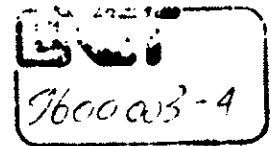




Co-Vergärung von festen und flüssigen Substraten

Zusammenfassung des Schlussberichts zum NEFF-Projekt 591
W. Edlmann, Arbeitsgemeinschaft Bioenergie, arbi, 8933 Maschwanden



Ausgangslage:

Unter "Co-Vergärung" versteht man die gemeinsame Vergärung von festen biogenen Abfällen (z.B. Speisereste und Rüstabfälle aus Grossküchen, gewerbliche Lebensmittelabfälle etc.) zusammen mit flüssigen Substraten wie Klärschlamm oder Gülle. Für die Co-Vergärung geeignet sind - unter den hier zu diskutierenden Voraussetzungen - bereits bestehende Faultürme von Kläranlagen oder grössere landwirtschaftliche Biogasanlagen. Die Co-Vergärung stellt eine interessante Möglichkeit zur kostengünstigen dezentralen Verwertung von festen Abfällen und zur Energiegewinnung aus Biomasse dar.

Die vorliegende Kurzfassung fasst Resultate und Erkenntnisse zusammen, welche im Rahmen einer Studie gewonnen wurden, welche durch den Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) und durch den Kanton Bern finanziert wurde. Die Resultate der Studie sind in einem knapp 100-seitigen Schlussbericht zusammengefasst. Mit der Studie wurden verschiedene Ziele verfolgt:

- Abklärung der **technischen Machbarkeit der Co-Vergärung in einem Faulturm** einer schweizerischen Kläranlage mittlerer Grösse im Praxismassstab: Dazu war es notwendig, eine Anlage zur Aufbereitung der Abfälle zu entwickeln und an einem geeigneten Standort aufzubauen. Im Versuchsbetrieb war zu untersuchen, ob die Co-Vergärung von Klärschlamm zusammen mit festen organischen Abfällen technisch machbar ist, bzw. welche Komponenten einer ARA den Einsatz einer Co-Vergärung eventuell einschränken. (Kapitel 2 bis 4 des Schlussberichts)
- Gleichzeitig sollten im Rahmen des Versuchsbetriebs die **Auswirkungen der Co-Vergärung auf den Betrieb** einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) abgegrenzt werden: Unter diesen Punkt fielen neben dem Sammeln von Erfahrungen mit der geeigneten Aufarbeitung von biogenen Abfällen auch die Konsequenzen für den Alltag des Klärwerks und die Auswirkungen der Co-Vergärung auf die Energiebilanz und die Ökonomie der ARA. (Kapitel 5 bis 7 des Schlussberichts)
- Arbeiten zur **theoretischen Machbarkeit**: Abgeleitet von den Erfahrungen aus dem Praxisbetrieb sollte mit statistischen Daten und mit Umfragen die Möglichkeit der Co-Vergärung auf schweizerischen Kläranlagen abgegrenzt werden. Dabei waren die relevanten Auswahlkriterien für Standorte zu umschreiben und das Energiepotential grob abzuschätzen. (Kapitel 8 bis 9 des Schlussberichts)

Im Verlauf der Arbeiten zeigte sich, dass speziell auch die **landwirtschaftliche Co-Vergärung** in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird. Daher wird in Kapitel 10 des Schlussberichts speziell auf die ökonomischen und anderen Vorteile der Co-Vergärung auf Landwirtschaftsbetrieben eingegangen. Eine Reihe von **Praxisbeispielen** mit detaillierten Betriebsdaten soll dokumentieren, wo die Co-Vergärung heute steht, bzw. wo ein Interessent bereits realisierte Anlagen besichtigen kann, um sich ein praxisnahes Bild der Co-Vergärung zu verschaffen (Kapitel 11 des Schlussberichts).

