

**AWIPLAN-PPD GMBH
PLANUNGSZOZIETÄT**

**Machbarkeitsstudie
zur energetischen Verwertung
von Bioabfällen im Landkreis Reutlingen**

**-Konzeption
einer Bioabfallvergärungsanlage-**

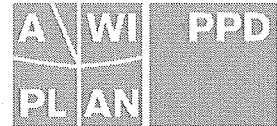
**für die Abfallwirtschaft der Stadt Reutlingen sowie
dem Landkreis Reutlingen**

Erstellt von:

AWIPLAN-PPD GmbH, Filderstadt

**M.Sc. Sabrina Baatz
Dipl. Ing. Wolfgang Lausterer**

Juli 2012



**AWIPLAN-PPD GMBH
PLANUNGSZOZIETÄT**

**Machbarkeitsstudie
zur energetischen Verwertung
von Bioabfällen im Landkreis Reutlingen**

**-Konzeption
einer Bioabfallvergärungsanlage-**

**für die Abfallwirtschaft der Stadt Reutlingen sowie
dem Landkreis Reutlingen**

Erstellt von:

AWIPLAN-PPD GmbH, Filderstadt

**M.Sc. Sabrina Baatz
Dipl. Ing. Wolfgang Lausterer**

Juli 2012

1 Zusammenfassung und Empfehlung

In der vorliegenden Studie wurden die Möglichkeiten der Realisierung einer Bioabfallvergärungsanlage nach Vorgaben des Auftrages der Stadt und des Landkreises Reutlingen untersucht.

Zunächst wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen, sowie biologische und technische Grundlagen verschiedener Vergärungsverfahren für Bioabfälle dargestellt. Das EEG spielt dabei eine entscheidende Rolle, da durch die Vergütungen für Strom und Wärme eine Vergärungsanlage erst in den Bereich der Wirtschaftlichkeit und damit der Realisierbarkeit gelangen kann.

Im Verlauf der Studie wurden folgende Themen bearbeitet und Fragestellungen untersucht:

Verfahrenstechnik der Bioabfallvergärung

Auf dem Markt haben sich im wesentlichen vier Verfahrensvarianten etabliert:

- Trockenvergärung, stehender Fermenter
- Trockenvergärung, liegender Fermenter
- Trockenvergärung, Boxenvergärung
- Nassverfahren

Mit den vorgestellten Verfahren werden weltweit zahlreiche Anlagen mit Kapazitäten bis zu 270.000 t Bioabfall pro Jahr betrieben. Lediglich die Boxenvergärung, ein relativ neues Verfahren, wurde bis jetzt nur bei ca. 20 Anlagen realisiert. Dennoch liegen ausreichende Erfahrungen und Referenzzeiten vor. Die spezifischen Besonderheiten, Unterschiede sowie Vor- und Nachteile sind in Kapitel 5 ausführlich beschrieben. Die Faktoren und Parameter, die für eine Auswahl der geeigneten Verfahrenstechnik berücksichtigt werden müssen, sind im Wesentlichen, die zu verarbeitende Bioabfallmenge, der Störstoffanteil, die Gasausbeute, die Art der Gärrestverwertung und natürlich die Wirtschaftlichkeit.

Verwertungsmöglichkeiten von Biogas

- Verstromung des Biogases am Standort der Vergärungsanlage
- Verstromung des Biogases an einem anderen Ort
- Aufbereitung des Biogases zu Biomethan und Einspeisung in das Erdgasnetz

Stand der Technik ist die Verbrennung des Biogases in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme. Der erzeugte Strom wird in das Stromnetz eingespeist und entsprechend den Regelungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) vergütet. Die bei der Verstromung entstehende Abwärme kann z.B. zur Trocknung von Klärschlamm genutzt oder in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden. Das BHKW muss dabei nicht bei der Vergärungsanlage aufgestellt werden, sondern kann auch in der Nähe des Wärmeabnehmers betrieben werden.

Mittlerweile ist auch die Biogasaufbereitung zu Biomethan zur Einspeisung in das Erdgasnetz Stand der Technik. Aufgrund der höheren Investitionskosten für die Gasaufbereitung ist diese Technik vor allem bei Anlagengrößen über 30.000 t/a wirtschaftlich interessant.

