P. Weiland
K. Wulfert

Institut für Technologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
D–3300 Braunschweig

4. Dechema-Jahrestagung der Biotechnologen
3. und 4. Juni 1986

Betriebsverhalten unterschiedlicher Festbett-Reaktoren zur anaeroben Reinigung hochbelasteter Industrieabläufe — Vergleichende Pilotstudie

Einleitung

Bei der industriellen Verarbeitung von Agrarprodukten zu Chemierohstoffen, Nahrungs-, Genuß- und Futtermitteln fallen allgemein große Abwassermengen an, die mit organischen Inhaltsstoffen hoch belastet sind. Typische Beispiele sind die Herstellung von Bioethanol, Stärke, Zucker und Molkereiprodukten (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammensetzung verschiedener agrarindustrieller Abläufe

Ablauf	TS [g/l]	CSB [gO_2/l]	BSB [gO_2/l]
Brennereischlempen	50–120	40–90	20–40
Kartoffelfruchtwasser	40–60	30–50	20–30
Molke	50–70	45–65	40–50
Zuckerfabrikabwasser	5–12	7–11	4– 7

Eine aerobe Reinigung dieser Abläufe erfordert einen hohen Sauerstoffeintrag sowie lange Belüftungszeiten und ist häufig wegen der Bildung von Blähschlamm schwer zu beherrschen.

Durch anaerobe Vorreinigung ergeben sich folgende Vorteile:

- Erhebliche Verminderung des Energiebedarfs
- Geringe Produktion von Überschußschlamm
- Gewinnung von energiereichem Biogas
- Reduktion des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) um 80–95 %
- Verbesserung der Prozeßstabilität.

Die Unterschiede im Abbau zeigt Abb. 1.

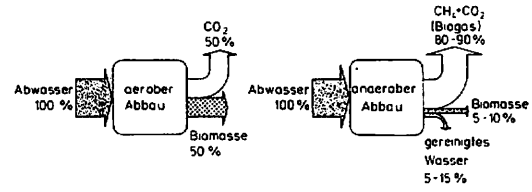


Abb. 1: Kohlenstoffbilanz bei der aeroben und anaeroben Abwasserreinigung

Problemstellung

Die kontinuierliche anaerobe Abwasserreinigung wird erschwert durch die

- langsame Zellsynthese und die niedrige Inkorporationsrate der anaeroben Bakterien
- Verschiedenartigkeit der Milieuansprüche der beteiligten Bakteriengruppen
- Mehrstufigkeit des anaeroben Abbaus komplexer organischer Abwasserinhaltsstoffe.

Diese mikrobiologisch bedingten Nachteile erfordern verfahrenstechnische Maßnahmen zur

- Steigerung der raumbezogenen Abbauleistung und Biogasproduktion
- Erhöhung des Abbaugrades der organischen Inhaltsstoffe
- Verbesserung der Prozeßstabilität.

Lösungsweg

Um die prozeßspezifischen Anforderungen zu erfüllen, wurde ein Verfahrenskonzept entwickelt, das sich durch folgende Maßnahmen auszeichnet:

- Phasentrennung von Versäuerung und Methanisierung
- Verwendung von statischen Trägermaterialien zur Bakterienrückhaltung (Festbettreaktor)
- Anpassung der Reaktorbetriebsweise an die Abwassereigenschaften.

Experimentelles

Zur Ermittlung der für den Bau einer Großanlage notwendigen verfahrenstechnischen Informationen werden seit über einem Jahr drei Festbettreaktoren mit unterschiedlichen Trägerstoffen und ein gasdurchmischter Kontaktreaktor vergleichend untersucht. Als Abwasser werden verschiedene Brennereischlempen eingesetzt.

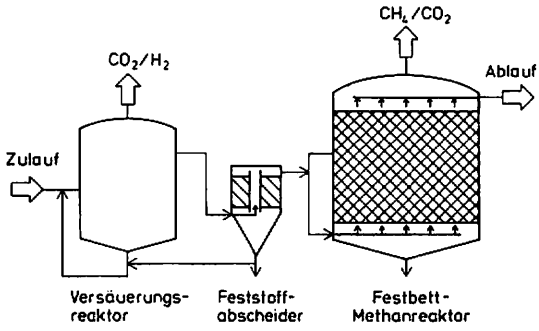
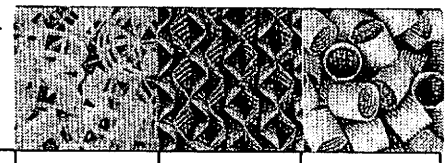


