

Jahresbericht 2002, 2. Dezember 2002

Bau und Betrieb einer Perkolationsanlage im Pilotmassstab zur Aufbereitung von Bioabfällen

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

BFE Projekt-Nr. 38 714/ Vertrag-Nr. 79 064
Dauer des Projekts (Oktober 2000 – November 2002)

ZUSAMMENFASSUNG

Organische Abfälle können in einer Perkolationsanlage kostengünstig zu Kompost und Biogas umgesetzt werden. Diese besteht im Prinzip aus einem Perkolator, in dem das Abfallmaterial aerob aufbereitet (Hydrolyse) und ausgewaschen wird, sowie einem Biogasfermenter, in dem das beladene Waschwasser gereinigt wird. Dabei setzen Methanbakterien die gelöste Organik zu Biogas um. Das geklärte Waschwasser wird anschliessend in den Perkolator rezykliert.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Effizienz der Perkolation von Grüngut durch Optimierung chemisch-physikalischer, verfahrenstechnischer und mechanischer Parameter deutlich zu steigern. Die Versuche wurden in einer Perkolationsanlage im Pilotmassstab durchgeführt. Bei den Untersuchungen ist der CSB-Gehalt im ausgewaschenen Perkulationswasser entscheidend: eine hohe CSB-Auswaschrage ermöglicht eine hohe Biogausbeute.

Durch die geeignete Wahl von Waschwassermenge, Belüftungsrate und der mechanischen Parameter konnte die aerobe Hydrolyse optimiert und dadurch die Menge an ausgewaschenem CSB um das 7-fache gesteigert werden. Die Biogausbeute erreichte bis zu 85 Nm³/ m³ Grüngut bei einer idealen Aufenthaltszeit des Grünguts im Perkolator von 2 Tagen. Nach der Behandlung erreichte der produzierte Kompost den Rottegrad IV.

Die Ergebnisse zeigen, dass Grüngut mittels einer Perkolationsanlage effizient behandelt werden kann. Das Verfahren hat den Vorteil, dass die Behandlung des Abfallmaterials innert 4 Tagen vollzogen ist; herkömmliche Biogasanlagen benötigen dafür eine Verweilzeit von 20-25 Tagen.

Projektziele

Der Perkulationsprozess ist ein neues zweistufiges Verfahren zur Behandlung von biogenen Abfällen. In Süddeutschland verwerten zwei grosstechnische Perkulationsanlagen je 20'000 Tonnen Restmüll im Jahr [1], [2].

Die optimierte getrennt Sammlung von Biomüll in der Schweiz macht es möglich, aus dem praktisch inertstofffreien Biomüll, neben dem Biogas, einen hochwertigen Kompost herzustellen. Die Erfahrungen mit Restmüll können aber nur bedingt auf Biomüll übertragen werden.

Bisher sind aber keine Untersuchungen zur Perkulation mit Grüngut durchgeführt worden. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb das **Perkulationsverhalten von Grünabfällen** geprüft, wobei der erste Schritt der Hydrolyse und des Auswaschens der löslichen Abbauprodukte im Vordergrund steht:

- Bestimmung der idealen Verweilzeit des Grünguts im Perkolator
- Optimierung der Hydrolyse durch die Wahl der effektivsten Waschwasserrate, Belüftungsrate und Verweilzeit
- Bestimmung des Biogaspotentials für das verwendete Grüngut und des Abbaupotentials der organischen Fracht im Biogasfermenter
- Ermitteln der Kompostqualität durch den Rottetest

Mit den optimierten Parametern wird eine Massenbilanz sowie eine Energiebilanz mit der niedrigsten und der höchsten ermittelten Biogasausbeute für eine Anlage mit 2000 Jahrestonnen erstellt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

1. Die Perkulationsanlage

Die wichtigen Elemente einer Perkulationsanlage sind der Perkolator und der Anaerobfermenter (siehe Fig. 1).

