

Applikationsbericht

Universität

**Bestimmung der biologischen
Abbaubarkeit**

Hohenheim



Prof. Dr. Roland Süßmuth
Dr. Christine Doser
Tillmann Lueders

Institut für Mikrobiologie

Garbenstrasse 30
D-70599 Hohenheim

Telephone:
+49-711-459-2229
Fax:
+49-711-459-2238

E-mail:
cdoser@uni-hohenheim.de

Applikationen zur Analytik

Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit organischer Stoffe unter anaeroben Bedingungen mit dem Messsystem OxiTop® Control.

Prüfansatz
Beispiele

1.Auflage: Oktober 1999

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Vorbemerkung

Die Messungen in diesem Report wurde mit dem OxiTop® Control durchgeführt. Die prinzipiellen Schritte sind auch auf das OxiTop®-IDS System übertragbar.

Einleitung

Während man sich bei der Untersuchung von Wasser die biologische Aktivität bereits seit Jahrzehnten als Messgröße in Routinemessverfahren zu Nutze macht (BSB, Sauerstoffzehrung), um Schadstoffeinflüsse zu beurteilen, erreichten vergleichbare Verfahren in der Bestimmung anaerober Abbauntersuchungen bislang keine große Bedeutung. Dies lag unter anderem daran, dass Messverfahren entweder zeitaufwändig und damit kostenintensiv oder nicht einfach handhabbar waren. Durch Fragestellungen im Bereich biologischer Abfallbehandlung unter anaeroben Bedingungen oder der Weiterentwicklung anaerober Bakterientoxizitätstests bestand Interesse an einem einfachen und kostengünstigen Messverfahren. Durch Weiterentwicklung des in aeroben Bereichen bewährten OxiTop® Control-Messsystems mit Neuentwicklung spezifischen Zubehörs konnte die Nutzung auch auf anaerobe Anwendungsbereiche erweitert werden.

Nachfolgend wird dieses Messverfahren an einer Reihe von Beispielen vorgestellt, mit dem in einfacher und reproduzierbarer Weise Messungen des biologischen anaeroben Abbaus in Faulschlamm bzw. Faulschlammemulsionen, insbesondere an Polymeren und Fetten, durchgeführt wurden.

Grundlagen

Wesentliche Vorteile des anaeroben Abbaus

Der anaerobe Abbau von Schadstoffen, z.B. Chemikalien aus Industrieabwässern, hat gegenüber aeroben Abbauprozessen folgende Vorteile:

- Der Anteil der entstehenden Biomasse ist wesentlich geringer als bei aeroben Prozessen.
- Die energieaufwändige Belüftung entfällt.
- Es entsteht Biogas (Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄)), das zur Energiegewinnung genutzt werden kann.

Messprinzip

Beim anaeroben Abbau entsteht durch Bildung von Biogas (CH₄ und CO₂) ein Druckanstieg im Gasraum der gasdicht verschlossenen Messflasche.

Die Testsubstanz als C-Quelle ist in Wasser gelöst und mit einer mineralischen Salzlösung verdünnt. (Testsubstanz >> C-Verbindungen im Faulschlamm). Sie wird mit einer definierten Menge Faulschlamm aus einer kommunalen Kläranlage angeimpft. Parallel dazu werden Probenansätze **ohne** Testsubstanz (**Blindansätze oder Kontrollansätze**) mitgeführt. Die Messflaschen werden mittels Magnetrührstäbchen und Induktiv-Rührsystem leicht gerührt und bei 35°C im Dunkeln inkubiert. Der entstehende Biogasdruck wird im OxiTop®-C Messkopf erfasst und über den gesamten Versuchszeitraum automatisch gespeichert. Die Messdaten werden drahtlos (per Infrarot) in den OxiTop® Controller übertragen. Der gesamte Druckverlauf bzw. die Biogasbildung des Probenansatzes ist am Controller

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

graphisch darstellbar. Die im Controller hinterlegten Daten werden auf einen PC übertragen und in Excel weiter- bearbeitet. Nach erfolgtem Abbau mit Plateaubildung (konstanter Biogasdruck) kann das entstandene CO₂ nach a) oder b) erfasst bzw. absorbiert werden.

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

a) CO₂ im Gasraum

Durch Einspritzen eines CO₂-Absorbers (z.B. 1 ml KOH (30% v/v)) in den Köcher über einen Septenzugang der Messflasche. Die Absorption führt zu einer Druckabnahme im Gasraum.

b) CO₂ in Messlösung und Gasraum

Durch Einspritzen einer Austrieblösung (z.B. 1 ml HCl 19% v/v) über einen Septenzugang in den Versuchsansatz. Das aus der Flüssigphase ausgetriebene und in den Gasraum überführte CO₂ ergibt einen Druckanstieg im Gasraum. Nach vollständigem CO₂-Austrieb wird das im Gasraum befindliche CO₂ nach a) absorbiert und führt damit zu einer Druckreduzierung. Der resultierende Restdruck in den Versuchsansätzen vermindert um den Restdruck in den Blindansätzen ergibt einen Differenzdruck, der dem gebildeten CH₄-Anteil entspricht. Hieraus können quantitative Aussagen über die anaerobe biologische Abbaubarkeit der eingesetzten organischen Stoffe gemacht werden.

Berechnungsgrundlage

Die Bestimmung der "vollständigen" anaeroben biologischen Abbaubarkeit organischer Verbindungen im Faulschlamm ist als Verfahren durch Messung der Biogasproduktion in der DIN EN ISO 11734 (1998) bzw. DEV L47 beschrieben.

Aus praktischen Gründen wird der Gasdruck in Hektopascal (1 hPa = 10² Pa, 1 Pa = 1 N/m²; oder 1 hPa = 1 mbar), das Volumen in Millilitern und die Temperatur in °C gemessen.

Temperaturangabe für Berechnung in Kelvin; z.B. 35°C = 308,15 K.

Grundlage aller folgenden Berechnungen ist das ideale Gasgesetz:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

mit

- n Anzahl der Mole des gebildeten Gases [mol];
- p Gasdruck in Pascal [N/m²];
- V Gasvolumen [m³];
- R Gaskonstante [8,314 J/(mol * K)];
- T Inkubationstemperatur [K].

Falls mit den "gebräuchlicheren" Einheiten hPa bzw. mL gerechnet wird sowie die Gaskonstante R und eine Temperatur T von 35°C (entspricht 308,15 K) durch einen Faktor berücksichtigt werden, kann die Gleichung in der folgenden Form verwendet werden

$$n = p \cdot V \cdot 3,903 \cdot 10^{-8}$$

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

mit

n Anzahl der Mole des gebildeten Gases [mol];

p Gasdruck [hPa];

V Volumen der Gasphase [mL];

Kohlenstoffgehalt in der Gasphase

Der Kohlenstoffgehalt in der Gasphase stellt die Summe von Methan und gasförmigem Kohlenstoff dar. Der aufgrund des Substanzabbaus netto produzierte Kohlenstoff im gebildeten Gas der Gasphase (nach Abzug des entsprechenden Blindwerts) wird berechnet nach:

$$n_{CO_2g/CH_4} = \frac{\Delta p \cdot V_g}{R \cdot T} \cdot 10^{-4}$$

Dabei ist:

n_{CO_2g/CH_4} Anzahl der Mole der gebildeten Gase (Summe Kohlendioxid und Methan) [mol];

Δp Differenz des Gasdrucks am Testende minus Gasdruck zu Testbeginn im jeweiligen Testgefäß minus der entsprechenden Differenz der Blindwerte [hPa];

V_g Volumen der Gasphase im Gefäß [mL];

10^{-4} Umrechnungsfaktor für Pa in hPa und Kubikmeter in Milliliter

Der Verlauf des biologischen Abbaus wird als kumulierter Druckanstieg Δp in hPa gegen die Zeit aufgetragen. Aus dieser Kurve wird die lag-Phase (in Minuten bzw. in Tagen) abgelesen. Die lag-Phase ist die Zeit vom Testbeginn bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein signifikanter Abbau einsetzt (siehe Beispiele im Ergebnisteil).