Abb. 2: Reaktorschaltung zur 2-phasigen Biomethanisierung (Teilanlage)



Typ	HIFLOW 90	PLASDEK C.10	FLOCOR R
a [m^2/m^3]	65	148	320
ε [%]	96,5	96	97

Abb. 3: Kunststoffträgermaterialien zur Bakterienrückhaltung

Tab. 2: Daten der Pilotanlage

Reaktortyp	Anzahl	Höhe [m]	Durchmesser [m]	Volumen [m^3]
Versäuerungsreaktor	2	4,7	0,9	3,0
Festbett-Methanreaktor	3	5,0	0,6	1,4
Kontakt-Methanreaktor	1	2,0	0,6	0,6

Tab. 3: Zusammensetzung der Brennereischlempen

Rohstoff	pH [–]	TS [g/l]	OTS [g/l]	CSB gesamt [mg O_2/l]	CSB gelöst [mg O_2/l]
Kartoffeln	4,0	37	29	34000	30000
Rüben	3,9	40	32	20000	18000
Rosinen	4,0	31	26	35000	31000

Versuchsergebnisse

Bakterielle Versäuerung

- Der Versäuerungsgrad und das Säurespektrum können über die hydraulische Flüssigkeitsverweilzeit gesteuert werden (Abb. 4).

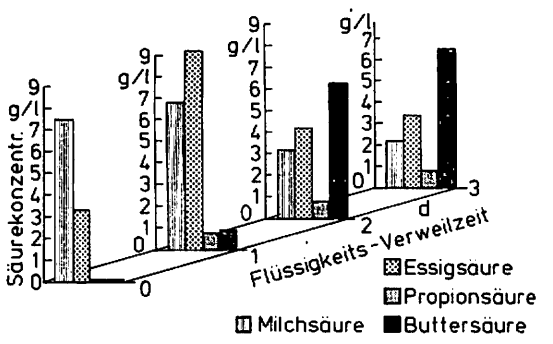


Abb. 4: Einfluß der hydraulischen Verweilzeit auf die Versäuerung

- Hydraulische Verweilzeiten von 24 h sind ausreichend, um für die Methanisierung ein weitgehend versäuertes Abwasser (Versäuerungsgrad > 70 %) mit günstigem Säurespektrum (Essigsäure vorherrschend) zu erzielen.

Biomethanisierung

- Innerhalb des bisher untersuchten Belastungsbereiches ($B_{R,CSB} \leq 11$ kg O_2/m^3 d) nimmt die Abbaurate aller Festbettreaktoren linear zur CSB-Raumbelastung zu. Bis zur höchsten CSB-Abbaurate von 9,5 kg O_2/m^3 d treten keine Leistungsunterschiede zwischen den verschiedenen Festbettreaktoren auf. Im Vergleich zum konventionellen Kontaktreaktor wird eine doppelt so hohe Abbaurate erreicht (Abb. 5).

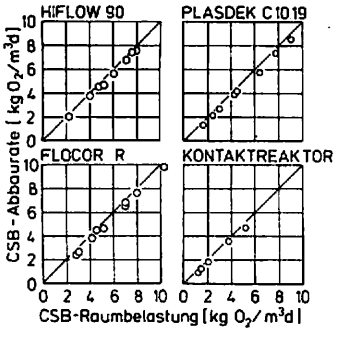


Abb. 5: Einfluß der Raumbelastung auf die CSB-Abbaurate

- Die Abbaurate nimmt vom Reaktorfuß zum Kopf hin ab. Im unteren Reaktorbereich bildet sich eine Hauptreinigungszone mit hohen Abbauleistungen aus, wohingegen in der oberen Zone nur noch eine Feinreinigung des Abwassers erfolgt. Die Hauptreinigungszone expandiert mit zunehmender Reaktorbelastung (Abb. 6).

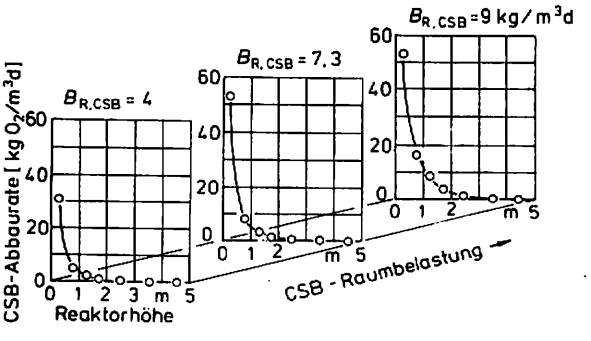


Abb. 6: Lokale CSB-Abbaurate (FLOCOR R)

- Die ausgeprägte Höhenabhängigkeit der Abbauvorgänge wird durch die Anreicherung von suspendierter Bakterienmasse im unteren Reaktorbereich verursacht (Abb. 7).

