



# **Fermenterbiologie**

**Biogas Betreiberschulung 2008  
Südtirol**

Vortragender:

**Dr. Richard Moosbrugger**

# Übersicht

1. **Grundlagen**  
Abbau organischer Substanzen
2. **Prozessfaktoren**  
Temperatur, pH, Versäuerung, Gasproduktion
3. **Prozessüberwachung**  
Flüchtige Fettsäuren, Gasproduktion,  
Frachtenabschätzung (org. TS)
4. **Praktische Vorführung**  
Schnelltest für flüchtige Fettsäuren, Alkalität

# Grundlagen

## Abbau organischer Stoffe - Theorie

1. Hydrolyse
2. Versäuerung
3. Acetogene Phase
4. Methanbildung

Eigenständige Bakterienstämme für jeweiligen Abbauvorgang

# Hydrolyse



## **Ausgangstoffe:**

hochpolymere Naturstoffe: Kohlehydrate, Eiweiße, Lipide, Hemizellulose, Zellulose, Stärke, Zellbestandteile

## **Produkte:**

Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren

## **Reaktionsgeschwindigkeit:**

Langsam

# Versäuerung



## **Ausgangsstoffe:**

Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren

## **Produkte:**

Flüchtige Fettsäuren, Wasserstoff ( $H_2$ ),  
Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Ammonium ( $NH_4$ ),  
Alkohole, Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ )

## **Reaktionsgeschwindigkeit:**

**Schnell**

# Acetogene Phase

## Ausgangsstoffe:

Flüchtige Fettsäuren ( $C_3 - C_5$ )

## Produkt:

Essigsäure

## Reaktionsgeschwindigkeit:

- **Langsam**
- Abhängig von Wasserstoffkonzentration

# Methanbildung



## Ausgangsstoffe:

Essigsäure, H<sub>2</sub>, Methanol, Ameisensäure

## Produkt:

Methan, Kohlendioxid

## Reaktionsgeschwindigkeit:

- **Langsam**,
- Empfindlich gegen pH und Temperaturschwankungen
- anfällig gegen Hemmungen

# Prozeßfaktoren

1. **Temperatur**
2. **pH-Wert**
3. **Flüchtigen Fettsäuren**
4. **Alkalität**
5. **Biogas: Produktion / Zusammensetzung**
6. **Organische Trockensubstanz: Fracht**



# Temperatur - Fermenter

## **Bereich:**

36 – 55 °C

## **Folgen erhöhter Temperatur:**

- biologische Aktivität steigt
- anfälliger für Ammoniakhemmung
- bessere Rühreigenschaften
- mehr Kondensat in Biogasleitungen
- störungsanfälliger bei Temp-schwankungen



# pH-Wert: Fermenter

## **Bereich:**

6,4 – 8,0

ideal: 7,0 – 7,4

## **Folgen bei hohem pH-Wert:**

- Methanbildungsrate wird reduziert
- Ammoniakbildung nimmt zu ( $\text{NH}_4 / \text{NH}_3$ )
- Reduzierte Hydrolyse