Kohlenstoffgehalt in der wässrigen Phase

Der Kohlenstoffgehalt in der wässrigen Phase liegt überwiegend als Carbonat bzw. Hydrogencarbonat, also anorganisch gebundener Kohlenstoff vor. Durch das Einspritzen von Salzsäure in den Messansatz wird Carbonat in Kohlendioxid umgewandelt, das in der Gasphase zu einem weiteren Druckanstieg führt, der mit dem Kohlenstoffgehalt in der wässrigen Phase korreliert. Er wird berechnet nach (Der Blindwert berechnet sich analog):

$$n_{CO_2,l} = \left(\frac{p_2 \cdot (V_g - V_{HCl}) - p_1 \cdot V_g}{R \cdot T} \right) \cdot 10^{-4}$$

mit

$n_{CO_2,l}$ Anzahl der Mole des gebildeten Gases (Kohlenstoff in der wässrigen Phase) [mol];

p_1 Absolutgasdruck [hPa] vor dem Einspritzen der Salzsäure;

p_2 Absolutgasdruck [hPa] nach der Kohlendioxidfreisetzung;

V_g Volumen der Gasphase [mL];

V_{HCl} Volumen der zugesetzten Salzsäure [mL]

R Gaskonstante [8,314 J/(mol * K)];

T Inkubationstemperatur [K].

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Aufschlüsselung der einzelnen Gasanteile

Durch das Einspritzen von KOH-Lösung in den Gummiköcher im Gasraum der Messflasche wird das entstandene bzw. freigesetzte Kohlendioxid gebunden. Die Gesamtmenge an Kohlendioxid errechnet sich nach folgender Formel (Der Blindwert berechnet sich analog):

$$n_{CO_2,l/CO_2,g} = \left(\frac{p_3 \cdot (V_g - V_{HCl} - V_{KOH}) - p_2 \cdot (V_g - V_{HCl})}{R \cdot T} \right) \cdot 10^{-4}$$

Mit

$n_{CO_2,l/CO_2,g}$ Anzahl der Mole des insgesamt gebildeten Kohlendioxids [mol];

p_2 Absolutgasdruck [hPa] vor dem Einspritzen der KOH-Lösung;

p_3 Absolutgasdruck [hPa] nach dem Einspritzen der KOH-Lösung;

V_g Volumen der Gasphase [mL];

V_{HCl} Volumen der zugesetzten Salzsäure [mL]

V_{KOH} Volumen der zugesetzten KOH-Lösung [mL]

R Gaskonstante [8,314 J/(mol * K)];

T Inkubationstemperatur [K].

Hinweis: Wird auf eine Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in der wässrigen Phase verzichtet, entfällt in obiger Gleichung V_{HCl} und p_2 entspricht p_1 .

Zu Gas umgesetzter Gesamtkohlenstoff

Der zu Gas umgesetzte Gesamtkohlenstoff wird berechnet nach Gleichung:

$$n_C = n_{CO_2,g/CH_4} + n_{CO_2,l}$$

Dabei ist:

n_C Die Molzahl des gesamten Kohlenstoffs [mol]

Kohlenstoffgehalt der Prüfsubstanz

Um nun den anaeroben Abbaugrad bestimmen zu können ist es notwendig, die experimentell bestimmten Werte gegen den tatsächlichen Kohlenstoffgehalt der Prüfsubstanz in Relation zu setzen.

Der tatsächliche Kohlenstoffgehalt errechnet sich aus der Summenformel der Prüfsubstanz:

$$n_{C,theo} = \frac{m_{PS}}{M_{PS}} \cdot x_C$$

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Mit:

- $n_{C,theo}$ Molzahl an Kohlenstoff in der Prüfsubstanz [mol]
- m_{PS} Einwaage der Prüfsubstanz im Versuchsansatz [g]
- M_{PS} Molare Masse der Prüfsubstanz [g/mol]
- x_C Anzahl der Kohlenstoffatome in der Summenformel

Beispiel: Glucose $C_6H_{12}O_6$: $M_{PS} = 6 \cdot 12 \text{ (g/mol)} + 12 \cdot 1 \text{ (g/mol)} + 6 \cdot 16 \text{ (g/mol)} = 180 \text{ (g/mol)}$

$x_C = 6$ Kohlenstoffatome

Biologischer Abbaugrad

Der biologische Abbaugrad wird aufgrund der Gaskonzentration in der Gasphase berechnet:

$$D_h = \frac{n_{CO_2, g/CH_4}}{n_{C,theo}} \cdot 100\%$$

Der Gesamtabbaugrad wird berechnet nach:

$$D_t = \frac{n_{CO_2, g/CH_4} + n_{CO, l}}{n_{C,theo}} \cdot 100\%$$

Dabei ist:

D_h biologischer Abbaugrad, aufgrund des in der Gasphase gebildeten Gases, in Prozent;

D_t biologischer Gesamtabbaugrad in Prozent.

Durch Auftragen des Abbaugrades D_t gegen die Zeit wird der Verlauf des Abbauprozesses dargestellt.

Material, Medien und Geräte

Reagenzien

- Deionisiertes H_2O
 - CO_2 -Austrieb mit HCl (19% v/v).
 - CO_2 -Absorber KOH (30% v/v).

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Prüfsubstanzen

- In den nachfolgend beschriebenen Versuchen wurden verschieden abbaubare Polymere und Fett getestet.
- **PVA (Polyvinylalkohol)** wird in der Textilindustrie als Schlichtemittel bei der Verarbeitung von Garnen eingesetzt.
- **CM-Stärke (Carboxymethylstärke)** wird ebenfalls in der Textilindustrie als Schlichtemittel eingesetzt.
- **PHB (Polyhydroxybuttersäure)** wird speziell in der Medizin als biologisch abbaubares Polymer bei Implantaten benutzt. PHB wird im Laborreaktor zur Nitrateliminierung im Trinkwasser als C-Quelle, Elektronendonator und Adhaesivum eingesetzt.
- **Fritierfett**

Die Prüfsubstanzen werden in dest. Wasser vorgelegt

Referenzsubstanz

Als leicht abbaubare Referenzsubstanz wird **Glucose** bei den Tests mitgeführt. Glucose wird üblicherweise zu > 60% abgebaut.