Das Abfallmaterial wird mit Hilfe eines Krans in den Perkolator (1 m^3) gefüllt, wo es batch-weise behandelt wird. Zur Unterstützung der aeroben Hydrolyse wird Pressluft über 6 seitlich angebrachte Düsen eingeblasen, was die aerobe mikrobielle Abbautätigkeit unterstützt. Die Igelösten Abbauprodukte werden durch das Waschwasser ausgetragen, welches von oben über den Perkolatorinhalt versprüht wird. Das beladene Perkulationswasser gelangt über einen Sandabscheider und ein Sieb in einen Puffertank. Das Sieb mit einer Maschenweite von 2mm wurde von Hand ausgetauscht und gereinigt; dadurch konnte nochmals ein bedeutender Anteil Feststoffe aus dem Perkulationswasser herausgefiltert werden.

Diese Reinigungsschritte sind notwendig, da der Fermenter sonst verstopfen würde.

Das Perkulationswasser wird aus dem Tank in den Fermenter (4 m^3) gepumpt und durchströmt ihn von unten nach oben. Bei dem Fermenter handelt es sich um einen sog. Hybridfilter, bei welchem die untere Hälfte leer und die obere Hälfte mit Plastikfüllkörpern gefüllt ist, auf welchen sich die Bakterien ansiedeln. Das gereinigte Wasser wird in einem Vorratstank gesammelt, auf 50°C aufgeheizt und rezykliert.

Die Anlage wurde über eine zentrale Steuereinheit betrieben. In einem 15-minütigen Zyklus wurden während 8 Stunden pro Tag alle mechanischen Einbauten im Perkolator sowie die Pumpe, aus dem das gereinigte Waschwasser dem Perkolator zudosiert wird, reguliert. Die Waschwassermenge wurde über das Zeitintervall des Pumpenbetriebs gesteuert. Die Menge der eingepressen Luft wurde von Hand mit Hilfe eines Durchflussmessers eingestellt. Nach dem 8-stündigen Tages-Betrieb ruhte die Perkolationsanlage für 16 Stunden.