Verwertungsmöglichkeiten von Gärresten

Bei allen beschriebenen Verfahrensvarianten fallen nach dem Entwässern der vergorenen Bioabfälle ein fester und ein flüssiger Gärrest an. Die Mengen sind erheblich, zwischen etwa 9.000 und über 12.000 t/a flüssiger Gärrest und ca. 5.500 bis ca. 7.000 t/a fester Gärrest bei 15.500 t Input (zzgl. Grünabfall und Zusatzwasser). Deshalb ist eine sinnvolle und kostengünstige Verwertung für den wirtschaftlichen Betrieb der Vergärungsanlage von großer Bedeutung.

Verwertung fester Gärreste

- Kompostierung, zur Herstellung eines gütesicherbaren Kompostes
- Trocknung zur Herstellung eines Granulat und Einsatz als Düngergranulat
- Trocknung zur Herstellung eines Granulat und Einsatz als Brennstoff
- Landwirtschaftliche Verwertung des frischen Gärrests

Die Erzeugung eines gütegesicherten Kompostes und Vermarktung im Gartenbau, der Landwirtschaft, Privatgebrauch oder in Erdenwerken stellt eine übliche Praxis dar und unterscheidet sich nicht wesentlich von der Herstellung und Vermarktung des Kompostes aus dem Komposthof Pfullingen. Nähere Erläuterungen sind deswegen nicht erforderlich.

Bei den Varianten wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen die Herstellung und Vermarktung des Kompostes betrachtet.

Eine landwirtschaftliche Verwertung des festen Gärrestes ohne Nachrotte ist nach dem neuen EEG nicht mehr zugelassen. Die Dauer der Nachrotte wird im Gesetztext nicht näher erläutert. Hier ist eine Entscheidung der Clearing-Stelle abzuwarten. Derzeit wird in Fachkreisen davon ausgegangen, dass eine 1-wöchige Aerobisierung (Umstellung von anaerober auf aerobe biologische Aktivität) und eine anschließende 2-wöchige Kompostierung ausreichend sind.

Grundsätzlich muss vor der Verwendung in der Landwirtschaft jedoch sichergestellt sein, dass der feste Gärrest hygienisiert ist.

Die Trocknung des Gärrestes und anschließender Verwertung als Brennstoff ist ein neues Verfahren, für das derzeit noch keine Vermarktungsstrukturen bestehen. Eine Kostenkalkulation ist daher nicht möglich.

Verwertung flüssiger Gärreste

- Verwertung in der Landwirtschaft als Flüssigdünger
- Einleitung in Kläranlage

Aufgrund des hohen Düngewertes des Gärrestes ist die landwirtschaftliche Verwertung - trotz Zuzahlung - aus ökonomischen und ökologischen Gründen vorzuziehen. Zudem besteht am Standort Komposthof Pfullingen derzeit kein Anschluss an die Kanalisation.

Allgemeine Anforderungen an einen Standort

Der Anlagenstandort sollte so gewählt werden, dass eine sinnvolle Verkehrsanbindung vorhanden ist.

Die Entfernung zu Ortschaften, insbesondere Wohngebieten, sollte wegen der Geruchsemissionen mehr als 500 m betragen. Bei kleineren Entfernungen ist mit ei-



nem Mehraufwand für geruchsreduzierende Maßnahmen sowie mit wesentlichen Einschränkungen im Betrieb zu rechnen.

Darüber hinaus sind asphaltierte, tragfähige Verkehrs- und Rangierflächen vorzusehen. Ein Gefälle, das die Entwässerung des Geländes begünstigt, ist erwünscht.

Richtwerte für den Flächenbedarf für kleinere Vergärungsanlagen (bis ca. 18.000 t/a) sind mindestens 9.000 m². Die Mindestbreite sollte 80 m und die Mindestlänge 100 m nicht unterschreiten. Für größere Vergärungsanlagen (ab ca. 30.000 t/a) ist bei allen Varianten ein doppelt so großer oder zweiter Fermenter und eine größere Nachrotte nötig. Der erforderliche Flächenbedarf liegt bei mindestens 10.000 m², die Mindestbreite und -länge ist identisch wie bei der kleinen Variante.

