

---

# KLÄRSCHLAMMBEHANDLUNG DURCH ANAEROBE VORVERSÄUERUNG UND MIKROBIELLE BRENNSTOFFZELLE

## MFC4SLUDGE

---



Klaus Brüderle, M.Sc.

1. Hammer Bioenergietage

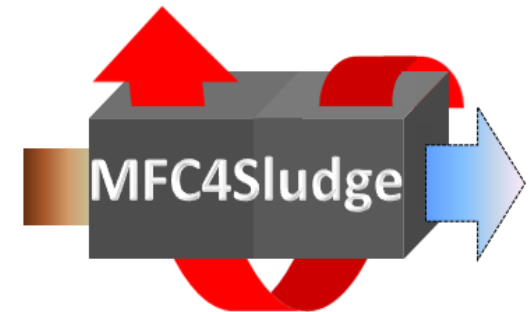
21.07.2015

# Inhalt

- Einleitung: Projekt MFC4Sludge
  - Projektbeschreibung
  - Beteiligte Partner
- Ergebnisse der Prozessentwicklung
  - Partielle anaerobe Vergärung
  - MFC Entwicklung
  - Pilotanlage am Standort in Spanien
- Zusammenfassung
- Ausblick

# Projektbeschreibung

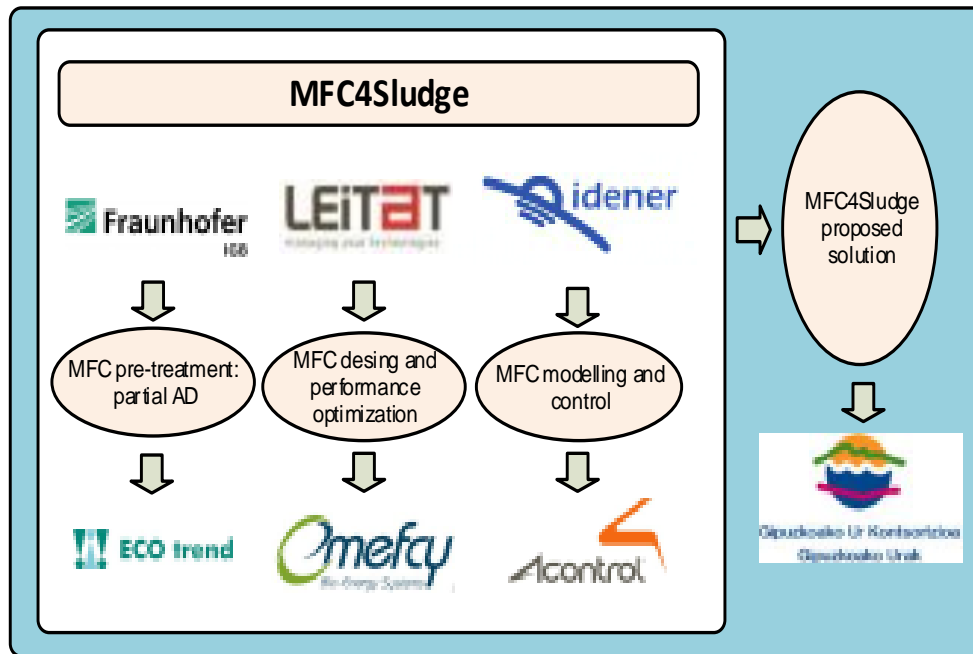
- EU Projekt: FP7 – Forschung zu Gunsten von KMU
- Projektdauer: 1. August 2013 bis 31. Juli 2015
- Totales Budget: 1.495.520 €
- EU: 1.137.343 €
- Website: [www.mfc4sludge.eu](http://www.mfc4sludge.eu)



