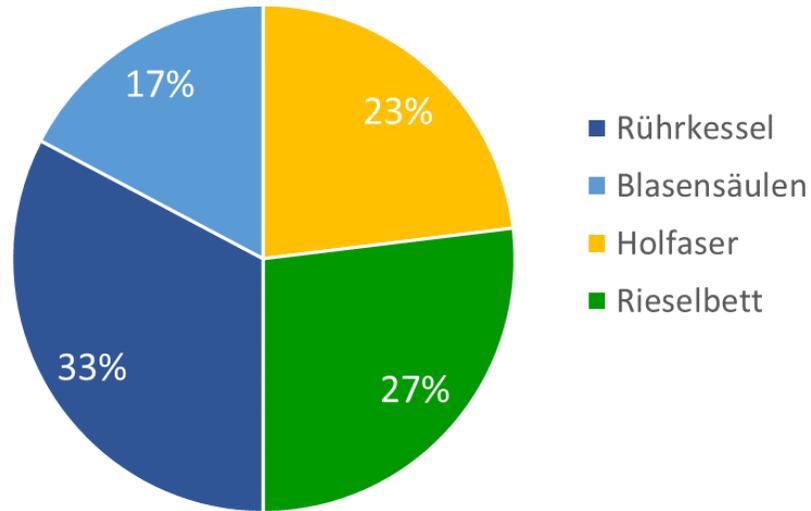


Blasensäulenreaktor

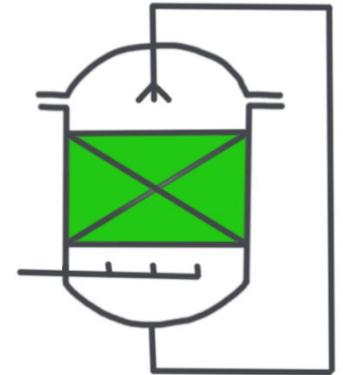


Rührkesselreaktor  
(CSTR)

Anzahl Publikationen  
mit Angabe der Methanbildungsrate  
(1970 - heute)



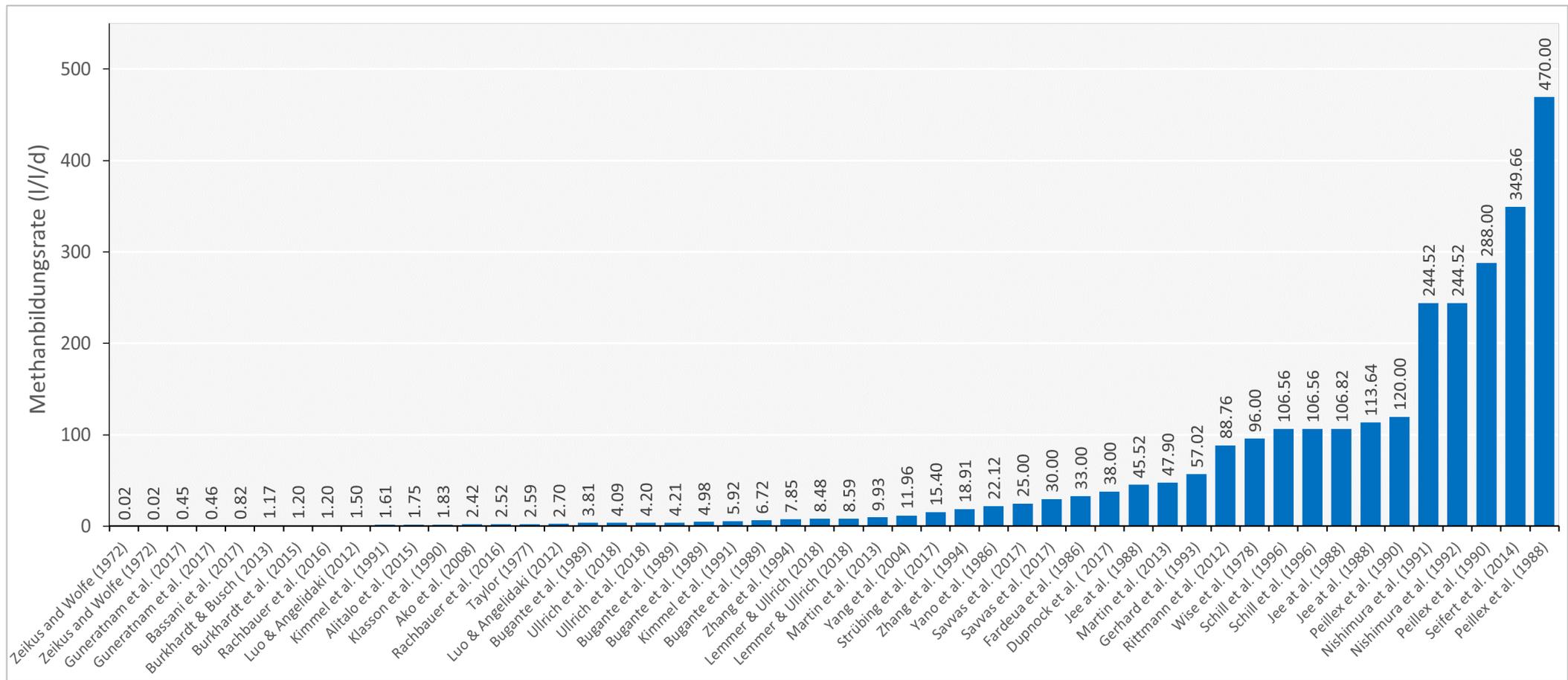
Membranreaktor



Rieselbettreaktor

# Es gibt nach wie vor Unsicherheiten bei den Referenzwerten zur Leistung von Methanisierungs-Bioreaktoren

Methanbildungsraten von 0.02 – 470 L CH<sub>4</sub> / L Reaktorvolumen / Tag wurden veröffentlicht.



