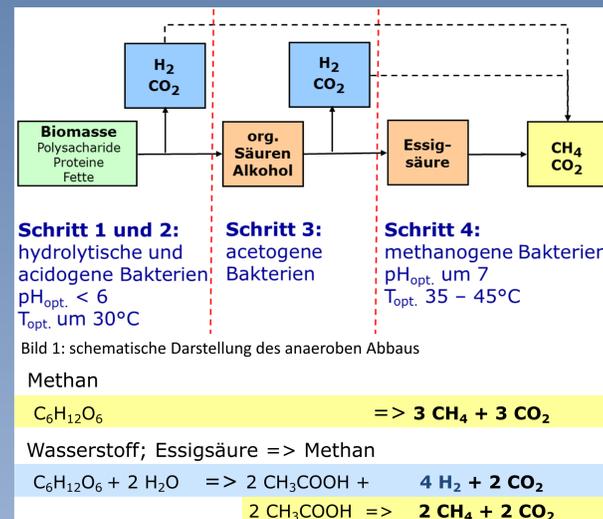


# Entwicklung eines zweistufigen anaeroben Verfahrens zur kontinuierlichen Wasserstoff- und Methanerzeugung aus organischen Abfällen und Abwässern

Ruth Brunstermann; Universität Duisburg-Essen; E-Mail: ruth.brunstermann@uni-due.de

## Grundlagen

Wasserstoff wird seit Jahren in Verbindung mit der Brennstoffzelle als Energiesystem der Zukunft bezeichnet. Bei der konventionellen Vergärung entsteht neben Methan (CH<sub>4</sub>) und CO<sub>2</sub> bereits H<sub>2</sub> als intermediäres Produkt in den ersten drei Stufen der Vergärung von Biomasse. Werden die methanogenen Mikroorganismen, die sowohl den intermediären H<sub>2</sub> mit CO<sub>2</sub> als auch Essigsäure in CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> überführen, gehemmt, so entstehen H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und organische Säuren. Die organischen Säuren können anschließend in einer konventionellen Vergärung als Substrat eingesetzt werden. Eine schematische Darstellung des vierstufigen anaeroben Abbaus zeigt Bild 1. Darin zeigen die roten Linien Möglichkeiten zur Trennung zwischen der Wasserstoff- und Methanerzeugung. Je weiter die Ausgangssubstanzen während der Wasserstoffproduktion (1. Stufe) zu Essigsäure umgesetzt werden, desto höher ist der Wasserstofftrag. Auf Grund der mikrobiologischen Stoffwechselprozesse können theoretisch pro Kilogramm Glukose 498 NI Wasserstoff (4 Mol/Mol) und weitere 248 NI Methan (2 Mol/Mol) erzeugt werden.



## Methoden zur Wasserstoff- und Methanerzeugung

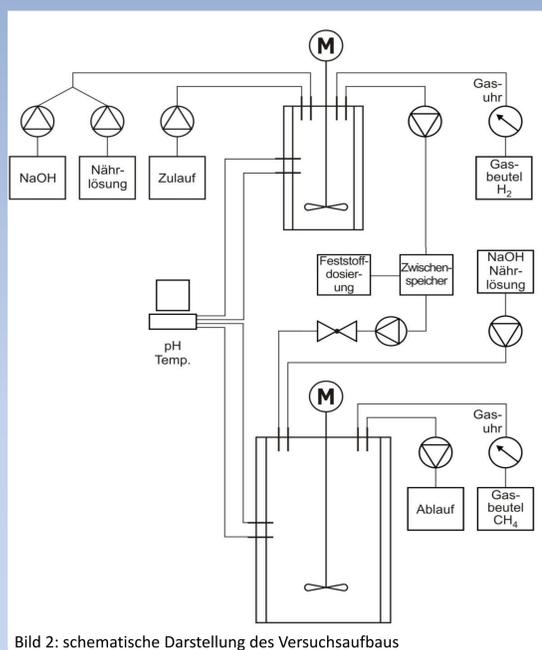


Bild 2: schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

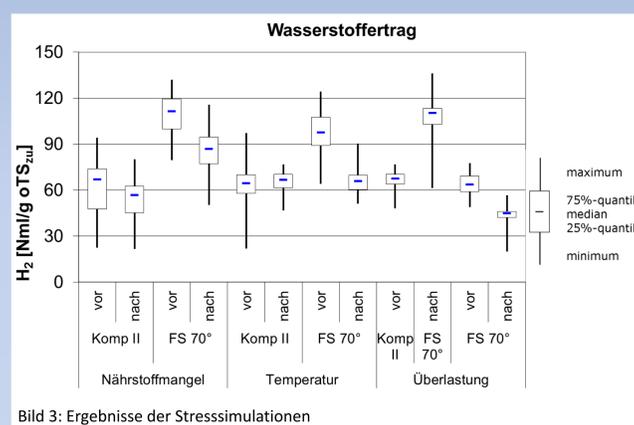
### Randbedingungen:

- CSTR-Reaktoren
  - 4 l Wasserstoff
  - 30 l Methan
- Impfmateriale:
  - Hygienisierter Faulschlamm (FS 70°)
  - Frischkompost (Komp. II)
  - Faulschlamm (Methanstufe)
- Temperatur 35°C
- Verweilzeit (HRT):
  - Wasserstoff: 24 – 80 h
  - Methan: 12 – 20 d
- Intervalle: 2 – 4 h
- pH-Wert: 4,5 (H<sub>2</sub>); 7,0 (CH<sub>4</sub>)
- Substrat: Abfallzucker

### Stabilität der Wasserstoffstufe

Zur Überprüfung der Prozessstabilität wurden nacheinander die Störungen der Parameter Nährstoffzufuhr, Temperatur und organische Raumbelastung simuliert. Dabei wurden beide Impfmateriale betrachtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Bild 3 dargestellt.