Resultate der Praxisversuche:

Auf der ARA Frutigen (Kt. Bern) wurde die technische Machbarkeit der Co-Vergärung überprüft. Regional eingesammelte Gewerbeabfälle wurden auf dem ARA-Gelände mit einer zweistufigen Zerkleinerung aufbereitet, in einem Misch- und Lagertank gestapelt und via die Hygienisierungsstufe dem Faulturm zugeführt. Während rund 14 Monaten wurde die Kläranlage eingehend in verschiedenen Betriebszuständen ausgemessen. Die nach umfangreichen Vorabklärungen entwickelte Aufbereitungsanlage erfüllte die Zielsetzungen Annahme, Stapelung, Vorzerkleinerung, Abtrennung von Störstoffen und Feinzerkleinerung ohne grössere Probleme. Die biogenen Abfälle konnten einfach verflüssigt und pumpfähig gemacht werden. Während 14 Monaten wurden auf der ARA Frutigen täglich Daten zu Parametern, wie Volumen- und Massenströme, C is- und Stromproduktion, Nährstoffe, Schwermetalle, Hygieneparameter etc. erhoben. Der Praxisbetrieb der ARA wurde durch die Co-Vergärung nicht negativ beeinflusst. Die Faulraumbelastung mit organischem Material konnte ohne nennenswerte Störungen um 20 % gesteigert werden. Es konnte gezeigt werden, dass der Faulraum auch mit 1 m³ Abfallzugabe pro Tag noch deutlich unter seiner Belastungsgrenze gefahren wurde. Die erhobenen Daten sprechen stark dafür, dass die Vergärung durch die Zugabe der Abfälle verbessert wurde (sowohl Abbaukinetik als auch Abbaugrad). Die Ammoniumkonzentration im Trübwasser erhöhte sich bei den verwendeten Gewerbeabfällen nicht. Die Klärschlammqualität veränderte sich in bezug auf den Nährstoffgehalt nicht signifikant, da die Abfälle einerseits vergleichsweise nährstoffarm sind und andererseits deren Abbau sehr gut war, was die TS-bezogene Konzentration wiederum anhub. Die Schwermetallwerte verbesserten sich jedoch leicht, da die Abfälle deutlich weniger belastet sind und damit eine Senkung der Gesamtkonzentration im Schlamm bewirkten.

Feste Abfälle, d.h. Substrate wie rohe Gemüse, welche im Vergleich zu Speiseabfällen einen "trockenen" Eindruck hinterlassen, brauchen eine zweistufige Aufbereitung mit Grob- und Feinzerkleinerung. Pro Tonne Abfälle ist für den zweistufigen Aufschluss, die Hygienisierung Aufwärmung und andere zusätzliche Energieaufwendungen ein spezifischer Strombedarf von ca. 35 kWh sowie rund 50 kWh Wärme erforderlich, wobei die Hälfte des Stroms auf die eigentliche Grob- und Feinzerkleinerung zurückzuführen ist. Bei der anaeroben Verwertung sind pro Tonne dieser rohen Gemüseabfälle nach Abzug der Umwandlungsverluste netto rund 65 kWh elektrische Energie und 166 kWh Wärme als frei verfügbarer Überschuss freigesetzt worden, wobei bei optimierter Fahrweise und oder bei Verwendung einstufig aufarbeitbarer Küchenabfälle der Ertrag noch spürbar vergrössert werden dürfte. Wenn pro angeschlossenem Einwohner im Durchschnitt rund 50 kg Abfall pro Jahr den Faultürmen zugeführt wird, kann bis zu über 10% des Elektrizitätsbedarfs der ARA durch zusätzliche Eigenproduktion gedeckt werden. Im Fall der ARA Frutigen war die Hygienisierungsstufe der limitierende Faktor für die Zugabe von Abfällen. Für die Hygienisierung musste rund 20% des Strombedarfs der Aufbereitung eingesetzt werden. Praktische Messungen im Verlauf der Versuche, Untersuchungen zur Abtötung von Tomatensamen im Faulturm wie auch theoretische Überlegungen sprechen jedoch dafür, normalerweise auf eine Hygienisierung der Co-Substrate zu verzichten.

Bei der Berechnung der Kosten wurden alle zusätzlich zur normalen Infrastruktur der ARA notwendigen Einrichtungen sowie die sonstigen Zusatzkosten (Personal, Versicherungen, etc.) berücksichtigt. Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass das Land (rund 100 m²) und die bereits vorhandenen Komponenten zur freien Verfügung stehen. Bei der Verarbeitung von 500 bis 1'000 t pro Jahr bewegen sich die spezifischen Kosten für die in Frutigen verwendete Abfallart zwischen Fr. 56,- und 82,- pro Tonne. Die spezifischen Kosten für die Verarbeitung von (Gross-)Küchenabfällen und Speiseresten liegen tendenziell tiefer, da in diesem Fall die Zerkleinerung einstufig erfolgen kann.