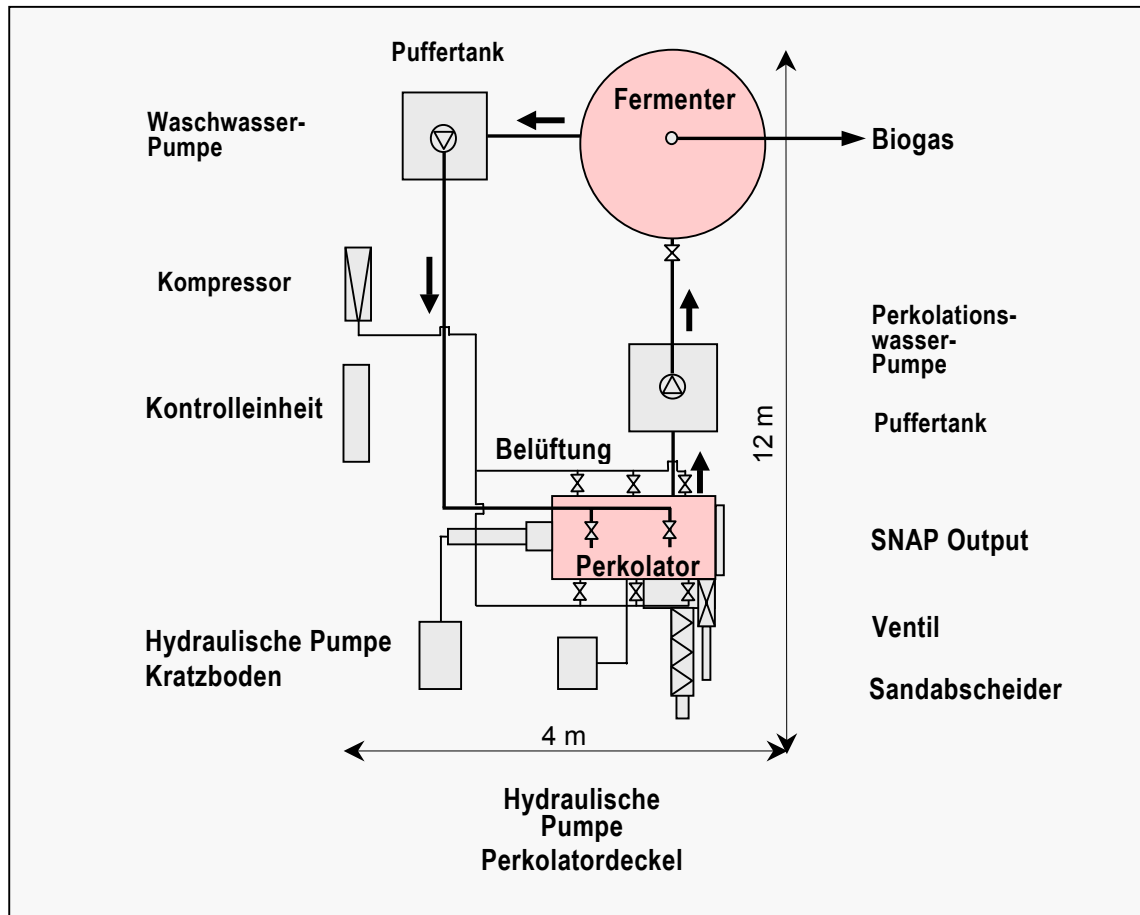


Fig. 1: Die installierte Perkolationsanlage im Pilotmassstab
(SNAP = Substrat nach Perkolation)

Das Grüngut wies einen TS-Gehalt von durchschnittlich 41,7% in Charge 1 (Herbst 2001) und 42,0 % in Charge 2 (Frühjahr 2002) auf. Der durchschnittliche Gehalt an Organik betrug 59,9% (Charge 1) bzw. 58,7% (Charge 2).

Ergebnisse

Ein wichtiger Parameter bei der Perkolation ist die **Verweilzeit vom Abfallmaterial im Perkolator**. Deshalb wurden als Erstes Perkulationsversuche zur Bestimmung der idealen Verweilzeit durchgeführt. Am ersten Tag der Perkolation wurden 38,5% und am zweiten Tag 23,6% der maximalen CSB-Menge ausgetragen. Nach 2 Tagen Perkolation waren demnach bereits 62% des gesamten CSBs ausgewaschen worden. Aus diesem Grund wurden die Perkulationsversuche mit zwei Tagen Aufenthaltszeit durchgeführt.

Eine Verlängerung der Aufenthaltszeit würde die Effizienz der Perkolations deutlich verringern: Am dritten Tag konnten nur noch 15,4% , am vierten Tag 14,2% und am fünften Tag lediglich 8,3% gewonnen werden.

Der Anteil an flüchtigen Fettsäuren - ein Mass für die Aktivität der anaeroben Organismen - beträgt am gesamten ausgewaschenen CSB_{netto} maximal 2%. Das deutet auf weitgehend aerobe Verhältnisse hin.

Die **Bewässerungsrate** wurde von 1 bis 8 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ gesteigert. Durch die Erhöhung der Wassermengen wurde eine Steigerung der ausgewaschenen CSB-Menge um das 7-fache erreicht: Das Anheben der Waschwasserrate von 1 auf 4 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ bewirkte am ersten Perkolationsstag eine Zunahme des ausgewaschenen CSBs um Faktor 3, für den zweiten Tag sogar eine Zunahme um Faktor 7. Das ergibt für einen 2-tägigen Perkolationslauf eine Steigerung um das 4,5-fache. Eine weitere Erhöhung der Waschwasserrate auf 8 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ brachte eine zusätzliche Steigerung um 60%.

Im Gegensatz dazu nahmen die Säurekonzentrationen proportional zu den eingestellten Wasser-raten ab. Daraus lässt sich eine starke aerobe Aktivität, verantwortlich für die Bildung löslichen CSBs, ableiten, sowie eine schwache Aktivität der anaeroben Bakterien zur Säurebildung.

Um den Einfluss der **Belüftungsrate** auf die hydrolytische Aktivität im Perkolator zu untersuchen, wurde eine Luftmenge von 0 und 12 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ eingestellt und die Menge des ausgewaschenen CSB's bestimmt (siehe Fig. 2).