# Projektkonsortium

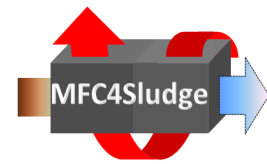


## ■ 3 FuE



## ■ Gipuzkoako Urak, Spanien

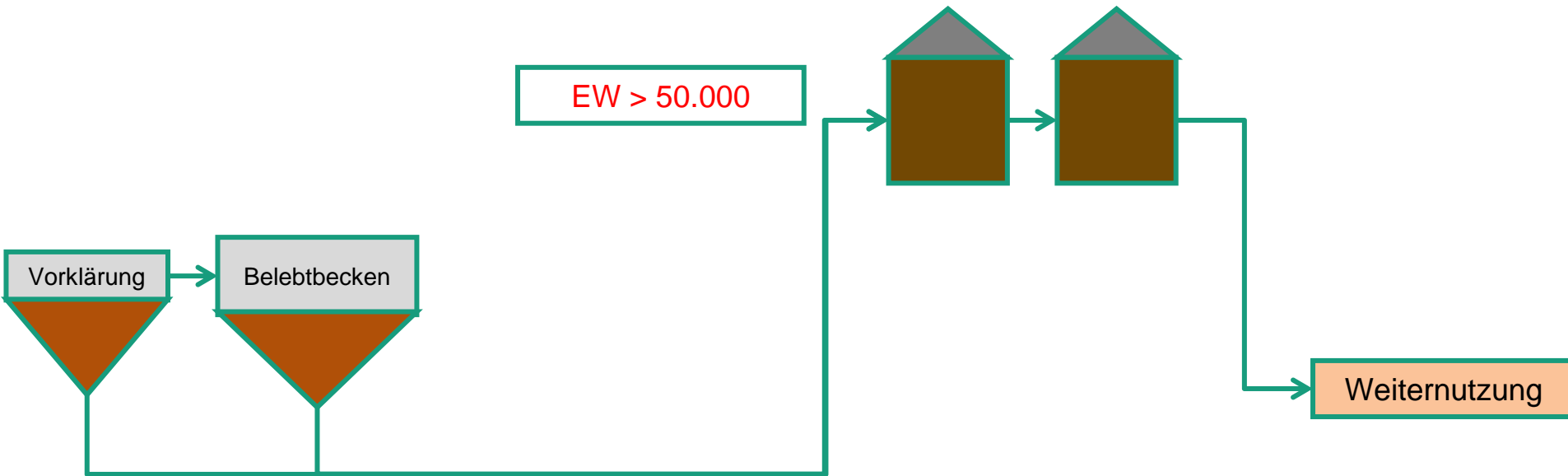
# Projektbeschreibung



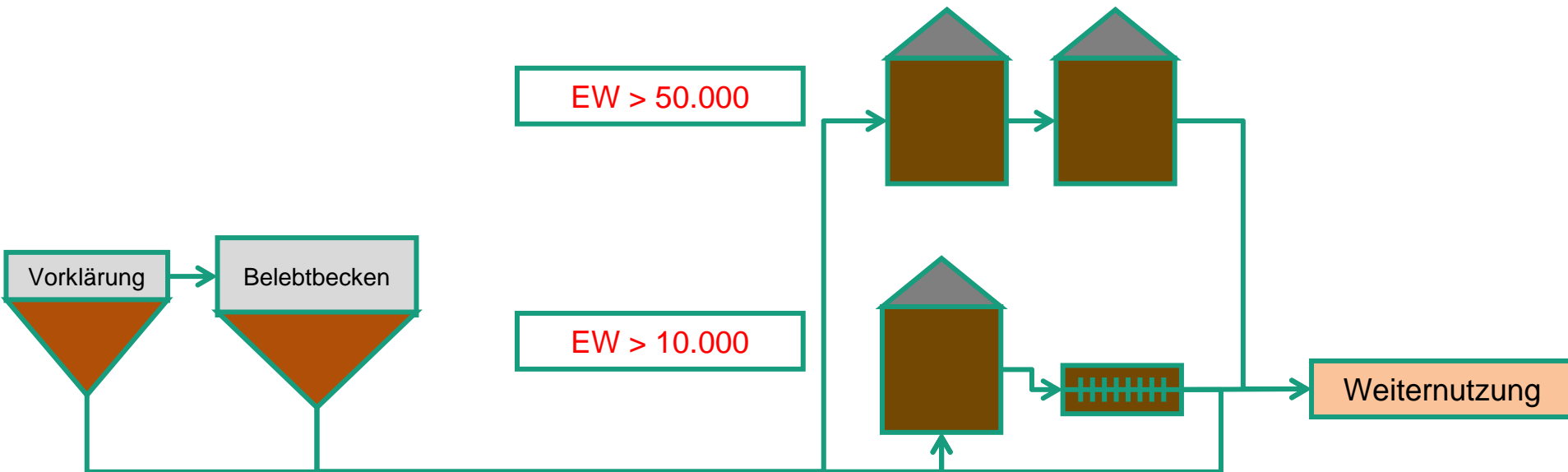
- Problemstellung
  - Hohe Kosten durch Klärschlamm Entsorgung
  - Hoher energetischer Aufwand für Klärschlamm Entsorgung
  - Biogas nur für größere Kläranlagen wirtschaftlich



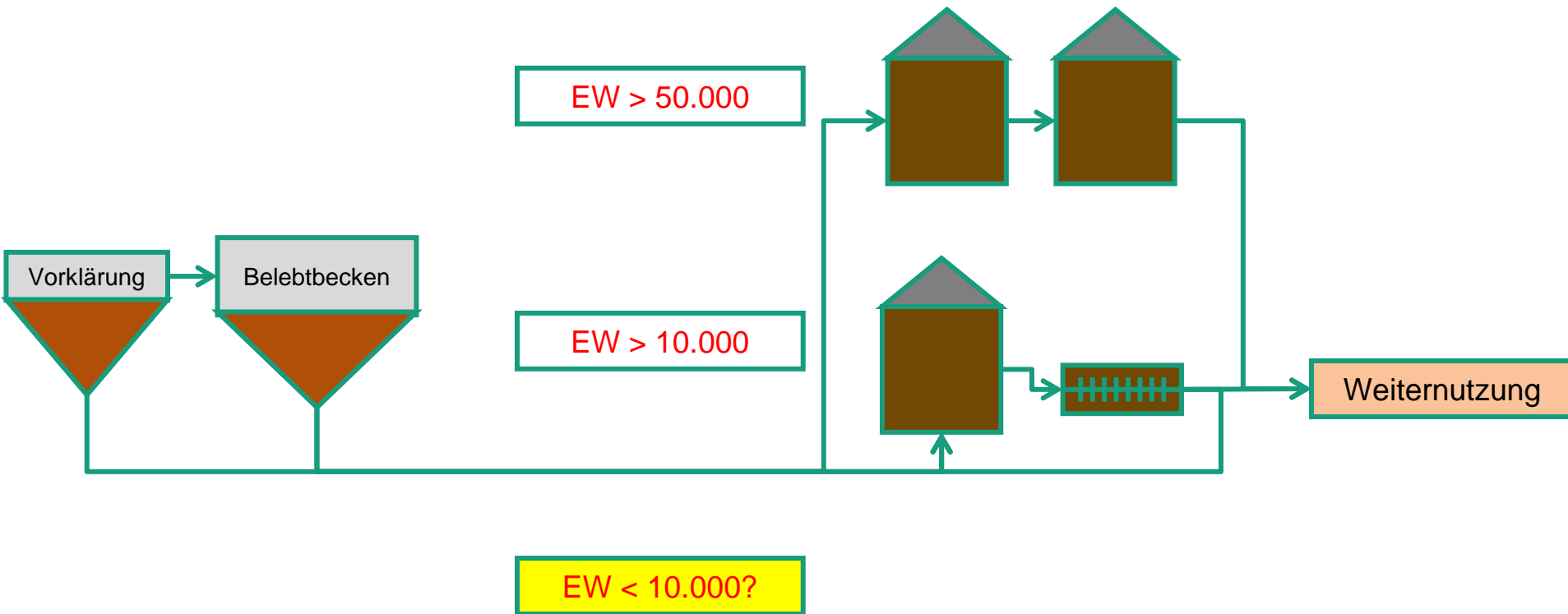
# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