Das Dachflächenwasser sollte versickert oder in einen ausreichend großen Vorfluter eingeleitet werden. Niederschlagwasser von Straßen muss gesichert frei von Verschmutzungen bleiben, dann kann es nach einer Behandlung (Regenklärbecken) in einen Vorfluter geleitet werden. Alle anderen Abwässer (Reinigungswasser, Abwasser aus dem Sozialgebäude, Kondenswasser, Straßenwasser mit Belastungen) müssen in die öffentliche Kanalisation eingeleitet oder gesammelt und mit einem Tankfahrzeug zu einer öffentlichen Kläranlage transportiert werden.

Bei einer Verstromung am Standort der Vergärungsanlage ist ein BHKW (Biogasmotor) mit den entsprechenden Leitungen für Gas und Wärme vorzusehen.

Soll die Verstromung an einem anderen Ort durchgeführt werden, weil dort die Möglichkeit der Nutzung der Motorenabwärme besteht, so muss das Biogas über eine zusätzliche Biogasleitung dorthin gebracht werden.

Der Abstand zum Biogas- oder Wärmenutzer sollte so gewählt werden, dass die Baukosten für die Leitungen in einem vernünftigen Verhältnis zu den erwartenden Erlösen aus dem Verkauf von Biogas oder Wärme stehen.

Preislich liegen die Investitionskosten für einen Kilometer Fernwärmeleitung gleichauf mit den Investitionskosten für vier Kilometer Biogasleitung. Die Länge für

eine Biogasleitung sollte bei max. 4- 5 km liegen, für eine Fernwärmeleitung liegt die Maximallänge bei 1- 1,5 km.

In beiden Fällen sollte eine ganzjährige Nutzung der entstehenden Wärme angestrebt werden. Eine Nutzung nur zu Heizzwecken im Winter (ca. 1.500- 1.800 h/ a) führt zu einem geringeren Wärmeerlös.

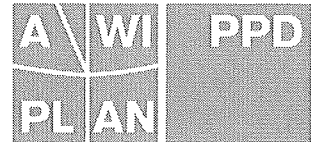
Ein Anschluss an die Stromversorgung ist obligatorisch. Ist kein Anschluss an ein Trinkwassernetz vorhanden, können auch ein Brunnen oder Zisternen genutzt werden.

Anforderung	Spezifizierung
sinnvolle Verkehrsanbindung	-
Lage zu Ortschaften	min. 500 m
befestigte Verkehrs-, Rangier- und Aufstellflächen	-
Flächenbedarf bis ca. 18.000 t/ a, ab 30.000 t/ a	ca. 9.000 m ² , ca. 10.000 m ²
Anschluss an Kanalisation oder Abfuhr mit Tankfahrzeugen	Nach Möglichkeit Versickerungsfläche für Dachwasser
Lage zu Wärmeverbrauchern	max. 5 km für Biogasleitungen, max. 1,5 km für Fernwärmeleitungen
Trinkwasser- und Stromanschluss	Alternativ zum Trinkwasseranschluss ist auch das Niederbringen eines Brunnens möglich

Eignung des Standortes Komposthof Pfullingen

Der Komposthof Pfullingen ist grundsätzlich als Standort für eine Vergärungsanlage geeignet.

Er bietet eine gute Lage und Verkehrsanbindung insbesondere in Bezug auf die potentiellen Kooperationspartner. Dabei ist beim Komposthof Pfullingen ausreichend Abstand zur Bebauung gegeben. Darüber hinaus verfügt die Kompostanlage über genügend Platz für eine Vergärungsanlage, vorhandene Anlagenteile bzw. Gebäude können nach geringen Modifikationen weiter genutzt werden.



Die Gemeinde Pfullingen steht einer Vergärung positiv gegenüber, wenn die Emission-/ Immissionssituation dadurch verbessert wird.

Auf dem Komposthof Pfullingen sind folgende Einrichtungen bereits vorhanden und könnten genutzt werden:

- Eingangsbereich mit Waage
- Sanitär- und Aufenthaltsbereich für Mitarbeiter (muss erweitert werden)
- Überdachte Rotteflächen ohne Belüftung
- Entwässerungssystem (getrenntes Sammelsystem für Sickerwasser, Dachwasser und Oberflächenwasser)
- Häckselplatz für Grüngut

Die bestehenden Einrichtungen Waage, Aufenthalts- und Sanitärräume sowie das Entwässerungssystem könnten direkt oder nach geringfügigen Änderungen in den Vergärungsbetrieb eingebunden werden.