# 1. Herausforderung: Methanbildungsrate muss auf eine Standardgrösse bezogen werden: Biomasse!

Methanbildungsrate

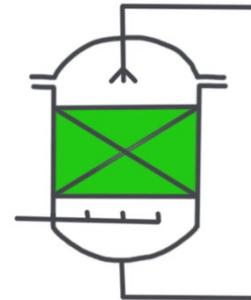
$$P_{CH_4} = \frac{\dot{V}_{CH_4}}{V_R} \quad (vvd)$$

$$V_R = V_{Arbeitsvol.}$$



$$V_R = V_{Flüssigkeitsvol.,eff}$$

$$V_R = V_{Rieselbettvol.}$$



$$V_R \gg V_{Flüssigkeitsvol.,eff}$$

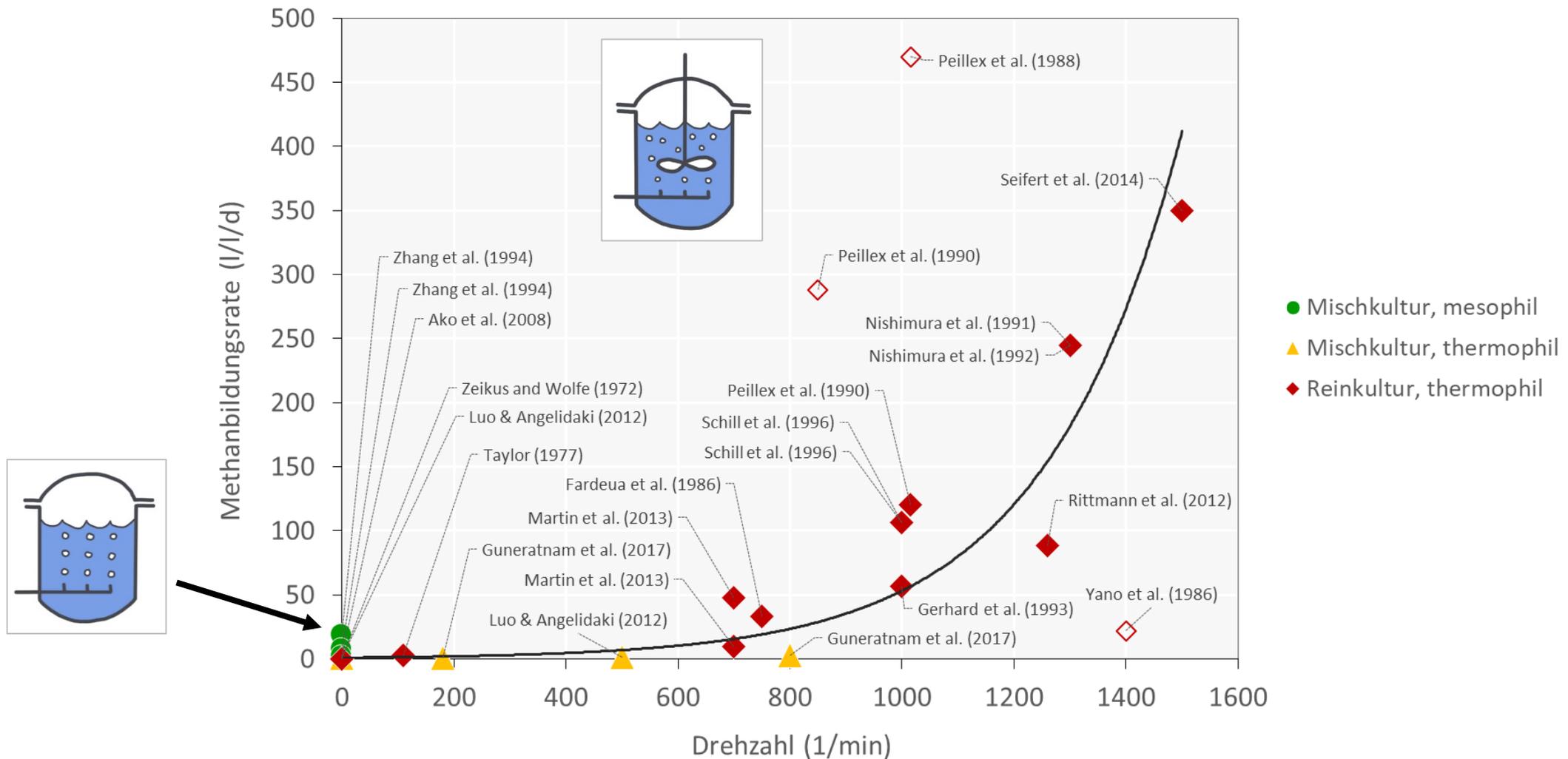
## ➤ Lösung: Bezug auf aktive Spezies

$$P_{CH_4} = \frac{\dot{V}_{CH_4}}{m_{Biomasse}}$$

- ☺ Vergleichbarkeit der Methanbildung
- ☺ Einfacher Upscaling-Parameter
- ☹ bis heute sehr dünne Datenbasis

