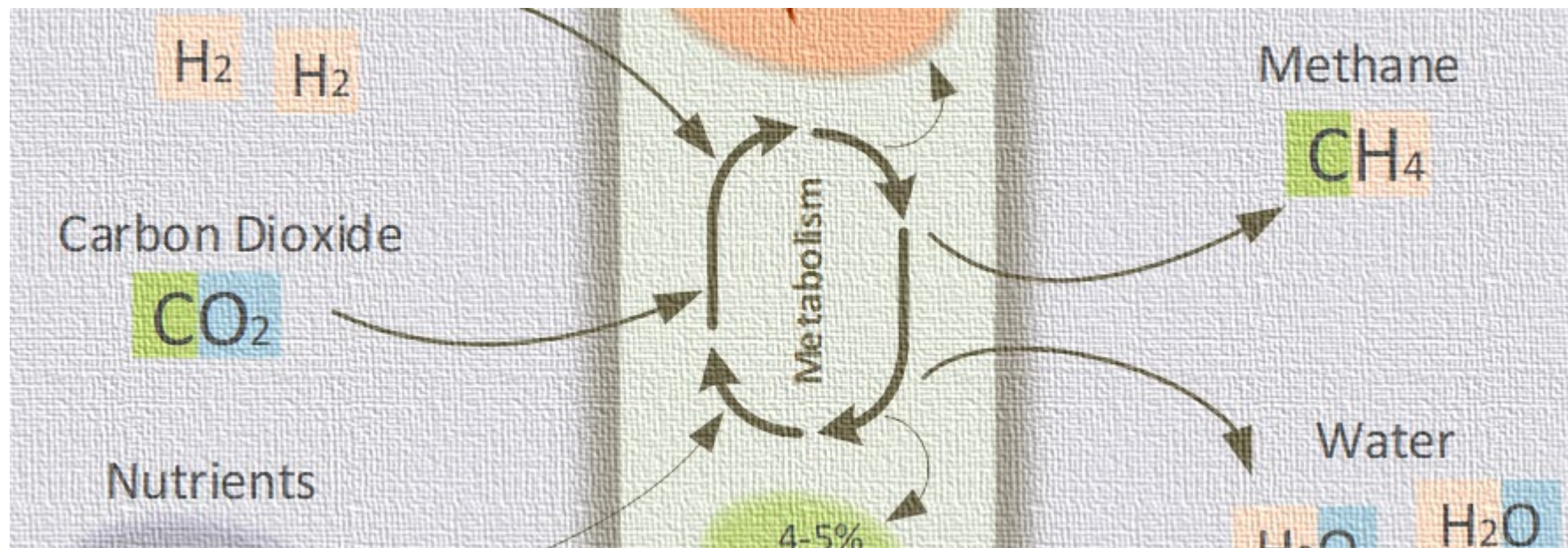


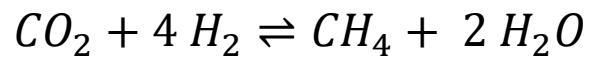
“Charakterisierung und Optimierung der Ex-situ Biologischen Methanisierung»



Dr. Wolfgang Merkle | wolfgang.merkle@zhaw.ch

Die Mikroorganismen sind bekannt.....

■ Reaktion:



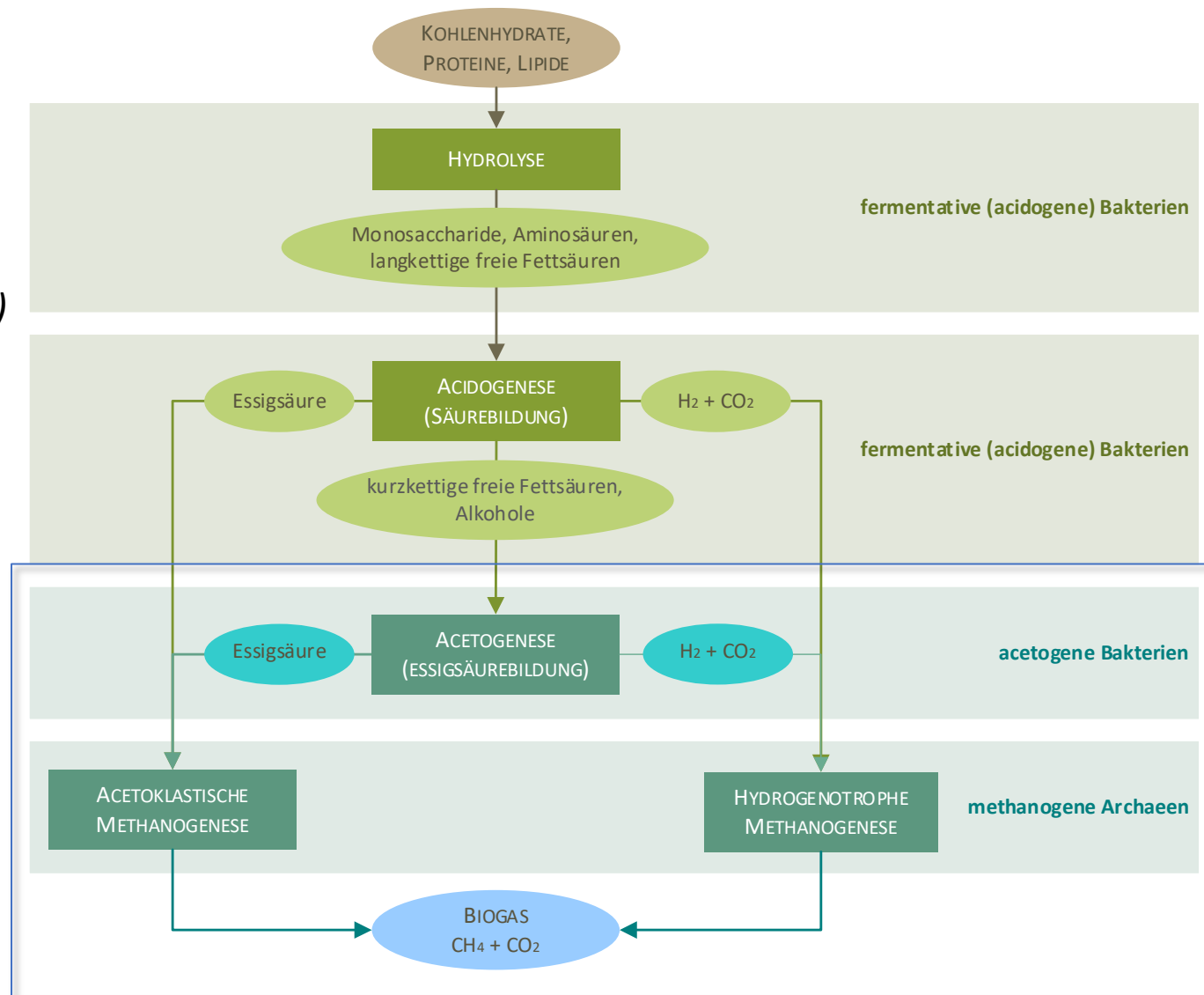
(hydrogenotrophe Methanogenese)

■ Mikroorganismen:

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

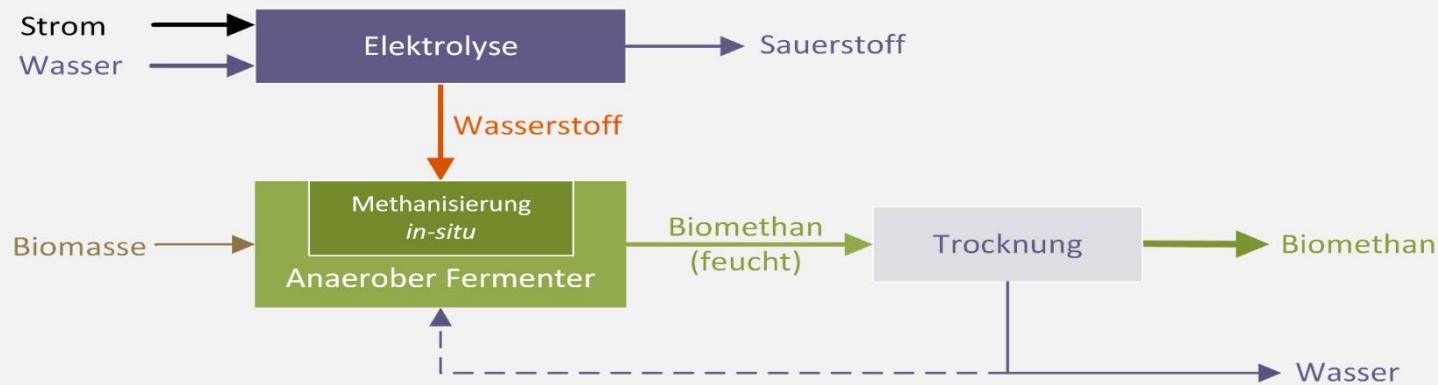
■ Wachstumsbedingungen:

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

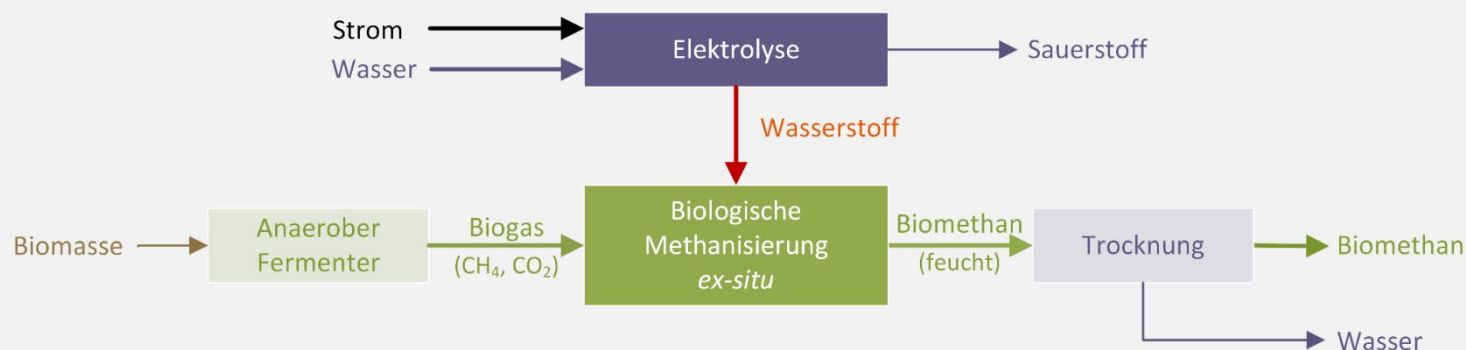


.....aber es gibt immer noch viele Herausforderungen bei der Implementierung dieser Technologie.

In-situ: H₂ direkt in anaeroben Fermenter



Ex-situ: H₂ und CO₂ in separaten Bioreaktor mit Methanogenen



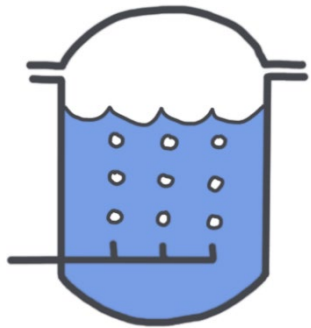
Herausforderungen:

- Stofftransportlimitierung und optimales Dispergierung von Wasserstoff im Fermenter.
- Begrenzter Stofftransport von H₂ in ausgewiesenen Ex-situ-Bioreaktoren.
- H₂ – CO₂ – CH₄ Gleichgewicht und Effekt auf Mikroorganismen.
- Optimale Wachstumsbedingungen für «Rein»- und Mischkulturen von Archaeen.

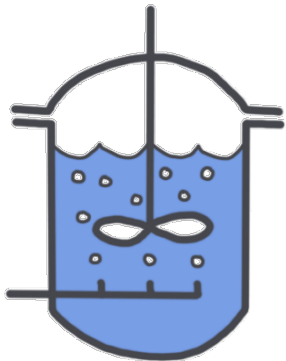
⇒ **Gibt es eine Obergrenze für CH₄ im Biogas aus In-situ-/Ex-situ Biomethanisierung?**

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

Reaktorsysteme für die Biologische Ex-situ Methanisierung

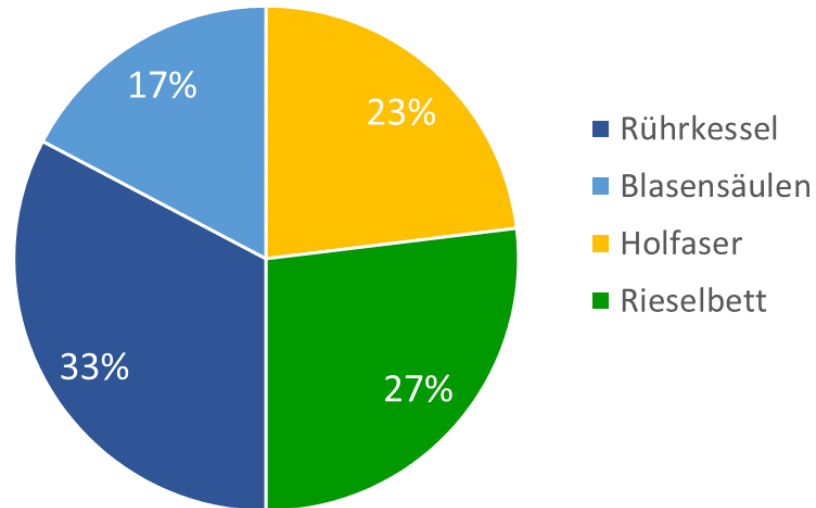


Blasensäulenreaktor

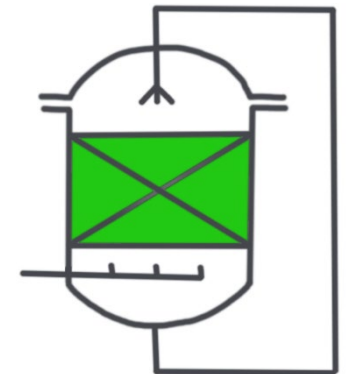


Rührkesselreaktor
(CSTR)

Anzahl Publikationen
mit Angabe der Methanbildungsrate
(1970 - heute)