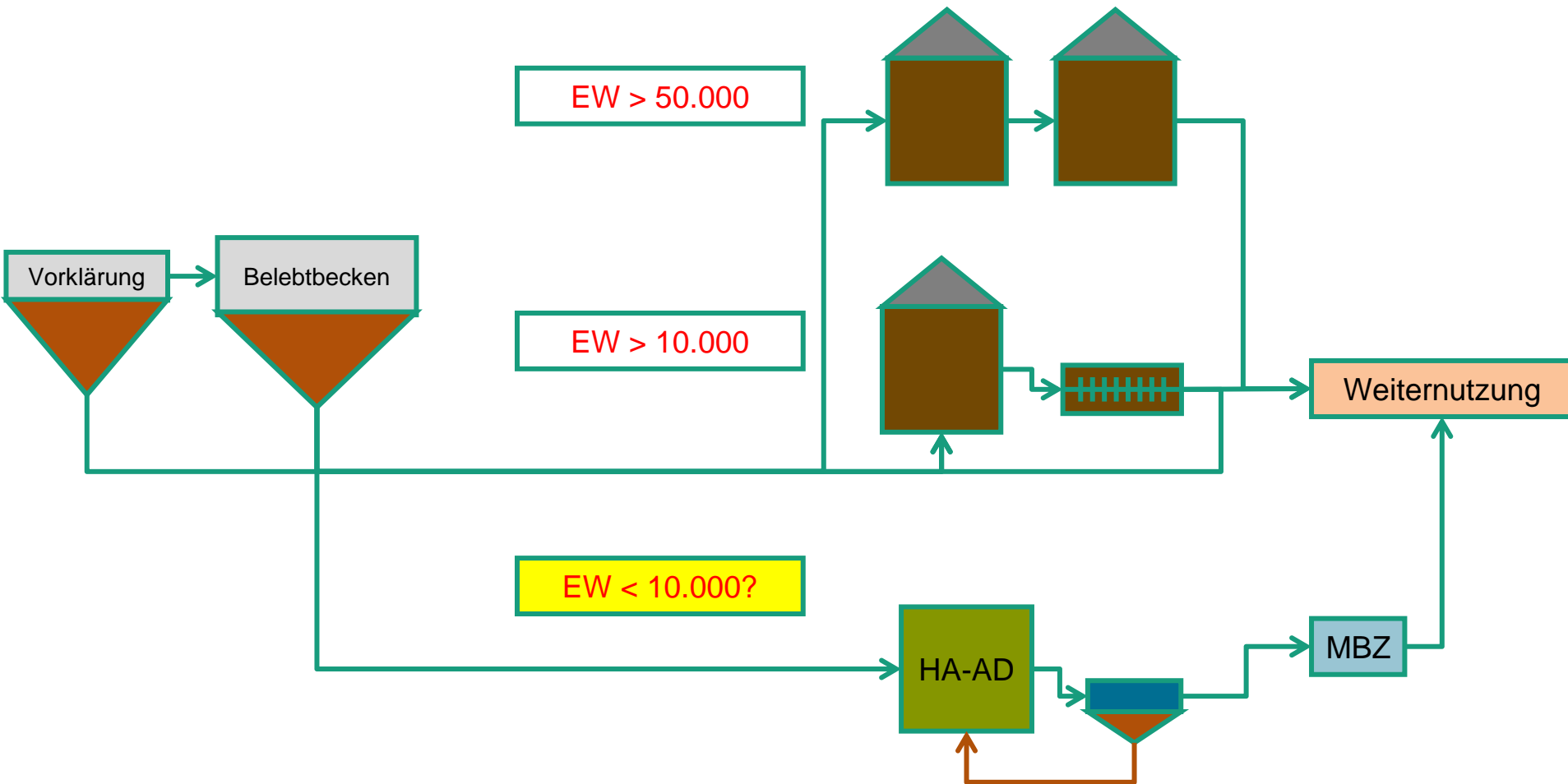


# Projektbeschreibung



- Problemstellung
  - Hohe Kosten durch Klärschlammentsorgung
  - Biogas nur für größere Kläranlagen wirtschaftlich
  
- Projektkonzept:
  - Innovative Überschuss- und Primärschlammaufbereitung
  - Verbindung einer partiellen anaeroben Vergärung mit einer mikrobiellen Brennstoffzelle (MBZ) zur Stromerzeugung
  - Reduktion des Schlammvolumens

# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



## ■ Zielsetzung

| Prozess                                           | Zielsetzung                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anaerobe Vergärung                                | Reduzierung der HRT auf maximal 7 Tage                                                                             |
| „Hydrolytic-acidogenic-anaerobic-digestion“ HA-AD | Prozesstemperatur unter 30° C                                                                                      |
|                                                   | Vermeidung von Methanentwicklung und Produktion von organischen Fettsäuren                                         |
| MBZ                                               | Leistungsziel der Zelle von minimal 250 W/m <sup>2</sup>                                                           |
|                                                   | Entwicklung eines neuartigen Zellaufbaus und Steigerung des Elektrodenoberfläche zu Volumen- Verhältnisses um 20 % |