Die Glucose wird in dest. Wasser vorgelegt

Medien

- Leitungswasser: pH 7,1
- Salzlösung nach Baumann A and B:

Salzlösung A:

5,44 g KH_2PO_4

6,97 g K_2HPO_4

10,70 g NH_4Cl

ad 1000 ml deionisiertes H_2O , pH 7,0.

Salzlösung B:

2,19 g $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

2,03 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

0,4 g $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

6,3 mg MnCl_2

1,0 mg ZnCl_2

0,6 mg CuCl_2

0,2 mg $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

12,2 mg $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

1,0 mg $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

1,0 mg Na_2SeO_3

ad 1000 ml deionisiertes H_2O

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- Lösung nach TeGeWa:
 - 85 mg KH_2PO_4
 - 218 mg K_2HPO_4
 - 334 mg $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
 - 475 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
 - 33 mg $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
 - 23 mg $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
 - 0,25 mg FeCl_3
- ad 1000 ml deionisiertes H_2O

Mikroorganismen

- Faulschlamm aus öffentlicher Kläranlage mit überwiegend kommunalem Anteil;
- Zugabe 25 ml (10% v/v).

Geräte

Übliche bzw. Allgemeine Laborausstattung wie Pipetten, Bechergläser, Messzylinder.

- OxiTop® -Control Messköpfe (WTW, D-82362 Weilheim, FRG).
- OxiTop® OC110 Controller (WTW, D-82362 Weilheim, FRG).
- ACHAT OC PC Communication Software (WTW, Weilheim, FRG),
Datenübertragungskabel Typ AK 540/B für RS 232,
PC, Mindestausstattung: Prozessor 80486, 16 MB RAM, RS 232 Schnittstelle,
Betriebssystem Windows 3.1 or 3.11.
- Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL® 5.0 (Microsoft).
- Messflaschen MF 45/500 (WTW Weilheim, FRG).
- OxiTop® AD/SK Adapter mit Schraubköcher (WTW Weilheim, FRG).
- Thermostatschrank TS 606/2-Var (WTW Weilheim, FRG).
- Inductiv Rührsystem IS 6-Var (WTW Weilheim, FRG).
- Anaerobierzelt (Coy Lab. Prod., USA) with N_2 / H_2 atmosphere and sluice.
- pH-Meter (Anzeigegenauigkeit 0.01 pH).
 - Laborwaage (Ablesegenauigkeit mind. 0,1g).

Versuchsbeschreibung

Vorbereitung

- Ermittlung des Flaschenvolumens (Gasvolumen) der im Versuch eingesetzten Messflaschen MF 45/500 mit eingesetztem Gummiköcher GK 600, OxiTop® Adapter AD/SK und Magnetrührstab RST 600 durch
- Bestimmung des **Leergewichtes** der Messflaschen,
- Luftblasenfreie Befüllung der Messflaschen mit Wasser mit **Gewichtsbestimmung der befüllten Flasche.**
- Ermittlung des Gasvolumens durch Differenzbildung.
- Der durchschnittliche Wert pro Flasche beträgt: **617 ml Gasvolumen.**

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- In den nachfolgenden Versuchen wird (wenn nicht anders beschrieben) jeweils ein **Versuchsvolumen von 250 ml** pro Flasche eingesetzt.
- Das entspricht einem resultierenden **Gasraum von 367ml**.
- Ansetzen der anoxen Medienlösungen (z.B. durch N₂-Einleitung).

Ansetzen der Prüf - und Kontrollansätze

- Die Befüllung der Versuchsansätze erfolgt im Anaerobierzelt unter N₂-Atmosphäre.
- Magnetrührstab in Messflasche geben und mit Medienlösung füllen (Leitungswasser, Salzlösungen nach Baumann, TEGEWA-Lösung)
- Mit möglichst frischem Faulschlamm (25 ml) beimpfen.
- Anschließend Zugabe der Testsubstanzen (mit **Ausname** der **Glukose**, die erst **unmittelbar vor Versuchsstart** eingespritzt wurde) entsprechend dem gewählten Konzentrationsbereich. Es werden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt.
- Ansetzen eines Kontrollansatzes (Blindwert) ohne Testsubstanz um die Eigenaktivität des Schlamms zu bestimmen. Es werden entsprechende Volumina deionisiertes H₂O zugesetzt.
- pH-Wert in den Versuchsansätzen bestimmen; ggf. Mit verdünnter Lauge oder Säure auf pH 7 ± 0.2 einstellen.
- Öffnungen der Messflaschen mit Köcher und Septen dicht verschließen und OxiTop[®] Adapter einsetzen. Verschlussverschraubung GL45 und Gummiköcher lose auflegen.
- Bei 25°C (wenn technisch möglich bei 35°C) über Nacht im Anaerobierzelt inkubieren um für den nachfolgenden Versuch eine anaerobe Atmosphäre zu gewährleisten.
- Thermostatschrank mit Rührplattformen bei 35°C 2-3 h vortemperieren.
- Vor Versuchsbeginn in die entsprechenden Flaschen Glukoselösung (0.5 ml) einspritzen.
- Verschlussverschraubung GL45 und OxiTop[®]-C Messköpfe dicht aufschrauben und Flaschen aus dem Anaerobierzelt ausschleusen.
- Versuchsart "Druck p" am Controller anwählen; Versuchsdauer eingeben (z.B. 20 Tage); Warndifferenzdruck einstellen z.B. 250 hPa (s.auch BA OC110); Messköpfe starten.

Inkubation und Gasmessung

- Während der gewählten Versuchsdauer werden die Testansätze bei 35°C im Thermostatschrank inkubiert. Um eine gleichmäßige Temperatur in den Proben zu erhalten werden die Testansätze auf Inductiv-Stirring Rührsystem bei langsamer Geschwindigkeit gerührt.
- Anmerkung:
Bei empfindlichen Bakterienstämmen kann bzw. muss ggf. auf das kontinuierliche Rühren verzichtet werden. Alternativ dazu leichte Bewegung auf Schüttelmaschine (50-100 rpm/min) oder manuelle Bewegung (z.B. 1x pro Tag).

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- Durch Bildung von Biogas während des Abbaugeschehens entsteht in den Messflaschen ein Überdruck. Die Druckmesswerte werden im OxiTop® Messkopf automatisch gespeichert.
- Die Übertragung der Messwerte in den Controller erfolgt durch den Bediener je nach Biogasbildung in beliebigen Zeitintervallen mit Beobachtung des Druckverlaufs und ggf. Speicherung des Momentanwerts.
- Bei Überschreitung des Warndifferenzdrucks selektive Bearbeitung der Probe (z.B. Belüftung über Septum)
- Am Ende des Versuchs erfolgt z.B. über Entnahme von Probe die Bestimmung des pH-Werts. Desweiteren wird je nach Arbeitsweise 1 ml HCl in die einzelnen Messflaschen eingespritzt (siehe auch 3.2). Dies dient dazu, aus der wässrigen Phase CO₂ auszutreiben. Die Proben werden für weitere 4 h im Thermostaten-schrank bei 35°C inkubiert.
- Anschließend wird 1ml KOH in den Gummiköcher der Probenflaschen eingespritzt.
- Die Messflaschen werden nach Absorberzugabe (KOH) noch weitere 18-24 h bei 35°C inkubiert. Als Restdruck verbleibt das gebildete Methan.
- Die gespeicherten Messkopfdaten werden in den Controller eingelesen und über das PC-Kommunikationsprogramm Achat OC aus dem Controller direkt in den PC übertragen. Die Auswertung erfolgt über das Tabellenkalkulationsprogramm Excel.

