Technik · Wirtschaft · Umweltschutz

Herausgegeben

von

Professor Dr.-Ing. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Technische Universität Berlin
Institut für Technischen Umweltschutz

Redaktion

Dipl.-Ing. Martina Schneider

Anzeigenverwaltung

Cornelia Avenarius

EF

EF-Verlag für Energie- und Umweltschutz

Technik · Wirtschaft · Umweltschutz

Karl J. Thomé-Kozmiensky

Biogas

Anaerobtechnik

in der Abfallwirtschaft

Redaktion dieses Bandes

Dipl.-Ing. Martina Schneider
Verena Kern

EF

EF-Verlag für Energie- und Umweltschutz

Technik · Wirtschaft · Umweltschutz

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Biogas: Anaerobtechnik in der Abfallwirtschaft / Karl J. Thomé-Kozmiensky. - Berlin: EF-Verlag für Energie- u. Umwelttechnik, 1989

(Technik, Wirtschaft, Umweltschutz)
ISBN 3-924511-33-0

NE: Thomé-Kozmiensky, Karl J. [Hrsg.]

ISBN 3-924511-33-0
Copyright: Prof. Dr.-Ing. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten
Verlag: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH
Berlin 1989
Druck: E. Mühlthaler's Buch- und Kunstdruckerei GmbH, München
Buchbinderische Verarbeitung: Conzella — Urban Meister, München

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form — durch Photokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren — reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

Warenzeichen: Wenn Namen, die in der Bundesrepublik Deutschland als Warenzeichen eingetragen sind, in diesem Buch ohne besondere Kennzeichnung wiedergegeben werden, so berechtigt die fehlende Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß der Name nicht geschützt ist und von jedermann verwendet werden darf.

EF

EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH

Prof. Dr.-Ing.
Karl J. Thomé-Kozmiensky



Vorwort

In Biogasanlagen werden organische Abfälle wie Schlämme, pflanzliche Rückstände und Küchenabfälle von Mikroorganismen unter anaeroben Bedingungen - also ohne Sauerstoff - in Biogas und Faulschlamm umgewandelt. Das Biogas kann zur Beleuchtung, zum Kochen, zum Kühlen mit gasbeheizten Absorptionskühlschränken, zur Gewinnung von elektrischer Energie und zum Betrieb stationärer und mobiler Motoren verwendet werden. Der zurückbleibende Schlamm kann - in Abhängigkeit vom Ausgangsstoff - als Faulschlamm direkt auf den Boden ausgebracht oder nach aerober Behandlung - Kompostierung - als Kompost verwertet werden.

Die weiteste Verbreitung haben Biogas-Verfahren für Exkremente und pflanzliche Rückstände mit 700.000 Anlagen in China, für Verarbeitung von Zuckerrohr und Getreide zu Äthanol in Brasilien und den USA sowie bei uns zur Klärschlammbehandlung gefunden. Neuer ist bei uns die Anwendung zur Behandlung besonders organisch belasteter flüssiger Abfallstoffe aus Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie. Auch die Eignung dieser Technik für feste organische Abfälle wird jetzt in größeren Anlagen untersucht.

In diesem Buch wird zunächst ein Überblick über die anaerobe Abfallbehandlung gegeben. Ansätze zur Optimierung des Prozesses werden vorgestellt. Die mikrobiologischen und technischen Grundlagen der Prozeßführung werden abgehandelt, wobei auch auf Besonderheiten wie aromatische und halogenaromatische Verbindungen eingegangen wird. Breiten Raum mit acht Beiträgen nimmt die Anwendung des Biogasverfahrens für flüssige Abfälle ein. Auf die Abwasserreinigung allgemein, aber

auch auf Besonderheiten bei hochbelasteten Industrieabwässern, bei Abwässern aus der Stärkeproduktion und bei der Behandlung von Biertreber wird besonders eingegangen. Erfahrungen aus der Verarbeitung fester organischer Abfälle aus Haushalten und Industrie werden berichtet. Die hierfür notwendigen organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Erfassung der vergärbaren Fraktion und zur Abtrennung anorganischer Schadstoffe werden vorgestellt.

