

Zur Trockenfermentation in der Landwirtschaft

(in: *Biogas Journal* Nr. 1, Mai 2001, S. 12-16)

Torsten Fischer, Andreas Krieg

In letzter Zeit kommt es verstärkt zu einem Wiederaufleben der Diskussion über die Trockenfermentation. Speziell in Süddeutschland gibt es konkrete Überlegungen zur Errichtung mehrerer Biogasanlagen auf der Basis dieser Verfahrenstechnik.

Da unser Büro schon seit Jahren über Erfahrungen in Theorie und Praxis zu diesem Thema verfügt, soll hier eine kritische Bestandsaufnahme eben dieser Technik erfolgen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass wir den folgenden Artikel als Diskussionsbeitrag verstehen und würden uns freuen, wenn die teilweise etwas euphorische Einstellung wieder einer etwas nüchterneren Betrachtung weichen würde – mit Würdigung der Vor- aber auch der Nachteile einer Trockenfermentation.

Grundlagen und Vorgeschichte

Bei der Unterteilung von Typen von Biogasanlagen war es früher üblich zwischen Speicher- und Durchflussanlagen zu unterscheiden. Dies ist heute unüblich geworden, da praktisch nur noch Durchflussanlagen gebaut werden. Andere Unterscheidungsmerkmale liegen in der Betriebstemperatur – mesophil, thermophil – und bei der Verfahrenstechnik – ein-, zwei-, mehrstufig.

Eine weitere Möglichkeit zur Kennzeichnung von Biogasanlagen ist der Wassergehalt des Substrats im Fermenter. Dies ist bei der Bioabfallvergärung seit langem üblich. Dort gibt es seit über zehn Jahren die Unterteilung in Trocken- und Nassfermentation. Dabei wurden Anlagen mit einem Wassergehalt von mehr als etwa 85% als Nassvergärungen, solche mit weniger als etwa 75-80% als Trockenvergärungen bezeichnet.

Die Unterteilung in Nass- und Trockenfermentation ist eher willkürlich und unterliegt keiner genauen Definition. Aus biologischer Sicht ist sie ohnehin unzweckmässig. Das liegt darin begründet, dass die beteiligten Mikroorganismen ihre Nährstoffe nur aus der flüssigen Phase beziehen können. Lokal – also da wo die Mikroorganismen arbeiten – muss in jedem Falle ausreichend Wasser vorhanden sein, nur global – also im Fermenter – ist der Wassergehalt niedriger bei der Trockenfermentation.

Es gibt seit langem Erfahrungen mit der Trockenfermentation bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Hier war die Schweiz bereits in den achtziger Jahren der Vorreiter. Dabei ging es seinerzeit um Untersuchungen zur Vergärung von Mist in seiner Ursprungsform, d. h. ohne weitergehende Zerkleinerung. Durchgesetzt hat sich diese Technik seinerzeit nicht.

Arten der Trockenfermentation

Es gibt mehrere Möglichkeiten nativ-organische Abfälle trocken zu vergären. Diese finden vor allem Anwendung im Bereich der Bioabfallvergärung. Es gibt Verfahrenstechniken mit liegenden Fermentern, die von der Firma Bühler aus der Schweiz und dem deutschen Ableger Kogas GmbH, Braunschweig, vertrieben werden. Die Umwälzung der Suspension mit TS-Gehalten bis etwa 30 oder 35% erfolgt mit hydraulisch angetriebenen Wellen, die längs durch die Fermenter verlaufen. Aufgrund der erheblichen Kräfte, die aufgenommen werden müssen, sind die Kosten für die Fermenter hoch. Diese Technik ist allein aus Kostengründen in der Landwirtschaft nicht vorstellbar.

Entsprechendes gilt für Verfahren bei denen die Umwälzung mittels Einpressen von Gas in hohe Betonsilos – wie sie von der Firma Steinmüller Rompf vertrieben werden – erfolgt. Die TS-Gehalte liegen hier in ähnlicher Höhe wie bei der Bühler-Technik.