## **Folgen bei niedrigem pH-Wert:**

- Methanbildungsrate wird reduziert
- Hemmung durch undiss. flüchtige Fettsäuren

# Flüchtige Fettsäuren

## **Beschreibung:**

Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure

## **Anreicherung im Fermenter:**

- Überlastung durch hohe Beschickungsrate
- Störung der Methanbildung

## **Messung:**

- Titration: Summenparameter
- Gaschromatographie: individuelle Säuren

# Flüchtige Fettsäuren

Quelle: Hopfner-Sixt 2006

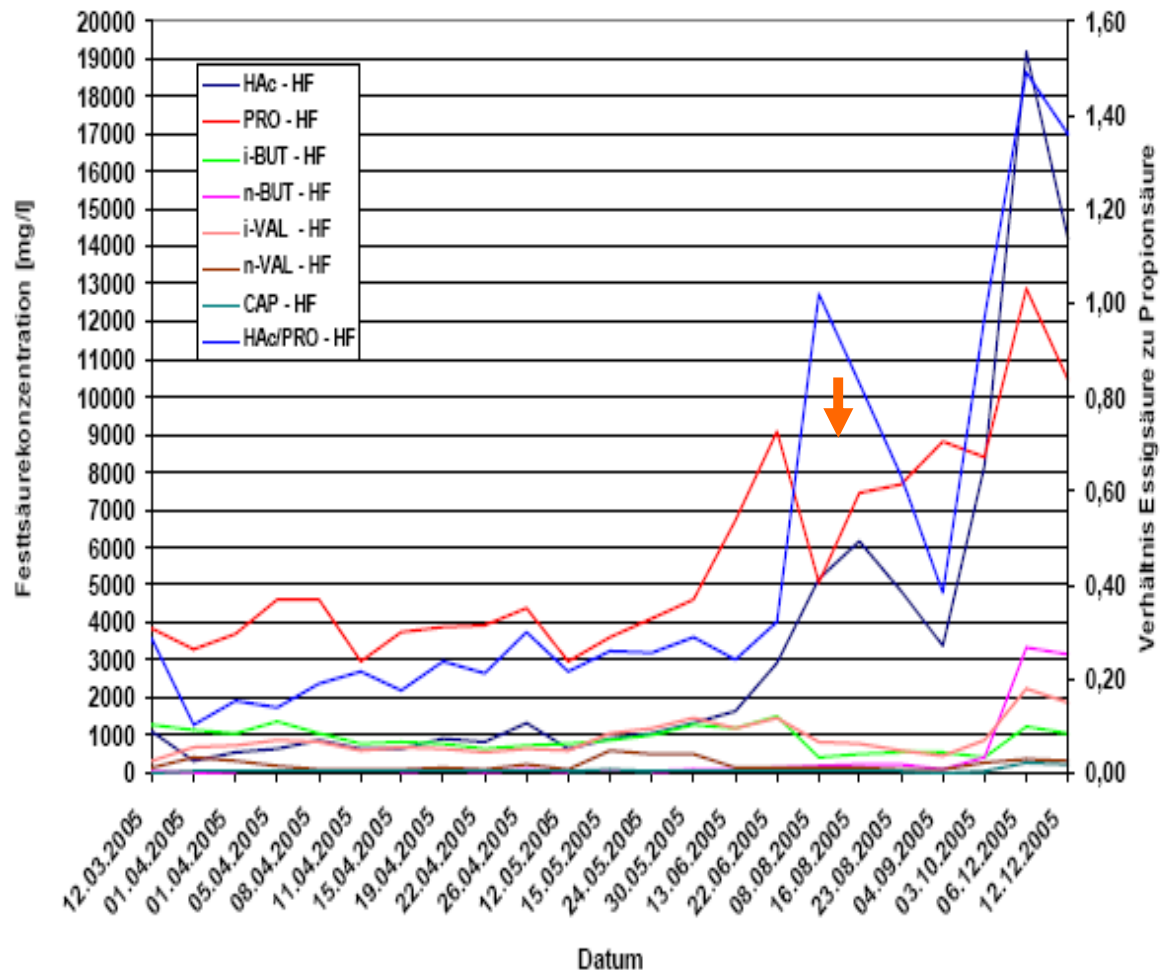


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Fettsäurekonzentration im Hauptfermenter der Biogasanlage 1

# Alkalität



## **Beschreibung:**

Hydrogenkarbonat-Ion ( $\text{HCO}_3^-$ ); entsteht aus  $\text{CO}_2$  und Lauge oder  $\text{NH}_3$  (aus org.N Abbau)

