



Universität für Bodenkultur Wien

Neue Entwicklungen bei der Prozesssteuerung

Department für Biotechnologie
Institut für Angewandte Mikrobiologie

ao.Univ.Prof. DI Dr. Peter Holubar

Biogas06 – Fachkongress 22.-23.Februar 2006 Linz



Inhalt



Universität für Bodenkultur Wien

- Vorteile von Messen, Regeln und Automatisierung.
- Zieldefinition, verfügbare Kontrollparameter.
- Was kann man messen, regeln.
- Neuronale Netze und Fuzzy Logic.
- Fallstudien.
- Zusammenfassung.

Vorteile von Messen, Regeln und Automatisierung



Universität für Bodenkultur Wien

- Messen, Regeln und Automatisierung eines Prozesses können die Verwandlung eines anfänglich kleinen operativen Problems in eine große Katastrophe verhindern. Stichwort: Versäuerung.
- Geringere Sicherheitsreserve notwendig, daher höhere Raumbelastungen möglich. Geringere Reaktorgrößen - Verringerung Invest- und Betriebskosten.
- Fernwartung möglich.
- Steuern des Biogas-Prozesses kann die Gasausbeute erhöhen und damit die Energiebilanz der Gesamtanlage deutlich verbessern.
- Die höheren Investitionskosten für ein instrumentelles Prozessmonitoring und die Steuerung sind gering, verglichen mit den Vorteilen einer höheren Belastbarkeit der Anlage.

Aspekt Sicherheit:

4 Tote in Rhadereistedt (BRD)

1 Schwerverletzter,

10 Feuerwehrleute in Spitalsbehandlung

8. November 2005



Die Biogasanlage in Rhadereistedt galt bei der Einweihung im Jahr 1999 als Pilotprojekt in ganz Deutschland.

Bei Einsatz eines simplen pH-Meters in der Vorgrube wäre dieser Unfall vermutlich zu verhindern gewesen!

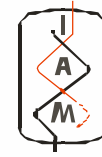
Gasgemisch führt zu Tod der Mitarbeiter

Die Ermittlungen der Polizei ergaben, dass mehrere Faktoren zum Unglück in der Biogasanlage geführt haben. Nach den chemischen Analysen ist es in der Biogasanlage zu einer Verkettung chemischer Reaktionen gekommen, deren Wirkung sich aufgrund eines Defektes im Annahmehbereich der Biogasanlage zurückzuführen ist.

Einen Tag vor dem Unglück wurden Molkerei- und tierische Abfallprodukte angeliefert, von denen offenbar ein Rest in dem 100 Kubikmeter großem Auffangbehälter verblieben ist und der einen niedrigen pH-Wert aufweisen ließ.

Diese Masse vermischte sich mit der aus Schweinedünndarmschleim bestehenden, stark sulfidhaltigen 80 Grad warmen Ladung, die der niederländische Lastwagenfahrer Dienstagmorgen anlieferte.

Diese Ladung hatte mit 8,5 einen hohen pH-Wert, die bei Mischung des stark sulfidhaltigen Materials mit dem bereits vorhandenen sauren Abfalls, in dem Vorratsbehälter eine tödliche Gaswolke aus Schwefelwasserstoff produzierte, die sich schnell in der gesamten Halle verteilte. Begünstigt wurde dieser Prozess durch die eingeschalteten Rührwerke in der Grube und die hohe Temperatur der angelieferten Flüssigkeit. Da der großformatige Deckel über der Anlieferungsgrube aufgrund eines Defektes eines Elektromotors offen stand, konnte sich das tödliche Gas in der gesamten Halle ausbreiten. Die Absaugeinrichtung am Vorratsbehälter war nicht in der Lage, die giftigen Gase nach draußen zum Biofilter abzusaugen.

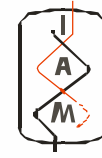


Universität für Bodenkultur Wien

Einsatzanalyse der Feuerwehr
Rhadereistedt (Marcel Will, 2005)

Umfrage bei Betreibern von ARAs: Was bringt Ihrer Meinung nach bessere Automatisierung?

(nach Ingildsen et al., ICA 2001)

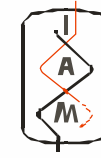


Universität für Bodenkultur Wien

Bringt viele Vorteile.	11%
Bringt Vorteile.	55%
Kann Vorteile bringen.	28%
Bringt keine Vorteile.	6%

Warum gibt es trotzdem nur einen so geringen Automatisierungsgrad?

Und die Wissenschaft?



Universität für Bodenkultur Wien

7th IAWQ workshop on Instrumentation, Control and Automation (Olsson and Newell, 1998):

(zitiert in: P. Ingildsen, Dissertation 2001, Lund University)

"It is apparent that advanced algorithms for control are often suggested and tested by simulation but seldom implemented in plant operation. Here is a challenge for the academic community to really make the effort to bring advanced control all the way to implementation and to prove that it is worthwhile".

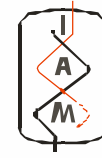
Sinngemäß übersetzt:

Es zeigt sich, dass Algorithmen zur Prozesskontrolle zwar oft vorgeschlagen und durch reine Simulation getestet werden, aber nur selten in vollem technischen Maßstab. Es handelt sich also um eine Herausforderung an die Wissenschaft alle Anstrengungen zu unternehmen um fortschrittliche Prozesskontrollmethoden bis zur echten Anwendung voranzutreiben und zu zeigen, dass es sein Geld wert ist.

2006:

Schätzungsweise 80% der wissenschaftlichen Publikationen befassen sich mit reinem Modellieren, 15% mit der Testung im Pilotmaßstab, nur 5% mit der Realisation im technischen Maßstab.