# Projektbeschreibung

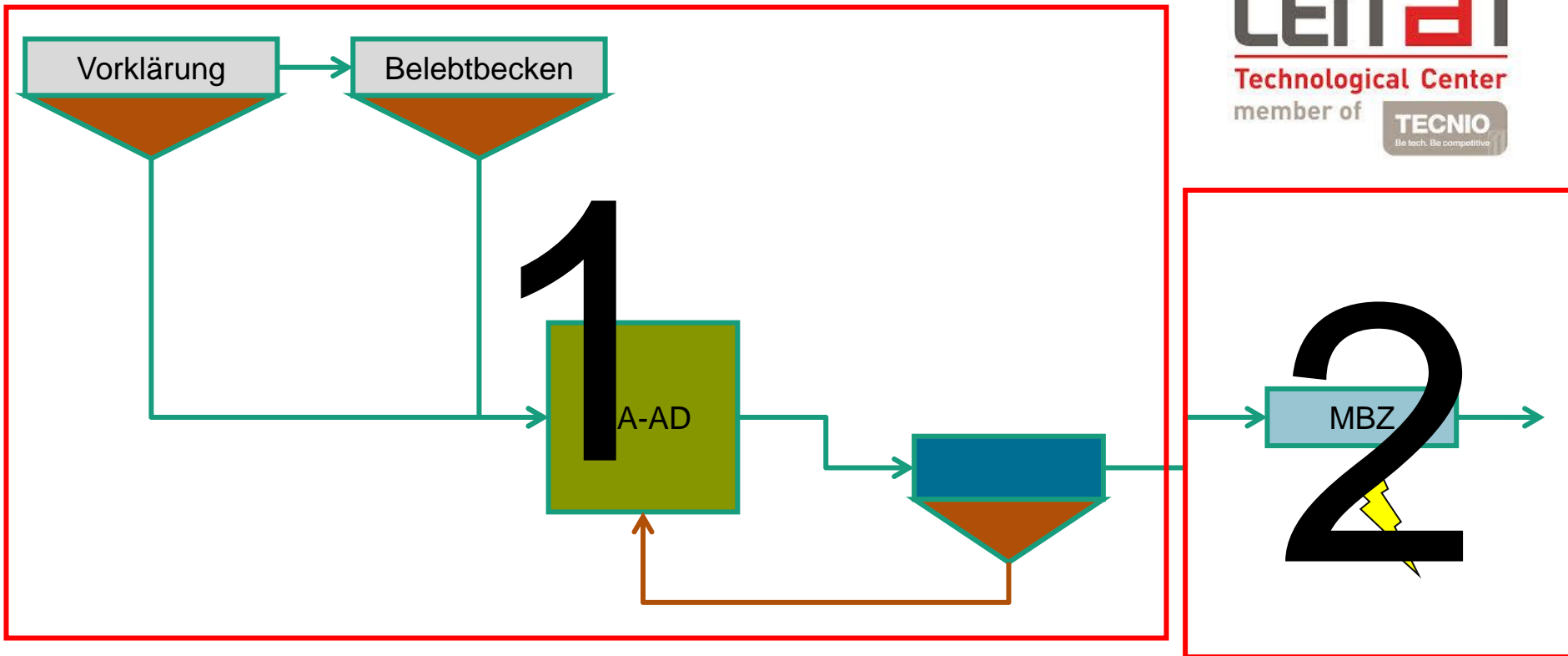


## ■ Weitere Projektziele

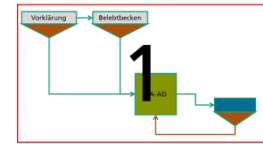
| Prozess           | Zielsetzung                                                       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Kontrollstrategie | Modellierung HA-AD und MBZ                                        |
|                   | Kombiniertes Modell                                               |
| Scale-Up          | Entwicklung von Labor- und Pilotanlagen                           |
|                   | CSB-Reduktion um 90 % sowie Reduktion des Schlammvolumens um 75 % |



# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



# Partielle anaerobe Vergärung - Labormaßstab

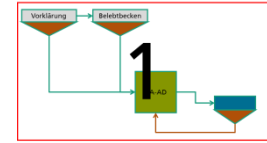
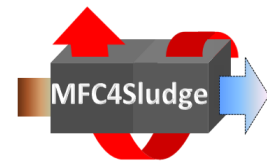


## ■ HA-AD

- Maximierung des Gehalts organischen Fettsäuren (Acetat)
- Hemmung der Biogasproduktion
- Vermeidung von Methanbildung
- pH unter 6.0

| HA-AV                    |                      |                               |
|--------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Hydraulische Verweilzeit | [d]                  | 8; 6; 4,5; 3                  |