Die Kosten der Kompostierung in professionellen Anlagen liegen vergleichsweise zwischen 80.- Fr. t bis zu über 200.- Fr. t.

Untersuchungen zur Machbarkeit der Co-Vergärung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie galt es zunächst einmal, die Auswahlkriterien zur Selektion geeigneter Kläranlagen zu definieren. Dieses Unterfangen war nicht einfach, da viele Grössen die Auswahl beeinflussen: Grösse der ARA, Vorhandensein einer Anaerobstufe und einer Gasverwertung, Landreserven und Logistik, Klärschlammqualität und -verwertung, Hygienisierungsstufe und andere technische Engpässe, Vorhandensein und Einzugsgebiet der Abfälle, weitere regionale Voraussetzungen und Akzeptanz bei den involvierten Parteien.

Es wurden zunächst eingehende Auswertungen der unter anderem beim BUWAL vorhandenen Datenbanken zu schweizerischen Kläranlagen durchgeführt. Es zeigte sich, dass die notwendigen Informationen nur sehr bruchstückhaft vorhanden waren. Die Kriterien wurden daher zunächst auf die vier Parameter "Grösse", "Vorhandensein Faulturm mit bestehender Gasverwertung", "Vorhandensein Hygienisierungsstufe" und "Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft" eingeschränkt. Unter diesen vier Einschränkungen reduziert sich die Zahl der für die Co-Vergärung kurzfristig, d.h. ohne grosse Umbauten oder Veränderungen in Frage kommenden ARA's von 1020 auf 47. Da bei der Grösse nur ARA's der Klassen 1-3, d.h. mit Behandlung von mehr als je 10'000 Einwohnergleichwerten, berücksichtigt wurden, behandeln diese verbleibenden 47 Anlagen immer noch rund einen Fünftel des schweizerischen Abwassers (vgl. Abbildungen 1 und 2).

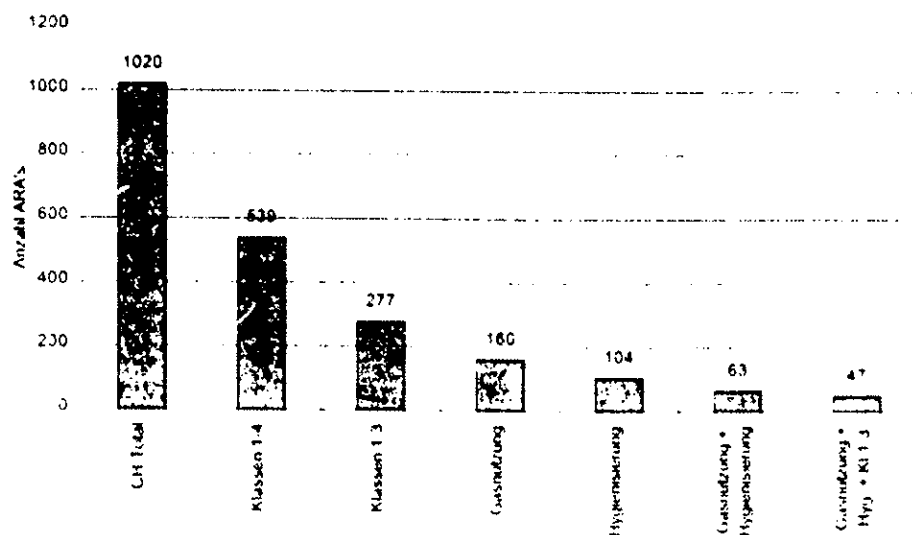


Abb.1: Anzahl der für Co-Vergärung geeigneten schweizerischen ARA's in Abhängigkeit von verschiedenen Auswahlkriterien (Stand 1993)

In einem zweiten Schritt wurden die Kantone direkt über Fragebogen, Telefonate und Besuche zur Möglichkeit der Co-Vergärung befragt. Dabei zeigte sich, dass auch aus diesem Blickwinkel die Anzahl der zur kurzfristigen Umsetzung geeigneten Anlagen im Bereich von 50 Anlagen liegt. Detaillierte Angaben zur Situation in den einzelnen Kantonen werden vorgestellt. Das Potential der kurzfristig realisierbaren Co-Vergärung liegt bei der Behandlung von rund 120'000 t Abfall pro Jahr, was der Kapazität von rund einem Dutzend KOMPOGAS-Anlagen entspricht.