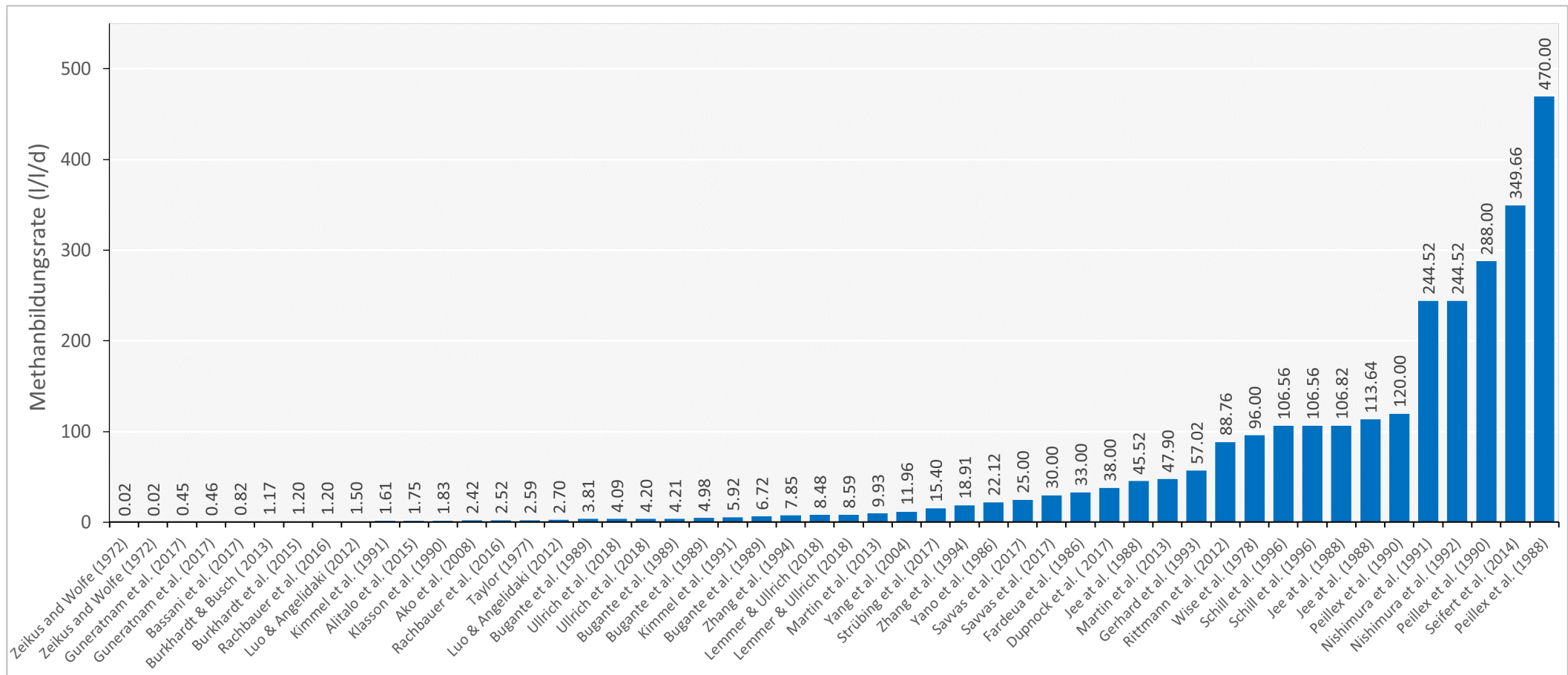
Membranreaktor



Rieselbettreaktor

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

Methanbildungsraten von 0.02 – 470 L CH₄ / L Reaktorvolumen / Tag wurden veröffentlicht.



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

Methanbildungsrate

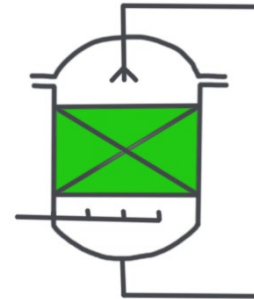
$$P_{CH_4} = \frac{\dot{V}_{CH_4}}{V_R} \quad (vvd)$$