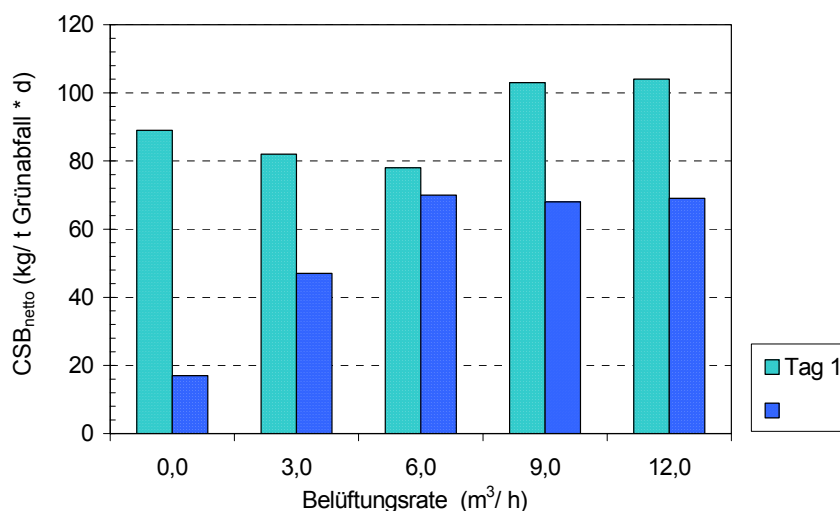


Fig. 2: Ausgewaschener CSB in Abhängigkeit von der Belüftungsrate

Am ersten Tag der Perkolationsversuche wurde jeweils kein nennenswerter Einfluss der Lufrate auf die ausgewaschene CSB Menge bestimmt. Er betrug zwischen rund 80 und 100 $\text{kg CSB} / \text{t} \cdot \text{d}$. Am zweiten Tag hingegen erreichte bei Belüftungs-raten von 6 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ und höher der aus dem Grüngut herausgelöste CSB rund 70 $\text{kg CSB} / \text{kg} \cdot \text{d}$. Bei Raten unter 6 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ wurden deutlich geringere CSB-Mengen ausgewaschen, nämlich 17 $\text{kg CSB} / \text{kg} \cdot \text{d}$ ohne Zuluft und 47 $\text{kg CSB} / \text{kg} \cdot \text{d}$ bei 3 $\text{m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$.

Während das Grüngut durch das Waschwasser ausgelaugt wird, kann durch den Boden des Perkolators nur wenig Wasser abfließen, da die Siebschlitze verstopft sind. Erst bei Betätigung des Schubbodens werden sie gereinigt und das beladene Perkulationswasser kann den Perkolator verlassen. Das Intervall des Schubbodenbetriebs definiert also die **Kontaktzeit** des Waschwassers mit dem Grüngut. In der Regel wurde der Schubboden eine Minute nach Zyklusbeginn aktiviert. Da die Zugabe des Wassers zu Beginn des Zyklus einsetzte, ergab sich für den Normalfall eine Kontaktzeit von rund einer Minute.

Diese Einstellung wurde mit einer Kontaktzeit von acht Minuten verglichen.

In beiden Fällen war der Schubboden fünf Minuten in Bewegung. Die Versuche wurden bei den Waschwasserraten von 4 und 8 m³/ m³*d durchgeführt. Durch die Verlängerung der Verweilzeit von 1 auf 8 Minuten konnte bei beiden Waschwasserraten eine Zunahme des ausgewaschenen CSBs von 27% bzw. 38% festgestellt werden: Die Menge ausgewaschenen CSBs erhöhte sich von 74 auf 95 kg CSB/ t*d bei 4 m³/ m³*d und von 133 auf 168 kg CSB/ t*d bei 8 m³/ m³*d.

Fazit

Am meisten CSB konnte bei einer Auswaschrate von 8 m³/ m³*d und einer Belüftungsrate von 6 m³/ m³*h aus dem Grünabfall herausgelöst werden. Eine 8-minütige Kontaktzeit des Grünguts mit dem Waschwasser bringt im Vergleich zu kürzeren Kontaktzeiten eine weitere Steigerung des CSB-Austrages.

Biogasfermenter

Die durchschnittliche CSB-Abbaurate im Biogasfermenter betrug jeweils 74% (± 14%) am ersten Tag und 52% (± 24%) am zweiten Tag der Perkulationsversuche. Die CSB-Konzentration des gereinigten Waschwassers (Überlauf des Fermenters) lag nicht höher als 6,2 g CSB/ L.

