

Jahresbericht 2001, 15. Dezember 2001

Perkulationsanlage zur Aufbereitung von Grünabfällen

Dipl. Ing. Ch. Widmer, AFAG Engineering, 4102 Binningen
Dr. A. Wellinger, Dr. G. Schober, Nova Energie GmbH, 8355 Aadorf
Tel. 052 368 34 70
gabriele.schober@novaenergie.ch

Projekt-Nr.: 38 714
Verfügungs-Nr.: 79 064

Zeitraum: Januar - Dezember 2001

ZUSAMMENFASSUNG

Das Perkulationsverfahren ist das neueste und wohl auch kostengünstigste Prinzip zur Aufbereitung von organischen Abfällen mit Biogasgewinnung. Zwei grosstechnische Anlagen werden in Süddeutschland bereits mit Restmüll betrieben, bisher gibt es aber keine Erfahrungen mit der Perkolation von Grünabfällen. Auf Grund der Unterschiede bezüglich der organischen Komponenten und dem Fremdstoffanteil sind die Erfahrungen mit Restmüll nur bedingt auf die Behandlung von Grünabfällen übertragbar. Diese Lücke soll durch das vorliegende Forschungsprojekt geschlossen werden.

Die Perkulationsanlage im Pilotmassstab wurde auf dem FAT-Areal errichtet und in Betrieb genommen. Die Anlage besteht aus einem Perkulator und einem Festbett-Biogasfermenter. Im Perkulator wird das Abfallmaterial unter aeroben Bedingungen hydrolysiert und ausgewaschen. Das belastete Waschwasser wird im Biogasfermenter gereinigt, die organischen Substanzen zu einem Grossteil zu Biogas umgewandelt, und das gereinigte Wasser in den Perkulator rezykliert. Im ersten Jahr stand der Bau der Anlage, die Inbetriebnahme und die mechanische Funktion im Zentrum des Interesses.

Bei der batchweisen Aufbereitung des Abfallmaterials - Grünabfall eines Kompostwerkes - stand die Untersuchung der Perkolation im Vordergrund. Durch Optimierung der Prozessparameter im Perkulator - Dosierung des Waschwassers, Belüftungsrate und Durchmischung - wird die Effizienz der Perkulationsanlage deutlich gesteigert. Erste Ergebnisse zeigen, dass durch die Steigerung der Waschwassermenge von 1 auf 4 m³/m³-d mehr als das 3-fache an löslichen organischen Substanzen (als CSB) aus dem Abfallmaterial herausgelöst und der Biogasanlage zugeführt werden konnte.

Projektziele

Die anaerobe Vergärung in Kombination mit einer (Nach-)Kompostierung stellt ein sinnvolles Prinzip der Aufbereitung biogener Abfälle dar. Aus energetischen Gesichtspunkten muss die Vergärung der Kompostierung vorgezogen werden, unter ökonomischem Aspekt allerdings ist die Kompostierung geringfügig vorteilhafter.

Mit dem hier untersuchten Perkulationsverfahren werden die Vorteile beider Verfahren kombiniert:

Durch die Abtrennung belasteten Abwassers vom strukturreichen Material wird eine problemlose Kompostaufbereitung mit kürzerer Rottedauer ermöglicht. Die Vergärung des Abwassers im Hybridreaktor kann bei sehr kurzen Aufenthaltszeiten durchgeführt werden, was für eine kostengünstige Bauweise spricht. Dadurch ist der ökologische sowie der ökonomische Anspruch gewährleistet.

Bisher sind lediglich Untersuchungen zur Perkolation von Restmüll durchgeführt worden [1]. In Deutschland wurden bereits zwei grosstechnische Perkulationsanlagen in Betrieb genommen [2, 3]. In der Schweiz ist die getrennte Sammlung von Grünabfällen flächendeckend mit guten Qualität - einem niedrigen Anteil unerwünschter Begleitstoffe - eingeführt worden. Es stellt sich daher die Frage, ob das Perkulationsverfahren auch für das reine organische Material eine kostengünstige Alternative zur klassischen Vergärung darstellen kann.

Diese Frage soll mit dem **Betrieb der Pilotanlage** beantwortet werden können.

Die Funktionsweise einer Perkulationsanlage ist vor allem durch die Menge ausgetragener Substanzen (CSB) gekennzeichnet, die im Perkulator aus dem Abfallmaterial ausgewaschen und anschliessend dem Biogasfermenter zugeführt wird.