Es zeigte sich jedoch, dass mittelfristig die einschränkenden Kriterien stark an Gewicht verlieren und zum Teil sogar für die Co-Vergärung sprechen (Wenn beispielsweise der Bau einer Anaerobstufe mit Gasverwertung zur Diskussion steht, kann die Option Co-Vergärung den Entscheid positiv beeinflussen etc.). Es wird gleichzeitig der Vorschlag gemacht, auch kleinere Anlagen in die Co-Vergärung einzubeziehen, indem die Aufbereitungsanlage mobil auf einem LKW montiert wird, welcher im Turnus mehrere Faultürme mit aufbereitetem Substrat versorgt. Diese Lösung hat den Vorteil, dass biogener Abfall gerade auch im dezentralen Raum, wo der Klärschlamm einfacher wieder in die ökologischen Kreisläufe zurückgeführt werden kann, kostengünstig anaerob zu behandeln ist.

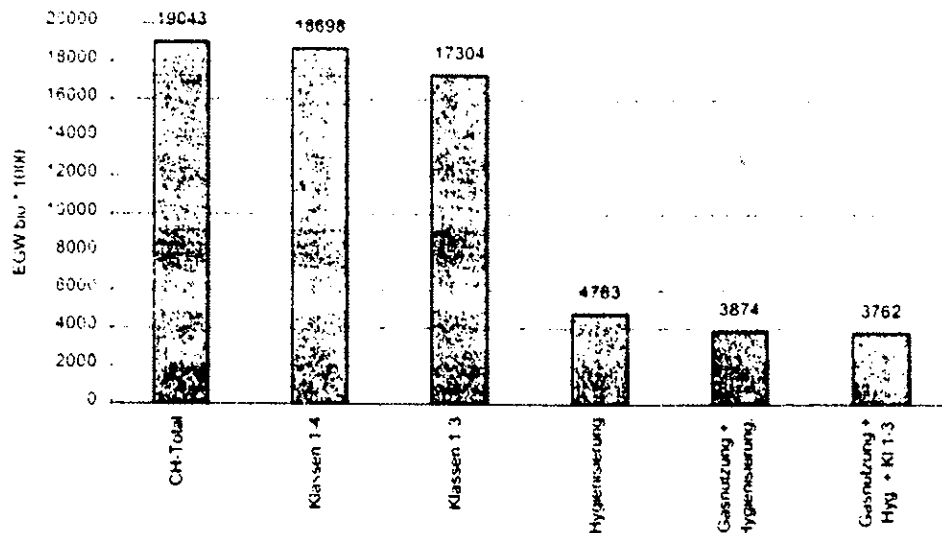


Abb. 2: Anzahl der in der Schweiz angeschlossenen Einwohnergleichwerte (biologisch; in Tausender-Skalierung) an Anlagen, welche für die Co-Vergärung in Frage kommen, in Abhängigkeit von verschiedenen Auswahlkriterien (Stand 1993)

Landwirtschaftliche Co-Vergärung

Ein riesiges Biogaspotential liegt in der Landwirtschaft. Auch grosse landwirtschaftliche Biogasanlagen können jedoch beim heutigen, aus ökologischer Sicht unsinnig tiefen Ölpreinsniveau kaum Rentabilität erreichen. Anhand einer detaillierten Betriebsanalyse wird nachgewiesen, dass die Co-Vergärung die Ökonomie einer Landwirtschaftsanlage ganz grundlegend verändert und dass weitere Synergien genutzt werden können. In Zukunft wird daher die landwirtschaftliche Co-Vergärung daher stark an Bedeutung gewinnen. Um die Praxisrelevanz der Co-Vergärung zu dokumentieren, werden verschiedene Praxisbeispiele aus der Schweiz und aus dem Ausland mit detaillierten Angaben zur ökonomischen und energetischen Situation vorgestellt.