Bei der Einführung des Biogasverfahrens wird auch die Einbeziehung in Gesamtkonzepte der Entsorgung über den Erfolg entscheiden. Daher sind dieser Frage fünf Beiträge gewidmet, die sich mit unterschiedlichen Aspekten, so der Verarbeitung verschiedener Abfälle und der Kombination von Anaerob- und Aerobtechnik - Biogas und Kompostierung - befassen. Auch flankierende Maßnahmen wie Biogas-Reinigung und Verwertung der Reststoffe werden angesprochen.

Insgesamt gibt dieses Werk mit vierundzwanzig Beiträgen einen umfassenden und ausreichend tiefen Einblick in diese Technik, um ihre Chancen und Grenzen für die Abfallwirtschaft abschätzen zu können.

Ich danke meinen Mitarbeitern für ihren Einsatz bei der Erstellung dieses Buches sowie den Autoren für ihre interessanten Ausführungen.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dipl.-Ing. Martina Schneider für ihre Mitarbeit bei der Gestaltung dieses Buches.

Berlin, Januar 1989

Prof. Dr.-Ing. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Institut für Technischen Umweltschutz
– Fachgebiet Abfallwirtschaft –

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung

Karl J. Thomé-Kozmiensky — Anaerobe Abfallbehandlung 1

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Rüdiger Oetjen — Ansätze zur Optimierung der anaeroben Behandlung organischer Abfälle 31

Paul A. Scherer — Biogastechnik - Grundlagen und Besonderheiten der anaeroben Prozeßführung 49

Hans-Jürgen Koepp-Bank — Mikrobiologische Grundlagen des anaeroben Abbaus organischer Substanzen 85

Josef Winter, Gertrud Knoll, Tarzan Sembring, Peter Vogel, Günther Dietrich — Mikrobiologie des anaeroben Abbaus von Biopolymeren und von aromatischen und halogenaromatischen Verbindungen 93

2. Anwendung bei flüssigen Abfallstoffen

C.F. Seyfried, Ute Austermann-Haun — Reinigung hochbelasteter Abwässer aus der Industrie 109

Peter Fischer — Anaerobtechnik in der Abwasserreinigung 119

Adolf Geller — Anaerobe Reinigung von Abwässern aus der Stärkeproduktion 125

Jörg Adams, Manfred Ewald, Wolfgang Prinz, Monika Weidmann — Behandlung von Abwässern aus Biogas- und anaeroben Abwasserreinigungsanlagen in kommunalen Kläranlagen 135

Wolfgang Bischofsberger — Behandlung von kommunalem Klärschlamm 147

Werner Edelmann — Einsatz von dynamischen Anaerobfiltern zur Reinigung von Industrieabwässern 157

Artur Wellinger — Biogasproduktion aus tierischen Abfällen 167

Thomas Caro, Barbara Kalkhof-Benthaus — Gewinnung von Biogas aus Biertreber 177

3. Anwendung bei festen Abfallstoffen

Roland Schnell, Martin Schmid — Verwertung fester organischer Abfallstoffe aus aus Industrie und Haushalten durch Anaerobtechnik 193

Stefan Lotter
Rainer Stegmann — Verfahren zur anaeroben Behandlung organischer Siedlungsabfälle 215

4. Abtrennung organischer Stoffe

Thomas Turk
Antje Ludwig — Aufbereitungs- und Verfahrenstechnik für nativ-organische Siedlungsabfälle 229

Werner P. Bauer — Sammlung nach dem System Wertstofftonne und Aufbereitung des Naßmülls - Reduzierung der Schwermetallfracht durch schonende Aufbereitung 243

Bernd Bilitewski — Beeinflussung der Schwermetallfrachten durch mechanische Sortierung und getrennte Sammlung 261

5. Entsorgungskonzepte

Siegfried Rettich — Biogas und Kompost aus Küchen- und Gartenabfällen - Pilotversuch in Rottweil 287