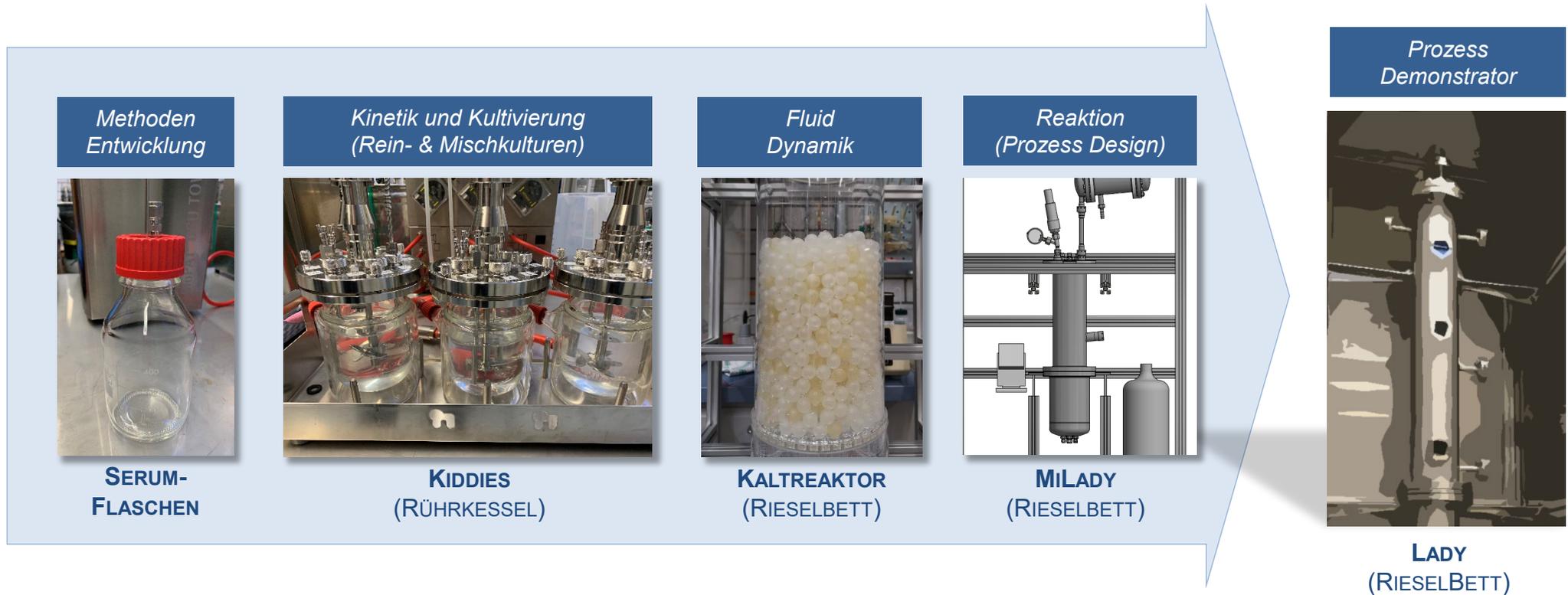
## 2. Herausforderung: H<sub>2</sub> –Massentransfer limitiert oft den hohen Stoffwechsel der Archaeen

Publizierte Methanbildungsraten  
in Abhängigkeit von der Drehzahl (1970 – heute)



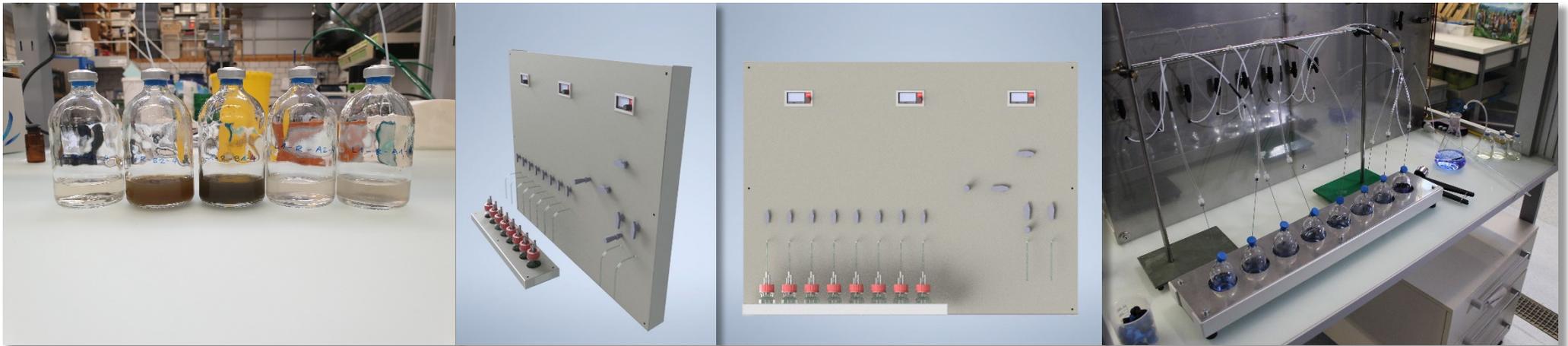
# ZHAW Projekt “CarbonATE” befasst sich mit diesen Herausforderungen - mikrobieller Metabolismus und Referenz sowie H<sub>2</sub>-Stofftransport

- Definition optimaler Prozessbedingungen für Archaeen Misch- & Reinkulturen.
- Charakterisierung von Fluidodynamik und H<sub>2</sub>-Stofftransport.
- Demonstration in MiLADY/LADY (Laboratory Unit for Demonstration of Microbial Hydrogen Conversion)