Zielfindung und -definition



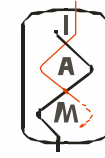
Universität für Bodenkultur Wien

„Willst du mir wohl sagen, wenn ich bitten darf, welchen Weg ich hier nehmen muss?!"
"Das hängt zum guten Teil davon ab, wohin du gehen willst," sagte die Katze.
"Es kommt mir nicht darauf an, wohin ..." sagte Alice.
"Dann kommt es auch nicht darauf an, welchen Weg du nimmst," sagte die Katze.
Lewis Carroll. Alice im Wunderland

Der Biogasprozess ist ein multidimensionaler Prozess – Das Ziel ist immer ein Kompromiss aus einander widersprechenden Zielen!

hoher Ausgärungsgrad	Möglichst kleine Haupt- und Nachfermentoren
Hoher Methangehalt im Biogas	Hohe Gasproduktion; Energiepflanzen als Ökostromquelle
Geringer Schwefelgehalt im Biogas	Redoxpotential im Reaktor; tierische Abfälle sollen genutzt werden
Optimale Substratnutzung	Düngewirkung, Kohlenstoff-Rückführung

Theoretische Biogas-Ausbeuten



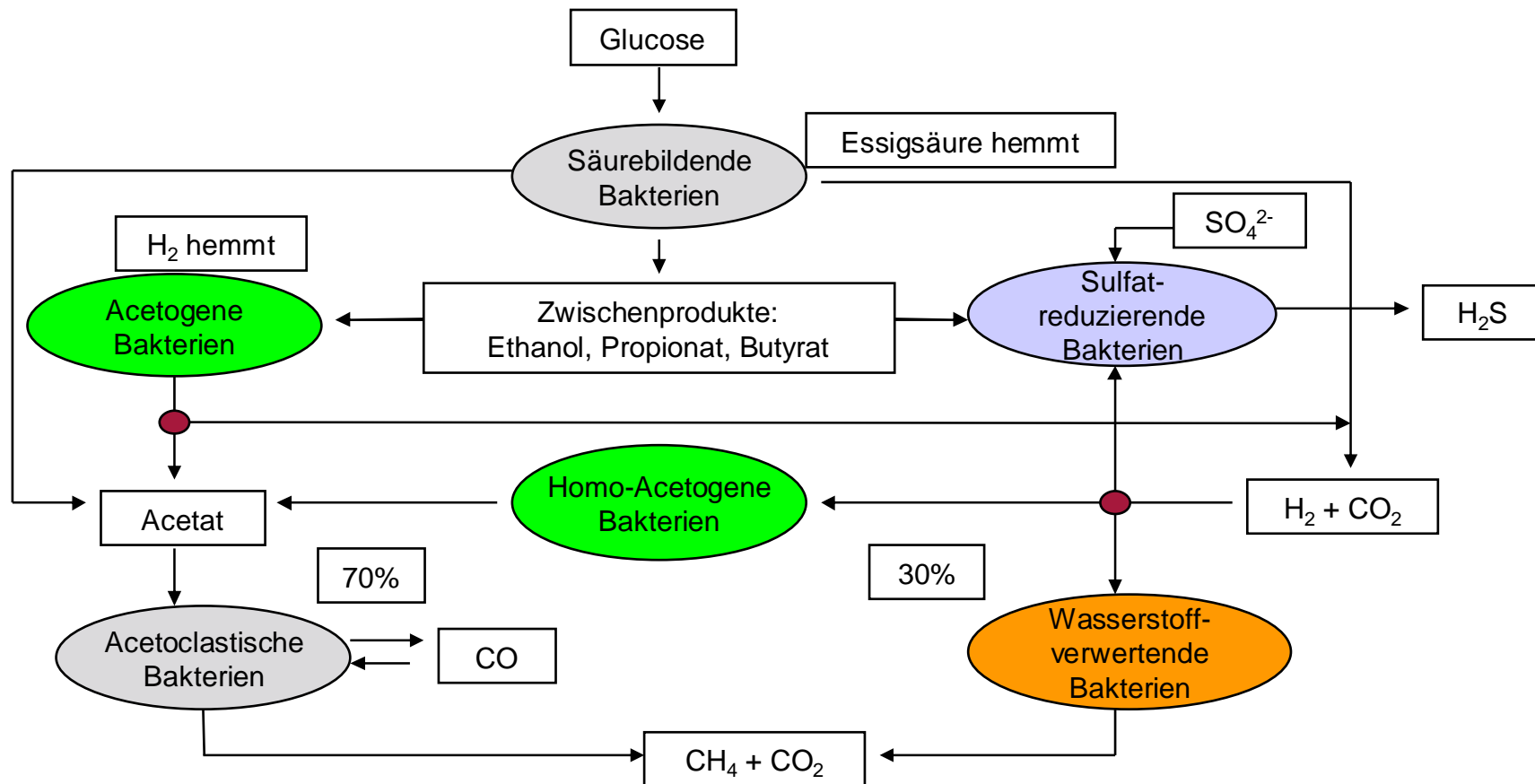
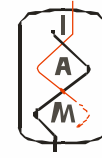
Universität für Bodenkultur Wien

Substrat	Gasausbeute (m ³ Biogas·kg ⁻¹ Substrat)	vol% CO ₂	vol% CH ₄	Heizwert (MJ·m ⁻³)	Spez. Heizwert (MJ·kg ⁻¹ Substrat)
Kohlenhydrate	0.747	50	50	20.0	14.94
Fett, Pflanzliche Öle	1.250	32	68	21.5	26.88
Eiweiß	0.700	29	71	22.0	15.40

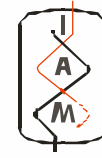
In der Praxis werden lediglich 0,2 bis 0.6 m³ Biogas·kg⁻¹ Substrat erreicht.