Philosophische Schlussbetrachtung

(ungekürztes Kapitel 12 des vollständigen Schlussberichts)

Für den biotechnologischen Abbau von biogenen Stoffen bieten sich zwei prinzipiell verschiedene Abbauewege an: der **aerobe** und der **anaerobe Abbaueweg**. Beim aeroben Abbau sind die drei Phasen nötig: fest (abzubauende Biomasse), flüssig (Wasserfilm auf dem festen Abfallstoff als

Lebensraum für die Mikroorganismen) und gasig (Luftsauerstoff, welcher im Wasserfilm gelöst wird). Dies ist kein Problem, solange der Abbau dezentral erfolgt, da Luft und Feuchtigkeit bei kleinen Schichtdicken problemlos Zutritt zum abgestorbenen Material haben. Der aerobe Abbauweg läuft daher in der Natur immer dezentral ab. Das Laub sammelt sich in kleinen Schichtdicken unter dem Baum; die Biomasse verrottet am Ort ihres Sterbens mit der Feuchte des Regens und dem Sauerstoff der reichlich vorhandenen Luft.

Sobald Biomasse verfrachtet wird und sich lokal zu Haufen stapelt (in Geländesenken oder am Grund von Waldweihern, etc.), kommt zwingend der - für die betroffenen Mikroorganismen energetisch ungünstigere - anaerobe Abbau zum Zug, wo als Edukte nur zwei Phasen nötig sind: fest (Biomasse) und flüssig (Lebensraum der Mikroorganismen); das Gas ist Ausscheidungsprodukt und damit für den Abbau nicht limitierend. Bei grossen abzubauenen Biomasseansammlungen ist der Sauerstoff- und Feuchtigkeitszutritt für eine biologische Verbrennung nicht mehr ausreichend gewährleistet. Aus Sicht der Natur ist schon der Komposthaufen hinter dem Haus eine "zentrale Angelegenheit", wo automatisch anaerobe Prozesse aktuell werden. Um so grösser ist daher die Vergewaltigung der Natur, wenn man in Grossanlagen der hoch aufgestapelten Biomasse oder den organisch hoch belasteten Abwässern aerobe Abbauewege aufzwingt. Dieser **Zwang braucht Energie**. Um eine Tonne Biomasse "aerob" zu kompostieren, benötigt man in professionellen Anlagen bis zu über 100 kWh. Beim Abwasser verhält es sich ähnlich.

Diese Energie haben wir heute im Überfluss. Der heutige, "**fossile**" Mensch hat sich das Know-How angeeignet, am richtigen Ort Löcher zu graben und Öl zu pumpen. Die fossile Energie erlaubt, das Leben, unsere Umwelt und unseren Planeten nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ grundlegend zu verändern. Heute hat jeder Durchschnittsbürger in jeder Steckdose Tausende von Aladins zu seiner Verfügung, welche er sich mit Elektrowerkzeugen für ein Butterbrot dienstbar machen kann. Hinter jedem Gaskochherd steckt ein Gaswerk und eine Pipeline, welche mehr Wärme zu liefern vermag, als alle Lagerfeuer der Heere von Cäsar und von Alexander dem Grossen zusammen. Wir haben heute eine Krise von viel zu viel, viel zu billiger und dementsprechend falsch eingesetzter Energie. Diese Energiekrise erlaubt uns, uns entgegen der Prinzipien der Natur [22] zu verhalten. Die über Hunderte von Jahrillionen angesammelten fossilen Energie- und Rohstoffreserven werden heute in einem - erdgeschichtlich gesehen - winzigen Augenblick unwiederbringlich verschleudert.