# ERA-NET Projekt CarbonATE

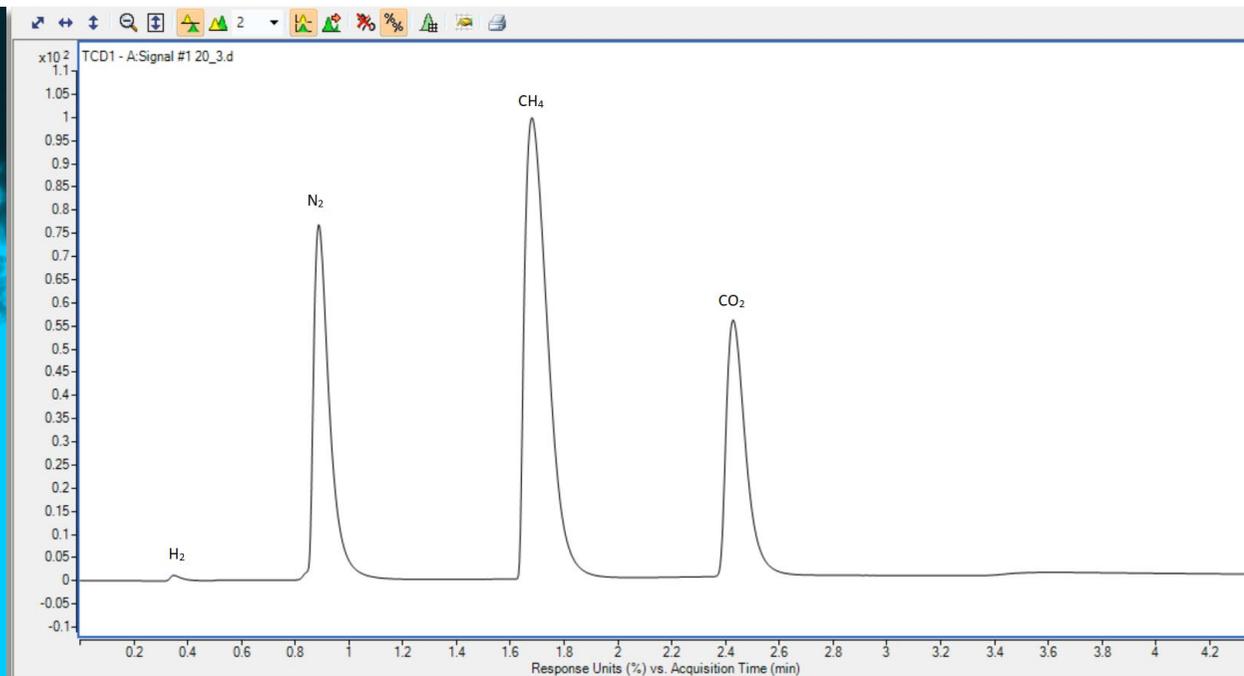
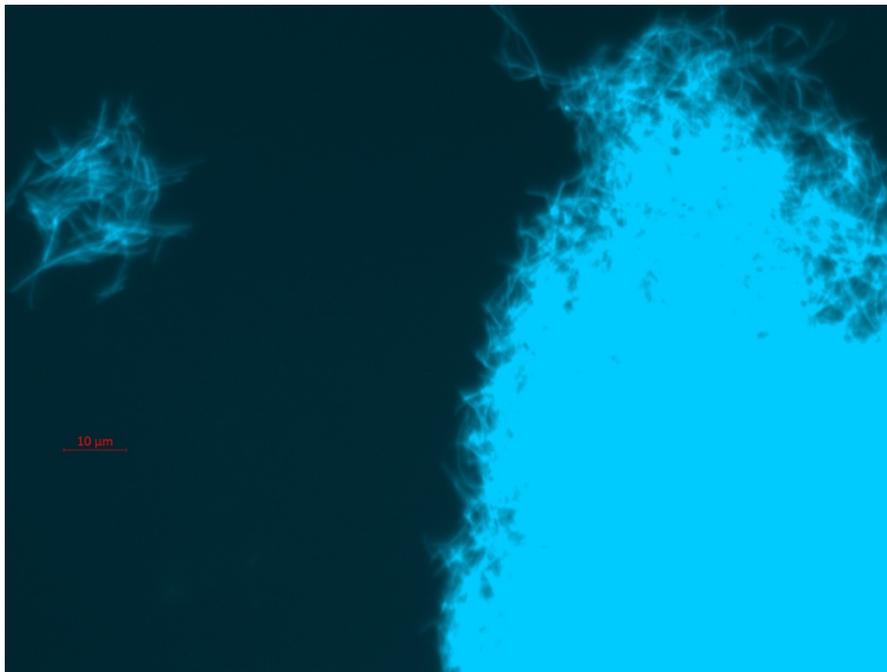
- **Serum-Flaschen:** Evaluierung geeigneter Nährmedien für mesophile Mischkulturen
- **Batch-Kulturen:**
  - 5 verschiedene Inokula (2x ARAs, 2x Biogasanlagen, 1x *Methanobacterium formicicum*)
  - 4 unterschiedliche, minimale Nährmedien
  - 3 x 2 Wochen



# ERA-NET Projekt CarbonATE

## ■ Bewertungskriterien

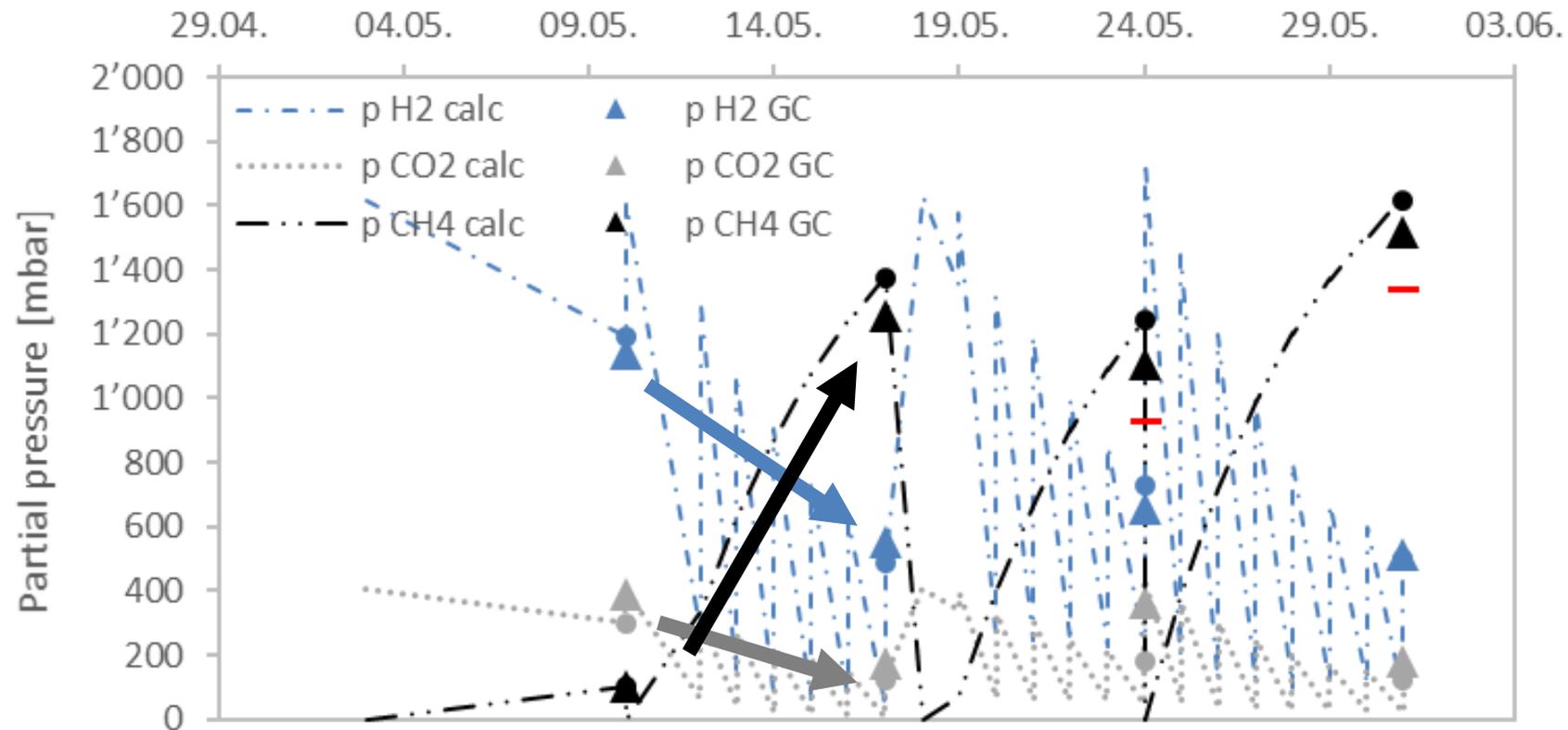
- Gasproduktion (Messung von Druck und Gasqualität)
- Qualitative Mikroskopie
- Optische Dichte (wird heute nicht vorgestellt)
- Populationsanalyse (wird heute nicht vorgestellt)