$$V_R = V_{Arbeitsvol.}$$



$$V_R = V_{Flüssigkeitsvol.,eff}$$

$$V_R = V_{Rieselbettvol.}$$



$$V_R \gg V_{Flüssigkeitsvol.,eff}$$

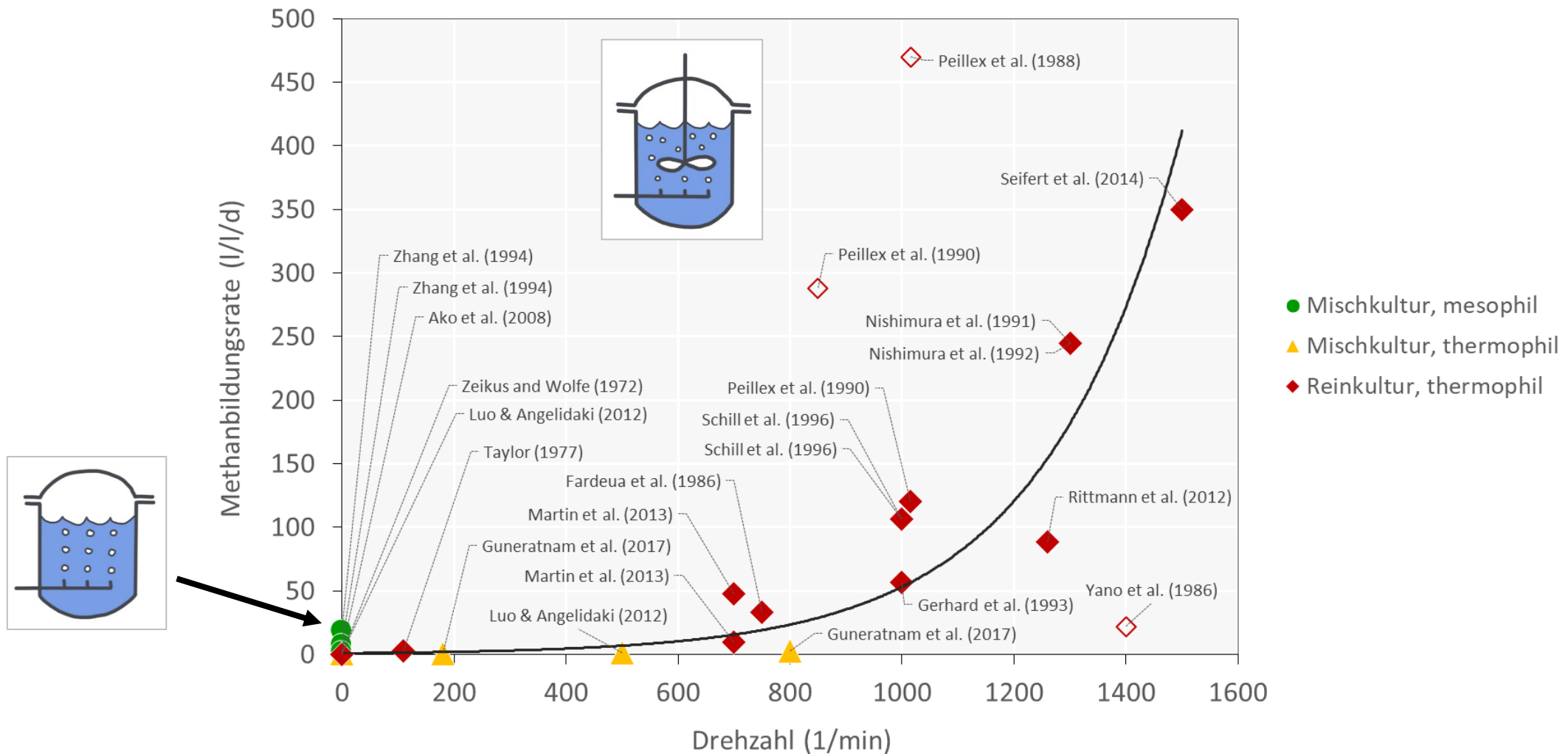
➤ Lösung: Bezug auf aktive Spezies

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

- 😊 Vergleichbarkeit der Methanbildung
- 😊 Einfacher Upscaling-Parameter
- 😞 bis heute sehr dünne Datenbasis

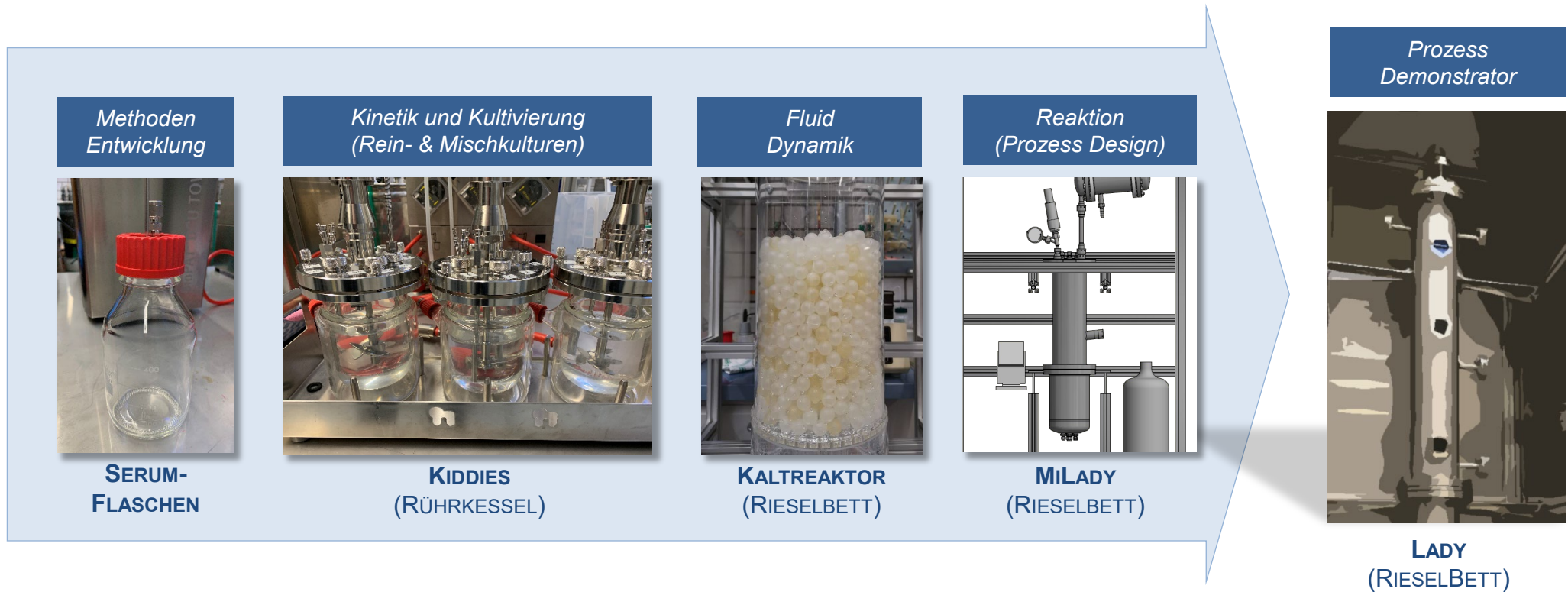
2. Herausforderung: H₂ –Massentransfer limitiert oft den hohen Stoffwechsel der Archaeen

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



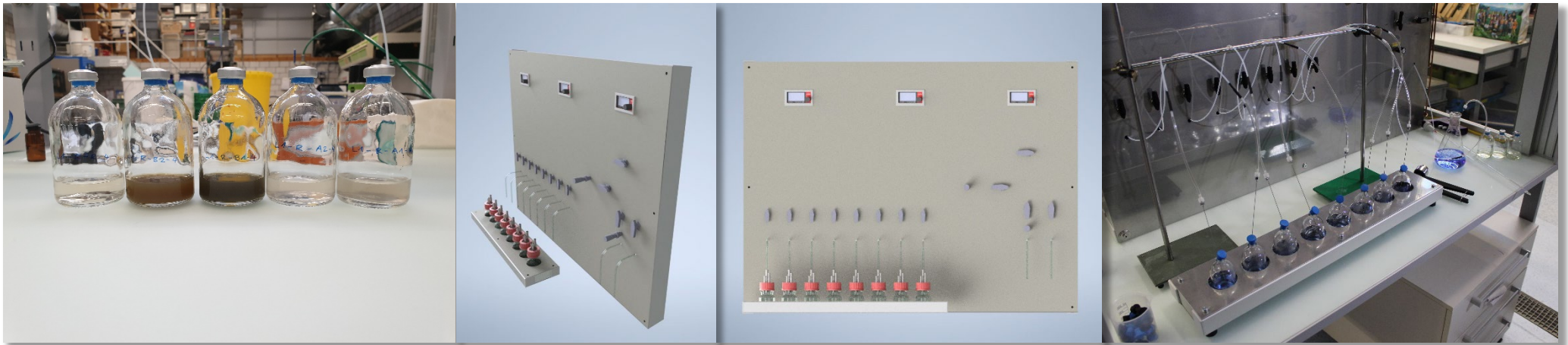
ZHAW Projekt “CarbonATE” befasst sich mit diesen Herausforderungen - mikrobieller Metabolismus und Referenz sowie H₂-Stofftransport

- Definition optimaler Prozessbedingungen für Archaeen Misch- & Reinkulturen.
- Charakterisierung von Fluidodynamik und H₂-Stofftransport.
- Demonstration in MiLADY/LADY (Laboratory Unit for Demonstration of Microbial Hydrogen Conversion)