## **Wirkung:**

Verhindert starke pH-Wertabsenkung bei Säureanreicherung im Fermenter

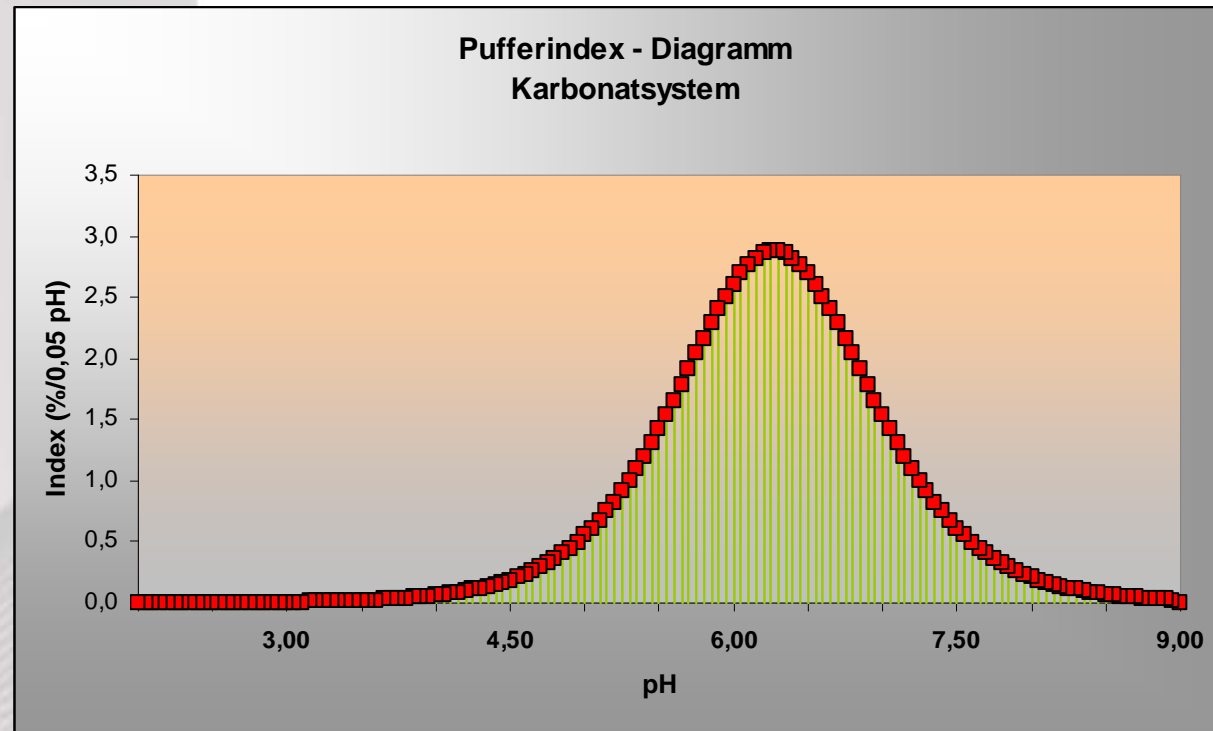
## **Messung:**

Titration

Änderungen lassen Rückschlüsse auf Fermenterbeschickung zu

# Alkalität - Pufferindex

Hydrogenkarbonat



# Biogasproduktion



## Menge:

- Produktionsrate:  $\text{m}^3/\text{Tag}$
- Spezifische Produktion:  
 $\text{m}^3 \text{ Biogas} / \text{kg oTS zugeführt}$   
 $\text{m}^3 \text{ Biogas} / \text{m}^3 \text{ Fermentervolumen}$

## Qualität:

- % Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )
- % Methan ( $\text{CH}_4$ )
- % Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ )

## Messung:

- Gasdurchflußmessung
- Gasanalyse (Online, Handmessung)
- Indirekt über BHKW



# Organische Trockenmasse

## Menge:

- Tagesfracht: kg oTS/Tag
- Spez. oTS Belastung : kg oTS / m<sup>3</sup>,Tag

## Qualität:

- Abbaubarkeit
- spez. Gasproduktion (m<sup>3</sup> Biogas/kg oTS)
- Versäuerungsrate
- Neigung zu Schwimmschichtbildung