So sicher, wie das Amen in der Kirche kommt, wird erdgeschichtlich sehr rasch die heute ablaufende, mit fossiler Energie unterstützte Geburt einer bewussteren Menschheit vorüber sein und der "post-fossile" Mensch das Licht der Welt erblicken. Der "**post-fossile**" Mitteleuropäer wird (sofern er nicht zum Leitfossil der heutigen Zeit geworden sein wird...) voraussichtlich nicht mehr in der Lage sein, bei Fruchtsaft aus Zentralamerika und bei Wein aus Südafrika frische Crevetten aus Malaysia und Lammfleisch aus Neuseeland mit Bohnen aus China zu verspeisen. Er wird es sich aber auch nicht mehr leisten können, sehr viel hochwertige Fremdenergie aufzuwenden, um energetisch hochwertige chemische Bindungen zu zerstören, wie sie dank der Energie der Sonne in der Biomasse vorliegen. Der post-fossile Mensch wird als "Neugeborener" seine materielle und geistige Umwelt zwar bereits viel wacher, tiefer und mit in Vergleich zu heute viel grösserem und ganzheitlicherem Wissen erleben; er wird sich jedoch voraussichtlich über sehr lange Zeiträume mit sehr viel kleinerem und ökonomischerem Energieumsatz von der Geburt erholen müssen, da er sich voll auf erneuerbare Energieträger abstützen werden muss. Daher wird er sich **weder Kompostierung noch Abwasserbelüftung** im heutigen Ausmass leisten können; er wird darauf angewiesen sein, die hochwertige Energie der chemischen Bindungen von organischem Material nicht zu verlieren, sondern sie für Zwecke mit hoher Priorität nutzbar zu machen und einzusetzen.

Um die Energie von nasser, heterogen zusammengesetzter Biomasse nutzbar zu machen, ist die anaerobe Gärung mit Biogasgewinnung der energetisch sinnvollste Weg, welcher gleichzeitig als einziger Verwertungsweg auch den ökologischen Prinzipien voll Rechnung trägt:

- Es wird **hochwertige, erneuerbare Energie** freigesetzt.
- Eigene Modellrechnungen haben gezeigt, dass unter Berücksichtigung der notwendigen Primärenergie der aerobe Abbauweg im Vergleich zur Vergärung eine **Differenz** von bis zu 100 m³ **fossilem CO₂** pro Tonne verarbeitetem Abfall aufweist. Die Vergärung von biogenem Material leistet damit einen Beitrag an die Reduktion des **Treibhauseffekts**, indem einerseits CO₂-neutrale, erneuerbare Energie freigesetzt, bzw. treibhausaktive Energie substituiert wird, und andererseits treibhausaktive, fossile Primärenergie eingespart wird, welche zum Betrieb der konkurrierenden Entsorgungswege notwendig wäre.
- Das **Kreislaufprinzip** bleibt gewahrt: Schwer abbaubare Verbindungen, welche einen grossen Anteil an der organischen Substanz des Bodens ausmachen, bleiben beim biotechnologischen Abbau erhalten. Dies gilt ebenfalls für den überwiegenden Teil der Nährstoffe. Bei der biotechnologischen Verwertung entsteht ein wertvoller Rückstand, dessen schwer abbaubare organische Komponenten und anorganische Nährstoffe beim Rückführen auf die Felder zur langfristigen Erhaltung des Bodens beitragen und den Humusaufbau fördern.
- Beim anaerobem Abbauprodukt wird nach dem Austrag das **Lachgas**, ein Ozonkiller und rund 150 mal wirksameres Treibhausgas als CO₂, als Nebenprodukt der Denitrifizierung im Boden rund viermal weniger stark freigesetzt, als nach konventionellen Abbauwegen.
- Die Biogasgewinnung zeigt verschiedene **weitere Vorteile**, wie sie im Schlussbericht dargestellt wurden.

Das Potential zur energetischen Nutzung von Biomasse wie Gülle, Exkremente, feste biogene Abfallstoffe und organisch belastete Abwässer ist naturgemäss riesig. Die Ausschöpfung dieser ständig vorhandenen Energiequelle ist allerdings von der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anlage abhängig. Und genau hier kann die **Co-Vergärung** einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des Potentials leisten: Die Co-Vergärung beruht auf dem **Prinzip der Synergie**, des Zusammenlegens von Aktivitäten zum gegenseitigen Vorteil. Dadurch können sowohl Kosten spürbar gesenkt, als auch die zur Herstellung von Anlagen nötige graue Energie reduziert werden. Die Vergärung wird so auch bei den heutigen, aus ökologischer Sicht verantwortungslos tiefen Energiepreisen an verschiedenen Standorten in Gemeinden und in der Landwirtschaft wieder interessant. Als grosser Vorteil ist zu werten, dass die Co-Vergärung eine dezentrale Nutzung des Biomasse-Potentials ermöglicht.