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, **geeignete Prozessparameter** für die Perkolation zu finden, um eine möglichst **hohe CSB-Auswaschrage** zu erreichen. Dabei wird der Einfluss der Waschwassermenge, der Belüftungsrate und der Intensität der Durchmischung auf den ausgewaschenen CSB-Gehalt untersucht, indem die zugeführten Mengen an Wasser und Luft variiert bzw. die Rührerfrequenz verändert werden. Durch die Kombination der günstigsten Prozessparameter wird eine effektive Perkolation realisiert.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Material und Methoden

Die Perkulationsanlage

Die beiden Kernstücke einer Perkulationsanlage sind der Perkulator zur Hydrolyse des Bioabfalls und der Anaerobfermenter zum Abbau der in der wässrigen Phase aufgenommenen Organik. Wegen des hohen Sandanteils im Bioabfall wurde zwischen Perkulator und Fermenter ein Sandabscheider installiert, um eine Verstopfung zu vermeiden (Fig. 1).

Im Perkulator (Füllvolumen 1 m³) werden Hydrolyseprodukte und lösliche Stoffe aus dem Bioabfall ausgewaschen, indem Waschwasser durch Düsen von oben auf das Material versprüht wird. Der Vorgang wird durch regelmässiges Rühren mittels Krählerwerk unterstützt. Mit dem Lufteintrag über seitliche Düsen soll die mikrobielle Hydrolyse unterstützt werden.

Alle Installationen werden über eine automatische Systemsteuerung reguliert. In einer ersten Versuchsreihe betrug die Belüftungsrate $6 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$, was einer mittleren Belüftungsrate der Intensivrotte entspricht. Das Krähwerk wurde vor- und rückläufig betrieben.

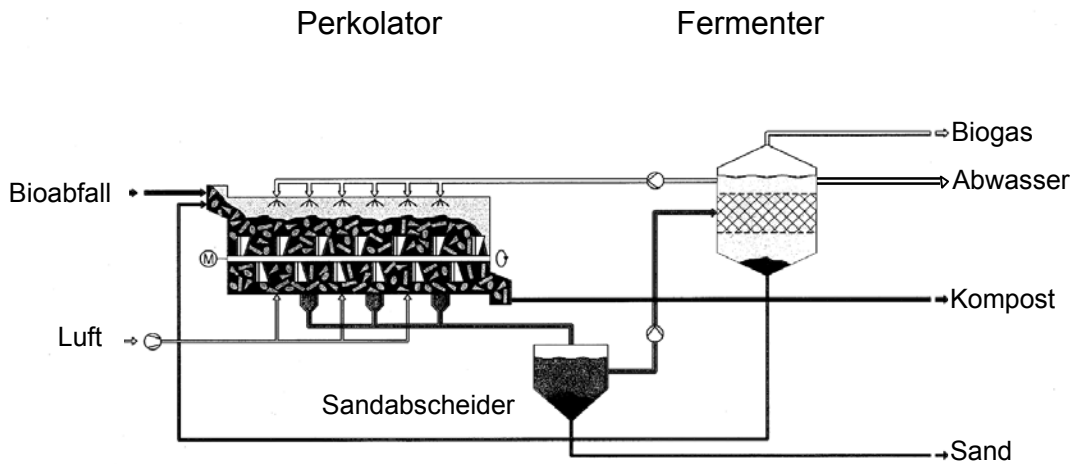


Fig. 1: Schema der Perkolationsanlage mit Input und Outputströmen im grosstechnische Massstab. In der getesteten Anlage im Pilotmassstab ist eine Rückführung des Fermenterrückstands mangels Masse nicht vorgesehen.

Das mit löslicher Organik beladene Waschwasser wird von unten in den Anaerobfermenter eingebracht. Dieser 4m^3 -Hybridreaktor enthält Füllkörper, deren grosse Oberfläche eine ideale Aufwuchsfläche für anaerobe Bakterien darstellt. Da somit ein Austragen von Biomasse grösstenteils verhindert wird, kann die hydraulische Verweilzeit in diesem Fermenter bis auf 0,7 d verringert werden. Das Wasser durchläuft den Anaerobfermenter von unten nach oben und wird anschliessend für den Waschvorgang im Perkolator rezykliert.

Der Bioabfall wurde batchweise behandelt, die Verweilzeiten im Perkolator lagen zwischen 2 und 5 Tagen. Für jeden Versuchsdurchlauf wurden 1 m^3 Bioabfall eingesetzt.