| Temperatur               | [°C]                 | 25 - 30                       |
| Reaktorvolumen           | [L]                  | 1                             |
| Inokulum                 |                      | Ausgegaster Schlamm einer BGA |
| Feststoffanteil TS       | [g L <sup>-1</sup> ] | 15 - 40                       |

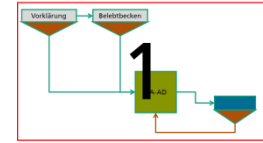
# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



## ■ Inokulierung

- Adaptation der Organismen nach 14 Tagen größtenteils abgeschlossen
- Wenig bis keine Methanbildung
- pH unter 6,0 ohne aktiven Eingriff
  
- Inokulum aus Hydrolyse-Stufe einer Obst und Gemüsevergärung ist fehlgeschlagen
- Inokulierung mit Primärschlamm hat gute Ergebnisse erzielt

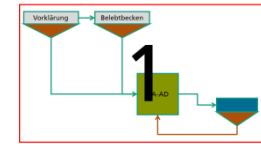
# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



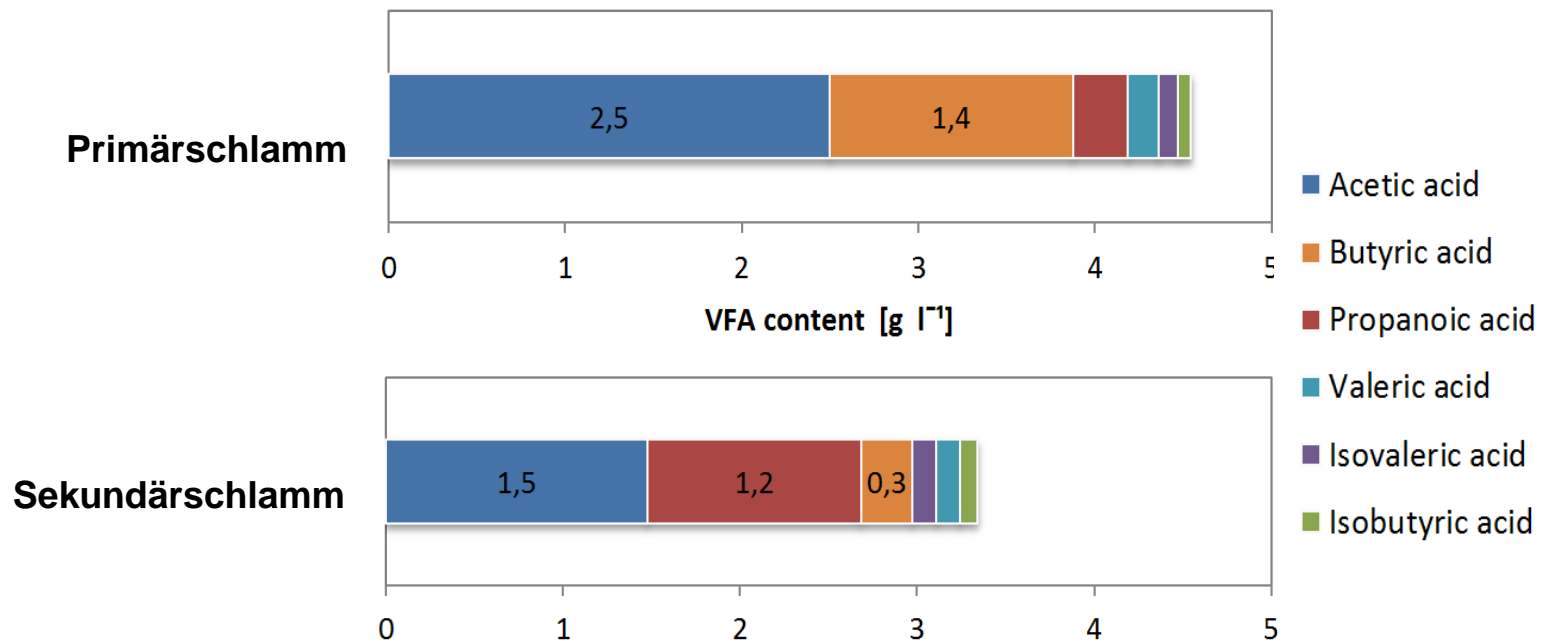
- Biogasproduktion wurde fast vollständig eingestellt
  - 0,0003 NL kg<sup>-1</sup> oTR<sup>-1</sup>
  - Methangehalt < 15 %
- COD
  - In Flüssigphase nach HA-AD 10.000 g/L
  - Erhöhung um bis zu 40 %
- TS ≈ 20 g/L und oTS-Abbau bei 40-50%
- VFA
  - Höchste VFA Produktion bei HRT von 4,5 d
- pH
  - 4,8 – 5.4