## Anmerkung:

- Einbringtechnik sorgfältig wählen
- Rührtechnik wichtig für Abbau





# Prozeßbeurteilung

1. **Biogasproduktion**
2. **Flüchtige Fettsäuren / Alkalität**
3. **pH-Wert**
4. **Fermenterbeschickung**

# Fall 1: Normalbetrieb

## Prozeßparameter:

- Biogasproduktion **stabil** – innerhalb Anlagenauslegung
- Flüchtige Fettsäuren **niedrig**, z.B. kleiner 1.500 mg/l
- Alkalität stabil, z.B. > 8.000 mg/l
- Methananteil normal, z.B. 58 %

## Massnahmen:

- keine



# Fall 2: Überlastung



## Prozeßparameter:

- Biogasproduktion **hoch** – über Anlagenauslegung
- Flüchtige Fettsäurenkonz. **steigt**, z.B. größer 4.000 mg/l
- Alkalität sinkt, z.B. < 5.500 mg/l
- pH-Wert sinkt
- Methananteil sinkt, z.B. von 58 auf 55 %

## Massnahmen:

- Beschickung reduzieren

# Fall 3: Unterbelastung

## Prozeßparameter:

- Biogasproduktion **niedrig** – unter Anlagenauslegung
- Flüchtige Fettsäurenkonz. **niedrig**, z.B. kleiner 1.000 mg/l
- Alkalität hoch, z.B. > 9.000 mg/l
- pH-Wert steigt
- Methananteil hoch, z.B. 60 %

## Massnahmen:

- Beschickung erhöhen





# Fall 4: Prozeßhemmung

## Prozeßparameter:

- Biogasproduktion **niedrig** – unter Anlagenauslegung
- Flüchtige Fettsäurenkonz. **steigt**, z.B. größer 4.000 mg/l
- Alkalität sinkt, z.B. < 5.500 mg/l
- pH-Wert sinkt
- Methananteil sinkt, z.B. von 58 auf 50 %

## Massnahmen:

- Beschickung reduzieren
- Ursachenforschung



# **Prozeßhemmung - Ursachen**

- 1. Temperaturschwankungen**
- 2. Rührwerksprobleme**
- 3. Hemmstoffe**
- 4. Spurenelementmangel**
- 5. Substratumstellung**

# Hemmstoffe



- Ammonium / Ammoniak
- Antibiotika
- Desinfektionsmittel
- Schimmelpilze (Silage)
- Schwermetalle

# Empfehlung



## Typischer Landwirtschaftlicher Betrieb

Verweilzeit: Min. 40-45 Tage bei Ganzpflanzen-  
silagen

Raumbelastung: Max. 3,6 kg oTS/m<sup>3</sup>\*Tag

Gasproduktionsrate: Max. 1,5-1,8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>\*Tag

Fermentertemperatur: Mesophil (36 – 42 °C)

gilt für die ersten Betriebsjahre oder Unerfahrene



# Dokumentation



Im Betriebstagebuch aufzeichnen:

- \* **Beschickungsmenge und Beschreibung**
- \* **Fermenter Temperatur**
- \* **Gas (Menge und Qualität)**
- \* **Stromproduktion BHKW (kWh/Tag)**
- \* **Funktion Rührwerke**
- \* **Flüchtige Fettsäuren / Alkalität**

# Titration - Schnelltest

Es werden bestimmt:

- \* **Flüchtige Fettsäuren (FFS)**
- \* **Alkalität (Alk)**

**FFS-Alk Schnelltest** ©

Entwickelt: Dr. Moosbrugger

Referenzen: > 100 Anlagen, weltweit

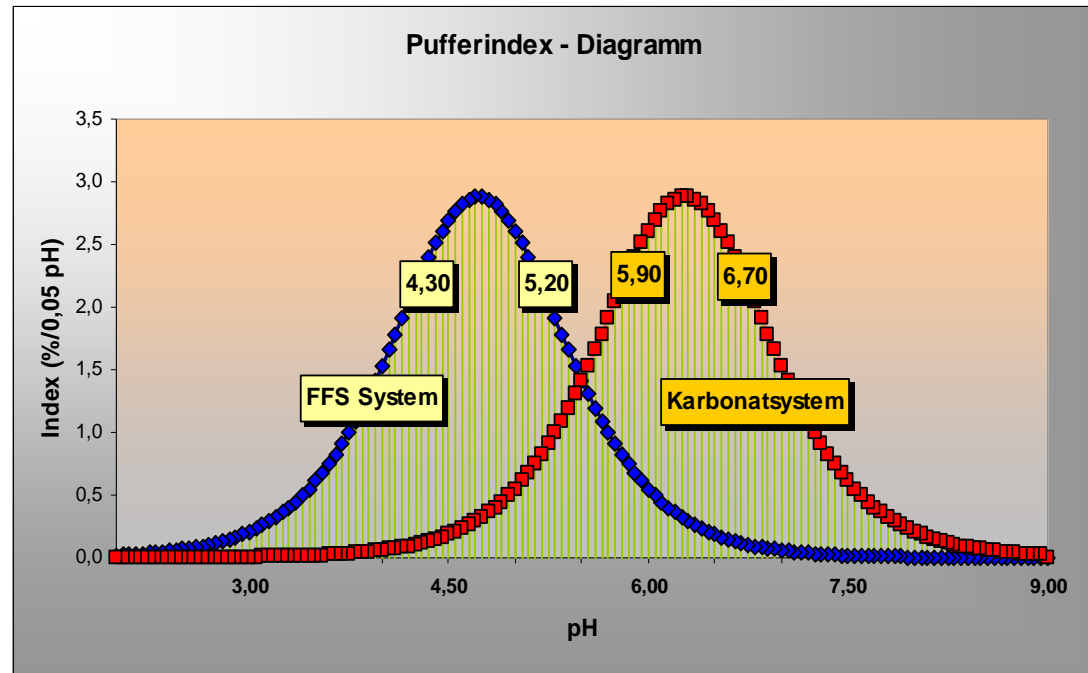
# FFS-Alk Schnelltest ©

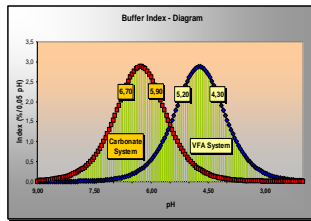
## Prinzip

### Titration

Anfangs-pH ( $> 7,0$ )

- pH<sub>1</sub>: 6,7 (+/- 0,1)
- pH<sub>2</sub>: 5,9 (+/- 0,1)
- pH<sub>3</sub>: 5,2 (+/- 0,1)
- pH<sub>4</sub>: 4,3 (+/- 0,1)



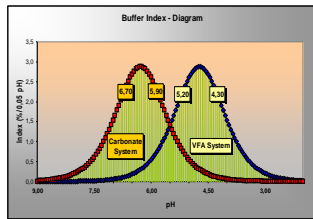


# FFS-Alk Schnelltest ©

## Berechnung

- MS-Excel Datei
- Dateneingabe
- Berechnung mit Visual Basic
- FFS: mg/l
- Alkalität: mg/l

Titration data	
Sample ID	Effluent
Temp [ °C]	23
pH0	8,32
pH1	6,79
pH2	5,93
pH3	5,20
pH4	4,38
v1 [ml]	4,50
v2 [ml]	11,60
v3 [ml]	16,00
v4 [ml]	20,10
Sample size undiluted [ml]	20
Sample size diluted [ml]	120
Acid Normality [mol/l]	0,1
TDS [mg/l]	3000



# FFS-Alk Schnelltest ©

## Datenspeicherung

- Ergebnisse
- Graphiken