# ERA-NET Projekt CarbonATE

## ■ Vorläufige Ergebnisse Serum-Flaschen

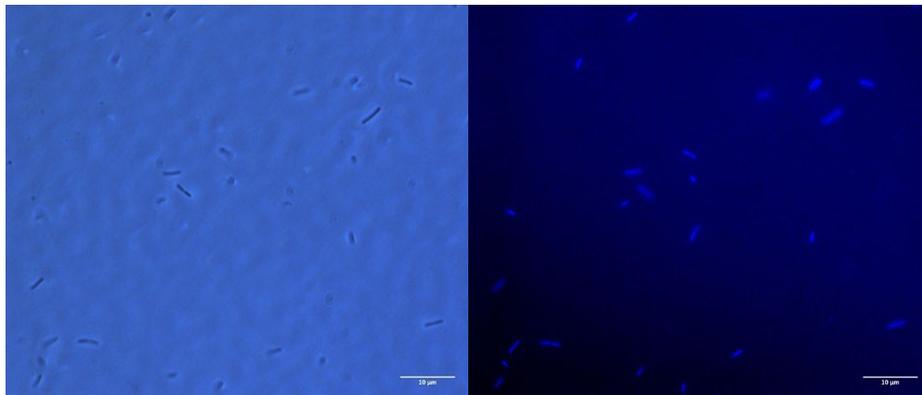
- Methanproduktion konnte in fast allen Kolben beobachtet werden
- Beispiel: ARA1-Flasche 3



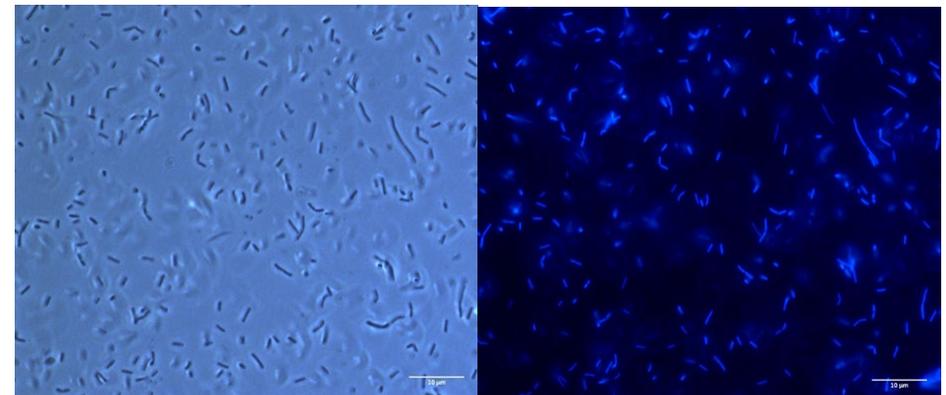
# ERA-NET Projekt CarbonATE

## ■ Ergebnisse Serum-Flaschen

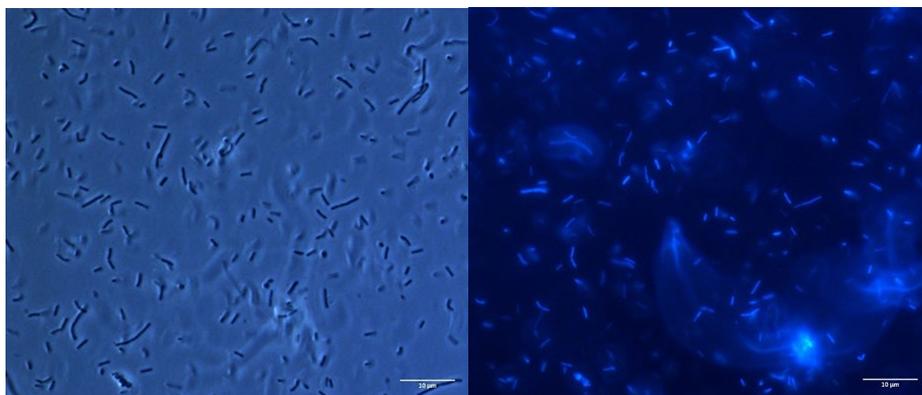
- Methanproduktion konnte in fast allen Kolben beobachtet werden
- Unterschiede in Fluoreszenz erkennbar (Beispiel: ARA1)