Die bisher als Hauptrotte genutzte erste, offene Halle sollte zurückgebaut und auf dieser Fläche die Vergärungsanlage errichtet werden.

Um die überdachten Rotteflächen für die Nachrotte der Gärreste zu nutzen, muss eine Halle geschlossen und mit einer Belüftung nachgerüstet werden.

In der 2. Stufe der Nachrotte (Nachreife) sind keine Geruchsemissionen zu erwarten, da das Material in diesem Verfahrensschritt schon einen hohen Rottegrad erreicht hat und die geruchsintensiven Stoffe bereits abgebaut sind.

Die Aufbereitung von Grüngut für die Zumischung zur Vergärung bzw. Nachrotte (Strukturmaterial) kann auf dem vorhandenen Häckselplatz vorgenommen werden. Durch die Nutzung der Einrichtungen auf dem Komposthof Pfullingen einschließlich der befestigten Flächen könnten gegenüber einem Standort auf der grünen Wiese mit Nachrotte Investitionskosten von ca. 800.000 € (netto) eingespart werden.

Aktuelle Begutachtungen des vorhandenen Bauzustandes des Komposthofes ergaben, dass die Rotteflächen in beiden Hallen für einen Aufwand von ca. 1.000.000 € und die Sickerwasserleitungen zu einem Betrag von ca. 125.000 € saniert werden müssen.

Da ca. 50 % der Hallenflächen für den Bau der Vergärungsanlage benötigt werden, müssen die restlichen Rotteflächen saniert und die Kosten für die Sanierung in einer Höhe von ca. 500.000 € eingeplant werden. Der seither berücksichtigte Vorteil von 800.000 € gegenüber eines neuen Standortes wird durch die erforderliche Sanierung weitgehend ausgeglichen (500.000 € + 125.000 €). Die Kosten für die Sanierung und den Rückbau der Vergärungsanlage wurden in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen miteinbezogen.

Auf Grundlage des neuen EEGs (EEG 2012) muss die Nachrotte direkt an die Vergärungsanlage angebunden sein. Deswegen führt eine Trennung zwischen Vergärungsanlage und Nachrotte zum Verlust der EEG- Vergütung.

Für den Standort Komposthof Pfullingen kommen grundsätzlich alle vier oben genannten, auf dem Markt etablierten Verfahren in Frage. Sie wurden auch in der Wirtschaftlichkeitsberechnung betrachtet. Für das Nassverfahren, das im Vergleich zu den Trockenverfahren einen hohen Abwasseranfall hat, ist der Anschluss an eine Kläranlage erforderlich. Die erforderlichen Investitionen für den Anschluss an eine Kläranlage wurden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für das Nassverfahren miteinbezogen.

Der Komposthof Pfullingen ist jedoch kein optimaler Standort, da vor Ort kein Abnehmer vorhanden ist, an den man die bei der Verstromung des Biogases anfallende Wärme verkaufen kann und damit zusätzlich zum EEG Einnahmen hat. Mit einer Verstromung allein können Vergärungsanlagen in den hier betrachteten Größenordnungen, trotz der Stromvergütung nach dem EEG, nicht wirtschaftlich betrieben werden.

Als die Alternative kommt daher die Nutzung des Biogases in einem BHKW außerhalb der Vergärungsanlage in Betracht. Das Gas wird über eine 4,5 km lange Mikrogasleitung zu einem BHKW transportiert. Als Standort für das BHKW wurde die FH Reutlingen ausgewählt, da hier die Fernwärmeleitung der FairEnergie GmbH verläuft und die Einspeisung der Abwärme technisch möglich ist. Die FairEnergie zeigte sich an einer Wärmeabnahme und an der Realisierung des Projekts interessiert.

Bei dieser angedachten Nutzung von Biogas und/ oder Wärme sind verschiedene Förderszenarien möglich.

Erfolgt eine Verstromung kommt eine Förderung nach EEG (Stromvergütung) zum Tragen.