Verbesserung der Ausbeute ist notwendig.

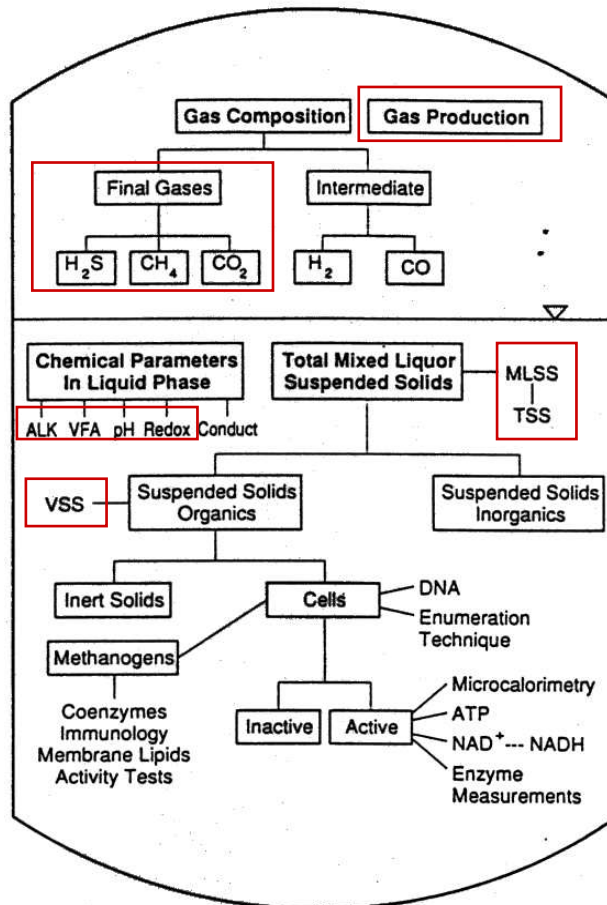
Der Biogasprozess ist komplex



Messbare Parameter des Biogasprozesses

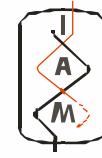


Universität für Bodenkultur Wien



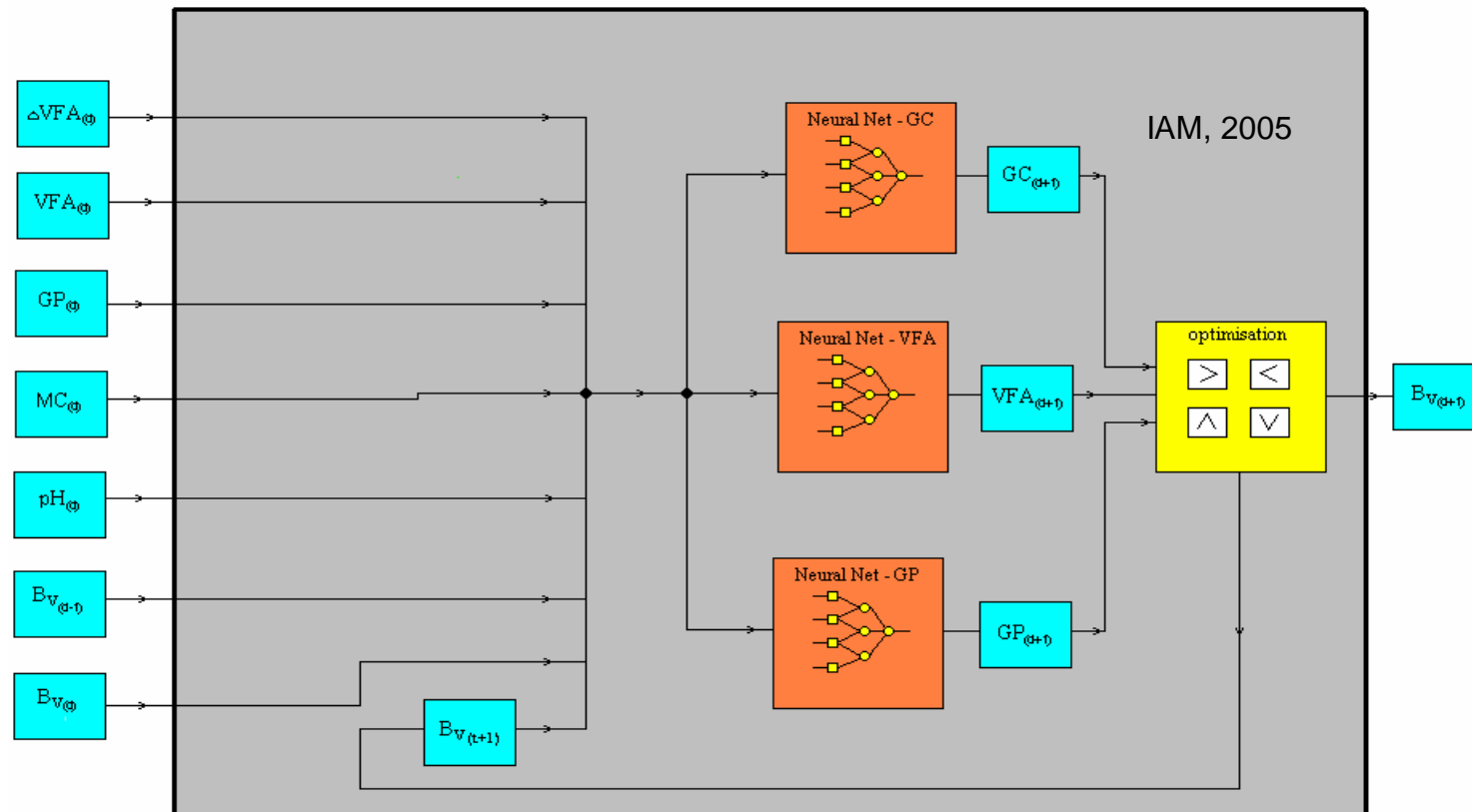
- Fettsäuren
- Gaszusammensetzung
- Gasmenge, Gasproduktion
- pH
- Alkalinität
- Redox-Potential
- Leitfähigkeit
- Chemischer Sauerstoffbedarf CSB
- oTS, TS
- Biomassemenge, Trockensubstanz