Durchführung der Versuche; Ergebnisse

Ansätze mit verschiedenen Pufferlösungen

Um ein optimales Medium für die Versuchsdurchführung zu finden, wurden im ersten Teil der Versuche verschiedene Pufferlösungen getestet.

Versuch1: Einsatz folgender Lösungen (jeweils im Doppelansatz)

- Leitungswasser
- Mineralsalzlösung nach Baumann A
- Salzlösung nach TeGeWa

Zum Beimpfen aller Versuchsansätze wurde benutzt:

- Vorrätiger Faulschlamm in einer Konzentration von 6% (v/v).

Testsubstanz für den Abbau:

- Glucose; die eingesetzte Glucosemenge betrug 75 mg (in einem Flüssigkeitsvolumen von insgesamt 365 ml in den Messflaschen)

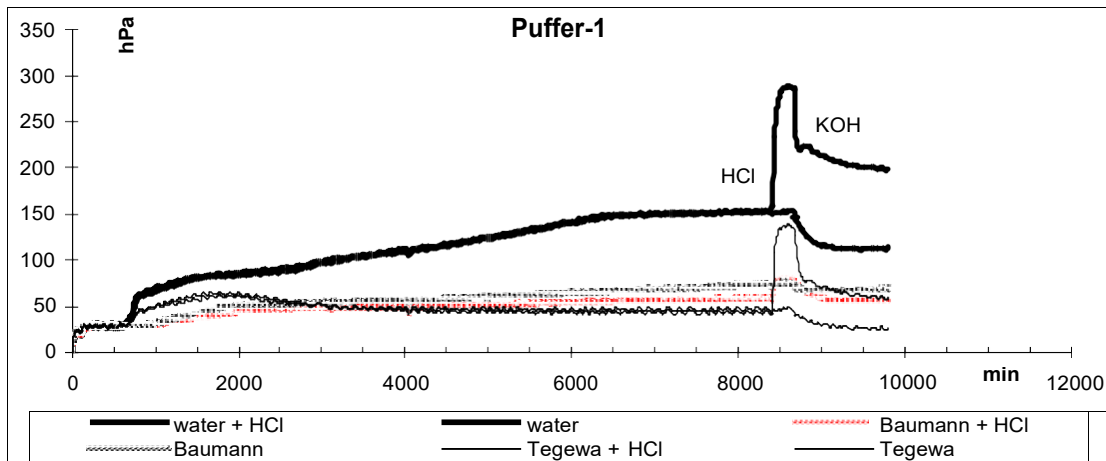
Das Flüssigkeitsvolumen in den Flaschen betrug 365 ml, der Gasraum 252 ml.

Pipettierschema:

Flasche	Leitungswasser		Baumann A		TeGeWa	
	A	B	C	D	E	F
Faulschlamm	19,5ml	19,5ml	19,5ml	19,5ml	19,5ml	19,5ml
Lösung	345ml	345ml	345ml	345ml	345ml	345ml
Glucose (150mg/ml)	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml
HCl	1ml	-	1ml	-	1ml	-
KOH	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Abbildung 1: Abbau von Glucose in verschiedenen Pufferlösungen mit Faulschlamm (ohne und mit CO₂-Austrieb)



Bei den dargestellten Kurven handelt es sich um folgende Versuchsansätze:

- **Wasser + HCl:** CO₂ wurde am Ende des Versuchs mit HCl ausgetrieben (Druckanstieg) und anschließend KOH als Absorber zugegeben (Druckabfall).
- **Wasser:** es wurde bei Versuchsende nur KOH als Absorber zugegeben (Druckabfall).
- **Baumann + HCl:** CO₂ wurde am Ende des Versuchs mit HCl ausgetrieben (geringer Druckanstieg) und anschließend KOH als Absorber zugegeben (Druckabfall).
- **Baumann:** Zugabe von KOH als Absorber bei Versuchsende (Druckabfall).
- **TeGeWa + HCl:** CO₂ wurde am Ende des Versuchs mit HCl ausgetrieben (Druckanstieg) und anschließend KOH als Absorber zugegeben (Druckabfall).
- **TeGeWa:** Zugabe von KOH als Absorber bei Versuchsende (Druckabfall).

Der Zeitpunkt des Austriebs mit HCl, erkennbar an einem starken Druckanstieg bei Versuchsende, ist in der Graphik markiert. Ebenso der Zeitpunkt der Zugabe des Absorbers KOH in den Köcher (Gasphase), der mit einem Druckabfall verbunden ist.

Abbildung 1 zeigt einen unmittelbar nach Versuchsstart einsetzenden Druckanstieg in allen Ansätzen, der zunächst auf eine Temperaturadaption von 25°C auf 35°C zurückzuführen ist. Nach einer lag-Phase von 12 h erfolgt ein für den anaeroben Abbau signifikanter Druckanstieg.

- In den Ansätzen mit Leitungswasser und TeGeWa-Lösung war der Druckanstieg starker und ging in den Ansätzen mit Leitungswasser allmählich in ein Plateau über.
- In den TeGeWa-Ansätzen fiel der Druck nach einem Maximum nach 28 h wieder ab und pendelte sich auf einen nahezu konstanten Wert ein.
- Abbildung 1 zeigt deutlich, dass beim Einsatz von Leitungswasser ein sehr gutes Abbauergebnis der Glucose erzielt wird. Im Gegensatz dazu wird vor allem bei der eingesetzten TeGeWa-Lösung ein wesentlich geringerer Druckanstieg erreicht und der Abbau von Glucose verzögert.

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- Auch mit der Mineralsalzlösung nach Baumann A fand nur ein geringer Druckanstieg statt und das Plateau der Kurve ähnelte dem der eingesetzten TeGeWa-Lösung.
- Nach Erreichen einer Plateauphase wurde nach 139,5 h (5,8 d) in die entsprechenden Versuchsansätze 1 ml HCl eingespritzt und das in Lösung befindliche CO₂ ausgetrieben.
- Nach 144,2 h wurde das nun in der Gasphase vorhandene CO₂ durch Zugabe eines Absorbers (0,5 ml KOH) in den Köcher der Messflasche absorbiert.
- Hierauf erfolgte ein Druckabfall.

Berechnungen zu Versuch 1, Abbildung 1

Der Versuch wurde ohne Kontrolle (d.h. ohne Blindwert Faulschlamm) durchgeführt, so dass die gebildeten Gasmengen nur als Absolutwert angegeben werden können.