Der Bau einer Fernwärmeleitung bzw. einer Mikrogasleitung wird durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) oder das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gefördert. Diese Förderung blieb in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unbeachtet, weil hierzu sehr konkrete Werte nötig sind und diese erst nach Festlegung des Standortes von Vergärungsanlage und BHKW (genaue Definition des Leitungsverlaufs) ermittelt werden können.

Der Standort Komposthof Pfullingen weist das Risiko auf, dass die erzeugte Wärme aus dem BHKW nur im Fernwärmenetz der FairEnergie in Reutlingen genutzt werden kann und die Wärme nur zu einem niedrigen und schwankenden Preis abgegeben werden kann.

Eine weitere Möglichkeit ab einer Anlagenkapazität größer 30.000 t/a stellt die Produktion von Biomethan und Einspeisung in das Erdgasnetz dar. Die nächste Gaseinspeisemöglichkeit liegt in Pfullingen in ca. 5 km Entfernung vom Komposthof. Aufgrund der Gasnetzzugangsverordnung ist der Gasnetzbetreiber verpflichtet, 75 % der Netzanschlusskosten zu übernehmen. Zum Netzanschluss zählen sowohl die Verbindungsleitung zum, als auch die erforderliche Regel- und Messtechnik am Anschlusspunkt des Gasnetzes. Das geplante Gasnetz in Bronnweiler liegt zwar nur in ca. 3 km Entfernung zum Standort Pfullingen, die technischen Rahmenbedingungen und die zeitliche Abwicklung der Realisierung der Gasleitung in Bronnweiler können derzeit noch nicht geklärt werden.

Standortalternativen und Einbindung des Komposthofs Pfullingen

Sofern eine Bioabfallvergärungsanlage nicht am Standort Komposthof Pfullingen zur Realisierung gelangt, sondern an anderer Stelle, kann der Komposthof nach aktueller Gesetzeslage (EEG 2012) nicht mehr als Nachrotte für die Gärreste genutzt werden. Die räumliche Trennung von Vergärung und Nachrotte bedingt den Wegfall der EEG-Vergütung, zudem birgt sie logistische und wirtschaftliche Nachteile (zusätzliche Transportkosten).

Wirtschaftlichkeitsberechnung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden verschiedene Szenarien und Verfahrensvarianten betrachtet:

- Die Vergärung des Bioabfalls der Stadt und des Landkreises Reutlingen:
 - Stehender Fermenter, Trockenvergärung mit 15.500 t/ a (Variante 1)
 - Liegender Fermenter, Trockenvergärung mit 15.500 t/ a (Variante 2)
 - Boxenvergärung mit 15.500 t/ a (Variante 3)
 - Nassvergärung mit 15.500 t/ a (Variante 4)

- Die Vergärung des Bioabfalls der Stadt und des Landkreises Reutlingen (Pflichtbiotonne):
 - Stehender Fermenter, Trockenvergärung mit 20.000 t/ a (Variante 1c)
 - Liegender Fermenter, Trockenvergärung mit 20.000 t/ a (Variante 2c)
 - Boxenvergärung mit 20.000 t/ a (Variante 3c)
 - Nassvergärung mit 20.000 t/ a (Variante 4c)

- Die Vergärung des Bioabfalls der Stadt und des Landkreises Reutlingen zuzüglich der Bioabfälle des Zollernalbkreises und des Landkreises Tübingen:
 - Stehender Fermenter, Trockenvergärung mit 31.000 t/ a (Variante 1b)
 - Liegender Fermenter, Trockenvergärung mit 31.000 t/ a (Variante 2b)
 - Boxenvergärung mit 31.000 t/ a (Variante 3b)
 - Nassvergärung mit 31.000 t/ a (Variante 4b)

- Die Vergärung des Bioabfalls der Stadt und des Landkreises Reutlingen (Pflichttonne) zuzüglich der Bioabfälle des Zollernalbkreises und des Landkreises Tübingen:
 - Stehender Fermenter, Trockenvergärung mit 35.500 t/ a (Variante 1d)
 - Liegender Fermenter, Trockenvergärung mit 35.500 t/ a (Variante 2d)
 - Boxenvergärung mit 35.500 t/ a (Variante 3d)
 - Nassvergärung mit 35.500 t/ a (Variante 4d)

In allen Varianten sind folgende Komponenten enthalten:

1. Aufwendungen für Gastrocknung und -verdichtung (keine Aufbereitung zu Biomethan)
2. Bau einer Gasleitung vom Komposthof Pfullingen zu einem BHKW nahe FH Reutlingen
3. BHKW
4. Anbindung BHKW-Wärme an die bestehende Fernwärmeleitung der Fair Energie GmbH
5. Gaskessel zur Beheizung der Fermenter
6. Stromeinspeisung
7. Anschluss an die Kanalisation (nur Druckleitung mit Pumpe, kein Kanal)
8. Deckung des Eigenwärmebedarfs der Vergärungsanlage durch Heizöl

Für die Verfahrensvariante mit der größten gesicherten Gasproduktion (stehender Fermenter, Trockenvergärung) wurde eine Berechnung für einen alternativen Standort sowie Nutzung der vorhandenen Kompostierung auf dem Komposthof Pfullingen durchgeführt (Variante 5). Aufgrund aktueller Gesetzesänderungen ist die räumliche Trennung von Vergärung und Nachrotte nicht mehr zulässig. Diese Variante wurde im Weiteren nicht mehr beachtet.

Ein Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Vergärungsanlage stellt auch die Nutzung der Abwärme aus dem BHKW dar. Die Berechnungen wurden für alle Anlagengrößen mit einem ein Wärmepreis von 2 Cent/kWh ((20 € /MWh) und eine Wärmeabnahme von 70 % ausgeführt. Da der Wärmepreis in Abhängigkeit von Strom- und Gaspreisen starken Schwankungen unterworfen ist, wurden darüber hinaus beispielhaft Berechnungen mit Wärmepreisen von 1 Cent/kWh und 4 Cent/kWh

durchgeführt (siehe auch Anmerkungen S. 123). Es zeigte sich, dass eine Senkung des Wärmeabnahmepreises auf 1 ct/kWh eine Erhöhung des spezifischen Entsorgungspreises um 3 €/t bringt. Bei einer Verdoppelung des Wärmepreises von 2 ct/kWh auf 4 ct/kWh ergibt sich eine Reduzierung des spezifischen Entsorgungspreises von 6 €/t.

Da der Wärmepreis, in Abhängigkeit der Strom- und Gaspreise, starken Schwankungen unterworfen ist, wird es kaum möglich sein, einen gesicherten Abnahmepreis vertraglich festzulegen. Sollte dies nicht möglich sein, sind alternative Standorte bzw. Wärmenutzungskonzepte, wie z.B. eine Klärschlamm-trocknung in Betracht zu ziehen.

Da die Aufbereitung zu Biomethan und die Einspeisung ins Erdgasnetz erst bei größeren Biogaserträgen sinnvoll ist, wurden die Berechnungen erst bei den Anlagengrößen 31.000 t/a und 35.000 t/a anhand der Verfahrensvariante stehender Fermenter, Trockenvergärung durchgeführt. Als Biomethanpreise wurden jeweils 4,5 ct/kWh und 6 ct/kWh angesetzt (Varianten 6- 6c).

Alle Investitionskosten für oben genannte Varianten wurden gemäß Angaben von Generallieferanten, die die komplette Anlage als ein Stück planen, liefern, errichten und in Betrieb nehmen würden, angesetzt. Durch eine Zerlegung der Vergärungsanlage in Hauptkomponenten (Gewerke), die einzeln ausgeschrieben und getrennt vergeben werden, könnten mehr als 12- 20 % der Investitionskosten eingespart werden. Hierzu wurden zwei Varianten berechnet, um den monetären Unterschied einer gewerksweisen Ausschreibung zur Beauftragung eines Generallieferanten darzulegen (Variante 7 mit 31.000 t/a; Variante 8 mit 15.500 t/a, jeweils mit stehendem Fermenter im Trockenverfahren).