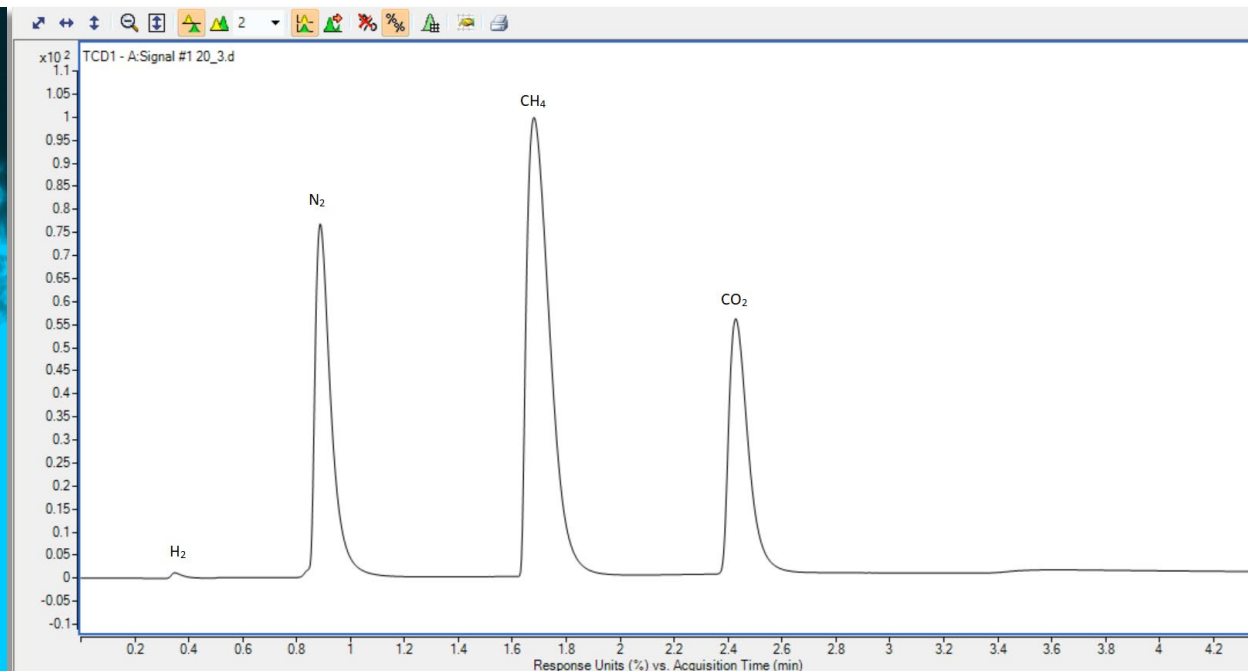
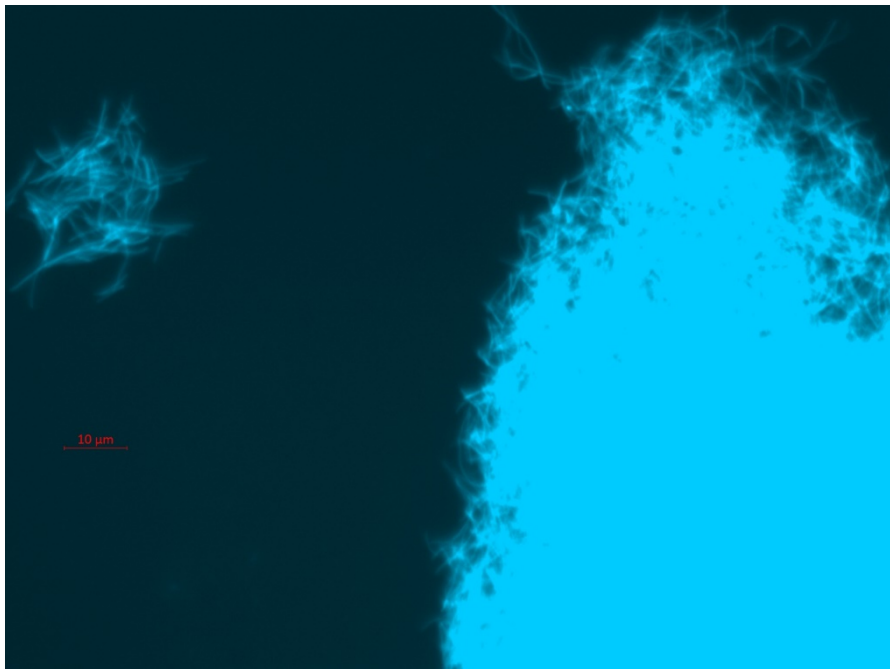
ERA-NET Projekt CarbonATE

- **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

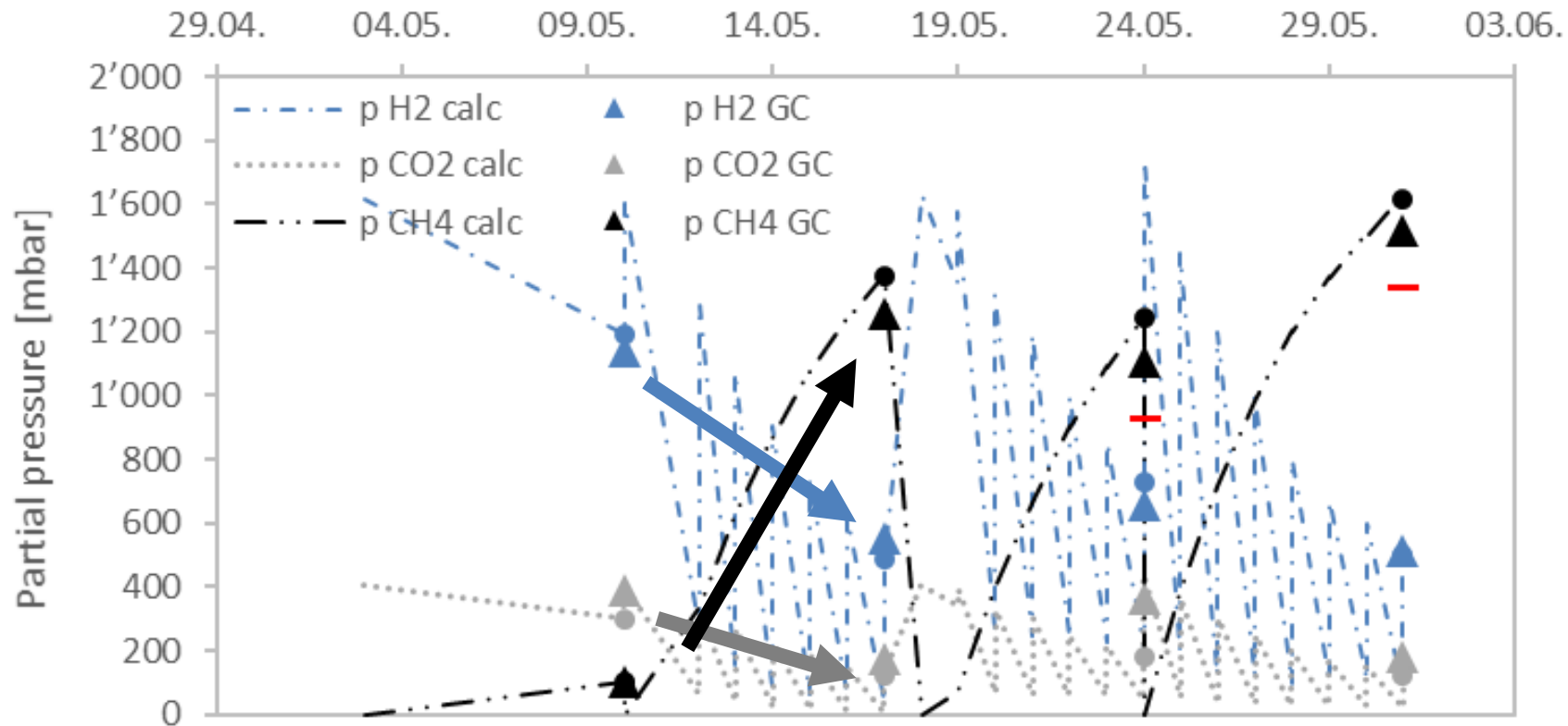
- Bewertungskriterien
 - Gasproduktion (Messung von Druck und Gasqualität)
 - Qualitative Mikroskopie
 - Optische Dichte (wird heute nicht vorgestellt)
 - Populationsanalyse (wird heute nicht vorgestellt)