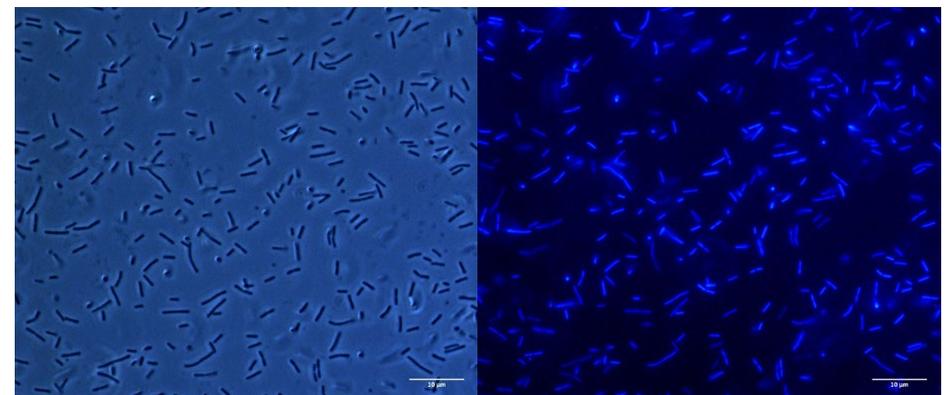
M1



M2



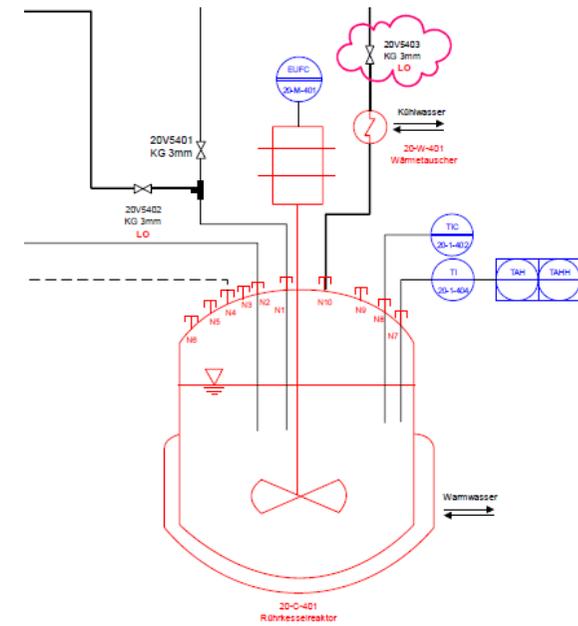
M3



M4

# ERA-NET Projekt CarbonATE

- **KIDDIES:** Kultivierung und kinetische Studien in kontinuierlichen Rührkesselreaktoren (CSTRs)
- Anreicherung aus Mischkultur (ARAs, Biogasanlagen) in CSTRs (Semibatch)
  - Dauer der Anreicherung mit Auswaschung von nicht-hydrogenotrophen Kulturen?
  - Bewertungskriterien:
    - Spezifische Methanbildung
    - Populationsanalyse (wird heute nicht vorgestellt)