Table 1a: Biogasbildung

Fermentation	Leitungswasser + Glucose		Leitungswasser + Glucose	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Zeit [min]	616	8008	616	8008
p [hPa] (Messwert)	30	153	27	152
p [hPa]	1043,25	1166,25	1040,25	1165,25
Gasraum [ml]	252,0	252,0	252,0	252,0
Temp [°C]	35	35	35	35
T [K]	308.15	308.15	308.15	308.15
Gas [mmol]	10,26	11,47	10,23	11,46
Diff. [mmol]		1,21		1,23

=> In Leitungswasser wurden 75mg Glucose umgesetzt zu: 1,22 mmol Kohlenstoff
im Gas
(CO₂+CH₄)

Dauer: 123,2 h

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Tabelle 1b: Austrieb mit HCl

Austrieb	Leitungswasser + Glucose	
	Beginn	Ende
Zeit [min]	8372	8652
p [hPa]	153	287
(Messwert)		
p [hPa]	1166,25	1300,25
Gasraum [ml]	252,0	251,0
Temp [°C]	35	35
T [K]	308,15	308,15
Gas [mmol]	11,47	12,74
Diff. [mmol]		1,27

=> In Leitungswasser wurden durch 1ml HCl ausgetrieben: 1,27 mmol Kohlenstoff
im Gas (CO₂fl.)

Dauer: 4,7 h

Tabelle 1c: Aufschlüsselung der Anteile CO₂ in CO₂fl und CO₂g durch KOH-Absorption

Absorption	Leitungswasser mit HCl		Leitungswasser ohne HCl	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Zeit [min]	8652	9520	8652	9520
p [hPa]	287	201	153	112
(Messwert)				
p [hPa]	1300,25	1214,25	1166,25	1125,25
Gasraum [ml]	251,0	250,5	252,0	251,5
Temp [°C]	35	35	35	35
T [K]	308,15	308,15	308,15	308,15
Gas [mmol]	12,74	11,87	11,47	11,05
Diff. [mmol]		-0,87		-0,43

==> Nach HCl-Zugabe wurden mit 0.5ml KOH absorbiert: 0,87 mmol CO₂
Dauer: 14,5 h

==> Ohne HCl-Austrieb wurden mit 0.5ml KOH absorbiert: 0,43 mmol CO₂
Dauer: 14,5 h

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Tabelle 1d: Fermentation von Glucose in Lösung nach Baumann A (mit Faulschlamm)

Fermentation	Baumann A + Glucose		Baumann A + Glucose	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Zeit [min]	616	8008	616	8008
p [hPa] (Messwert)	27	58	30	72
p [hPa]	1040,25	1071,25	1043,25	1085,25
Gasraum [ml]	252,0	252,0	252,0	252,0
Temp [°C]	35	35	35	35
T [K]	308,15	308,15	308,15	308,15
Gas [mmol]	10,23	10,54	10,26	10,67
Diff. [mmol]		0,30		0,41

==> In Baumann A wurden 75mg Glucose umgesetzt zu: 0,36 mmol Kohlenstoff
im Gas
(CO₂g+CH₄)

Dauer: 123,2 h

Tabelle 1e: Austrieb mit HCl

Austrieb	Baumann A + Glucose	
	Beginn	Ende
Zeit [min]	8372	8652
p [hPa] (Messwert)	58	79
p [hPa]	1071,25	1092,25
Gasraum [ml]	252,0	251,0
Temp [°C]	35	35
T [K]	308,15	308,15
Gas [mmol]	10,54	10,70
Diff. [mmol]		0,16

==> In Baumann A wurden durch 1ml HCl ausgetrieben: 0,16 mmol Kohlenstoff
im Gas (CO₂fl) Dauer: 4,7 h

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Tabelle 1f: Aufschlüsselung der Anteile CO₂ in CO_{2fl} und CO_{2g} durch KOH-Absorption

Absorption	Baumann A mit HCl		Baumann A ohne HCl	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Zeit [min]	8652	9520	8652	9520
p [hPa] (Messwert)	79	57	73	67
p [hPa]	1092,25	1070,25	1086,25	1080,25
Gasraum [ml]	251,0	250,5	252,0	251,5
Temp [°C]	35	35	35	35
T [K]	308,15	308,15	308,15	308,15
Gas [mmol]	10,70	10,46	10,68	10,60
Diff. [mmol]		-0,24		-0,08

==> Nach HCl-Zugabe wurden mit 0,5ml KOH absorbiert: 0,24 mmol CO₂
Dauer: 14,5 h

==> ohne HCl-Austrieb wurden mit 0,5ml KOH absorbiert: 0,08 mmol CO₂
Dauer: 14,5 h

Da der Druckanstieg (Abbildung 1) in den Versuchsansätzen mit TeGeWa-Lösung sehr schwach verlief, wurde darauf verzichtet die entstandenen Biogasmengen zu berechnen.

Tabelle 2: Gebildete Gasmengen und Abbaugrad nach einer Gesamtfermentationsdauer von 123,2 h

		Leitungswasser	Lösung Baumann A
Gasphase nach Fermentation	mmol C in Gasphase (CO _{2g} + CH ₄)	1,22	0,36
Gasphase nach Austrieb mit HCl	mmol C in Gasphase (CO _{2fl})	1,27	0,16
Gesamtgas	mmol C in Gasphase (CH ₄ + CO _{2fl} + CO _{2g})	2,49	0,52
CO ₂ -Absorption durch KOH ohne HCl-Austrieb	mmol C in Gasphase (-CO _{2g})	0,43	0,08
CO ₂ -Absorption durch KOH nach HCl-Austrieb	mmol C in Gasphase (-CO _{2g} + CO _{2fl})	0,87	0,24
Biol.Abbaugrad D _t		99,6%	20,8%
Biol.Abbaugrad D _n		48,8%	14,4%

Die mit 1 ml HCl ausgetriebene Gasmenge konnte durch 0,5 ml KOH nicht vollständig absorbiert werden. Für die Folgeversuche wurde die Absorbermenge auf 1 ml KOH erhöht. Eine Überprüfung des Absorbers kann für den speziellen Fall sinnvoll sein.

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Versuch 2 mit verschiedenen Pufferlösungen

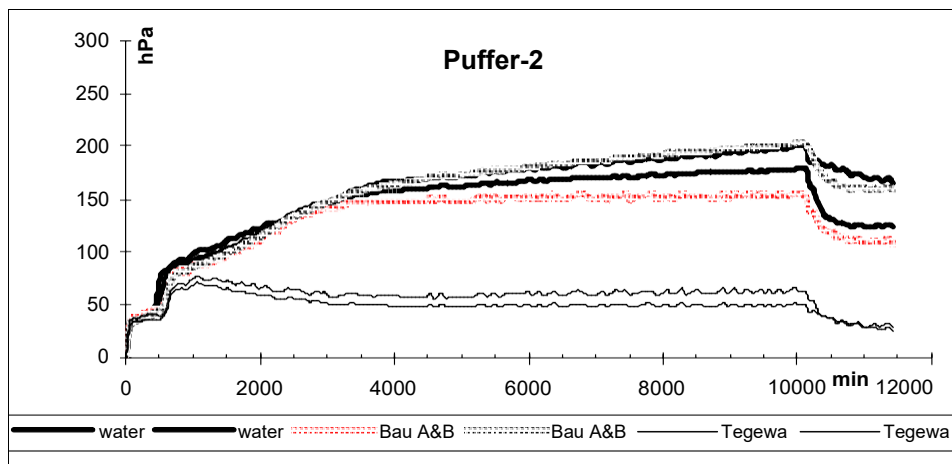
Bei einem weiteren Versuch mit verschiedenen Pufferlösungen wurden mehrere Parameter verändert:

- Menge an **frischem Faulschlamm**: 25 ml; Konzentration: 10% (v/v).
- Flüssigkeitsvolumen: 250 ml; Gasraum: 367 ml.
- Die Mineralsalzlösung nach Baumann A wurde durch die Mineralsalz- und Spurenelementlösung nach Baumann B ergänzt.