Die Probenahme während der Experimente erfolgte fünfmal täglich im Perkolatoroutput- dabei wurden 5 l Waschwasser abgezogen und daraus eine repräsentative Probe entnommen - und einmal im Fermenterablauf.

Grüngut

Der gehäckselte Bioabfall wurde vom *Zweckverband Abfallkompostierung Tägerwilen-Kreuzlingen* geliefert. Das Grüngut bestand vorwiegend aus Gartenabraum und nur zu geringem Anteil aus Küchenabfällen. Das Material wies einen TS-Gehalt von 44 - 62 % mit durchschnittlich 60 % OS auf. Die Zeitspanne zwischen Anlieferung des Biomülls beim Kompostwerk bis zum Beginn der Perkolationsversuche betrug 3 bis 5 Tage.

Analytik

Trockensubstanz (TS):

Das Probenmaterial wurde eingewogen und im Trockenschrank bei 105 °C für 24 Stunden getrocknet.

Organische Trockensubstanz (OS):

Die getrockneten Proben wurden in einem Muffelofen bei 550 °C für 4 Stunden verascht. Der Glühverlust wurde als Mass für den organischen Anteil der TS verwendet.

Flüchtige Fettsäuren (Volatile Fatty Acids „VFA“):

1,0 ml Probe wurde in ein verschliessbares Reagenzglas vorgelegt und mit 10 ml Diethyläther-Kresol-Lösung versetzt. Diese Lösung wurde mit 30 mg 2.6 Di-tert.-butyl-p-Kresol auf 1 Liter Diethyläther hergestellt. Dabei diente Kresol als interner Standard. Zu dieser mit der Ätherlösung versetzten Probe wurden 100 µl HCl_{konz} zugeben, das Reagenzglas verschlossen und gut durchmischt. Die Analyse erfolgte in einem Gaschromatographen (Carlo Erba Fractovap, Serie 2150) mit FID. Das Einspritzvolumen betrug 10 µl. Als Trägergas wurde Wasserstoff verwendet.

Die Trennsäule war eine Kapillarsäule (Fused Silica Kapillarsäule PERMABOND FFAP-DF-1.00, Macherey-Nagel AG, Oensingen), die Temperatur der Kolonne wurde auf 160 °C, die des Injektors auf 175 °C eingestellt. Die Auswertung erfolgte mit einem separaten Integrator (Hewlett Packard 3390 A).

Leitfähigkeit:

Die unverdünnte Probe wurde auf ihre Leitfähigkeit mittels Sonde (Dr. Lange) untersucht.

Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$):

Der Ammoniumgehalt wurde mit dem Küvettentest nach Fa. Merck durchgeführt.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):

Die Bestimmung erfolgte nach geeigneter Verdünnung mit dem Küvettentest der Fa. Merck.

Methan (CH_4):

Die Gasprobe wurde mittels WLD-Gaschromatographen (Shimadzu GC-7A) ermittelt. Als Standard diente eine Gasmischung mit 60 % Methananteil und 40 % CO_2 . Als Trägergas diente Helium.

Resultate

Aufbau der Perkolationsanlage

Die Perkolationsanlage wurde speziell für dieses Projekt neu montiert. Einzig ein beheizbarer 4m³-Behälter war schon vorhanden. Es mussten die Zu- und Ablaufrohrleitungen geändert und das Festbett mit den Füllkörpern montiert werden. Dafür wurden im Innenraum des Fermenters horizontal zwei 30 mm-Stahlgitter montiert und der Zwischenraum mit 2 m³ Füllkörper (55 x 55 x 60 mm) aufgefüllt. Die Rohrleitungen haben einen Durchmesser von ¾ Zoll.

Die Temperierung des Fermenters und des Tank für den Fermenterüberlauf wurde über getrennte Heizsysteme gesteuert. Die Beheizung des Tanks auf 45 °C erfolgte über Heizschlaufen. Der Fermenter wird über einen Heizmantel auf 33 °C temperiert.

Die Gas-Überdrucksicherung wird erneuert und mit einem Glycol-Wassergemisch winterfest (-20 °C) gemacht. Das Biogas wird in einen Messraum geleitet und dort nach einem Kondensatabscheider durch einen handelsüblichen Gaszähler (*Fa. Wohlgroth AG, Zürich*) erfasst. Das austretende Gas wird durch einen mit Wasser gefüllten Druckausgleichbehälter geleitet, womit der Gasdruck auf 5 cm Wassersäule eingestellt werden kann. Die Probenahmestelle befindet sich zwischen dem Gaszähler und dem Druckausgleichbehälter. Das Biogas wird letztlich an die Umgebung abgegeben.