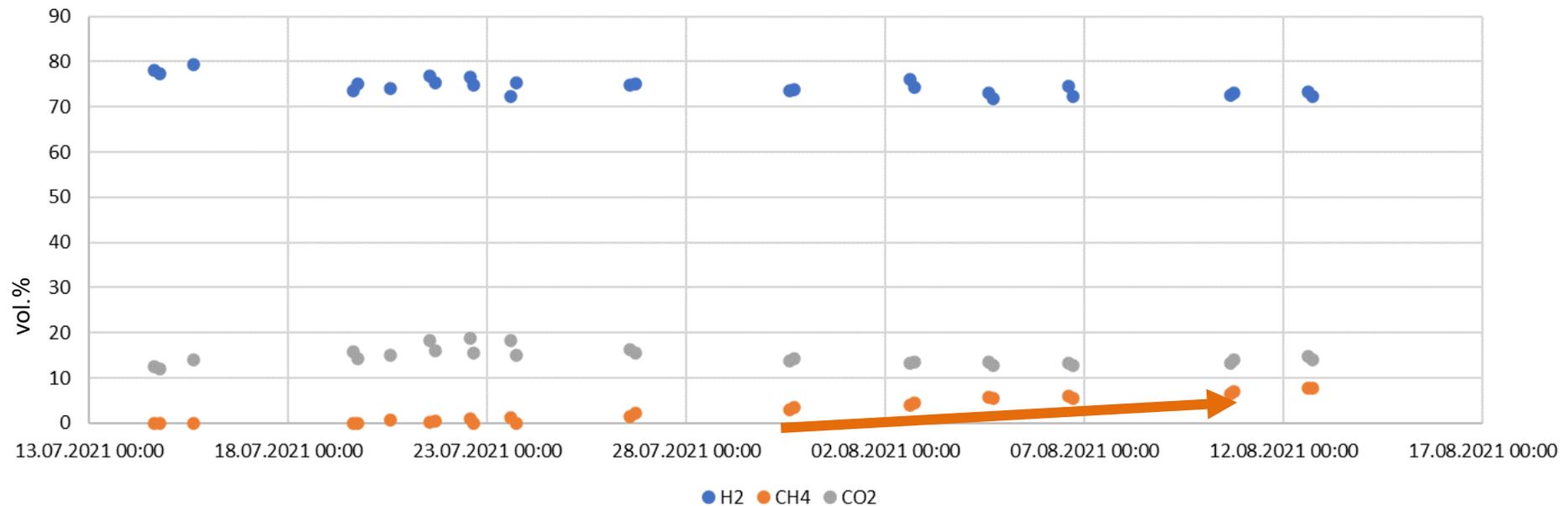


# ERA-NET Projekt CarbonATE

## ■ Vorläufige Ergebnisse KIDDIES (CSTRs)

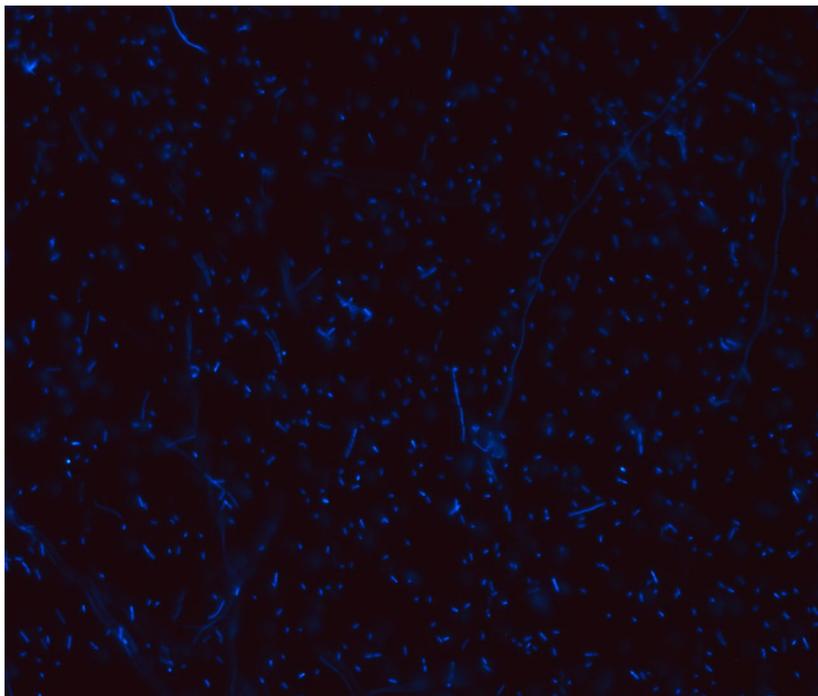
### ■ Anreicherung aus Mischkultur

- Ein Anstieg der Methanproduktion konnte über die Zeit beobachtet werden
- Beispiel KID1:

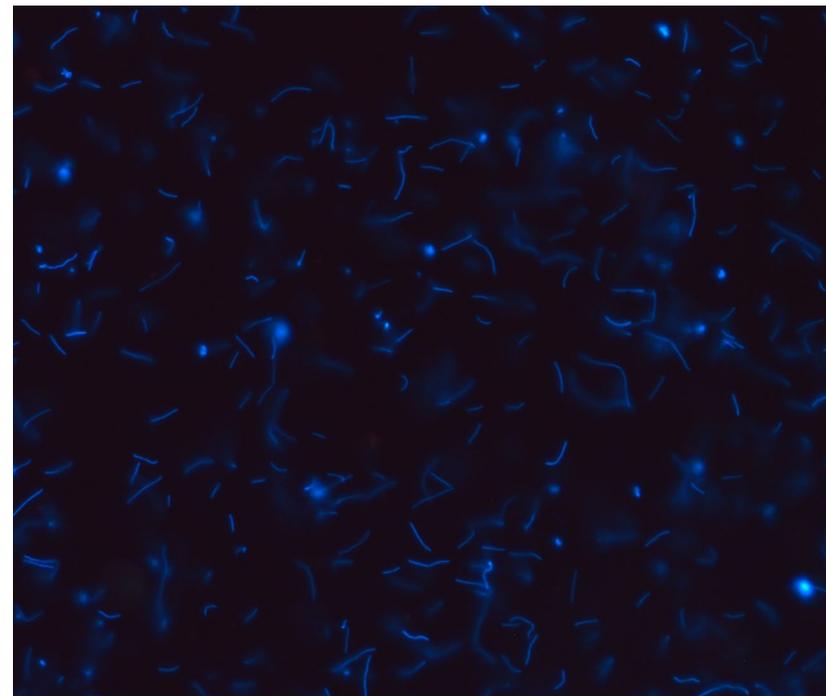


## ERA-NET Projekt CarbonATE

- **Vorläufige Ergebnisse KIDDIES (CSTRs)**
- **Anreicherung aus Mischkultur**
  - Methanogene sind aktiv (Amplikon-Sequenzierung noch nicht abgeschlossen)
  - Beispiel KID2 (ARA) and KID4 (BGA):



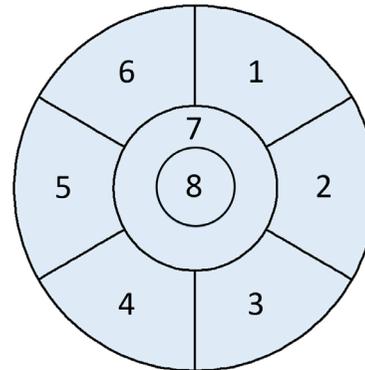
ARA



BGA

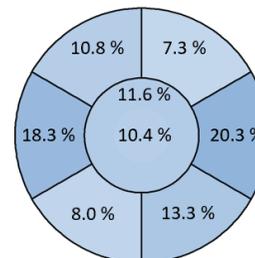
# ERA-NET Projekt CarbonATE

- **Kaltreaktor:** Fluid Dynamik im Rieselbettreaktor
- Untersuchungen zur Flüssigkeitsverteilung, Verweilzeit und Benetzung geeigneter Füllkörper



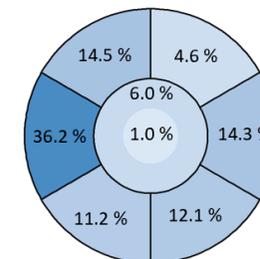
| Sektor | Fläche [mm <sup>2</sup> ] |
|--------|---------------------------|
| 1-6    | 4'959                     |
| 7      | 4'976                     |
| 8      | 1'521                     |
| Total  | 36'253                    |

V1 S1 M1 [Mf 0.130]