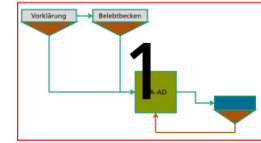
# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse



- Gehalt an Fettsäure in Flüssigphase
  - Höchster Gehalt an VFAs: 4,6 g/L bei Rohschlammvergärung

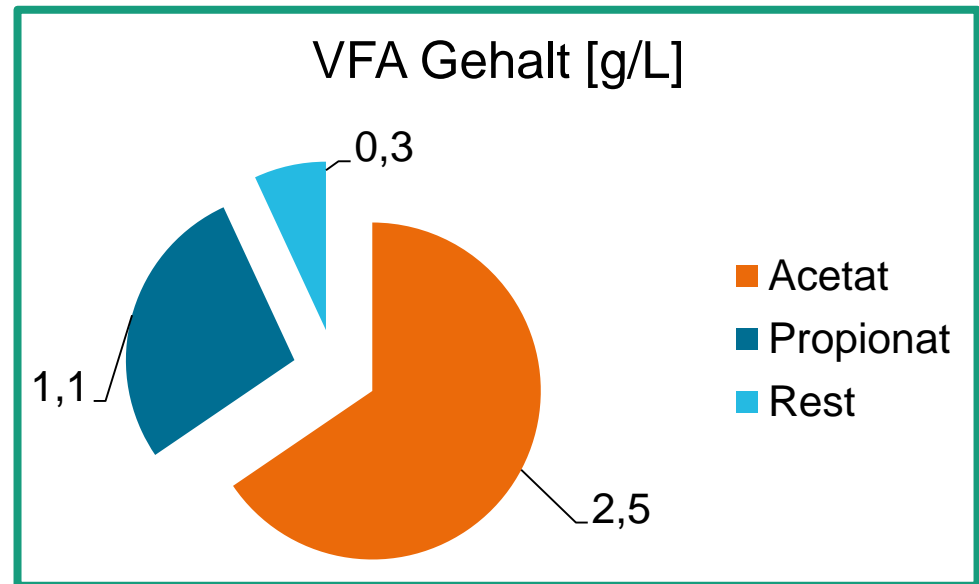


# Partielle anaerobe Vergärung - Zusammenfassung

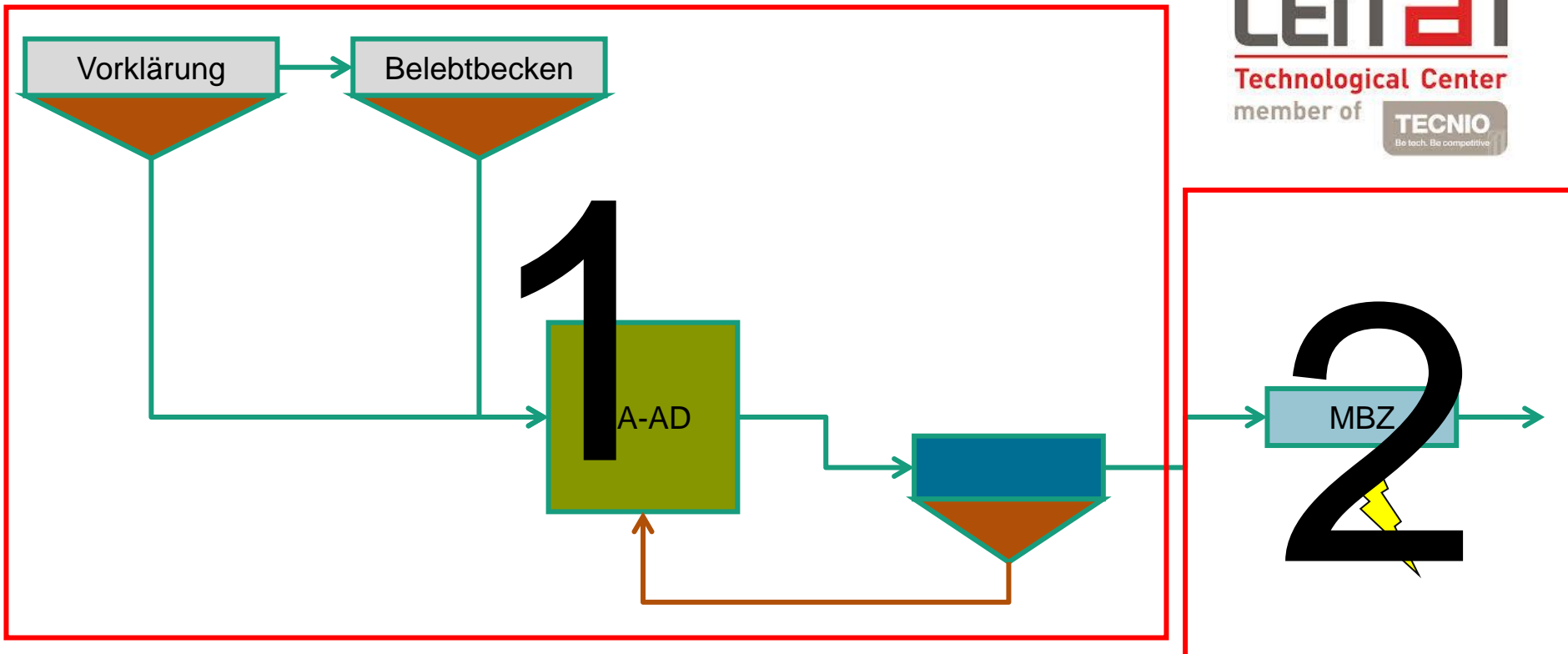


## ■ Gehalt an organischen Fettsäure in Flüssigphase

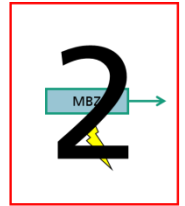
- Höchster Gehalt an VFAs: 3,8 g/L bei Schlammgemisch
  - 75% PriSchl und 25% SekSchl
- oTS 20 g/L
- HRT 4,5
- Über Dauer von 4 Wochen



# Partielle anaerobe Vergärung - Ergebnisse

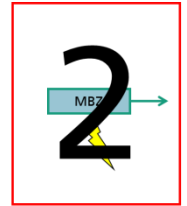


# Mikrobielle Brennstoffzelle- Grundlagen



- Unterschiedliche Bioelektrochemische Systeme
- Positive Effekte in der Abwasserbehandlung durch MBZ
  - Erhöhung Eigenenergieversorgung
  - COD-Abbau durch mikrobielle Brennstoffzelle
  - Potentieller Kostenvorteil
- Aktueller Stand der Technologieentwicklung
  - Pilot- und Demonstrationsprojekte
  - Technologietransfer (Cambrian Innovations, Emefcy)

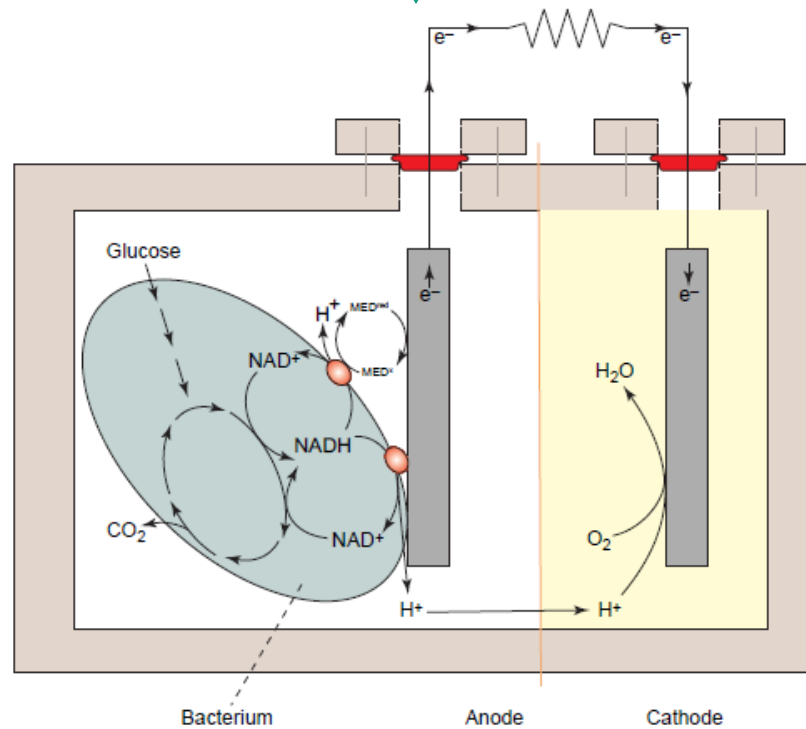
# Mikrobielle Brennstoffzelle- Grundlagen



- Mikroorganismen
  - exoelektrogene Mikroorganismen
  - Definierte Mischkulturen von Emefcy
- Biofilm
  - Ausgeprägter Biofilm begünstigt Substratabbau
- Substrat
  - Biologisch abbaubare organische Verbindungen
  - Geringe Rekalzitranz
  
- **Organische Fettsäuren**

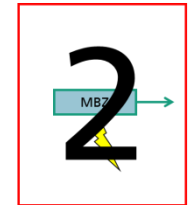
# Mikrobielle Brennstoffzelle - Grundlagen