Steuerung durch Neuronale Netze

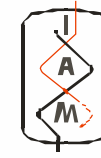


Universität für Bodenkultur Wien

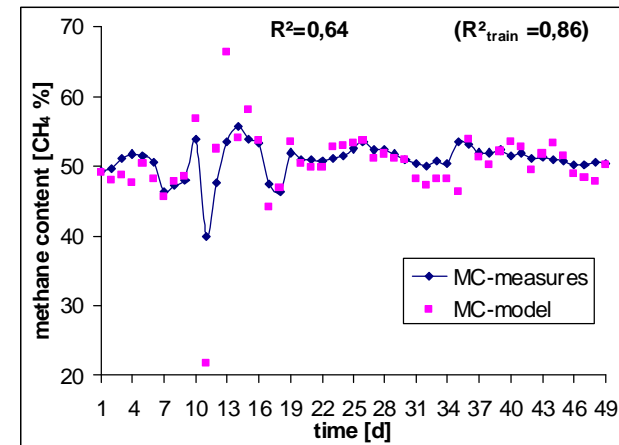
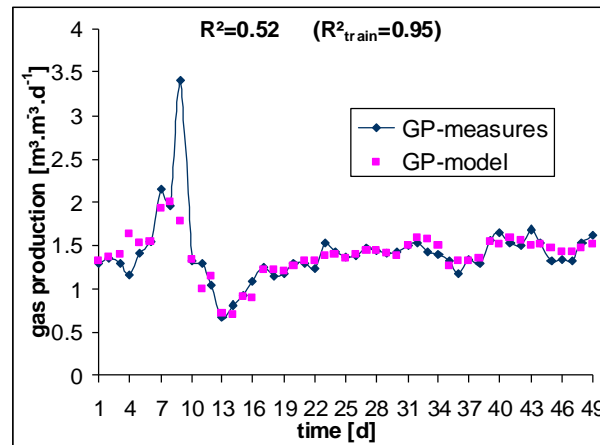
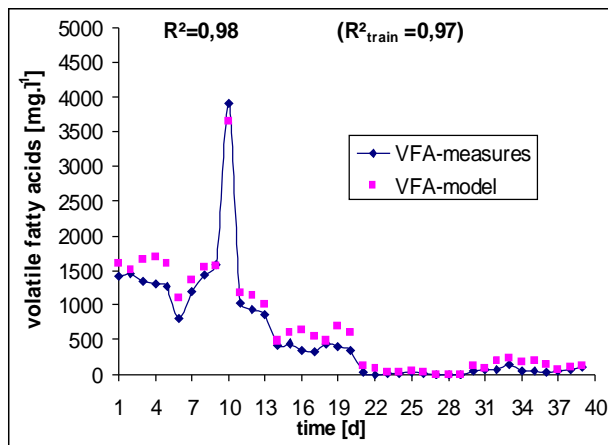
5 (+1) Eingabeparameter



Ergebnisse der Steuerung durch Neuronale Netze

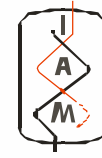


Universität für Bodenkultur Wien



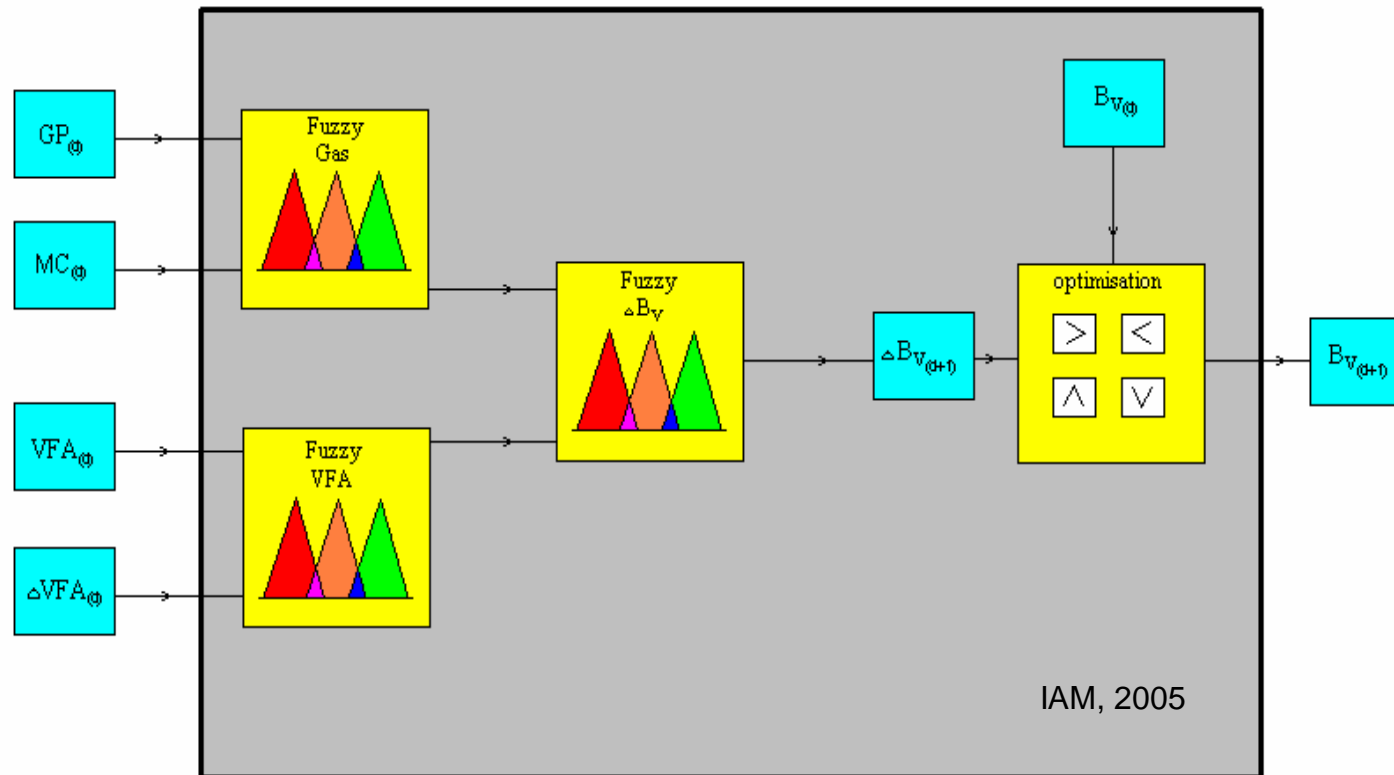
Sehr gute Übereinstimmung von Modell und Wirklichkeit.