François Cayrol — Hochkonzentrierte anaerobe Vergärung von Haushaltsabfall 295

Matthias Wild — Anaerobe Vergärung von Naßmüll in der BTA-Anlage in Garching 303

Christiane Rodde — Verwertung von organischen Siedlungsabfällen durch anaerobe Vergärung nach dem Rijkens-Verfahren 317

Wolfgang Schulz — Anaerobe Vergärung von Klärschlamm und organischem Haushaltsabfall - Pilotprojekt Hildesheim 327

6. Aufbereitung und Verwertung

Gerhard Rettenberger — Biogasreinigung 335

Rüdiger Oetjen
Fritz Becker — Verwertungsmöglichkeiten der Reststoffe aus der anaeroben Naßmüll-Behandlung 345

1. Einführung

Anaerobe Abfallbehandlung

Karl J. Thomé-Kozmiensky

1. Grundlagen 2
1.1. Verfahrensinput 2
1.2. Biochemische Grundvorgänge 2
1.3. Physikalische Parameter 3
1.4. Chemische Parameter 6
2. Verfahren und Anlagensysteme 7
2.1. Batch- und Speicherverfahren 7
2.2. Kontinuierliche Verfahren ohne Anreicherung 7
2.3. Kontinuierliche Verfahren mit Anreicherung 7
2.3.1. Kontaktverfahren 7
2.3.1.1. Dranco-Verfahren 8
2.3.1.2. Valorga-Verfahren 9
2.3.1.3. Pilotprojekt Rottweil 9
2.3.1.4. BRU-Verfahren 10
2.3.1.5. System T.U.H-H. 12
2.3.2. Festbettreaktor 13
2.3.3. Wirbelbettreaktor 13
2.3.4. Schlammbettreaktor 13
2.4. Zweistufige Systeme 13
2.4.1. Pilotprojekt AN 13
2.4.2. BTA-Verfahren 14
3. Stoff- und Energiebilanzen 15
4. Aufbereitung von Biogasen 17
4.1. Reinigungstechniken 18
4.1.1. Entschwefelung 19
4.1.1.1. Entschwefelung mit Raseneisenerz 19
4.1.1.2. Entschwefelung mit Adsorptionskatalyse 19
4.1.1.3. Entschwefelung mit oxidativer Gaswäsche 20
4.1.1.4. Entschwefelung mit mikrobieller Oxidation 20
4.1.1.5. Angaben zur Materialbilanz 21
4.1.2. Entfernung halogenierter Kohlenwasserstoffe 21
4.1.3. Kohlendioxidabtrennung 21
4.1.3.1. Absorption 22
4.1.3.2. Adsorption 22
4.1.3.3. Membrantrennverfahren 23
5. Abwasser 24
6. Literatur 26

1. Grundlagen

1.1. Verfahrensinput

Tabelle 1

Herkunft und Art der festen Abfälle, die anaerob behandelt werden, nach Seyfried (60)

Herkunft	Abfallstoff	Größter Maßstab
Schlachthöfe	Magen-, Darm- und Panseninhalte, Stroh, Dung, etc	halbtechnisch
Brauereien	Treber	labortechnisch
Zuckerindustrie	Rübenschnitzel- oder abfälle	großtechnisch
Papierindustrie	Papierschlamm	labortechnisch
Landwirtschaft	Festmist	großtechnisch
	Pflanzliche Reststoffe	halbtechnisch
Abfallwirtschaft	Getrennt gesammelte Gartenabfälle	halbtechnisch
	Organischer Haushaltsabfall (Küchen- und Gartenabfälle aus Biotonne)	halbtechnisch
	Gemischter Haushaltsabfall	großtechnisch
Wasserwirtschaft	Algen und Wasserpflanzen	halbtechnisch

1.2. Biochemische Grundvorgänge

Die biochemischen Grundvorgänge werden in (9), (12), (54) ausführlich beschrieben. Werden pflanzliche oder tierische Reststoffe unter Sauerstoffausschluß in feuchtem Milieu gelagert, entsteht durch bakterielle Methanproduktion Biogas, das sich wegen seines Aggregatzustands von selbst aus der wäßrigen Lösung trennt.