HA-AD Effluent

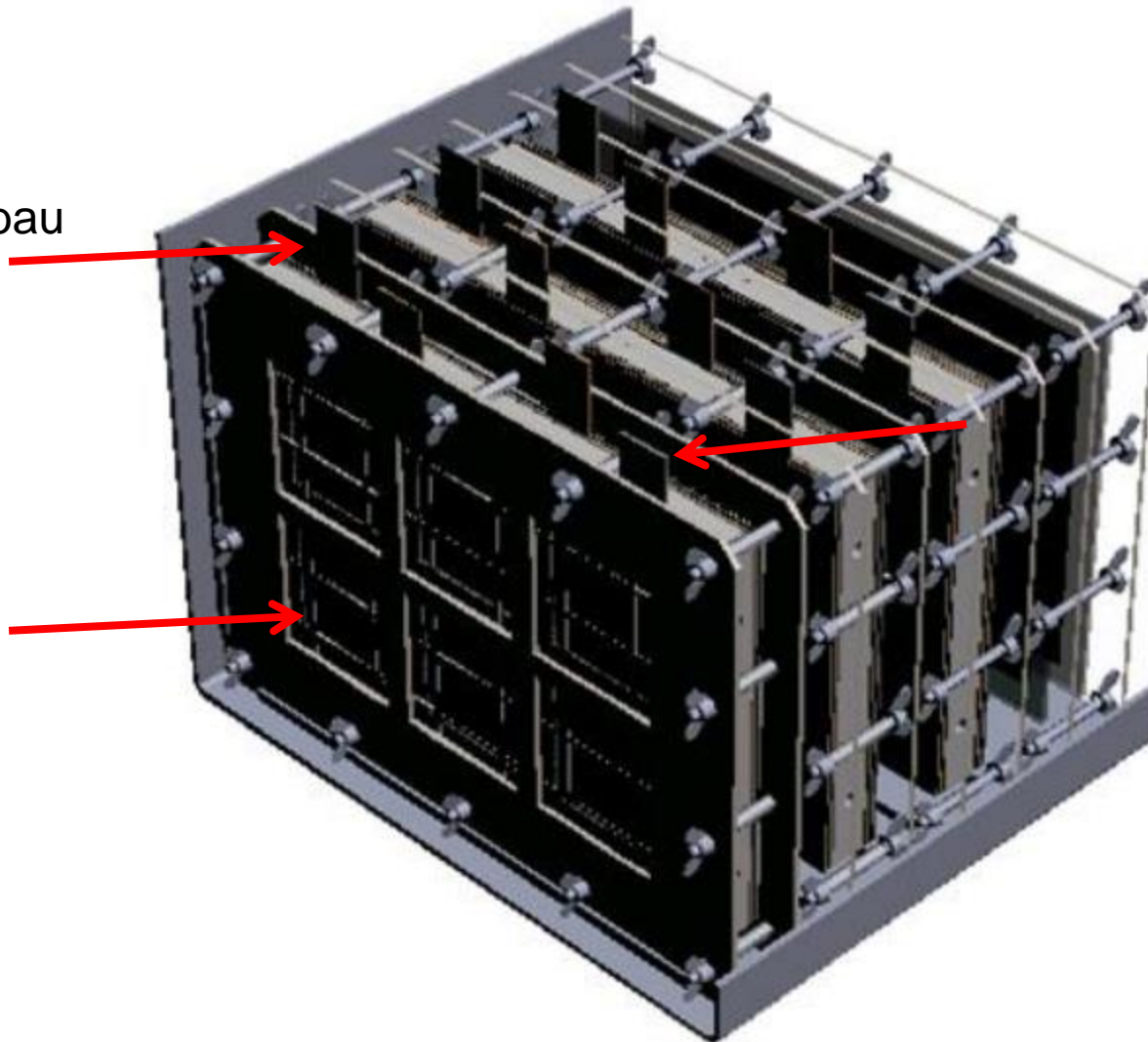


K. Rabaey und W. Verstraete, 2005.

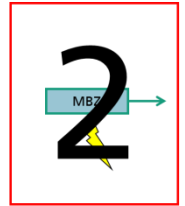
# Mikrobielle Brennstoffzelle- Grundlagen



■ Zellaufbau



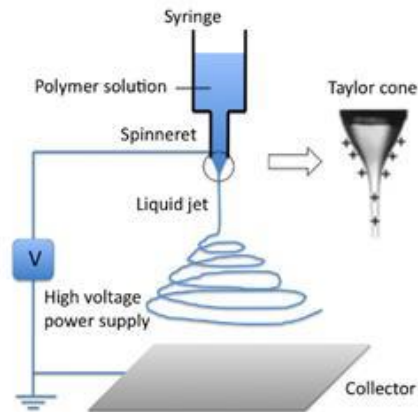
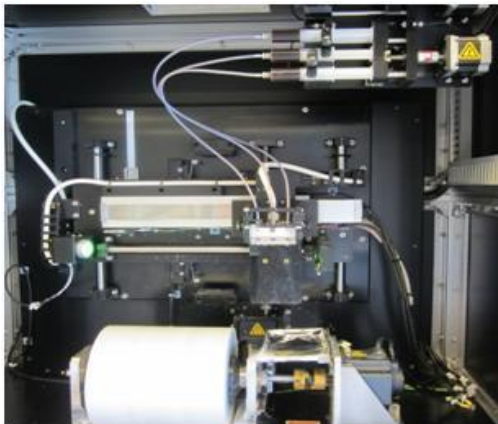
# Mikrobielle Brennstoffzelle- Ergebnisse



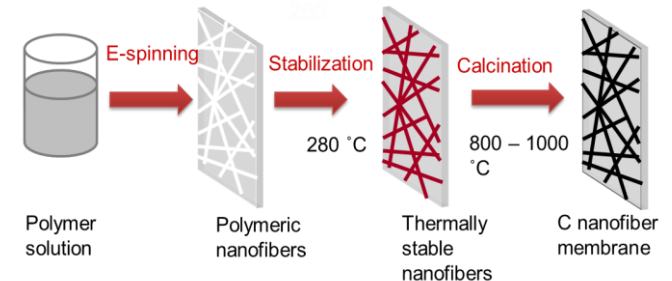
## ENTWICKLUNG EINER NEUEN LUFTKATHODE

Use of metal-doped carbon nanofibers as direct cathode for the MFCs

a) Electrospinning einer Polyacrylonitrillösung und eine einem Percursorsalz (Co, Ni, Fe acetate)

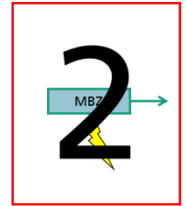


b) Carbonisierungsvorgang

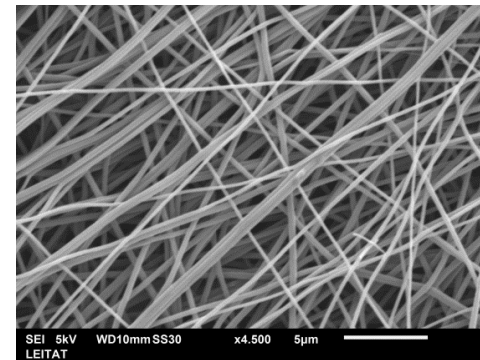
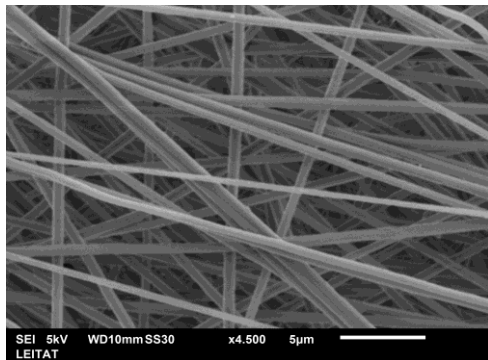




# Mikrobielle Brennstoffzelle- Ergebnisse



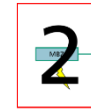
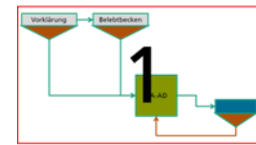
## ■ Produktionsprozess