Es sind in diesem Bericht verschiedene Gründe diskutiert worden, welche das Potential der Co-Vergärung einschränken könnten (Vorhandensein einer Hygienisierungsstufe, Grösse der Anlage, Gasverwertung etc.). Die meisten dieser **Vorbehalte** stellten sich jedoch als weniger gewichtig heraus, als ursprünglich angenommen worden war (vgl. Kapitel 9.6 des Schlussberichts). Bei näherem Hinsehen könnte man durchaus zum Schluss kommen, dass die Co-Vergärung nicht primär durch technische oder ökonomische Grössen eingeschränkt wird, sondern dass der Hauptgrund für die bis jetzt nur sehr zaghafte Umsetzung im fehlenden Dialog zwischen den beteiligten Parteien liegt. Man könnte durchaus einen heute bekannten Slogan abändern in:

“Co-Vergärung beginnt im Kopf !”

Co-Vergärung setzt den **Dialog** und die **Zusammenarbeit** voraus zwischen Parteien, welche normalerweise wenig Kontakt zueinander haben: Die Planer und Betreiber von Kläranlagen, kommunale, gewerbliche und industrielle Abfallerzeuger, Bauern, verschiedenste Ämter auf verschiedenen Ebenen, Abfallentsorger etc. müssen miteinander das Gespräch finden und lokal angepasste, vernetz-

te und interdisziplinäre Lösungen finden. Diese Art zu Denken und Probleme anzugehen, ist bei uns heute in vielen Fällen noch nicht sehr weit verbreitet.

Gemeinsames und interdisziplinäres Denken tut heute jedoch Not: Es gilt jetzt mit der Natur als Vorbild jene Entscheide zu fällen, welche mittelfristig die Kursänderung nicht behindern, die für das Überleben der Menschheit *imperativ* notwendig ist! Wenn die vorliegende Broschüre auch Gedankenanstösse in diesem Zusammenhang vermitteln konnte, hat sie ihren Zweck erfüllt.

Veröffentlichungen

(mit Bezug zum NEFF-Projekt)

- EDELMANN W. (1995): Concepts for the treatment of organic solid wastes, in Symposium: Biological Waste Management - a wasted Chance?, Oelde 1995
- EDELMANN W. (1995): Möglichkeiten und Grenzen der Anaerobtechnik aus der Sicht des Wissenschafters, in: ANS Hrsg.: Anaerobe Abfallbehandlung in der Praxis, Kurz & Co, Stuttgart, ISBN 3-924618-29-1, pp.45-53
- ENGELI H., GRADENECKER M., EDELMANN W., KULL T., (1995): Co-Vergärung von Klärschlamm und Bioabfall - Erfahrungen und Perspektiven, in: Abfall-Wirtschaft, Proceedings des 7. Kasseler Abfallforums: Biologische Abfallbehandlung, 25.-27.4.95, Universität Kassel
- EDELMANN W. (1995): Integration der Anaerobtechnik in Gesamtkonzepte der biologischen Abfallbehandlung, in: Abfall-Wirtschaft, Proceedings des 7. Kasseler Abfallforums: Biologische Abfallbehandlung, 25.-27.4.95, Universität Kassel
- EDELMANN W. (1995): Integrasjon av anaerobteknikken i en helhetlig løsning, Seminar Kildesortering, 17.11.95, Oslo (oversatt til norsk av Arne Tronstad)
- EDELMANN W., ENGELI H., GRADENECKER M., MOSER C. (1995): Untersuchungen zur Co-Vergärung auf der Kläranlage Frutigen, BE, Bericht z.Hd. des Kanton Bern, GSA Bern
- EDELMANN W. (1994): Co-Vergärung, Müll-Handbuch 5930, Lieferung 5-94, Erich-Schmidt Verlag, Berlin.
- EDELMANN W., ENGELI H., (1996): Biogas aus festen Abfällen und Industrieabwässern - Eckdaten für PlanerInnen. Bundesamt für Konjunkturfragen, PACER, # 724.231 D, Bern.
- EDELMANN W., EGGER K., ENGELI H., MEMBREZ Y. (1996): Biogasgewinnung auf Landwirtschaftsbetrieben und in der Intensivtierhaltung, Schlussbericht E2000, BEW ENET, CH 3003 Bern
- EDELMANN W. (1996): Energie, Materie, Umwelt - Konsequenzen für die Behandlung biogener Abfälle, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Hrsg. DGAW, Novellierung der TA Siedlungsabfall? Erich Schmidt Verlag Berlin, S.90-105, ISDN 3-503-03939-2.