Der Perkolator stammt von der *Fa. Bezner (Ravensburg)* die beweglichen Teile wurde von der *Fa. Schmutz und Hartmann (Ormalingen)* geliefert.

Der Perkolatordeckel zur Beschickung mit Grüngut kann von Hand über Hydraulikaggregate angesteuert werden.

Das Waschwasser wird über zwei flexible Schläuche in den Perkolator gepumpt. Das unter dem Perkolator austretende Schmutzwasser passiert ein grobes Stahlgitter, um die grossen Faserstoffe zurückzuhalten. Dadurch wird eine Verstopfung der Pumpen weitgehend vermieden. Der Wasserdurchsatz im Perkolator wurde über die Pumpenlaufzeit eingestellt. Die Pumpe zur Fermenterbeschickung hingegen wurde nicht vom Zeitprogramm erfasst, sondern über einen Schwimmer angesteuert.

Die Belüftung erfolgte über jeweils drei an den Seiten des Perkolators angebrachten Düsen, die Druckluft wurde mittels Kompressor erzeugt. Mittels Durchflussmessgerät konnte die Zuluftmenge reguliert werden.

Die Steuerung der mechanischen Elemente im Perkolator erfolgt über Zeitschaltuhren. Dabei können folgende Elemente unabhängig angesteuert werden:

- Pumpe Zulauf Perkolator
- Rührwerk
- Kratzboden
- Belüftung
- Sandschnecke

Die gesamte Anlage ist schematisch in Fig. 2 dargestellt.

Im Laufe der ersten Betriebswochen musste die Kraftaufnahme des Rührwerks verstärkt werden. Zudem galt es, die Belüftungseinheit, die Dichtigkeit des Behälters, die Beschickungspumpen etc. zu optimieren bzw. zu ersetzen.