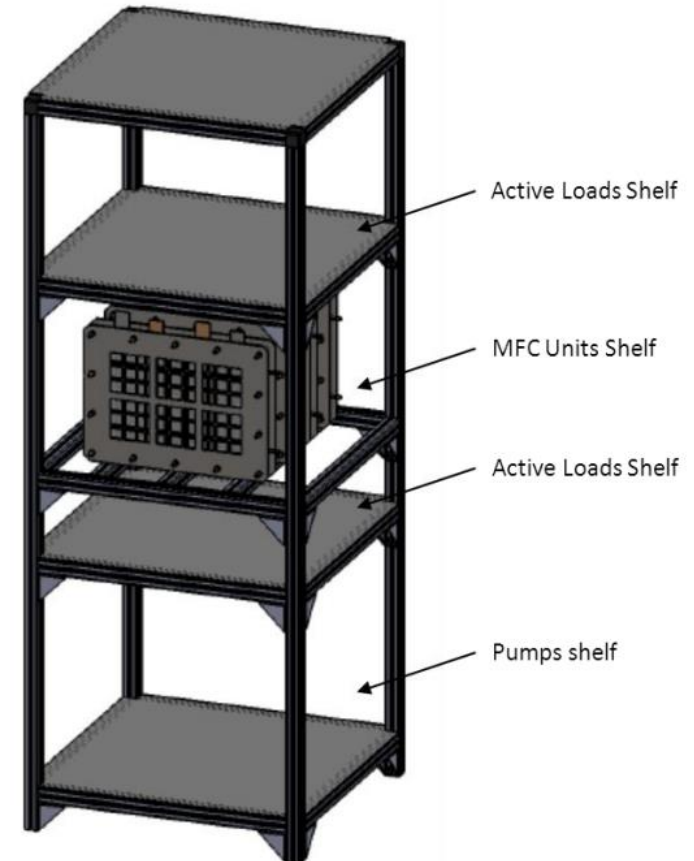
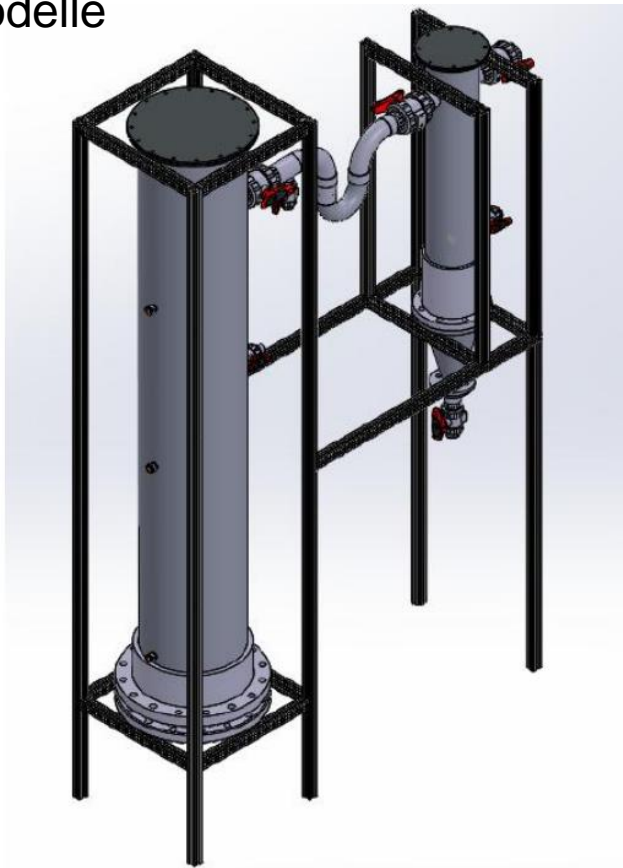
Fotos (oben) und REM Bilder (unten) der mittels des Elektorspinnings (rechts) hergestellten und carbonisierten (links) Fasermatten



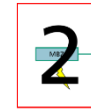
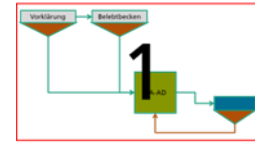
# Pilotanlage



## 3D Modelle



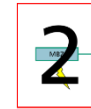
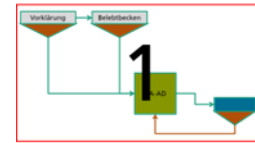
# Pilotanlage



## ■ Testphase der Pilotanlage

- Reaktorvolumen von 270 L
- HRT von 4,5 bis 3 d
- Durchsatz MBZ von 50 L/d mit Rückführung
- Überwachung und Steuerung der Anlage mittels LabView

# Pilotanlage



## ■ Testphase der Pilotanlage

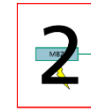
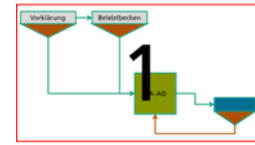
### ■ Wichtigste Parameter

- oTS-Abbau
- Produktion von organischen Fettsäuren
- pH Wert
- Leitfähigkeit
- Reduktion des Schlammvolumens

## ■ Probleme:

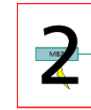
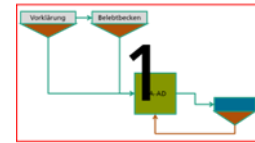
- Starke Schwankungen des Inputmaterials
- Prozessprobleme in der Kläranlage

# Zusammenfassung



- Eine 2-phasige anaerobe Prozess zur Klärschlammstabilisierung wurde entwickelt
- Organische Fettsäuren konnten aus einem Gemisch von Primär- und Sekundärschlamm gewonnen werden
- Eine Produktion derer von mehr als 4 g/L ist möglich
- Der CSB in der Flüssigphase nach der Versäuerung ist  $> 10.000$  mg/L
- Das Realabwasser konnte in einer MBZ umgesetzt werden
- Es wurden innovative Produkte und Technologien entwickelt
- Eine Pilotanlage in Spanien wurde in Betrieb genommen

# Ausblick



- Folgeprojekt in kommerziellem Maßstab
- Nutzung von Wickelmodulen des KMUs Emefcy als MBZ
- Scale-Up
- Energiebilanz erstellen
- Hochlasthydrolyse mit Mikrofiltration

# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