ERA-NET Projekt CarbonATE

■ Vorläufige Ergebnisse Serum-Flaschen

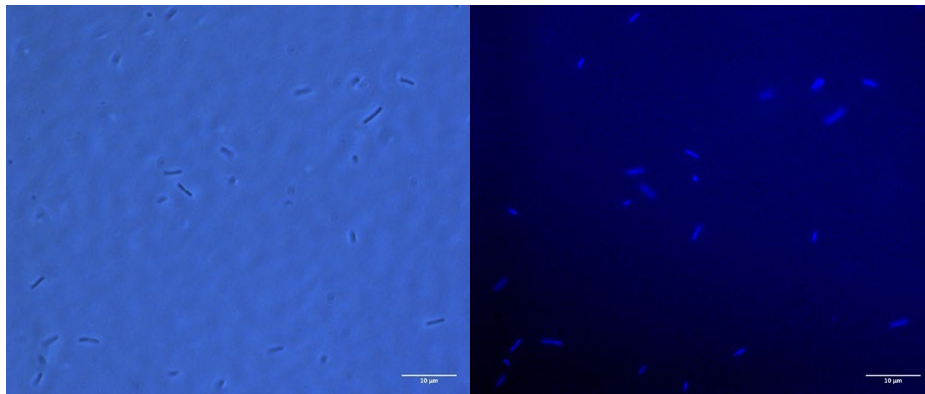
- Methanproduktion konnte in fast allen Kolben beobachtet werden
- Beispiel: ARA1-Flasche 3



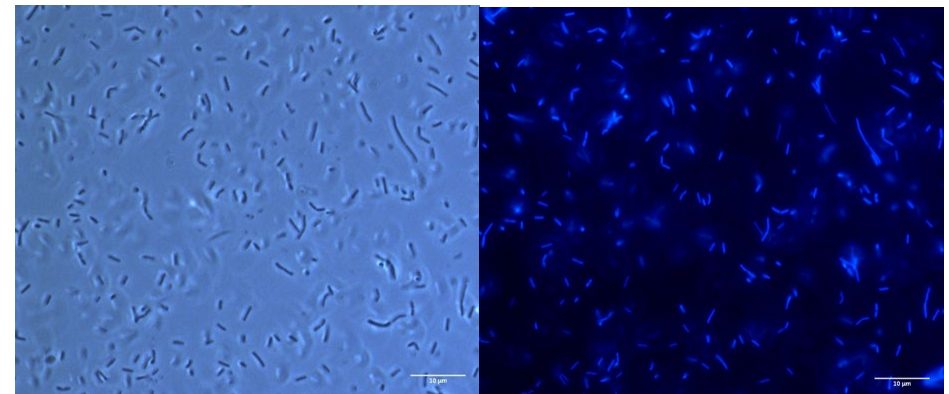
ERA-NET Projekt CarbonATE

■ Ergebnisse Serum-Flaschen

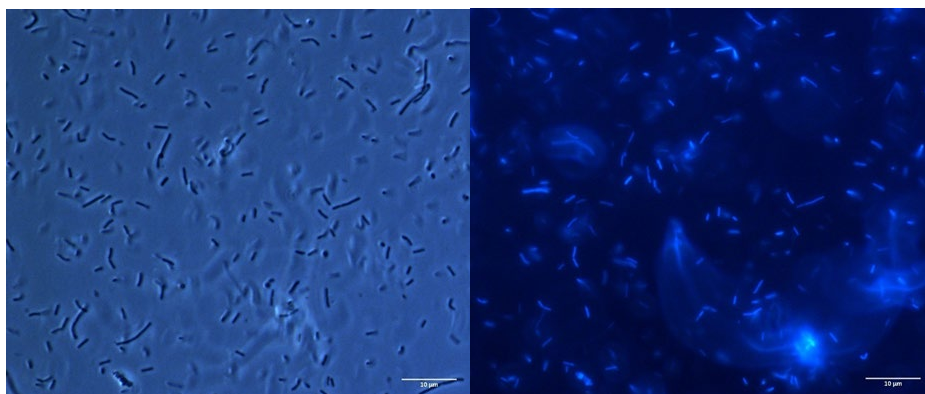
- Methanproduktion konnte in fast allen Kolben beobachtet werden
- Unterschiede in Fluoreszenz erkennbar (Beispiel: ARA1)



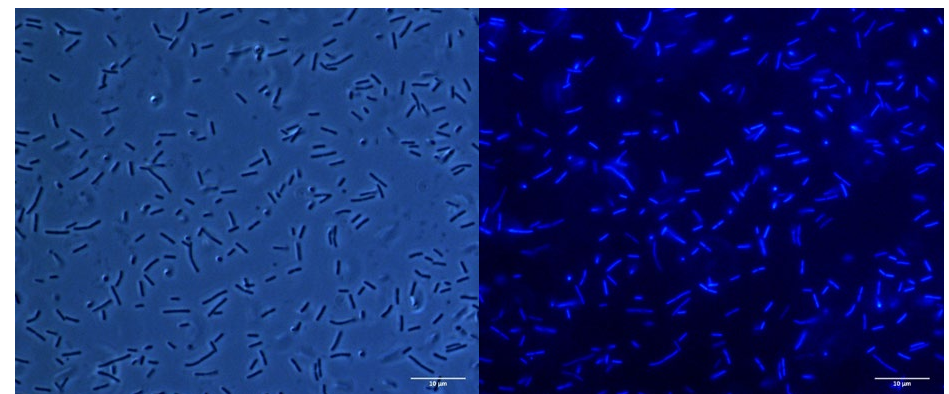
M1



M2



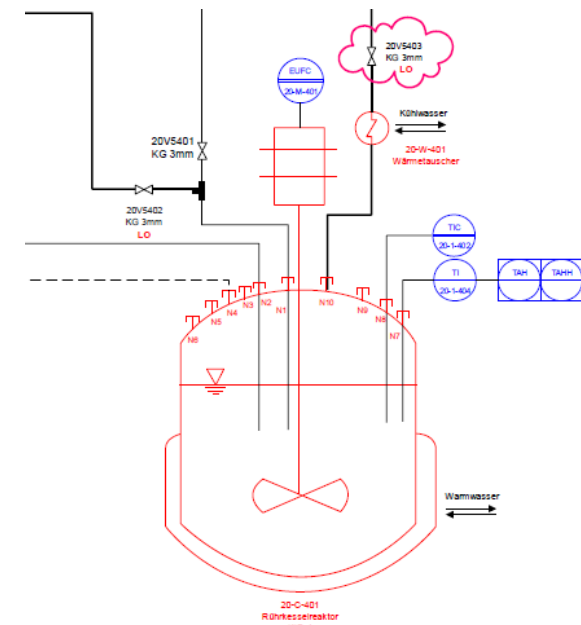
M3



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)