Steuerung durch Fuzzy Logic

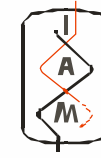


Universität für Bodenkultur Wien

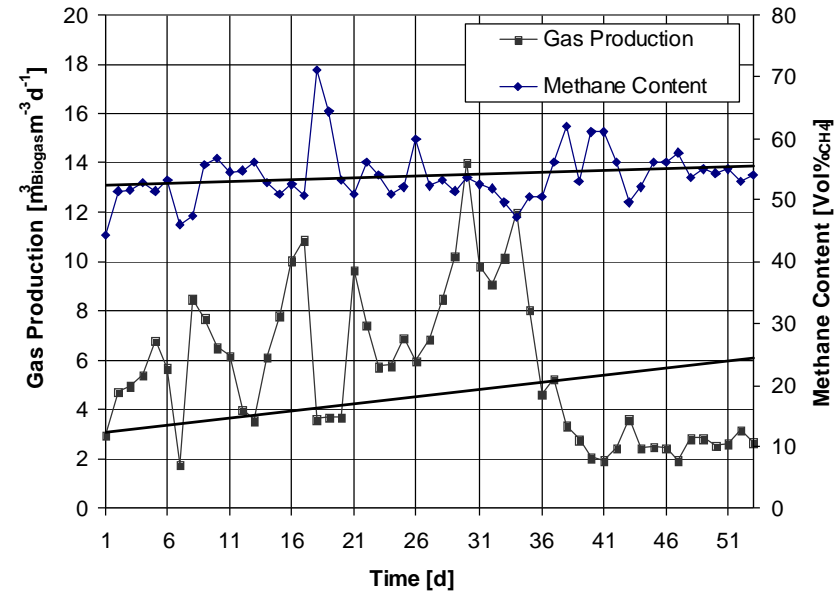
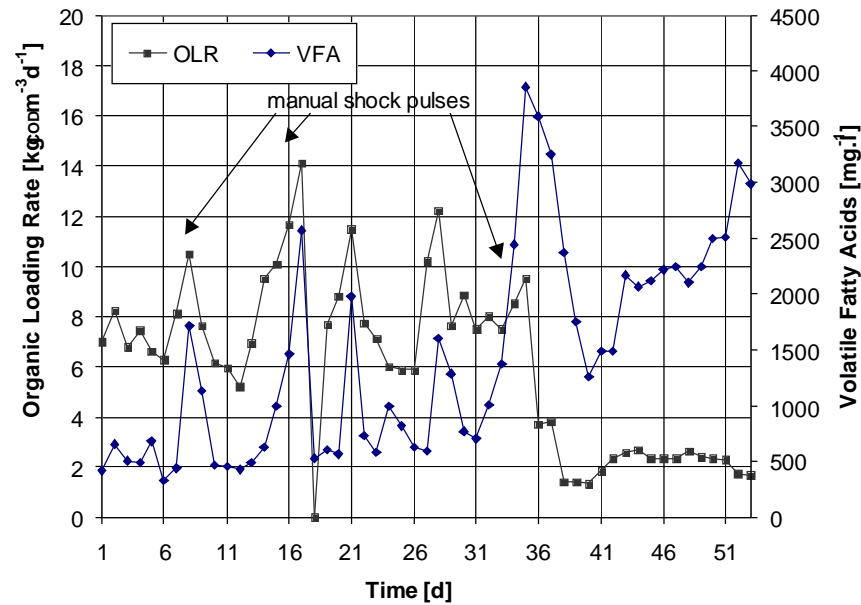
3 Eingabeparameter



Ergebnisse der Steuerung durch Fuzzy Logic

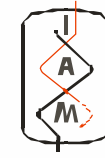


Universität für Bodenkultur Wien



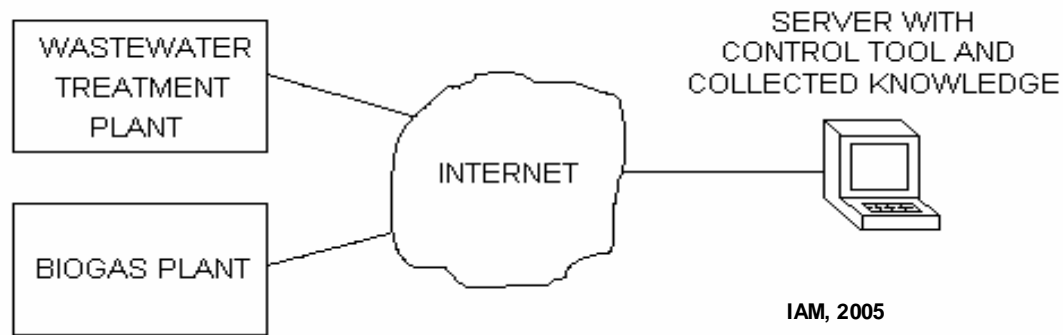
Die Fuzzy Logic steuert den Prozess gut.