Pipettierschema:

	Leitungswasser		Baumann A + B (H ₂ O)		TeGeWa	
Flasche	A	B	C	D	E	F
Faulschlamm	25ml	25ml	25ml	25ml	25ml	25ml
Lösung	224,5ml	224,5ml	12,5ml A	12,5ml A	224,5ml	224,5ml
			12,5ml B	12,5ml B		
			199,5ml H ₂ O	199,5ml H ₂ O		
Glucose	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml	0,5ml
KOH	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml

Abbildung 2: Abbau von Glucose in verschiedenen Pufferlösungen mit Faulschlamm



Der Versuch wurde wie Versuch 1 aus technischen Gründen ohne Kontrolle (Blindwert Faulschlamm) durchgeführt, so dass die gebildeten Gasmengen nur als Absolutwerte angegeben werden können.

Außerdem wurde am **Ende des Versuchs CO₂ nicht mit HCl ausgetrieben**.

Das in der Gasphase befindliche CO₂ wurde durch Zugabe von KOH in den Köcher absorbiert.

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- Nach einem Druckanstieg zu Beginn des Versuchs war wiederum eine lag-Phase zu beobachten, bevor in allen Ansätzen nach ca. 10 h ein starker Druckanstieg den beginnenden Abbau der eingesetzten Glucose anzeigte.
- Der Druckanstieg war wesentlich stärker als in Versuch 1 und es wurden in allen Ansätzen höhere Maximalwerte erreicht. Dies war auf den Einsatz des frischen Faulschlammes zurückzuführen.
- Bei der eingesetzten TeGeWa-Lösung war nach 35 h wiederum ein Druckabfall zu beobachten.
- Die Ansätze mit Mineralsalzlösung nach Baumann A und B zeigten dieses Mal einen nahezu parallel verlaufenden Druckanstieg und Plateaubildung wie die Ansätze mit Leitungswasser und ähnlich hohe maximale Druckwerte.
- Nach Erreichen eines Plateaus in den Versuchsansätzen wurde das in der Gasphase befindliche CO₂ durch Zugabe von 1ml KOH in den Köcher absorbiert. Die errechneten Biogasmengen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 3: Übersicht über die gebildeten Biogasmengen

		Leitungswasser	Baumann A&B	TeGeWa
Fermentation	mmol Gas (Gesamtkohlenstoff)	1,8	1,68	0,24
Dauer	h	63,5	123,2	123,2
Absorption	mmol CO ₂ g	0,62	0,67	0,43

Abbauversuche mit verschiedenen Polymeren

Es wurde eine Versuchsreihe mit verschiedenen leicht und schwer abbaubaren Polymeren durchgeführt.

- Faulschlamm: eingesetzte Konzentration 10% (v/v)
- Medium: Leitungswasser.
- Testsubstanzen: PVA, CM-Stärke, PHB, Fett.
- Referenzsubstanz: Glucose.
- Kontrolle: Ansatz mit Faulschlamm ohne Testsubstanz.

Aus Kapazitätsgründen wurden nicht alle Substanzen im Doppelansatz geprüft.

Abbauversuch mit PVA und CM-Stärke

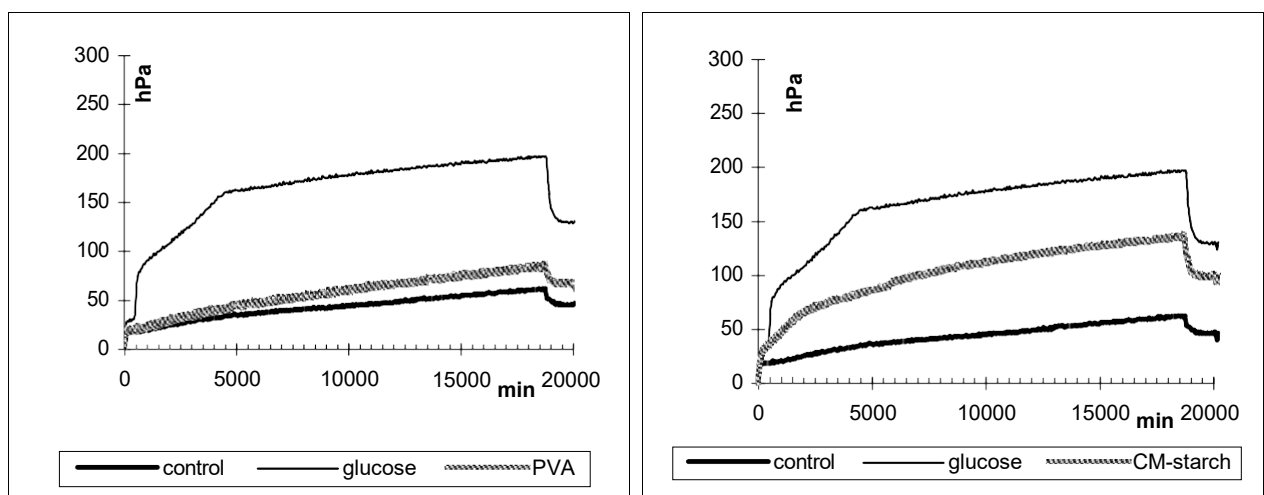
Es wurde im folgenden Versuch (Abbildung 3) gearbeitet mit:

- Faulschlamm: vorhanden; Konzentration 10% (v/v).
- Testsubstanzen: Polyvinylalkohol (PVA), Carboxymethylstärke (CM-S).

Pipettierschema:

	Kontrolle	Glucose	PVA	CM-S
Flasche	A	B	C	D
Faulschlamm	25ml	25ml	25ml	25ml
Wasser	225ml	224,5ml	175ml	175ml
Substrat	-	75mg / 0,5ml	50mg / 50ml	50mg / 50ml
KOH	1ml	1ml	1ml	1ml

Abbildung 3: Abbau von verschiedenen Polymeren mit Faulschlamm
(nur CO₂-Absorption im Gasraum ohne CO₂-Austrieb aus Flüssigphase)



AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

Nach einer kurzen lag-Phase war bei Glucose nach 7,5 h, bei PVA nach 9,3 h und bei CM-S nach 2,8 h ein Druckanstieg festzustellen, der im weiteren Verlauf grob angenähert in ein Plateau übergang.

Berechnungen zu Versuch 3. Abbildung 3

Die Berechnungen wurden wie in Versuch 1 ausführlich beschrieben durchgeführt. Es wurde bei der Berechnung der umgesetzten Gasmenge der Kontrollwert (Faulschlamm ohne Prüfsubstanz) abgezogen.