Der Prozeß läuft wie in Bild 1 pauschal (9) und in Bild 2 (63) detailliert dargestellt, in vier Stufen ab:

1. Hydrolyse: Zerlegung von meist ungelösten hochmolekularen Stoffen durch extrazellulare Enzyme (Hydrolasen) in gelöste Stoffe.
2. Säure-Bildung: Umsetzung gelöster organischer Verbindungen zu organischen Säuren (Essig-, Propion-, Buttersäure, niedere Alkohole, Aldehyde, H_2 und CO_2).
3. Acetat-Bildung: Weitere Umwandlung der in der Säure-Stufe neben Essigsäure gebildeten organischen Säuren und organischen Verbindungen zu Essigsäure, H_2 und CO_2.

4. Methan-Bildung: Erzeugung von Methan aus Essigsäure, H_2 und CO_2 in streng anaerobem Milieu bei einem pH-Wert von 6,7 bis 8,0.

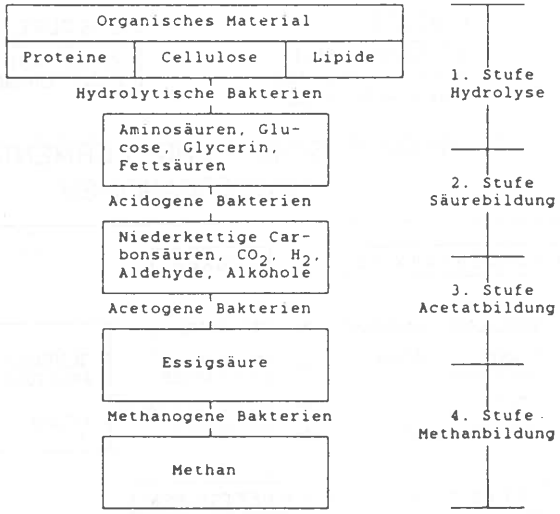


Bild 1

Abbau organischer Verbindungen zu Methan unter anaeroben Bedingungen, nach Baader (9)

Quantität und Qualität des Biogases hängen vom Rohstoff und vom Reaktor sowie den dort herrschenden Betriebsbedingungen ab. Die Werte liegen für CH_4 zwischen 55 % und 70 %, für CO_2 zwischen 27 % und 44 %, für H_2 unter 1 % und für H_2S unter 3 %.

1.3. Physikalische Parameter

Temperatur: Die optimale Temperatur für die versäuernden Bakterien liegt bei 30 °C. Die Methanbildung kann in Temperaturbereichen von 4 °C wie zum Beispiel in See-Sedimenten bis über 70 °C ablaufen, das Optimum liegt bei 35 °C bis 37 °C (31). Die Ausbeute pro Zeiteinheit dieses biologischen Prozesses steigt bis in diesen Bereich mit der Temperatur. Zwar reicht der psychrophile Temperaturbereich für die Methanbildung aus, doch werden zur Steigerung der Ausbeute möglichst mesophile Bedingungen gewählt. Die Temperatur wird wegen der dann auftretenden Wärmeverluste im allgemeinen nicht bis in den thermophilen Bereich erhöht.

Mischung: Zur Verhinderung der Bildung von Schwimmdecken und unerwünschter Sedimentation wird der Inhalt von Biogasanlagen durchmischt. Die Durchmischung des Substrat-Bakterien-Gemischs ist für den optimalen Verlauf von Hydrolyse und Versäuerung Voraussetzung. Dagegen ist für