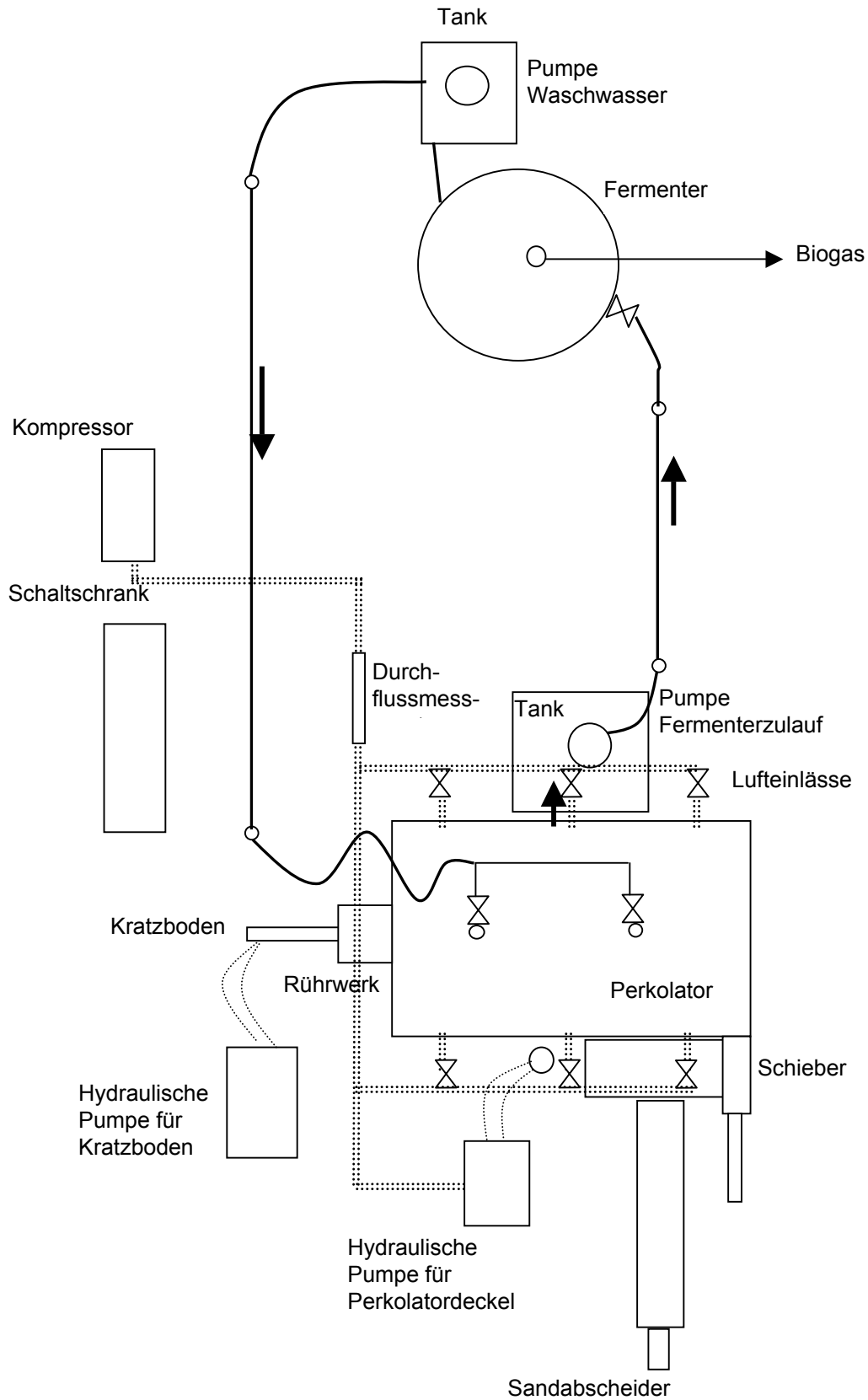


Fig. 2: Schema der Perkolationsanlage mit Peripherie

Einfluss der Waschwassermenge auf den CSB-Austrag

Ziel der Untersuchungen war es, das Auswaschverhalten von Bioabfall im Perkolator zu charakterisieren und zu optimieren. Als Parameter wurde dabei primär der CSB- und Säure-Gehalt verwendet. In den hier beschriebenen Experimenten wurde die Perkolationsdauer und die Waschwassermenge variiert; dabei blieben die Luftzufuhr sowie alle mechanischen Einstellungen (Zeitdauer des Schubbodens, der Austragschnecken und des Rührwerks) unverändert.

CSB-Austrag bei Steigerung der stündlichen Waschwassermenge

Die drei folgenden Perkolationsversuche wurde jeweils 3 Tage nach der Anlieferung des Grünabfalls begonnen.

Bei den drei Versuchen wurde die Waschwassermenge von 120 l/h über 240 l/h auf 480 l/h gesteigert, um den Einfluss auf den ausgewaschenen CSB-Gehalt zu charakterisieren. Die Perkolationsdauer in allen Versuchen betrug 8 Stunden pro Tag. Durch ergab sich ein täglicher Wasserdurchsatz von 1 m³/m³·d, 2 m³/m³·d und 4 m³/m³·d.

Die folgenden Perkolationsversuche bestätigen die Resultate der Untersuchungen mit Restmüll, nach denen bei einem Batch-Ansatz der Grossteil - rund 73 % - des CSB nach 3 Tagen ausgewaschen war.

Demzufolge wurden für die Auswertung die CSB-Auswaschraten nach 3 Tagen Versuchszeit miteinander verglichen.

Durch das Anheben der Bewässerungsrate konnte die nach 3 Tagen ausgewaschene CSB-Menge pro Tonne Bioabfall von 123 kg (1 m³/m³·d) auf 207 kg (2 m³/m³·d) bis zu 433 kg (4 m³/m³·d) angehoben werden. Das entspricht einer Steigerung von mehr als dem 3-fachen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Während der Steigerung der Bewässerungsrate blieb der CSB-Gehalt im Perkolatorinput (Fermenterablauf) bei ca. 4 g/l konstant. Der Ammoniumgehalt erreichte durchschnittlich 508 mg/l, die Leitfähigkeit betrug rund 10 mS/cm. Biologische Prozesse sind in diesen Bereichen nicht gehemmt.

Tabelle 1: Ausgewaschene CSB-Mengen bei verschiedenen Bewässerungsraten

Versuch	Bewässerungsrate (m ³ /d)	CSB _{ausgew.} 1. Tag (kg/d)	CSB _{ausgew.} 2.Tag (kg/d)	CSB _{ausgew.} 3.Tag (kg/d)	CSB _{ausgew.} (kg/ t Input)	Zunahme Basis V1 (Faktor)
V 1	1	18,9	13,4	10,8	123	1,0
V 2	2	34,5	25,2	23,2	207	1,7
V 3	4	50,7	71,3	51,0	433	3,5

CSB-Austrag bei Steigerung der Perkolationsdauer

Die beiden folgenden Versuche dauerten je zwei Tage und wurden jeweils 5 Tage nach der Grün-gut-Lieferung begonnen; der Wasserverbrauch betrug stündlich 120 l. Es sollte untersucht werden, ob bei einer durchgehenden Perkolierung mehr CSB ausgewaschen wird als bei einer Perkolierung mit nächtlichen Unterbruch.