Table 4: Übersicht über die gebildeten Biogasmengen

		Glucose	PVA	CM-Stärke
Menge	mg	75	50	50
Fermentation	mmol Gas (Gesamtkohlenstoff)	1,53	0,29	0,87
Dauer	h	75,6	301,5	215
Absorption	mmol CO ₂ g	0,73	0,04	0,3

Im Einzelnen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Nach 76 h waren die eingesetzten 75 mg Glucose in 1,53 mmol Gas umgesetzt. Die gebildete CO₂-Menge betrug 0,73 mmol, die Methanmenge 0,8 mmol.
- Nach 302 h waren 50 mg PVA umgesetzt in 0,3 mmol Gas. Die Umsetzung des PVA war zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Die gebildete CO₂-Menge betrug 0,04 mmol.
- Nach 215 h waren 50 mg CM-Stärke umgesetzt in 0,87 mmol Gas. Die absorbierte CO₂-Menge betrug 0,3 mmol.

Abbauversuch mit PHB und Fritierfett

Der Abbauversuch mit Polymeren (Abbildung 4) wurde durchgeführt mit:

- Faulschlamm: frisch; eingesetzte Konzentration: 10% (v/v)
- Testsubstanzen: PHB, Fritierfett.

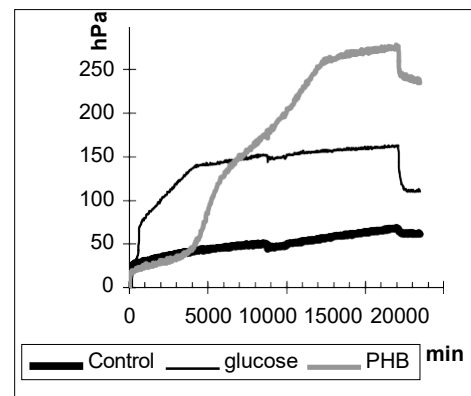
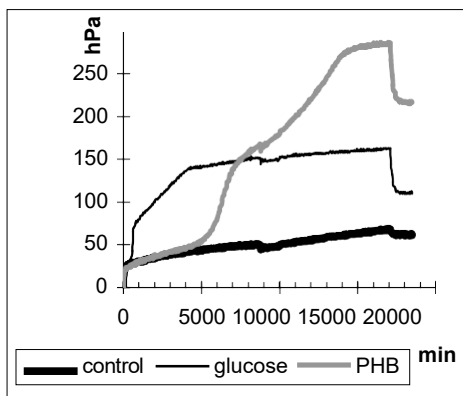
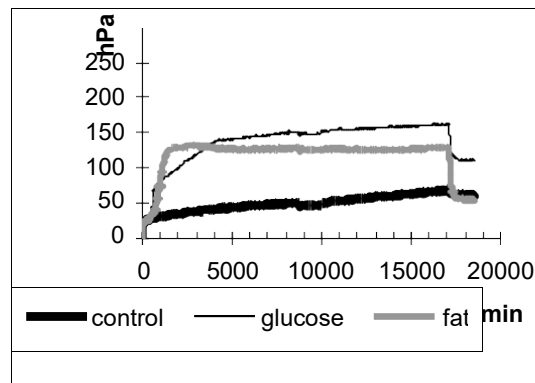
Pipettierschema:

	Kontrolle	Glucose	Fett	PHB	PHB
Flasche	A	B	D	E	F
Faulschlamm	25ml	25ml	25ml	25ml	25ml
Wasser	225ml	224,5ml	175ml	175ml	175ml
Substrat	-	75mg / 0,5ml	5ml / 50ml	100mg/ 50ml	100mg/ 50ml
KOH	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml

pH-Werte zu Beginn und am Ende der Versuche:

Flasche	A	B	D	E	F
Beginn	7,94	7,97	8,06	8,05	8,01
Ende	8,17	8,56	4,95	8,22	7,3
Δ pH	0,23	0,59	-3,11	0,17	-0,71

Abbildung 4: Abbau von PHB und Fritierfett in Leitungswasser mit Faulschlamm (nur CO₂-Absorption im Gasraum ohne CO₂-Austrieb aus Flüssigphase)



- Nach einer kurzen lag-Phase von 8,4 h war im Versuchsansatz mit Glucose ein Druckanstieg zu beobachten. Nach 78 h war mit Glucose ein Plateau bei 142 hPa erreicht.
- Der Ansatz mit Fett benötigte 12 h bis zu einem Druckanstieg. Nach 31 h war ein Plateau erreicht mit einem Druck von 130 hPa.

AB_BSB_Anaerob_lab_01_D

- Die beiden PHB-Proben benötigten ebenfalls eine längere lag-Phase und zeigten erst nach 68 h einen kontinuierlichen Druckanstieg. Nach ca 116 h war in beiden PHB-Proben eine erneute lag-Phase angedeutet. Nach 144 h erfolgte ein deutlicher Druckanstieg bis zu einem Maximum von 279 hPa nach 244 h.
- Die Messung des pH-Werts ergab zu Beginn Werte um pH 8,0, die bei Versuchsende mit Ausnahme der Fettprobe nur leicht erhöht waren.
- Eine PHB-Probe zeigte bei Versuchsende einen niedrigeren pH-Wert um pH 7,3.
- Die Fettprobe wies bei Versuchsende einen stark abgesunkenen pH-Wert von 5 auf. Dies ist auf eine vermehrte Säurebildung bei der Umsetzung des Fetts zurückzuführen.

Berechnungen zu Versuch 4. Abbildung 4

Die Berechnungen wurden wie in Versuch 1 ausführlich beschrieben durchgeführt. Es wurde bei der Berechnung der umgesetzten Gasmenge der Kontrollwert (Faulschlamm ohne Prüfsubstanz) abgezogen.

Tabelle 5: Übersicht über die gebildeten Biogasmengen

		Glucose	Fett	PHB
Menge	mg	75	5ml	100
Fermentation	mmol Gas (Gesamtkohlenstoff)	1,31	1,22	2,99
Dauer	h	69,1	18,7	175,5
Absorption	mmol CO ₂ g	0,66	0,99	0,68
Biolog. Abbau- grad D _h (in der Gasphase gebildetes Gas)	%	-	-	63,5%
CO ₂ -Anteil	%	50,4%	81,1%	22,7%

Folgende Umsetzung der Substrate zu Gas wurde erreicht:

- 75 mg Glucose wurden in 69 h umgesetzt zu 1,31 mmol Gas. Davon waren 0,66 mmol CO₂ und 0,65 mmol Methan.
 - 5 ml Fett wurden nach 18,7 h umgesetzt zu 1,22 mmol Gas, davon 0,99 mmol CO₂ und 0,23 mmol Methan.
 - 100 mg PHB wurden umgesetzt zu 0,68 mmol CO₂ und 2,31 mmol Methan.
- Da keine stöchiometrischen Mengen eingesetzt wurden, lassen sich aus diesen Messdaten nur Relativwerte ableiten.
- PHB und Glucose haben die gleiche CO₂-Menge gebildet trotz größerer eingesetzter PHB-Menge.
 - Beim PHB-Abbau überwiegt die Bildung von Methan, das sich im Gegensatz zu CO₂ nicht in Wasser löst und daher den hohen Druckanstieg bewirkt.
 - Nach der angedeuteten Zwischen-lag-Phase, in der die gebildeten CO₂-Mengen in der Gasphase beim Glucose- und PHB-Abbau annähernd gleich groß sind, beginnt die Methanproduktion der methanogenen Bakterien.

Weitere durchgeführte Wiederholungsversuche mit verschiedenen Pufferlösungen und mit verschiedenen Polymeren konnten die bisher erzielten Ergebnisse bestätigen.