Anlagenkontrolle mittels Internet

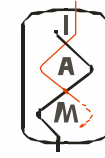


Universität für Bodenkultur Wien

Ein-/Ausgabemaske für den jeweiligen Anlagenbetreiber.
Die eigentliche Steuersoftware liegt auf einem zentralen Server.
Vorteil: immer am aktuellsten Stand. Kontrolle durch Experten.

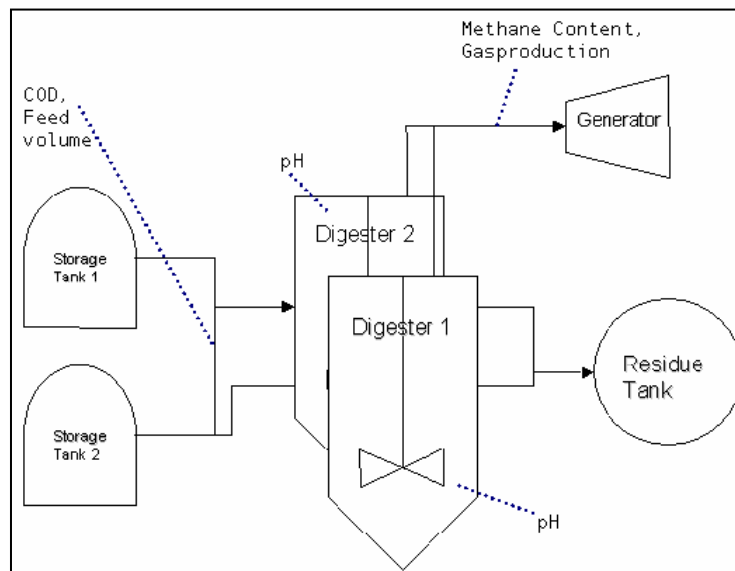


Fallstudie 1 (Dänemark)



Universität für Bodenkultur Wien

- 2 Rührkesselreaktoren, jeweils 440 m³, parallel arbeitend
- 2 Lagertanks, 1 Nachfermenter
- Rindergülle, Schlachthofabwässer, Lebensmittel- und Fischabfälle
- Thermophile Betriebsweise (50°C)
- Aufenthaltszeit im Hauptfermenter 14 Tage
- 800.000 m³ Biogas pro Jahr mit rd. 65% Methan

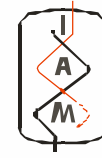


Parameter	Frequency
OLR _{OV}	Continuous
pH _{DIGESTER 1}	Daily
pH _{DIGESTER 2}	Daily
GP _{OV}	Continuous
MC _{OV}	Continuous
COD _{FEED}	1/week resp. daily
COD _{EFFLUENT}	1/week resp. daily
Total VFA _{EFFLUENT}	1/week resp. daily
DM	1/week resp. daily
VSS	1/week resp. daily
NH ₄ FEED	1/week resp. daily
NH ₄ EFFLUENT	1/week resp. daily
Dissolved Fe _{FEED}	1/week resp. daily
Total N _{FEED}	1/week resp. daily
SO ₄ ²⁻ FEED	1/week resp. daily
NH ₃	1/week resp. daily
H ₂ S	half-hourly

*over a test period of 2 - 3 months

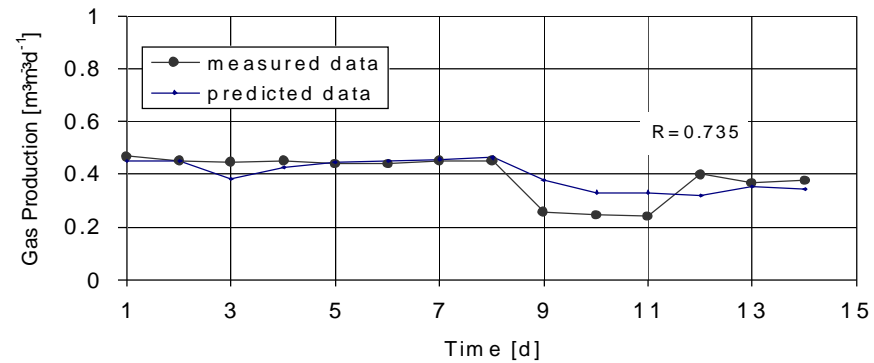
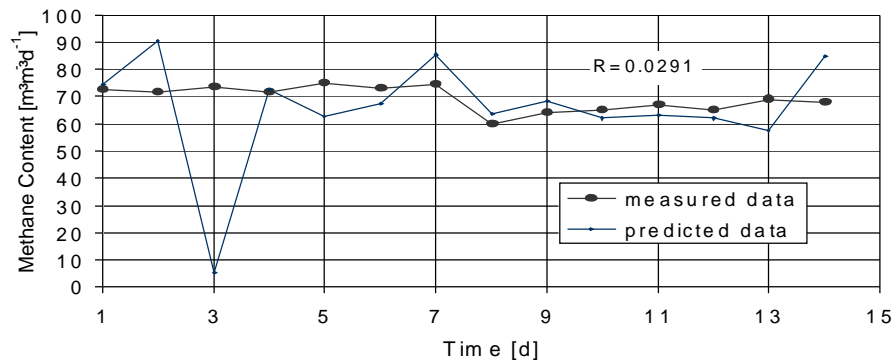
IAM, 2005