Anders, hinsichtlich der Kosten, sieht es möglicherweise bei einer dritten Variante der Trockenfermentation aus. Hierbei handelt es sich um die so genannten Perkulationsverfahren. Dabei wird das feste Substrat von oben gleichsam geduscht. Das Duschwasser sickert („perkoliert“) durch den Substrathaufen, wird unterhalb aufgefangen, in einem Behälter zwischengelagert und mit einer Pumpe wieder zum Duschkopf geführt, siehe Abbildung 1.

Die auf dem Markt angebotenen Perkulationsverfahren sind alles so genannte Batch-Verfahren. Dieser Begriff bedeutet, dass man das frische Substrat in einer Charge in den Fermenter einbringt, über einen bestimmten Zeitraum vergärt und anschließend wieder herausholt. Dann folgt eine neue Charge. Im Gegensatz dazu stehen kontinuierliche Verfahren (Durchflussverfahren) bei denen täglich, stündlich, aber auf jeden Fall eben quasi-kontinuierlich frisches Substrat in kleineren Mengen zugeführt und ausgefaultes Substrat in entsprechender Menge entnommen wird.

Mikrobiologische Vorgänge bei der Perkolationstechnik

Genau wie bei jeder anderen Biogasanlage verläuft der Abbauprozess über die Schritte Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanphase. Dabei kommt es in der ersten Phase zu einer Versäuerung des Substrats mit anschließendem Abbau der Stoffwechselprodukte und der Produktion von Biogas. Während dies bei der einstufigen Nassfermentation wie sie in der Landwirtschaft üblich ist alles in einem Fermenter erfolgt, ist dieser Prozess bei Perkulationsanlagen in der Theorie etwas schwieriger nachzuvollziehen.

Biologische Abbauprozesse finden dort statt, wo freie Flüssigkeiten sind, beispielsweise auf einer nassen Blattoberfläche. Dort beginnen Mikroorganismen mit der Arbeit und bringen feste Stoffe in Lösung (Hydrolyse). Dies erfolgt zu einem großen Teil über die Bildung organischer Säuren. Da bei der Perkolationstechnik keine aktive Durchmischung erfolgt, muss der Stofftransport über das Perkolat erfolgen. Die Flüssigkeit mit den organischen Säuren muss zu den Mikroorganismen transportiert werden, die diese weitergehend abbauen. Der ideale Platz hierfür

(neben den während des Batch-Prozesses zunehmenden Regionen im Fermenter) ist der Zwischenspeicher für das Perkolat. Daher findet die Produktion von Biogas zu einem erheblichen Anteil hier statt.

Vorgänge im Biogasfermenter

Die Technik der Perkolation simuliert ursprünglich die Prozesse, die in einer Deponie stattfinden. Regen kommt von oben und sickert durch den Deponiekörper. Vor Jahren gab es Überlegungen in der Deponietechnik, dass das Sickerwasser aufgefangen und wieder über dem Deponiekörper versprüht wird. Zum einen sollte der Müll auf diese Weise ausgelaugt werden, zum anderen wurden Ableitungen ins Grundwasser vermieden, zum dritten sollten die gasförmigen Emissionen der Deponie reduziert und zeitlich verkürzt werden. Dabei muss man sich vergegenwärtigen, dass die anaeroben Prozesse in Deponien und Biogasanlagen identisch sind. Deponiegas unterscheidet sich dann auch grundsätzlich nur dadurch von Biogas, dass (meistens) der Methangehalt niedriger ist und dass (schädliche) Spurenstoffe enthalten sind, die durch das Müll-Substrat entstehen.

Für die Verfahrenstechnik in Biogasanlagen wurden diese Deponieprozesse adaptiert. Grundsätzlich sind viele Vergleiche statthaft. Eine der Bedingungen für die Funktion der Technik ist, dass das Perkolat durch das Substrat sickern können muss. Dafür ist eine vergleichsweise grobe Struktur notwendig um ein ausreichendes Porenvolumen zu schaffen. Durch diese Poren perkoliert dann das Sickerwasser (Perkolat). Oder anders herum: keine Struktur, keine Perkolation. Es kommt dann zur schichtweisen Einlagerung oder Aufstauung des Prozesswassers im Substratkörper. Diese Überlegung beinhaltet auch die Begrenzung der Höhe des Substrathaufens. Je höher er ist um so mehr Druck entsteht auf die untersten Schichten und um so schwieriger ist es für das Perkolat „durchzukommen“. Aus den bisherigen Erfahrungen kann man sagen, dass der erste begrenzende Faktor für die Funktion von Perkulationsverfahren die notwendige Struktur des Substrats ist, also ein mechanisches Problem.

