

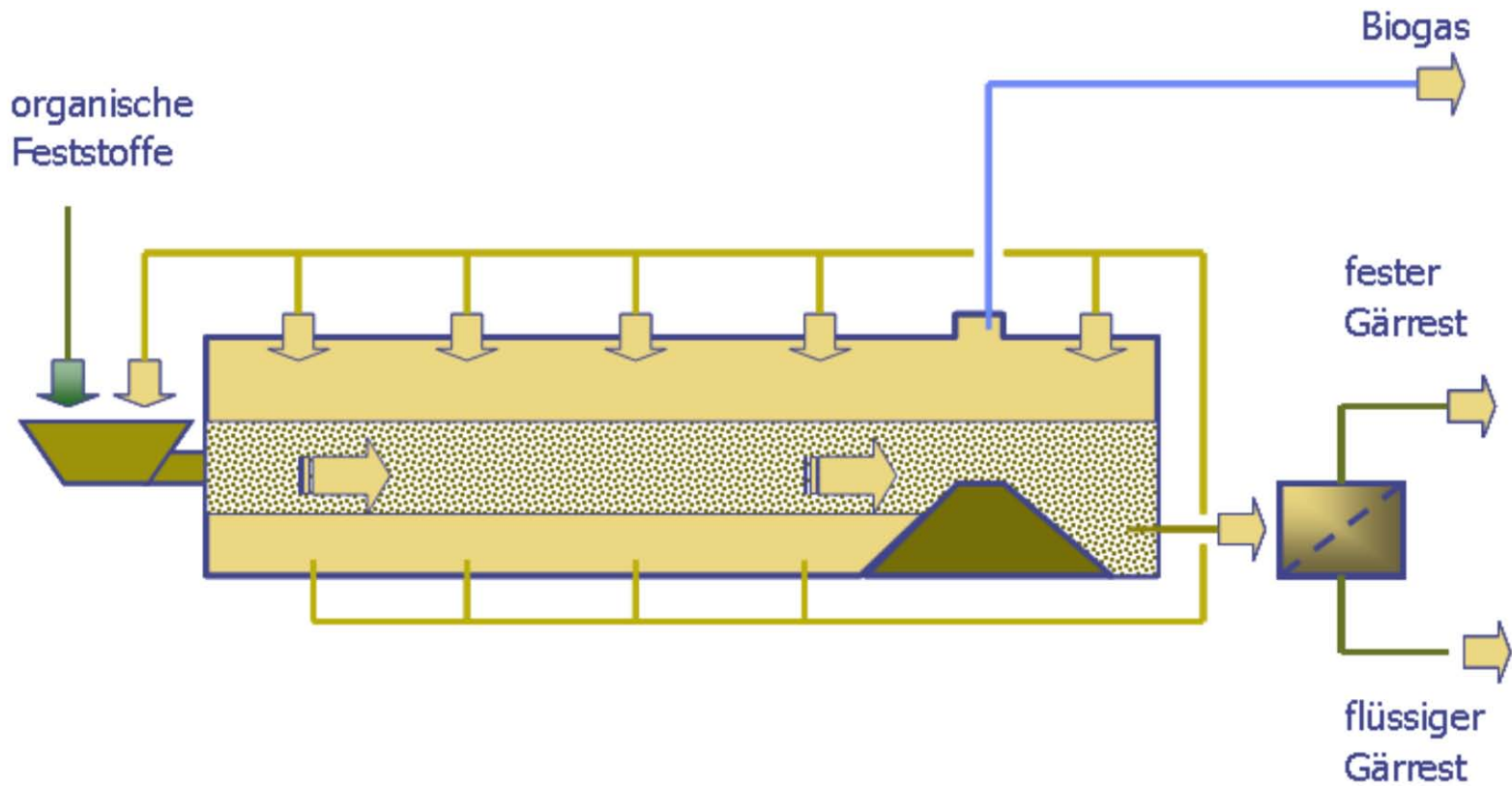
Wissensbasierte Steuerung von Horizontalfermentern als System mit verteilten Parametern