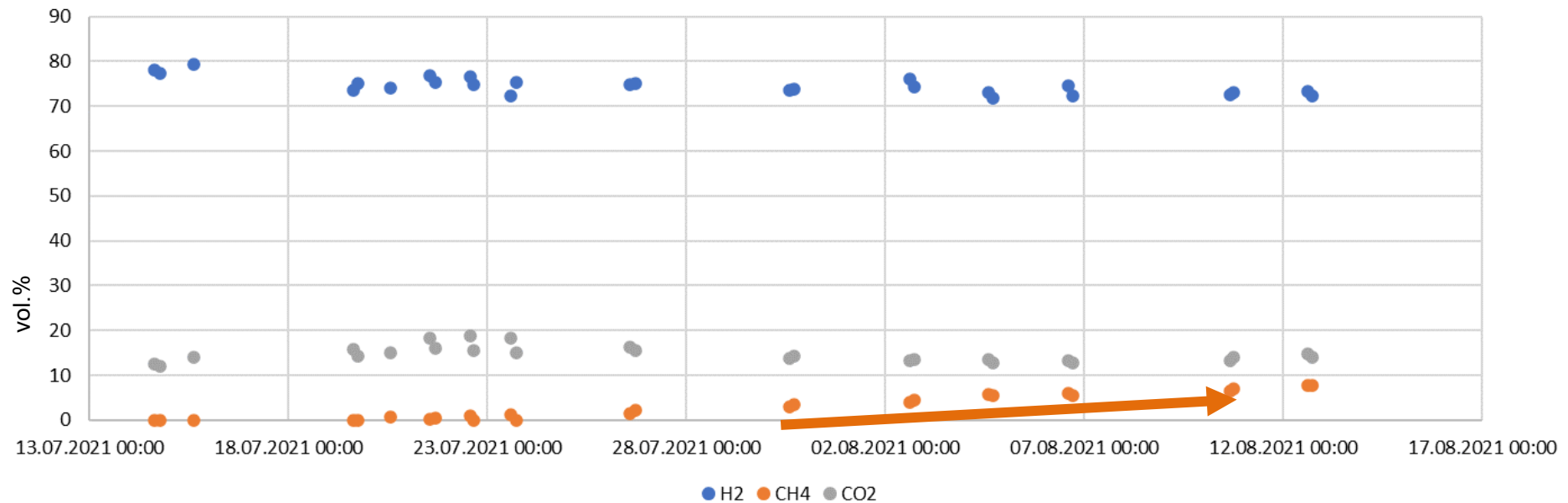


ERA-NET Projekt CarbonATE

■ Vorläufige Ergebnisse KIDDIES (CSTRs)

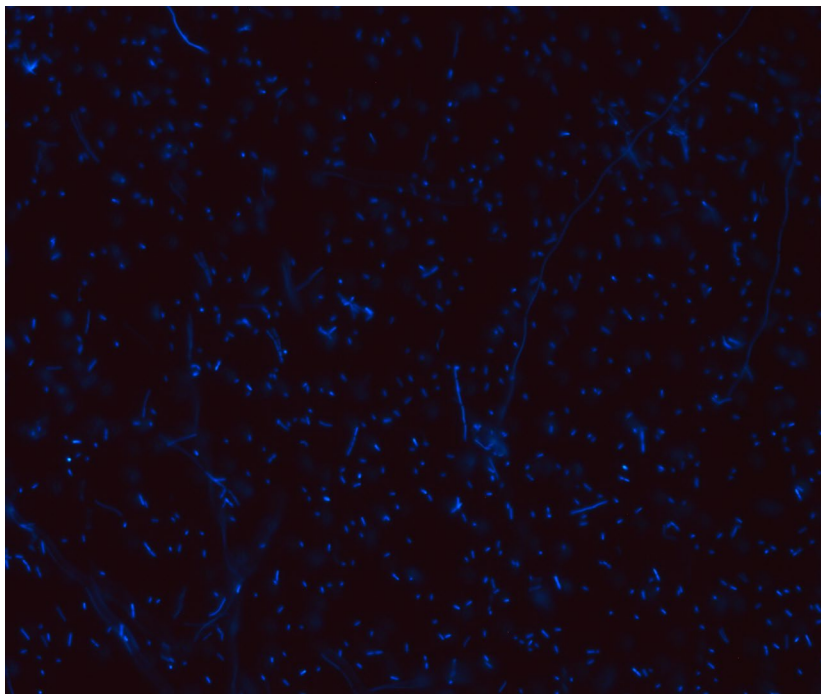
■ Anreicherung aus Mischkultur

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

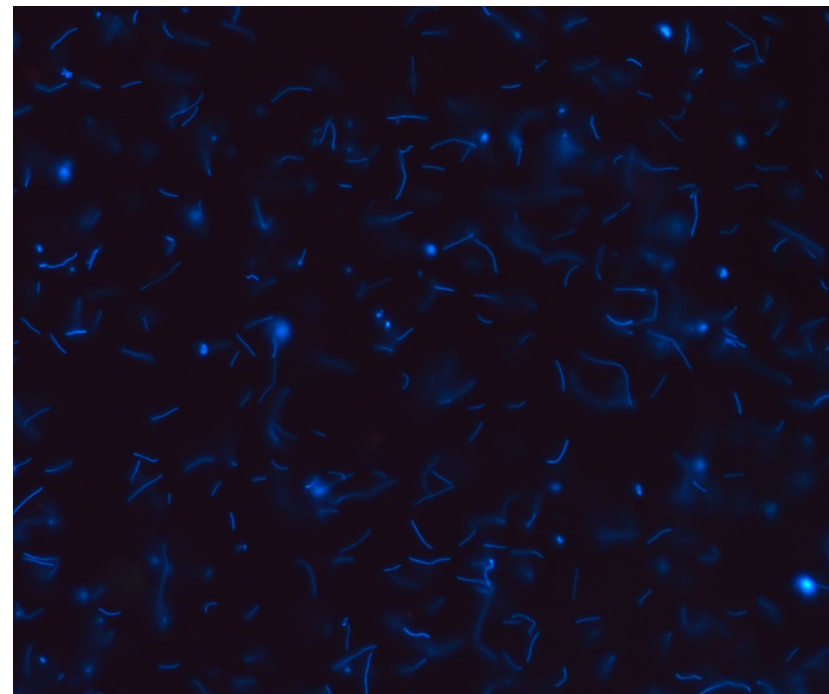


ERA-NET Projekt CarbonATE

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



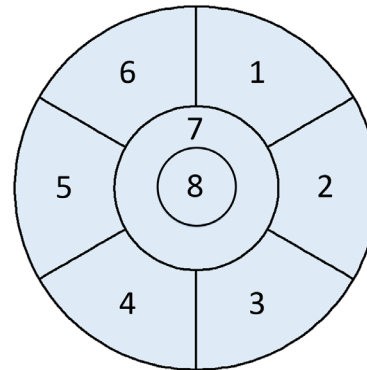
ARA



BGA

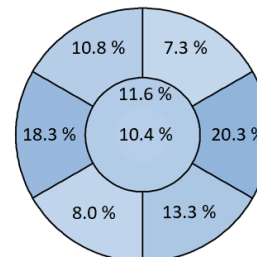
ERA-NET Projekt CarbonATE

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



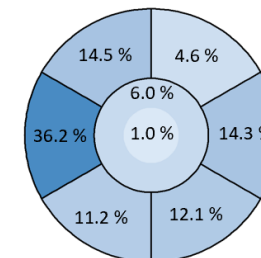
Sektor	Fläche [mm ²]
1-6	4'959
7	4'976
8	1'521
Total	36'253