Man benötigt demnach vergleichsweise grob strukturiertes Substrat für eine gute Perkolation. Nun ist es aber so, dass der biologische Abbauprozess um so schneller abläuft, je größer die Oberflächen sind, also je größer die Angriffsfläche für die Mikroorganismen ist. Das Ziel bei den üblichen Biogasanlagen ist es daher immer, das Substrat so fein wie möglich zu machen. Bei Perkulationsverfahren ist eben dieses aus grundsätzlichen mechanischen Überlegungen nicht möglich. Daher müssen Perkulationsverfahren zum Erzielen der gleichen Gasproduktionsrate mit längeren Verweilzeiten arbeiten als Nassverfahren.

Bei Nassverfahren werden die Fermenter mehr oder weniger kontinuierlich durchmischt. Dadurch kommt es zu einer Verteilung der beteiligten Mikroorganismen und der Zuführung von Nährstoffen. Bei Perkulationsverfahren erfolgt die Verteilung allein durch die (willkürliche, d. h. unkontrollierbare) Verteilung des Perkolats beim Durchströmen des Substrathaufens – gegeben durch die Struktur in der Schüttung. Es wird daher – genau wie in der Deponie – Bereiche bevorzugter und andere Bereiche nicht bevorzugter Sickerwasserbahnen geben. Daher wird es auch im Biogasfermenter Bereiche geben wo der biologische Abbauprozess gut verläuft und

andere wo dies eben nicht der Fall ist. Um dies zu umgehen kann der Abbauprozess dadurch optimiert werden, dass eine Animpfung mit bereits ausgefaultem Substrat erfolgt. Dadurch kann der Abbauprozess gleichmäßiger im Substrathaufen verteilt und die so genannte „Lag-Phase“, also der Zeitraum zwischen dem Einbringen des Substrats in den Fermenter und dem Beginn der Methanproduktion, verkürzt werden. Aber: Animpfmaterial kostet Fermentervolumen, es muss gut eingemischt werden und kostet daher im Vorweg Energie, und es ist tendenziell eher nasser als das frische Substrat, weist daher weniger Porenvolumen auf und verstopft daher eher die Wege des Perkolats.

Ein weiterer Punkt, der kritisch zu hinterfragen ist, ist die Anfälligkeit von Perkulationsverfahren für Sand und Feinstpartikel. Dabei ist davon auszugehen, dass feinere Partikel tendenziell nach unten gespült und dann in den Zwischenspeicher für das Perkolat eingetragen werden. Die regelmäßige Kontrolle des Siebbleches am Boden des Fermenters ist daher unabdingbar. Entsprechendes gilt für das Versanden des Zwischenspeichers und das Zusetzen der Düsen, die für das Versprühen des Perkolats sorgen.

Umgekehrt sei aber auch auf einen Vorteil von Perkulationsverfahren hingewiesen: die hohe Prozessstabilität. Es ist nahezu unmöglich diese Art von Biogasfermenter zu einer kompletten Versäuerung zu bringen. Das liegt eben gerade darin begründet, dass es immer irgendwo unzureichend versorgte Bereiche im Substrathaufen gibt, die bei einer Versäuerung des Perkolats nicht durchströmt werden und so langsam aber sicher – teilweise über längere Zeiträume – für eine Selbst-Regeneration des Systems sorgen. Nassvergärungen, die einmal versäuert sind, sind nicht mehr zu retten. Dort muss der gesamte Fermenterinhalt entsorgt werden. Glücklicherweise sind die Fermenter in der Landwirtschaft durch das üblicherweise verwendete Inputmaterial in Form von Gülle oder Festmist schon von sich aus vergleichsweise prozessstabil.