D.Balzer, B.Linke

Solarzeitalter auf dem Wege zur Realität

- Ziele beim Einsatz erneuerbarer Energien bis 2020: 30% der Stromerzeugung, 25% der Wärmeerzeugung, 17% der Biokraftstoffe, Reduzierung der Treibhausgase um 17%
- Einfluss der Reaktorhavarie in Fukushima
- Energiepotentiale aus Biomasse in Deutschland: Stromerzeugung 20%, Wärmeerzeugung 40%, Kraftstoffherzeugung 25%
- Biokraftwerke als Regelkraftwerke sind Bestandteil von virtuellen Kraftwerken
- Erzeugung von Biogas aus halmgutartigen Biomassen in Horizontalfermentern mit gesteuerter Perkolation
- Effektivitätsreserven: 50% durch wissenschaftsbasierte Steuerung

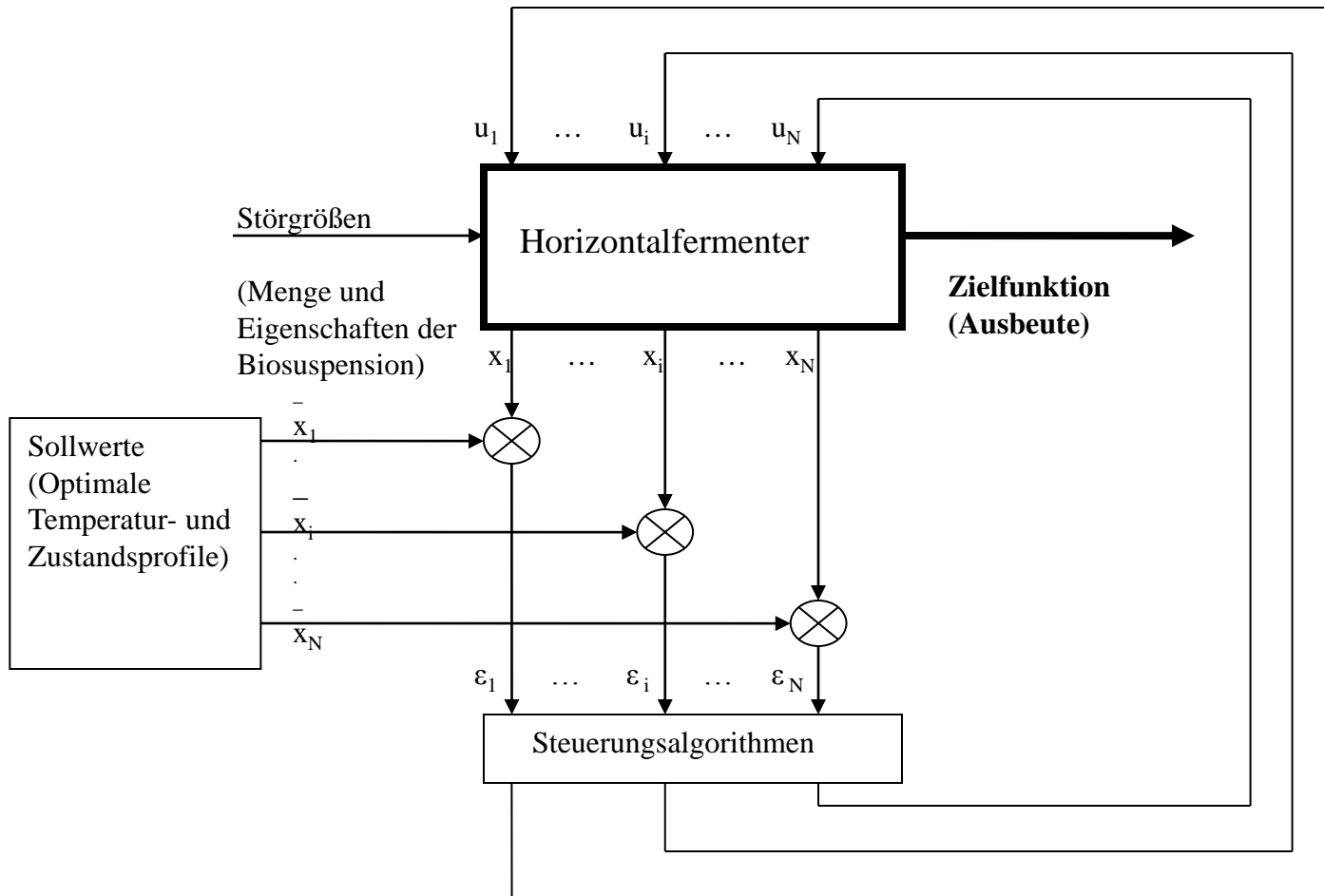
Schematische Darstellung des Horizontalfermenters