Die Perkolationsdauer in V4 wurde auf 8 Stunden, in Versuch V5 auf 16 Stunden pro Versuchstag eingestellt. Dadurch ergab sich ein täglicher Wasserdurchsatz von 1 m³ bzw. 3 m³ (Tab. 2).

Tabelle 2: Ausgewaschene CSB-Mengen nach 32 Stunden bei einer Perkolationsdauer von 8 bzw. 16 Stunden am Tag

Versuch	Bewässerungs- rate (m ³ / d)	CSB _{ausgew.} 1. Tag (kg/ d)	CSB _{ausgew.} 2. Tag (kg/ d)	CSB _{ausgew.} Summe (kg)	CSB _{ausgew.} (kg/ t Input)
V 4	1	30,62	16,22	46,8	134
V 5	3	36,40	24,10	60,5	202

Die Erhöhung der Bewässerungsrate von 1 auf 3 m³/ d hatte einen Anstieg der CSB-Auswaschrates um rund 50 % zur Folge.

Der Anteil der Fettsäuren am gesamten CSB erreichte in beiden Versuchen ca. 4 %. Nach 2 Tagen wurden im Versuch mit durchgehender Bewässerung und Belüftung 2,6 kg VFA gebildet, während bei der Perkolation mit 16-stündigem Unterbruch nur 1,7 kg VFA produziert wurden. Diese geringe Menge zeigt, dass während einer „Ruhephase“ keine nennenswerte VFA-Bildung erfolgte, was für eine geringe anaerobe Aktivität spricht.

Nationale und Internationale Zusammenarbeit

Der Perkolator wurde von den Firmen *Schmutz und Hartmann, CH-4466 Ormalingen*, und *Fa. Bezner, D-88212 Ravensburg* erstellt.

Die technische Unterstützung und der Anlagenbau erfolgte grösstenteils durch die mechanische Werkstatt der Forschungsanstalt Tänikon (FAT).

Der Grünabfall wurde vom Zweckverband Abfallkompostierung Tägerwilen-Kreuzlingen geliefert.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Im Jahr 2001 konnte die Perkolationsanlage aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Im Juni wurde der Anaerobfermenter mit anaerobem Schlamm beimpft und seit Mitte Juli kontinuierlich mit Saugülle beschickt. Da der Filter während unseren Versuchen noch nicht adaptiert war, wurden die Biogasausbeuten noch nicht dokumentiert.

Nach mehrwöchiger Perkolation mussten wegen Dichtigkeits-Problemen einige Stellen am Perkolator nachgebessert werden (Rührerwelle, Schubboden). Die Rohrleitung der Zuluft wurde auch gegen Wassereintritt mittels einem U-Rohr abgesichert.

Die Perkolationsversuche mit Bioabfall zeigen eine starke Zunahme des ausgewaschenen CSB bei Erhöhung der Bewässerungsrate. Die Steigerung der stündlichen Bewässerungsrate war im Vergleich mit der Verlängerung der täglichen Perkulationsdauer weit effizienter: Der CSB-Austrag stieg auf das 3-fache, während er bei der Verlängerung der Perkulationsdauer nur um Faktor 0,5 zunahm.

In den nächsten Versuchsreihen wird geprüft, ob sich die ausgewaschene CSB-Menge noch weiter steigern lässt. Verfahrenstechnisch stellt dabei die Bewässerungsrate von $6 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ die obere Grenze dar, weil sonst im Anaerobfermenter die Mindestverweilzeit von 0,7 d unterschritten wird.

Anschliessend wird der CSB-Austrag noch weiter optimiert, indem die idealen Belüftungsraten und Rührerdrehzahlen bestimmt werden.

Referenzen

- [1] A. Wellinger, C. Widmer, P. Schalk: ***Percolation - A New Process to Treat MSW***. II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Barcelona, Seiten 315-322, 1999.
- [2] ***ISKA - Intelligente Lösungen für die kommunale Restmüllentsorgung***. U-Plus Umweltservice AG, Ettlingen, 2001.
- [3] A. Wellinger, C. Widmer: ***Vergärung von Restabfall***. 10. Kassler Abfallforum, 1998.