Nährstoffmangel:  
Stoppen der Nährstoffzugabe für 4 Tage  
Temperatur:  
Ausfall der Heizung  
=> 25°C statt 35°C  
Überlastung:  
Reduktion der HRT von 48 h auf 4 h



## Ergebnisse zweistufige Anlage

In der Tabelle 1 sind die wesentlichen Randbedingungen und die entsprechenden mittleren Gasproduktionsraten sowie die Wasserstoff- bzw. Methanerträge mit dem Substrat Abfallzucker übersichtlich dargestellt.

Den Berechnungen der Stromerträge liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Verstromung des Wasserstoffs durch eine PEM-Brennstoffzelle  $\eta_{elek.} = 55\%$
- Verstromung des Methans mit Hilfe eines BHKW  $\eta_{elek.} = 35\%$

Bild 4 zeigt den Vergleich zwischen den theoretisch möglichen und den auf der Grundlage der Versuche berechneten Stromerträgen. Dabei wird deutlich, dass im Abschnitt 3 mit 1,29 kWh/kg oTS beinahe der theoretische Ertrag einer einstufigen Methangärung erreicht wird. Auf Grund dessen ist die Kombination aus Wasserstoff- und Methanerzeugung nicht nur möglich, sondern aus energetischer auch sich sinnvoll.

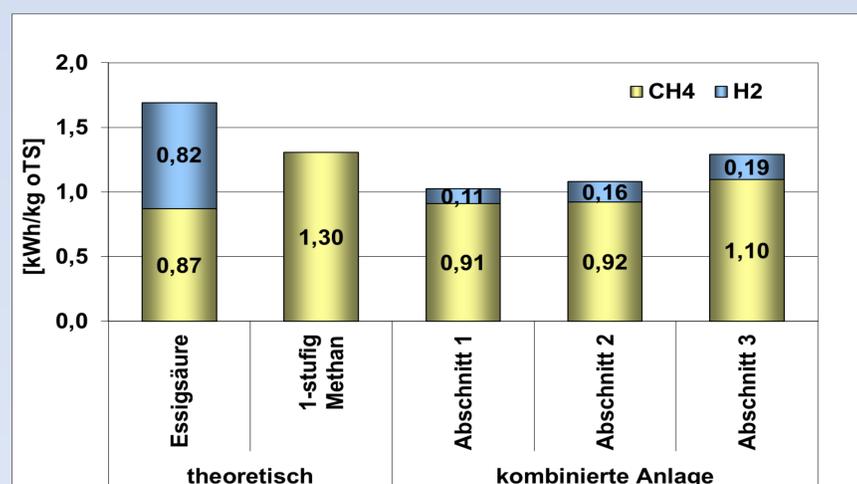


Bild 4: Stromerträge

Tabelle 1: Mittelwerte der Randbedingungen und Ergebnisse aus den Versuchen mit der zweistufigen Anlage

	Einheit	Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 3	
		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
HRT	h bzw. d	51 h	15,1 d	69,5 h	22 d	47 h	13,6 d
ORL	[g oTS/l <sub>R</sub> *d]	4,75	0,63	3,46	0,46	4,68	0,65
Gasproduktionsrate	[NI/l <sub>R</sub> *d]	617,0	288,3	895,7	210,6	1.217,0	347,3
H <sub>2</sub> - bzw. CH <sub>4</sub> -Gehalt	[Vol.-%]	48,5	56,9	33,8	57,5	41,3	58,6
H <sub>2</sub> - bzw. CH <sub>4</sub> -Ertrag	[NI/kg oTS]	63,0	260,4	87,5	263,2	107,4	313,1

## Fazit

Umsetzung in den technischen Maßstab ist in naher Zukunft möglich.

### Vorteile:

- geringe hydraulische Verweilzeiten (HRT) in der 1. Stufe von 12 h - 48 h
- Bereitstellung von organischen Säuren und hydrolytischen Bakterien, welche die Hydrolyse eines Co-Substrats verbessern => kürzere hydraulische Verweilzeiten auch in der Methanstufe möglich
- Wasserstoffproduktion ist flexibler und unempfindlicher gegenüber Änderungen der Milieubedingungen und Stoßbelastungen
- Bis ca. 13 % höhere Stromerträge bei Nutzung von PEM-FC
- Steigender Stromertrag bei sinkender HRT in der Wasserstoffstufe

### Nachteile:

- Nutzung unterschiedlicher Energiewandler (BHKW und PEM-FC),
- derzeitige Unsicherheiten bei den Betriebszeiten der Brennstoffzellen
- Brennstoffzellen noch kostspielig