Ergebnisse der Fallstudie 1

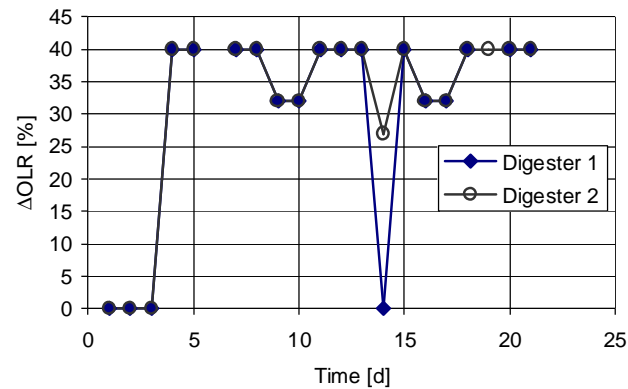


Universität für Bodenkultur Wien

Neuronale Netze



Fuzzy Logic



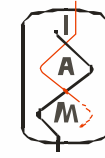
Analytik zu selten und zu unregelmäßig.

Anlagendesign prinzipiell nicht für Automatisierung geeignet.
 Leitungsführung; Reaktoren überdimensioniert.

Furcht der Betreiber auf die Steuerungssoftware „zu hören“.

IAM, 2005

Fallstudie 2 (Spanien)



Universität für Bodenkultur Wien

Zweistufige Anlage

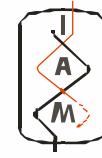
2 Rührkesselreaktoren im Pilotmaßstab (je 9,2 m³)

1 Hygienisierungskessel, 1 Hydrolysetank, 2 Nachfermentoren

Schlachthausabfälle (180 t pro Jahr)

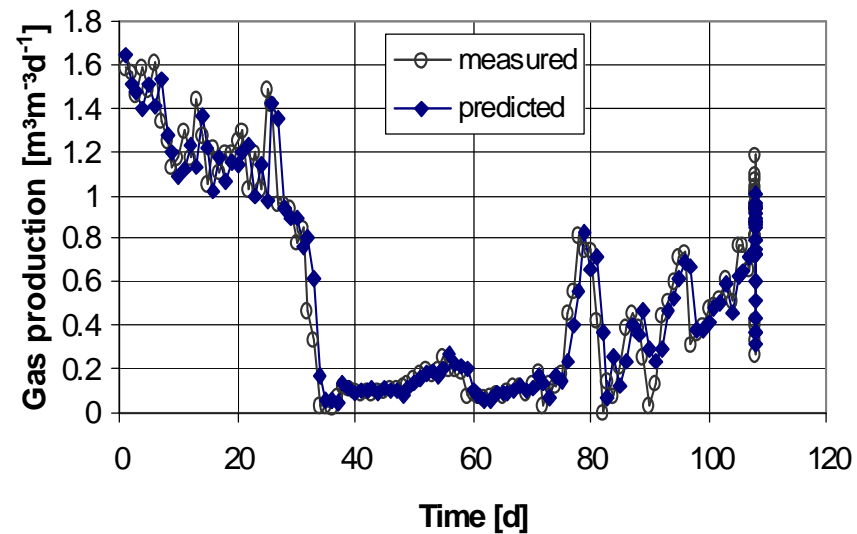
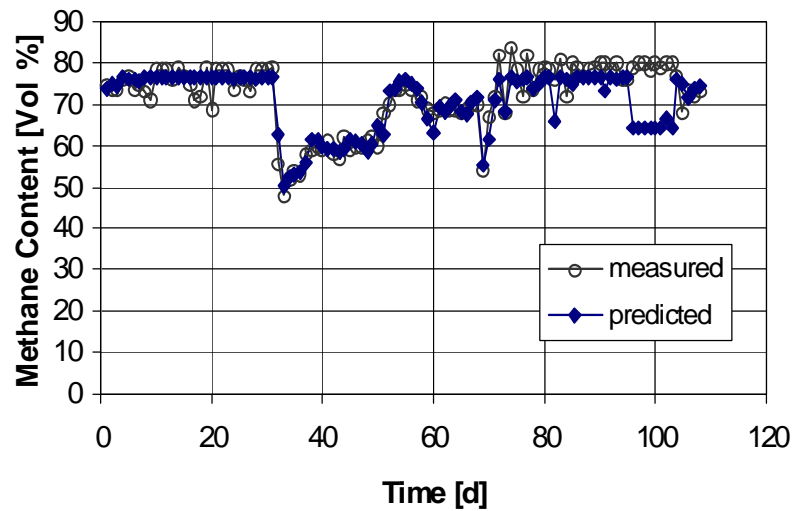
Parameter	Frequency
V_{Feed}	Continuous
DM	1 - 3/week
GP	Continuous
Total VFA	1 - 3/week
PH	1 - 3/week
NH_4 EFFLUENT	1 - 3/week
H_2S	1 - 3/week
CH_4	1 - 3/week
CO_2	1 - 3/week
$\text{COD}_{\text{EFFLUENT}}$	1 - 3/week
COD_{FEED}	1 - 3/week
TOC_{FEED}	1/month
SO_4^{2-} FEED	1 - 3/week

Ergebnisse Fallstudie 2



Universität für Bodenkultur Wien

Neuronale Netze



Ausgezeichnete Modellierbarkeit.