Ein- und Austrag von Substrat

Der Fermenter ist bei Perkulationsverfahren häufig als gasdichtes Containermodul oder ähnlich aufgebaut. Das frische Inputmaterial wird als Feststoff eingebracht. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass große Körbe oder Käfige mit einem Frontlader gefüllt werden und in den Fermenter eingebracht werden oder über einen Kran von oben hereingehoben werden oder dass der Frontlader direkt einen Container befüllt.

Anschließend wird der Fermenter verschlossen, der Vergärungsprozess wird durchgeführt und das ausgefaulte Substrat wird wiederum mechanisch aus dem Fermenter geholt. Dabei kommt es – durch die Öffnung des Fermenters – zu Emissionen von Biogas.

Aus sicherheitstechnischer Sicht entspricht das Einbringen des frischen und Austragen des ausgefaulten Substrats jeweils einmal dem Anfahrvorgang bei einer üblichen Nassvergärungsanlage. Dabei wird je Zyklus zweimal der Bereich durchlaufen bei dem es zu explosiven Mischungen von Methan (im Biogas) und Sauerstoff (in der Umgebungsluft) kommt (Explosionsbereich oder Ex-Bereich).

Entweder man akzeptiert dieses erhöhte Sicherheitsrisiko oder es wird eine aufwendige Sicherheitstechnik notwendig sein. Dieser Punkt ist genehmigungstechnisch derzeit noch völlig offen und betrifft sowohl das Emissionsverhalten wie auch die Sicherheitstechnik.

Möglichkeiten zur Kontrolle des Prozesses

Aus der weiter vorne durchgeführten Beschreibung der mikrobiologischen Vorgänge bei der Perkolationstechnik wird deutlich, dass die Menge des umgepumpten Perkolats und die Frequenz der Perkolation, also die Anzahl der Umpumpvorgänge, von erheblicher Bedeutung für die Optimierung des Prozesses sind. Das Problem wird noch dadurch verkompliziert, dass genau diese beiden Punkte von der Art des Inputmaterials und dem Fortschreiten des Abbauprozesses abhängig sind. Eine Prozesskontrolltechnik wäre daher sinnvoll.

Dabei ist zu beachten, dass die Kontrolle des Prozesses nur über eine vergleichsweise aufwendige Prozesswasseranalyse erfolgen kann, genauer gesagt über den Quotienten aus organischer Belastung und Pufferkapazität. Die Gasphase ist bei Perkulationsverfahren nur von geringerer Aussagefähigkeit, da es durch die Unterschiede im pH-Wert des frischen Inputmaterials und des Perkolats aufgrund chemischer Prozesse zur Austreibung von Kohlendioxid kommt. Diese CO₂-Produktion hat im Gegensatz zur Nassvergärung nichts mit den biologischen Prozessen zu tun. Es ist davon auszugehen, dass landwirtschaftliche Biogasanlagen, die mit Perkolationstechniken arbeiten daher eher für eine längere Verweilzeit ausgelegt werden müssen um den Mangel an Kontrollmöglichkeiten auszugleichen.

Zusammenfassung

Die Trockenfermentation in Form der Perkolationstechnik ist seit langem bekannt. Sie hat sich aber bisher bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen gegenüber der Nassfermentation nicht durchsetzen können.

Perkulationsverfahren haben den Vorteil, dass sie praktisch nicht versäuern können. Die Prozesssicherheit ist also deutlich höher als bei den Nassverfahren. Es ist lediglich eine Frage der Zeit bis sich der Prozess von alleine regeneriert.

Es kann nicht pauschal gesagt werden, dass der Energiebedarf bei irgendeiner Verfahrenstechnik (absolut und tendenziell) höher oder niedriger liegt. Dies kann nur durch eine Einzelfalluntersuchung festgestellt werden. Entsprechendes gilt für das notwendige Fermentervolumen. Die Gasproduktion ist bei Perkulationsverfahren bei gleicher Verweilzeit niedriger als bei Nassverfahren, da die systembedingt notwendigen groben Strukturen eine geringere Oberfläche bewirken. Bei längeren Verweilzeiten wird dieselbe Gasproduktion erzielt. Die messtechnische Kontrolle und Steuerung von Perkulationsverfahren ist schwierig.

Es bestehen sicherheitstechnische Bedenken bei Batch-Verfahren mit Feststoffein- und -austrag.