Die niedrigen Konzentrationen der Fettsäuren (maximal 42,1 mg/ L Acetat und 10 mg/ L Propionat bei Charge 1 und 4 mg Acetat/ L und 3 mg Propionat/ L bei Charge 2) im Fermenterüberlauf zeigen, dass die Methanogenese optimal funktionierte. Der Ammoniumgehalt lag während des gesamten Versuchszeitraums zwischen 0,3 und 0,7 mg/ L; die Leitfähigkeit, ein Mass für den Salzgehalt, zwischen 5,8 und 10,2 mS/ cm.

Der Methangehalt im Anaerobfermenter lag während den Versuchen zwischen 70 und 74%. Das Biogaspotential wurde in Batch-Ansätzen ermittelt und erreichte bis zu 285 L Gas/ kg CSB_{zugeführt}, das entspricht - unter Berücksichtigung der höchsten ausgewaschenen CSB-Menge von 336 kg CSB / t Input während der 2-tägigen Perkolation - rund 85 Nm³/ t Grünabfall.

Für das rohe Grüngut wurden mit Direktvergärung in Batch-Ansätzen Gasausbeuten von 25 bis 85 Nm³/ t ermittelt. Das ist ein extrem niedriger Wert im Vergleich zu den Durchschnittswerten in schweizerischen Praxisanlagen, was auf ein holzreiches Grüngut mit wenig Lebensmittelabfällen hindeutet.

Mit den ermittelten Werten wurde jeweils eine Energiebilanz für eine kleine Anlage mit 2000 Jahrestonnen Durchsatz erstellt. Dabei ergab sich eine positive Nettoenergiebilanz, auch für das Grüngut mit sehr tiefen Gasausbeuten, nämlich mindestens 280 MWh Wärmeproduktion und 140 MWh elektrische Energie. Zum Vergleich können in einer Anlage, die mit besserem Grüngut beschickt wird, 620 MWh Wärmeenergie und 360 MWh elektrische Energie erzeugt werden.

Um festzustellen, inwieweit die Perkolation einen Einfluss auf die **Kompostqualität (Reifegrad)** des Grünguts hat, wurden Rottetests nach [3] mit dem Grüngut vor und nach der Perkolation durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Rottegrad durch eine 2-tägige Perkolation von Stufe I auf Stufe IV gesunken ist und dadurch mit Frischkompost verglichen werden kann.

Nationale 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). Die elektrische Steuerung wurde durch Mitarbeiter von Nova Energie ausgelegt und aufgebaut.

Der Grünabfall wurde vom Zweckverband Abfallkompostierung Tägerwilen-Kreuzlingen geliefert.

Bewertung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass der Perkulationsprozess gut für die Behandlung von Grüngut geeignet ist. Durch die Optimierung der Waschwasserraten, der Belüftungsraten und der mechanischen Parameter konnte die Menge an ausgewaschenem CSB auf das sieben-fache erhöht werden.

Da die Optimierung der Perkulationswassermengen mit hohen Durchsätzen zu einer niedrigen Verweilzeit im Biogasfermenter geführt hat, konnte der Fermenter bei den idealen mechanischen Einstellungen nur suboptimal betrieben werden ($HRT < 0.5d$). Die Biogasproduktion war deshalb nicht repräsentativ. Es sollten daher weitere Untersuchungen durchgeführt werden, bei denen vor der Vergärung das beladene Perkulationswasser rezykliert und damit aufkonzentriert werden kann. Dadurch könnte das Eintragsvolumen in den Fermenter reduziert und die Verweilzeit erhöht werden.

Um den Eintrag von Faserstoffen in den Fermenter zu verhindern, ist die Integration eines Siebes unerlässlich. Vor allem ein Schüttelsieb wäre für diesen Zweck geeignet.

Referenzen

- [1] P. Schalk, V. Steinberg: **Reststoffminimierende Abfallbehandlung**. Sonderdruck aus dem AbfallwirtschaftsJournal Juni 1998.
- [2] U-Plus Umweltservice AG: **ISKA - Intelligente Lösungen für die kommunale Restmüllentsorgung**. U-Plus, D-76275 Ettlingen, 2001.
- [3] Bundesgütergemeinschaft Kompost e. V.: **Methodenbuch zur Analyse von Kompost** (1994), Verlag Abfall Now e. V., Stuttgart