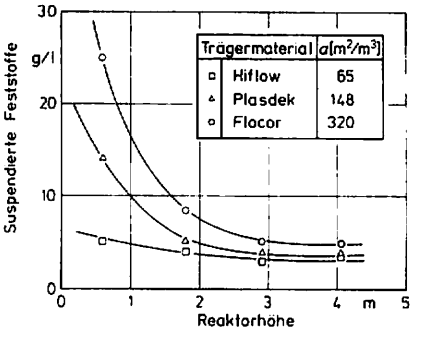


Abb. 7: Feststoffverteilung im Festbett ($B_{R,CSB}$: 7 kg O_2/m^3 d)

- Bis zur höchsten experimentell eingestellten CSB-Raumbelastung von 11 kg O_2/m^3 d wird in allen Festbettreaktoren ein Abbaugrad von 93 bis 95 % erreicht. Der Abbaugrad ist dabei unabhängig vom Typ des Trägermaterials und der Höhe der Raumbelastung (Abb. 8). Ursache des günstigen Betriebsverhaltens ist die ausgeprägte Höhenabhängigkeit der Abbauvorgänge.

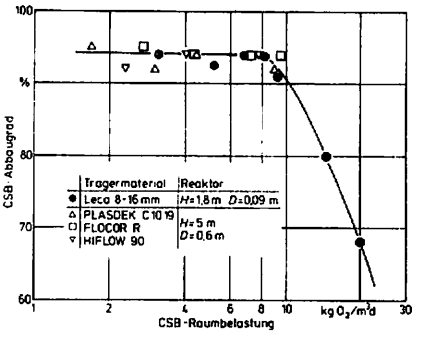


Abb. 8: CSB-Abbaugrad

- Die Methanbildungsrate aller Festbettreaktoren nimmt proportional zur Abbaurate zu. Die bisher erreichte maximale Methan-Bildungsrate von 3,8 m³ CH_4/m^3 d ist im Vergleich zum gasdurchmischten Kontaktreaktor mehr als doppelt so groß (Abb. 9).

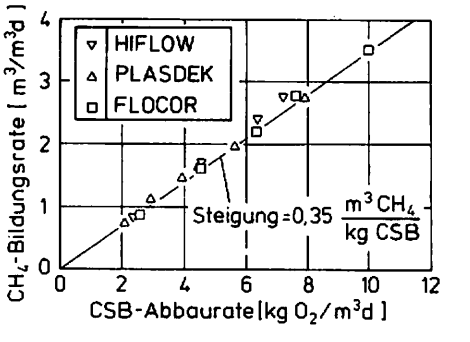


Abb. 9: Zusammenhang zwischen CSB-Abbaurate und CH_4-Bildungsrate

Schlußfolgerungen

- Kunststoffschüttungen oder -packungen mit hohem Lückengrad zeigen günstige Eigenschaften hinsichtlich der Bakterienrückhaltung und neigen selbst bei feststoffhaltigen Abwässern nicht zum Verstopfen.
- Die Aufwuchsfläche des Festbettmaterials ist nur von sekundärer Bedeutung, da der Abbau vorwiegend durch nicht-adsorptiv gebundene Bakterien erfolgt.
- Im Vergleich zum konventionellen Kontaktverfahren wird eine etwa doppelt so hohe Raum-Zeit-Ausbeute erzielt bei einer gleichzeitig erheblich verbesserten Prozeßstabilität.
- Die Leistungsgrenzen der Festbettreaktoren liegen oberhalb des bisher untersuchten Belastungsbereichs.

Die Forschungsarbeit wurde im Rahmen des institutsübergreifenden Forschungsschwerpunktes "Nachwachsende Rohstoffe" in Zusammenarbeit mit dem FuE – Projekt der Deutschen Agrar-Alkoholversuchsanlagen GmbH (DAA), Ahausen-Eversen, durchgeführt. Eine finanzielle Förderung erfolgte seitens BML, NLM und der DAA.

Dr.-Ing. Peter Weiland und Dipl.-Ing. Klaus Wulfert
Institut für Technologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Bundesallee 50
D-3300 Braunschweig
Tel.: (0531) 596 503