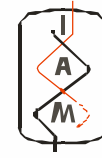
Sehr geringe Varianz der Daten – schlecht für das Training der NN.

Überdimensionierter Reaktor.

Analysen unregelmäßig und Ergebnisse oft erst einen Tag später verfügbar.

Angst der Betreiber vor der Software.

Fallstudie 3 (BRD)



Universität für Bodenkultur Wien

1 Rührkesselreaktor 4.000 m³ .

2 Nachfermentoren (24.000 und 36.000 m³), 2 Hygienisierungstanks (30 m³, 70°C, 1h).

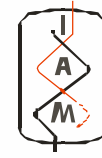
60% Rindergülle, Rest andere Abfälle (60.000 t pro Jahr).

Mesophil, 20-22 Tage Aufenthaltszeit im Hauptfermenter.

Parameter	Frequency
OLR _{Feed}	daily*
DM	Daily
VSS	Daily
GP	Continuous
Total VFA _{FEED & EFFLUENT}	2/week+
Acetat _{FEED & EFFLUENT}	2/week+
Propionat _{FEED & EFFLUENT}	2/week+
pH	2/week+
H ₂ S	daily (working days)
CH ₄	daily (working days)
Siloxane	1/month

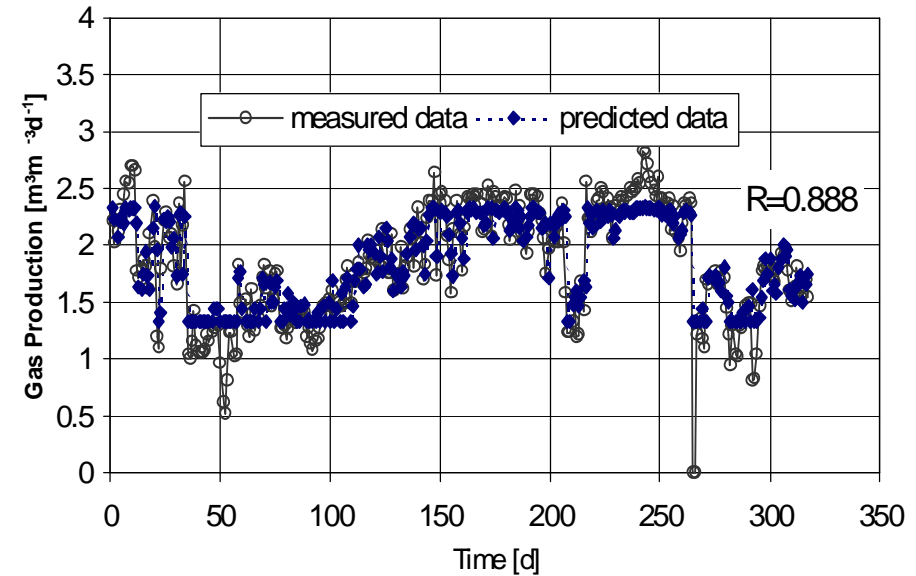
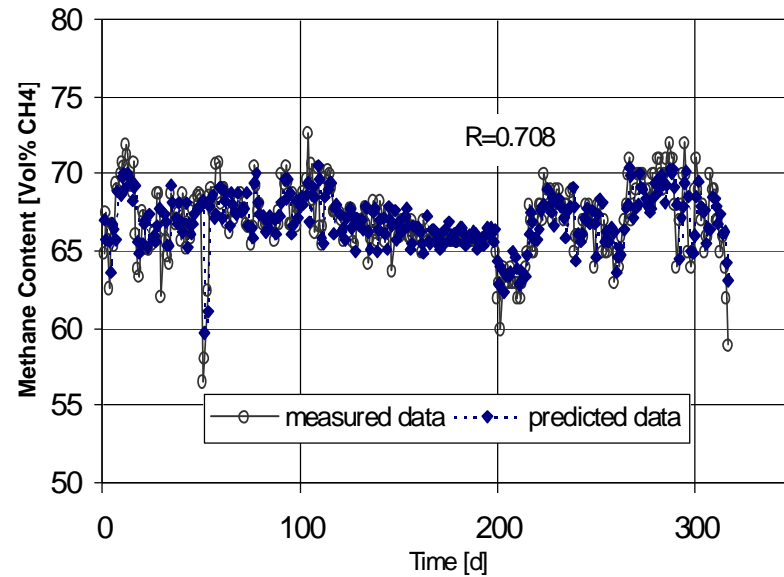
*calculated, not measured
+over test period of 3 month

Ergebnisse Fallstudie 3



Universität für Bodenkultur Wien

Neuronale Netze



Sehr gute Modellierbarkeit.

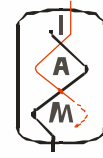
Sehr geringe Varianz der Daten – schlecht für das Training der NN.

Stark überdimensionierter Reaktor.

Analysen unregelmäßig und später gar nicht mehr (lästig, teuer).

Angst der Betreiber vor der Software.

Zusammenfassung



Universität für Bodenkultur Wien

- Mit Hilfe Neuronaler Netze oder Fuzzy Logic ist es möglich den Biogasprozess zu steuern.
- Die Ausstattung mit Messtechnik muss bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden.
- Kosten für die Messtechnik und Analytik sind einzuplanen (Sicherheitsaspekt!).
- Die Vorteile der Technik müssen überzeugender dargestellt werden – Demonstrationsprojekte.
- Die Implementierung ist ein Top-Down Prozess (Chefsache).
- Es muss ein Trainings- und Supportprogramm für die Anlagenbetreiber geben.

Danksagung: Das Projekt AMONCO wurde von der EU unter der Nummer ENK6-CT-2001-00518 finanziert.



Universität für Bodenkultur Wien

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: peter.holubar@boku.ac.at