So konnte bestätigt werden, dass die Messung des Abbaus in Te Ge Wa-Lösung zu keinem Ergebnis führte (vergl. Abb. 1)

Zu Beginn war zwar ein den anderen Ansätzen vergleichbarer Druckanstieg zu beobachten, doch der Druck fiel nach 30 h stark ab und blieb konstant.

Diskussion

Interpretation der Versuche 1 and 2 mit unterschiedlichen Pufferlösungen

- Es wurde in beiden Versuchen zu Beginn eine eindeutige lag-Phase beobachtet. Die im Faulschlamm vorhandenen Mikroorganismen müssen sich an die neuen Umgebungsbedingungen adaptieren, bevor ihre Stoffwechselaktivität beginnen kann.
- Es konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass es von entscheidender Wichtigkeit ist, mit frischem Faulschlamm zu arbeiten, da hier durch aktivere Mikroorganismen eine bessere Adaption an die Umgebung stattfinden kann und damit wesentlich bessere Abbauwerte für Glukose erreicht werden können.
- Die beiden Versuche zeigen eindrucksvoll die Bedeutung des Mediums bei der Versuchsdurchführung:
 - - Die geringe Konzentration an Mineralien und das Fehlen wichtiger Spurenelemente ist wahrscheinlich der Grund für die schlechteren Druckwerte in den Ansätzen mit Salzlösung nach Baumann A (Versuch 1)
 - - Demgegenüber verläuft der Druckanstieg und der weitere Kurvenverlauf in den Ansätzen mit Mineralsalz- und Spurenelementlösung nach Baumann A und B und in den Ansätzen mit Leitungswasser parallel.
 - - Dies deutet darauf hin, dass das Vorhandensein von Spurenelementen von wesentlicher Bedeutung für die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen im Faulschlamm ist.
 - - Die Pufferkapazität des Phosphatpuffers in den Lösungen nach Baumann spielt in diesen Glukoseabbauversuchen eine untergeordnete Rolle.
 - - Im Leitungswasser sind die für den Stoffwechsel der Mikroorganismen wichtigsten Mineralien und Spurenelemente vorhanden.

Fazit aus den beiden Versuchen:

- Bei den verwendeten Faulschlämmen konnte als Versuchsmedium aus den genannten Gründen auch mit Leitungswasser gearbeitet werden.
- Für den Einsatz der Mineralsalz- und Spurenelementlösung nach Baumann spricht, dass auch bei unterschiedlichen Schlämmen eine definierte und sichere Versorgung der Mikroorganismen gewährleistet werden kann.

Interpretation der Versuche zum Abbau von Polymeren

- Die Ergebnisse der Abbauprobe zeigten wiederum, dass es von großer Bedeutung ist, mit frischem Faulschlamm zu arbeiten, da hier aktive Mikroorganismen vorliegen, die in der Lage sind, sich an Versuchsbedingungen zu adaptieren.
- Nach einer lag-Phase sind die Mikroorganismen in der Lage, leichter abbaubare Polymere wie PHB, aber auch modifizierte Polymere wie Carboxymethylstärke abzubauen.
- Bei PHB zeigte sich außerdem eine 2. lag-Phase nach einem 1. Druckanstieg, was sich auf Methanbildung zurückführen lässt. Dies deutet darauf hin, dass der Abbau des PHB in einer zweiten Phase wesentlich von methanogenen Bakterien bestritten wird.
- PVA konnte in der angewandten Versuchszeit nur zu einem minimalen Teil abgebaut werden. Weitere Versuche werden zeigen, ob bei einer längeren Versuchsdauer ein größerer Abbau erreicht werden kann.
- Bei Versuchsansätzen mit Fett kam es zu einer starken Ansäuerung der Versuchslösung. Die Bedingungen für die methanogenen Bakterien waren damit nicht mehr optimal bzw. wurden toxisch, wodurch die Biogasbildung limitiert wurde.
- Die Druckmessung im OxiTop® Control-System gestattet eine genaue Rückverfolgung der mikrobiellen Aktivitäten, insbesondere das Erkennen mehrphasiger Biogasstufen. Desweiteren ist die Bestimmung des CO₂-Anteils in der Gasphase, sowie der Flüssigphase und des Methananteils einfach möglich.

Zusammenfassung

Gegenüber der herkömmlichen Methode der drucklosen Gasmessung durch Wasserdrängung mit vielen Fehlermöglichkeiten und zeitaufwendiger Dokumentation, bietet das OxiTop® Control-System für den anaeroben Abbau eine über den gesamten Messbetrieb kontinuierliche Messwertspeicherung. Die Biogasentwicklung ist am Controller direkt verfolgbar und bietet neben einem laufenden Überblick rasche Entscheidungsmöglichkeiten über einen ggf. notwendigen Eingriff. Sehr vorteilhaft ist z.B. die Verfolgung mehrstufiger Abbaufunktionen sowie die Bestimmung der CO₂-Anteile in der Gasphase als auch in der Flüssigphase mit einfacher Berechnung des beim Abbauprozess entstehenden Methangases. Die Daten sind mit einem sehr geringen Zeitaufwand realisierbar, vom Bediener unabhängig und sehr einfach darstellbar.

In mehreren Versuchen konnte gezeigt werden, dass die Biogasproduktion einzelner getesteter Substanzen gut zu verfolgen und im Rahmen der Variation biologischer Prozesse gut reproduzierbar ist.

Weiter wurde festgestellt, dass der Druckanstieg der getesteten Substanzen bei Verwendung von Medienlösungen mit definierten Mineralsalzlösungen und Spurenelementen (nach Baumann), wie bei Leitungswasser, parallel verlaufen.

Die Versuchsdurchführung des anaeroben Abbaus konnte bei dem eingesetzten Faulschlamm mit Leitungswasser entsprechend vereinfacht werden.

Literatur

Baumann, U., Schefer, W. Textilveredelung 25 (1990) 7/8, 248-251.

Hinweis

Die Angaben in unseren Applikationsberichten dienen ausschließlich der prinzipiellen Darstellung der Vorgehensweise bei der Anwendung unserer Messsysteme. Besondere Eigenschaften der jeweiligen Probe im Einzelfall oder spezielle Rahmenbedingungen auf Anwenderseite können jedoch eine veränderte Durchführung des Verfahrens oder ergänzende Maßnahmen erforderlich machen oder im Einzelfall dazu führen, dass ein beschriebenes Verfahren für die beabsichtigte Anwendung ungeeignet ist.

Außerdem können besondere Eigenschaften der jeweiligen Probe wie auch spezielle Rahmenbedingungen zu abweichenden Messergebnissen führen.

Die Applikationsberichte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Trotzdem können wir für ihre Richtigkeit keine Gewähr übernehmen.

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen in der jeweils aktuellen Fassung.

Haben Sie noch weitere Fragen? Bitte wenden Sie sich an unser Customer Care Center:

Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG

Dr.-Karl-Slevogt- Straße 1
D-82362 Weilheim

Tel: +49 (0)881 / 183-0
 / 183-100

Fax: +49 (0)881 / 183-420

Email: TechInfo.wtw@xyleminc.com

Internet: <http://www.xylemanalytics.com>