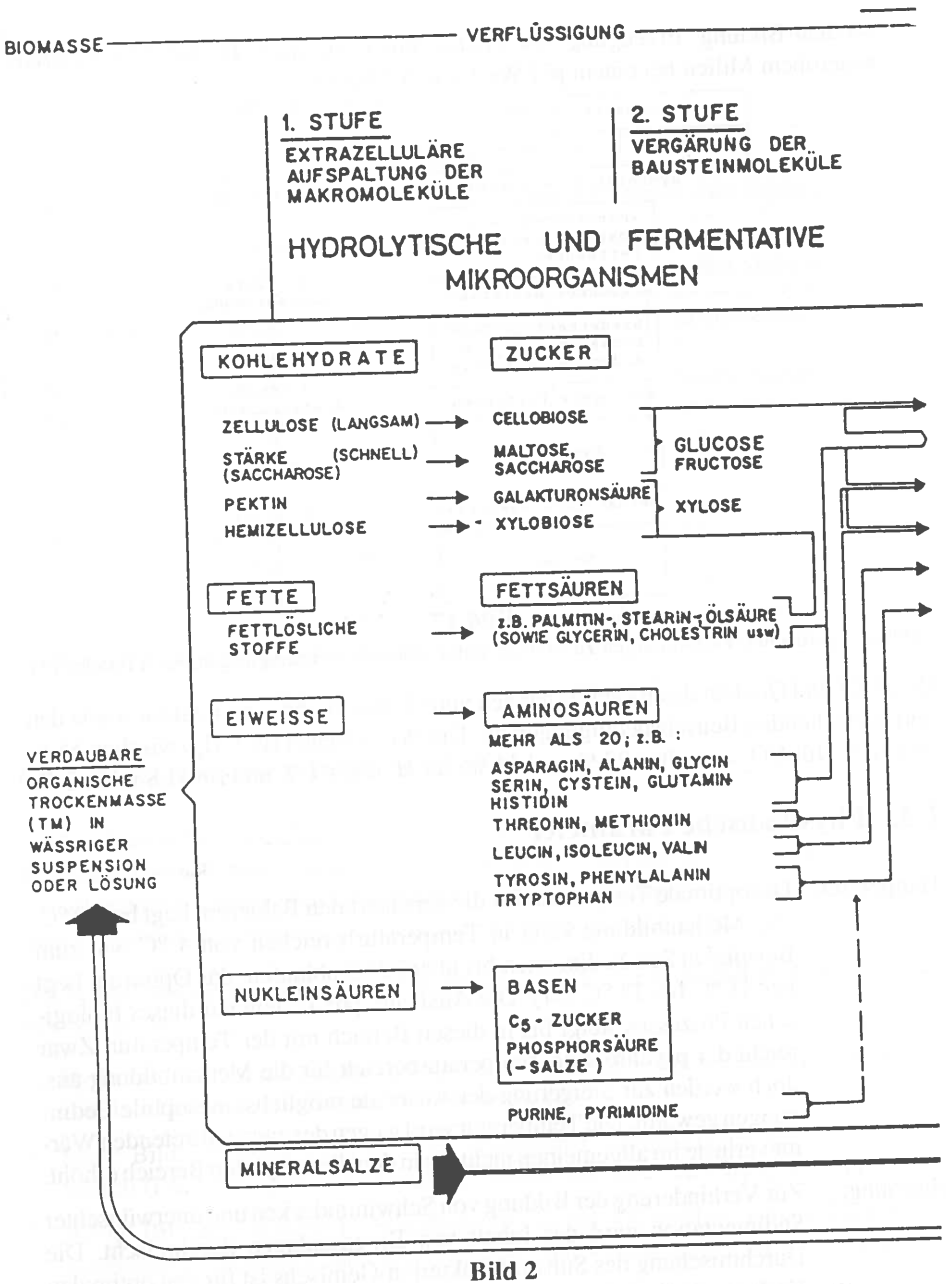


Bild 2

Schematische Darstellung anaerober Abbauprozesse, aus Stegmann (63)