V1 S1 M1 [Mf 0.130]



Flussrate: 500 mL/min

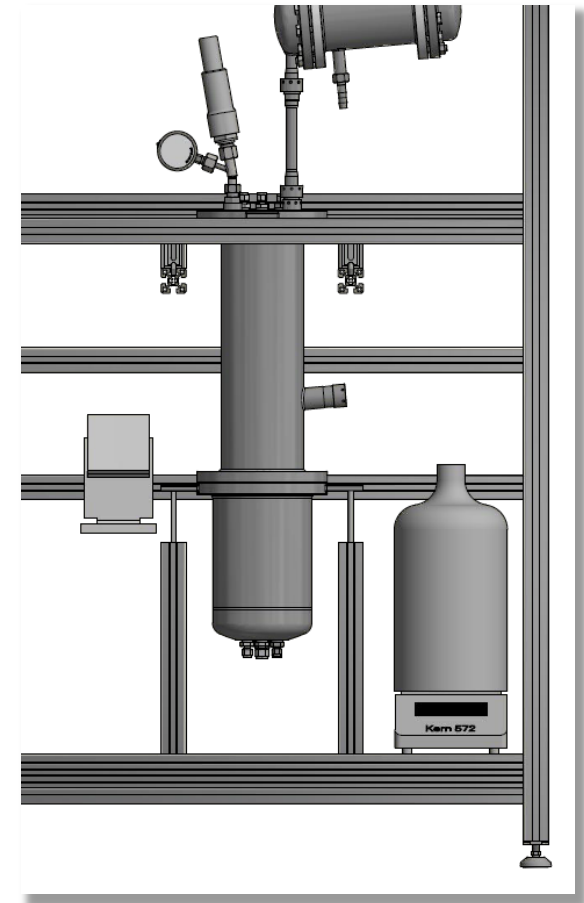
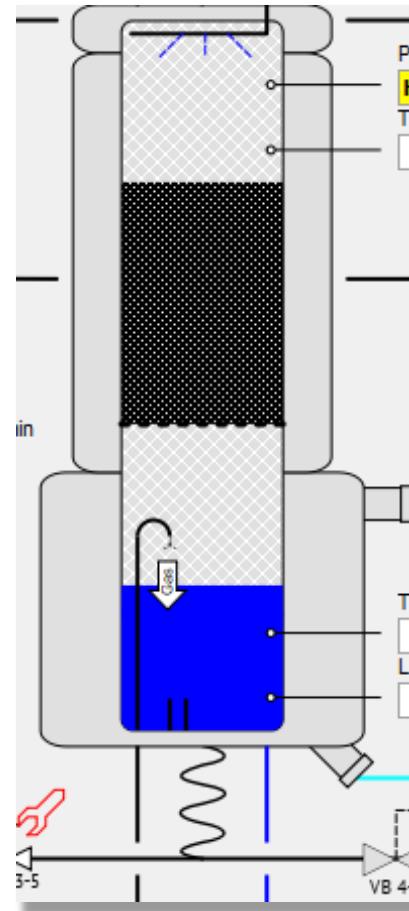
V1 S1 M6 [Mf 0.304]



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)



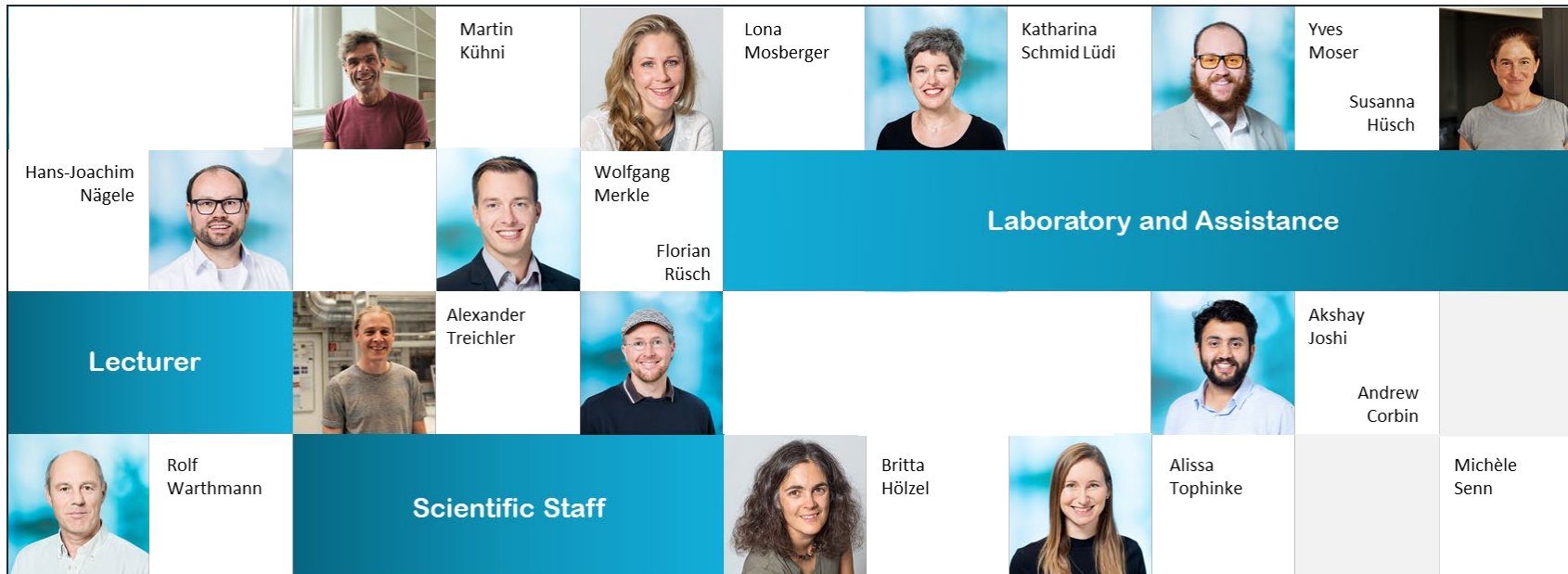
Schlussfolgerung und Ausblick

- 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/lsfm/institute-zentren/icbt/umweltbiotechnologie/>

oder wolfgang.merkle@zhaw.ch