Anhang:

Inhaltsverzeichnis Schlussbericht: (93 Seiten, 30 Tab., 12 Abb., 24 Photographien)

Dank

Zusammenfassung / Summary

1 Einleitung

- 1.1 Umschreibung der Co-Vergärung
- 1.2 Die vorliegende Broschüre als Resultat eines Forschungsprojekts
- 1.3 Ausgangslage des Forschungsprojekts

2 Co-Vergärung auf der ARA Frutigen

3 Die Aufbereitung von Abfällen

- 3.1 Aufgaben der Verfahrenstechnik
- 3.2 Prinzipiell mögliche Aufbereitungsverfahren
- 3.3 Auswahl und Beurteilung verschiedener Lösungen
- 3.4 Beschreibung der Aufbereitungsanlage Frutigen

4 Der Versuchsbetrieb in Frutigen

- 4.1 Verwendete Abfälle
- 4.2 Versuchsprogramm
- 4.3 Messprogramm
- 4.4 Versuchsüberwachung und Analysenmethoden

5 Resultate

- 5.1 Aufbereitung der Abfälle
- 5.2 Einfluss der Abfälle auf den Praxisbetrieb der Kläranlage
- 5.3 Einfluss der Abfälle auf die Biologie der Faulung
- 5.4 Gas- und Stromproduktion
- 5.5 Einfluss der Abfälle auf die Qualität des Klärschlammes
 - Hygiene (Enterobakteriaceen)
 - Überlebensfähigkeit von Tomatensamen
 - Nährstoffe

6 Energetische Betrachtungen: Frutigen

- 6.1 Strombedarf zur Aufbereitung
- 6.2 Wärmebedarf
- 6.3 Energieertrag
- 6.4 Energiebilanz

7 Oekonomische Betrachtungen: Frutigen

- 7.1 Investitionskosten
- 7.2 Betriebskosten
- 7.3 Vergleich zur Verwertung als Tierfutter

8 Schlussfolgerungen für Praxisanlagen

- 8.1 Eignung der eingesetzten Apparaturen
- 8.2 Energieproduktion der Co-Vergärung
- 8.3 Allgemeine Überlegungen zur Hygiene des Gärprodukts
- 8.4 Die Qualität von co-vergorenem Material

9 Machbarkeit der Co-Vergärung auf Kläranlagen

- 9.1 Übertragbarkeit der Erfahrungen von Frutigen
- 9.2 Auswahlkriterien für geeignete Kläranlagen
- 9.3 Kurzfristig realisierbare Standorte
- 9.4 Die Situation in den einzelnen Kantonen
 - Kantone mit einem relativ hohen Potential für die kommunale Co-Vergärung
 - Kantone mit beschränkten Einsatzmöglichkeiten
 - Kantone, die für die kommunale Co-Vergärung kaum in Frage kommen
- 9.5 Potential der Co-Vergärung auf Kläranlagen
- 9.6 Ökonomie und Zukunftsperspektiven der Co-Vergärung

10 Co-Vergärung in der Landwirtschaft

- 10.1 Die Problematik der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung
- 10.2 Ökonomie der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung

11 Praxisbeispiele

- 11.1 K. Günthardt, Dällikon
- 11.2 Gebrüder K. und U. Wittwer, Süderen
- 11.3 Gemeinschaftsanlage Burgdorfer, Büchi und Rohner, Frauenfeld
- 11.4 Abfallaufbereitung auf der ARA Baden-Baden, Deutschland
- 11.5 Gemeinschaftsbiogasanlage Fangel, Dänemark
- 11.6 Kommunale Co-Vergärung von Schlempe in der Schweiz

12 Philosophische Schlussbetrachtung

13 Literaturnachweis

14 Anhang