Eigenschaften und Vorteile der Horizontalfermenter

- Geregelter Perkolationsprozess als System mit verteilten Parametern
- Kontinuierliche Zuführung des Gärsubstrates und kontinuierliche Entnahme des Gärrestes
- Die unterschiedlichen Sektoren erhalten genau die Menge und die Zusammensetzung (Gewichtete Zuführung) der Perkolationsflüssigkeit mit der Temperatur, die zur Maximierung der Biogasproduktion führen
- Verbesserte Steuerbarkeit: 20 Steuergrößen bei 4 Sektoren anstelle von 3 Steuergrößen bei klassischen Bioreaktoren (Biosuspensionsmenge, Temperatur, Rührgeschwindigkeit)
- Innere Rückführungen möglich (z.B. von „Essigsäurebildung“ zu „Hydrolyse“)
- Keine Rührwerke (z.B. Paddelrührwerke)
- Keine Konkurrenz zum Food-Bereich

Funktionale Struktur des Steuerungssystems



x_i, u_i : Vektoren der Zustandsparameter und der Steuergrößen

ε_i, \bar{x}_i : Vektoren der Regelfehler und der Sollwerte

$$\varepsilon_i = \bar{x}_i - x_i$$

Mathematisches Modell der Feststoffphase (Materialbilanz):

$$\frac{\partial x_1}{\partial t} + w \frac{\partial x_1}{\partial l} = f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, T) \quad (1)$$

x_1 - Feststoffkonzentration

x_2, x_3, \dots, x_n - Zustandswerte (Fettsäurekonzentration, Leitfähigkeit, Redoxpotential, pH-Wert, NH_4 -Konzentration) in den Abschnitten Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung, Methanbildung

T – Temperatur in den einzelnen Abschnitten

$f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, T)$ – Abbaugeschwindigkeit der Feststoffe

w – Lineare Geschwindigkeit der Feststoffe

Mathematisches Modell der Flüssigphase:

Materialbilanz

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{V}{V_0} (x_i - x_{ie}) \quad (2)$$

$$i = 2, 3, \dots, n$$

X_{ie} - Zustandwert der zugeführten Perkolationsflüssigkeit

V - Menge der zugeführten Perkolationsflüssigkeit pro Zeiteinheit

V_0 - Volumen eines Abschnittes

Identische Gleichungen für alle X_i in allen Abschnitten

Mathematisches Modell der Flüssigphase:

Energiebilanz

$$\frac{dT}{dt} = \frac{V}{V_0} c(T - T_e) \quad (3)$$

C - Spezifische Wärme der Flüssigkeit im jeweiligen Abschnitt

T_e - Temperatur

Identische Gleichungen für die Temperaturen in allen Abschnitten

V - Menge der zugeführten Perkolationsflüssigkeit pro Zeiteinheit

V_0 - Volumen eines Abschnittes

Identische Gleichungen für alle X_i in allen Abschnitten

Durch Mischungsgleichungen zu bestimmende Steuergrößen: X_{ie}, T_e

Modellbasierte Prozesssteuerung

Optimierungskriterium für den stationären Zustand bei

$$\frac{\partial x_1}{\partial t} = 0$$

Minimierung von X_1 durch Auswahl der stationären optimalen Steuergrößen

Struktur des modellbasierten Prozesssteuerungssystems:

Ebene 1: Stabilisierung der optimalen Temperatur- und Wertepprofile (Minimierung des Regelfehlers)

Ebene 2: Bestimmung und Nachführung der optimalen Temperatur- und Wertepprofile (Optimale Sollwerte)

Stabilisierung der optimalen Zustandsprofile (Temperatur, Konzentration)

- Mehrdimensionales verkoppeltes Regelungssystem mit linearen Reglern bei Kompensation der Wechselwirkungen (Entkoppelte Systeme)

oder

- Zeitoptimale Steuerung mit dem Kriterium $t \rightarrow \min$ bei

$$\overline{x_i}(l) = x_i(l, t)$$

als Lösung der Gleichungen (2) und (3)

Bestimmung und Nachführung der optimalen Zustandsprofile

- $x_1(L) \rightarrow \min$ durch Auswahl der optimalen Steuergrößen unter der Nebenbedingung (1) bei

$$\frac{\partial x_1}{\partial t} = 0$$

- Regelbasiertes Expertensystem