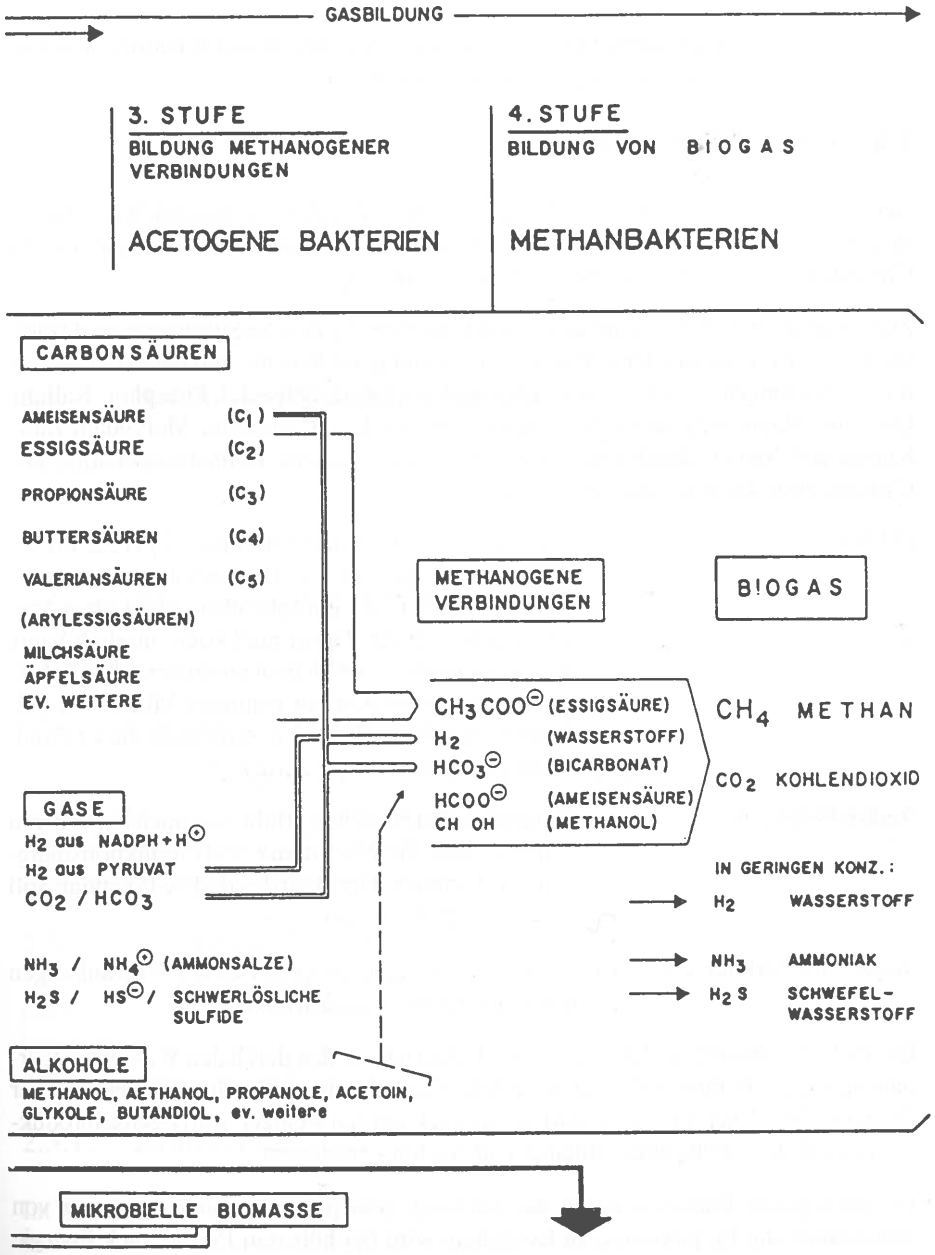


Bild 2

Schematische Darstellung anaerober Abbauprozesse, aus Stegmann (63)

die physiologische Symbiose zwischen acetogenen Bakterien und Methanbakterien enger Kontakt erforderlich.

1.4. Chemische Parameter

Beim Stoffwechselvorgang der Methangewinnung erhalten die Bakterien den für ihr Wachstum und ihre Vermehrung notwendigen Kohlenstoff und die Energie aus der Umsetzung organischer Substanz zu Methan und CO_2.