Flussrate: 500 mL/min

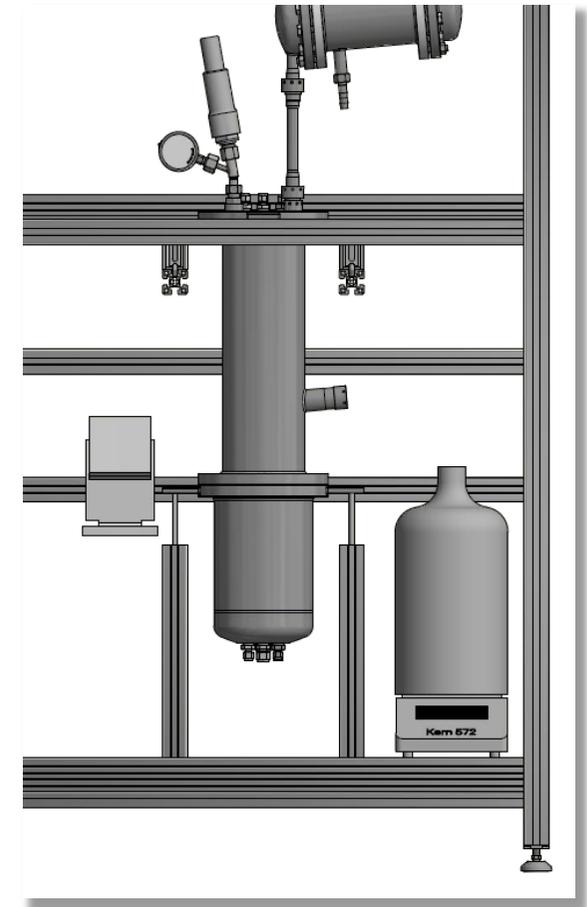
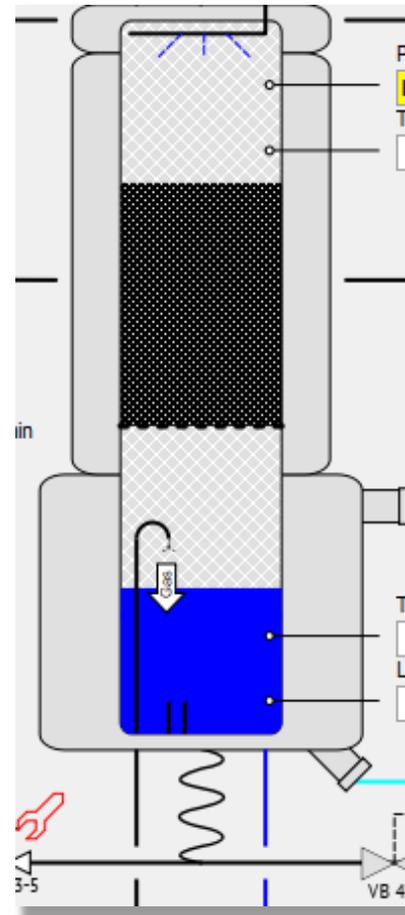
V1 S1 M6 [Mf 0.304]



Flussrate: 500 mL/min

# ERA-NET Projekt CarbonATE

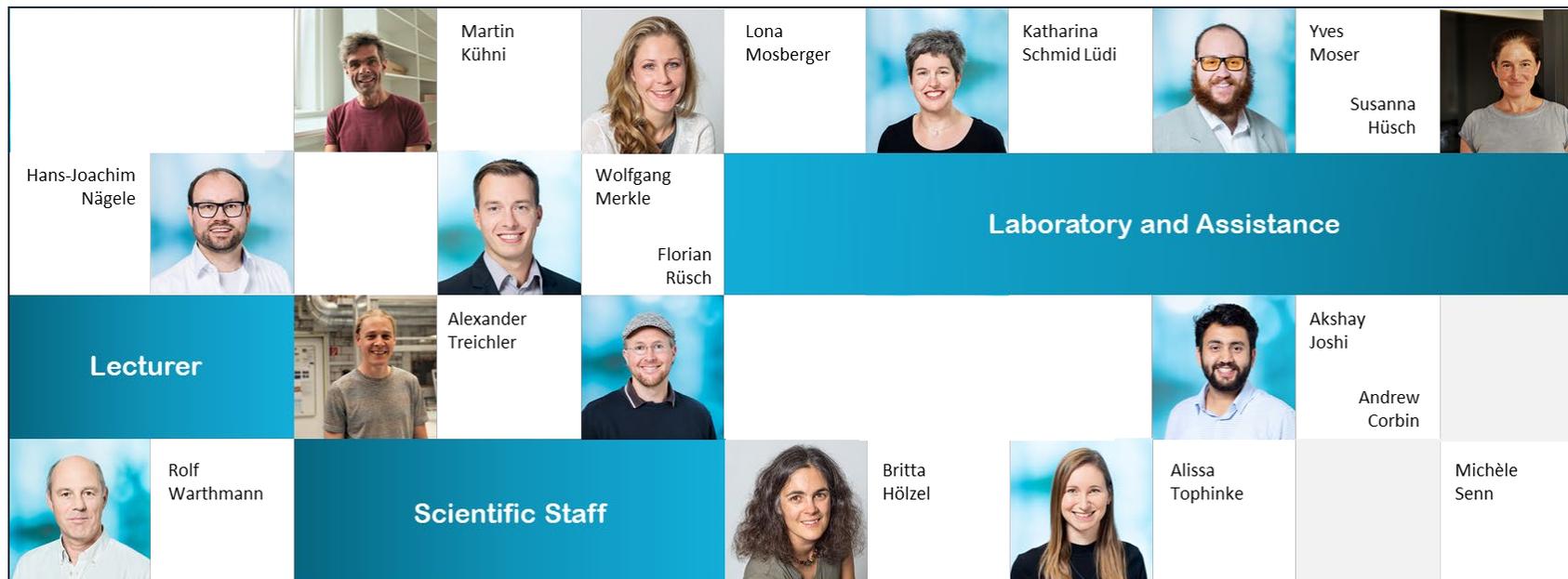
- **MiLADY**: Optimierung im Rieselbettreaktor (Labormassstab)
- Optimierung der Betriebsbedingungen für ausgewählte Mischkulturen im Rieselbettreaktor
  - Medium
  - Mischkultur
  - Füllkörper
  - Flussraten (Flüssigkeit, Gas)



## Schlussfolgerung und Ausblick

- Immer noch viele Herausforderungen für die Optimierung der Ex-situ-Methanisierung
  - Medium
  - Technik und Betriebsweise (CSTR/Rieselbett):
    - Reaktortyp
    - Rührgeschwindigkeit und Art des Rührwerks
    - Intervall und Geschwindigkeit der Berieselung
    - Einbringtechnik der Gase
    - Flussrate/Verhältniss
    - Temperatur, Druck, pH-Wert
  
- Erste Ergebnisse der Kultivierung zeigten ein gutes Wachstum der Methanogenen
  - Die Ergebnisse der HPLC-Analyse und der Amplikon-Sequenzierung stehen noch aus
  
- Die Entwicklung von Sensoren zur Messung von gelöstem Wasserstoff in der Flüssigphase wird in Zukunft interessant werden

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften → ICBT Institut für Chemie und Biotechnologie  
Sie finden uns unter <https://www.zhaw.ch/de/lsm/institute-zentren/icbt/umweltbiotechnologie/>  
oder [wolfgang.merkle@zhaw.ch](mailto:wolfgang.merkle@zhaw.ch)