Zum Wachstum benötigen die anaeroben Bakterien organische Substanzen und Nährsalze. Alle zum Aufbau der Zellsysteme notwendigen Elemente müssen in verwertbaren Verbindungen vorhanden sein. Dies sind Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium sowie Spurenelemente wie Eisen, Mangan, Molybdän, Zink, Kupfer und Nickel. Durch einige Substanzen wie chlorierte Kohlenwasserstoffe und Cyanide wird das Wachstum gehemmt.

pH-Wert: Nach Jager (31) liegt das Optimum bei pH 5,2 bis 6,3 für die hydrolysierenden und fermentativen Bakterien. Das Puffersystem der entstehenden organischen Säuren liegt bei pH 4,8. Daher muß kontinuierlich Säure abgeführt werden. Die Methan produzierenden Bakterienstämme benötigen ein neutrales Milieu mit pH-Werten zwischen 6,8 und 7,2. Außerhalb dieser Bandbreite geht die Ausbeute zurück (8).

Redox-Potential: - Das Redox-Potential beeinflußt, wie auch bei anderen Gärprozessen, die Wachstums- und Produktionsfähigkeit der Bakterien. Der Wert des Redox-Potentials soll kleiner als 250 mV sein.

Wasserstoffpartialdruck (pH_2): Die Bakterien reagieren spezifisch auf Schwankungen des Wasserstoffpartialdrucks (31).

Die hydrolysierenden und fermentativen Bakterien werden durch den Wasserstoffpartialdruck nicht in ihrer Aktivität beeinflußt. Dies gilt aber nicht für die Qualität ihrer Produkte. Bei höherem Wasserstoffpartialdruck werden weniger Stoffwechselprodukte - längerkettige Fettsäuren, Butanol und Aceton - produziert.

Die acetogenen Bakterien treten nur bei niedrigem pH_2 auf. Zur Umsetzung von Buttersäure und Propionsäure zu Essigsäure wird bei höherem Partialdruck Energie verbraucht. Bei dieser Reaktion wird also der bei der Umsetzung entstehende Wasserstoff verbraucht. Die Methanbakterien benötigen H_2 als Elektronendonator und sind

auch gegenüber höherem pH_2 nicht empfindlich. In der Symbiose mit den acetogenen Bakterien erhalten die Methanbakterien die Acetogenen durch Verzehr von H_2 und nutzen dafür ihr Substrat (31).

2. Verfahren und Anlagensysteme

Die Verfahren zur Gewinnung von Biogas in Reaktoren werden in vier Gruppen eingeteilt (10, 46): Batch- und Speicherverfahren und kontinuierliches Verfahren mit und ohne Anreicherung.

2.1. Batch- und Speicherverfahren

Das Substrat wird in einen geschlossenen Behälter gefüllt. Es bleibt dort mehrere Wochen bis zu einigen Monaten. Anlagen älterer Bauart sind meist Batch- oder Speicherverfahren.

2.2. Kontinuierliche Verfahren ohne Anreicherung

Die Weiterentwicklung der Batchverfahren sind die kontinuierlichen Biogasverfahren, bei denen frisches Substrat regelmäßig zugeführt und der ausgefaulte Schlamm abgezogen wird. Der Reaktor wird vollständig durchmischt.

Mit dem Abzug von ausgefaultem Schlamm wird auch aktive Biomasse mit Methanbakterien abgezogen. Die Menge an aktiver Biomasse steht in engem Verhältnis zur zugeführten Substratmenge. Der Durchsatz wird bei vorgegebenem Behältervolumen durch die Abfuhr der Biomasse begrenzt.

2.3. Kontinuierliche Verfahren mit Anreicherung

Die vollständig durchmischten kontinuierlichen Verfahren können durch Zurückhalten von aktiver Biomasse verbessert werden. Verweilzeit und Behältervolumen werden dadurch geringer. Die kontinuierlichen Verfahren sind in Bild 3 dargestellt.

2.3.1. Kontaktverfahren

Im Kontaktverfahren wird in einer dem Faulraum nachgeschalteten Absetzstufe aus dem Ablauf Schlamm gewonnen. Der Schlamm enthält aktive Biomasse und wird in den Faulraum zurückgeführt.