Die Ergebnisse der berechneten Varianten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Biogasverwertung mit BHKW nahe FH Reutlingen Varianten mit 15.500 t/a		Variante 1 stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 2 liegend, trocken Grundlagen: 115 Nm³/t	Variante 3 Boxenvergärung Grundlagen: 110 Nm³/t	Variante 4 Nassvergärung Grundlagen: 100 Nm³/t
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a	15.500	15.500	15.500	15.500
Grünabfallinput	t/a	2.500	2.500	2.500	
Gesamtabfallmenge	t/a	18.000	18.000	18.000	15.500
Summe Aufwendungen	€/a	2.616.148	2.419.034	2.208.089	2.482.245
Summe Erlöse	€/a	754.770	704.832	679.863	507.777
Gesamtkosten	€/a	1.861.378	1.714.202	1.528.226	1.974.468
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t	120	111	99	127
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t	143	132	117	152

Biogasverwertung mit BHKW nahe FH Reutlingen Varianten mit 20.000 t/a		Variante 1c stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 2c liegend, trocken Grundlagen: 115 Nm³/t	Variante 3c Boxenvergärung Grundlagen: 110 Nm³/t	Variante 4c Nassvergärung Grundlagen: 100 Nm³/t
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a	20.000	20.000	20.000	20.000
Grünabfallinput	t/a	3.333	3.333	3.333	
Gesamtabfallmenge	t/a	23.333	23.333	23.333	20.000
Summe Aufwendungen	€/a	2.807.404	2.522.822	2.372.499	2.604.085
Summe Erlöse	€/a	925.649	735.971	709.070	643.222
Gesamtkosten	€/a	1.881.755	1.786.851	1.663.428	1.960.863
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t	94	89	83	98
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t	112	106	99	117

Biogasverwertung mit BHKW nahe FH Reutlingen Varianten mit 31.000 t/a		Variante 1b stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 2b liegend, trocken Grundlagen: 115 Nm³/t	Variante 3b Boxenvergärung Grundlagen: 110 Nm³/t	Variante 4b Nassvergärung Grundlagen: 100 Nm³/t
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a	31.000	31.000	31.000	31.000
Grünabfallinput	t/a	5.000	5.000	5.000	
Gesamtabfallmenge	t/a	36.000	36.000	36.000	31.000
Summe Aufwendungen	€/a	3.536.742	3.589.256	3.481.796	3.753.086
Summe Erlöse	€/a	1.512.556	1.412.467	1.362.422	1.007.756
Gesamtkosten	€/a	2.024.186	2.176.790	2.119.374	2.745.330
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t	65	70	68	89
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t	78	84	81	105

Biogasverwertung mit BHKW nahe FH Reutlingen Varianten mit 35.500 t/a		Variante 1d stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 2d liegend, trocken Grundlagen: 115 Nm³/t	Variante 3d Boxenvergärung Grundlagen: 110 Nm³/t	Variante 4d Nassvergärung Grundlagen: 100 Nm³/t
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a	35.500	35.500	35.500	35.500
Grünabfallinput	t/a	5.000	5.000	5.000	
Gesamtabfallmenge	t/a	40.500	40.500	40.500	35.500
Summe Aufwendungen	€/a	3.857.260	3.868.831	3.730.125	3.989.426
Summe Erlöse	€/a	1.679.809	1.567.248	1.510.416	1.154.044
Gesamtkosten	€/a	2.177.450	2.301.583	2.219.710	2.835.383
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t	61	65	63	80
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t	73	77	74	95

Biogasverwertung Optimierung		Variante 5 stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 6 stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 7 stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t	Variante 8 stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t
		Vergärungs- anlage ohne Nachrotte, Transport Gärrest nach Pfullingen	Aufbereitung des Biogases zu Biomethan	Gewerkweise Ausschreibung 31.000 t/a	Gewerkweise Ausschreibung 15.500 t/a
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a		31.000	31.000	15.500
Grünabfallinput	t/a		5.000	5.000	2.500
Gesamtabfallmenge	t/a		36.000	36.000	18.000
Summe Aufwendungen	€/a	entfällt aufgrund neuer gesetzlicher Vorgaben	3.807.945	3.516.620	2.526.831
Summe Erlöse	€/a		1.513.547	1.512.556	754.770
Gesamtkosten	€/a		2.294.398	2.004.063	1.772.061
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t		74	65	114
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t		88	77	136

Biogasverwertung Optimierung		Variante 6a stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t 4,5ct/kWh Vergütung Gas	Variante 6b stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t 6ct/kWh Vergütung Gas	Variante 6c stehend, trocken Grundlagen: 125 Nm³/t 6ct/kWh Vergütung Gas
		Aufbereitung des Biogases zu Biomethan	Aufbereitung des Biogases zu Biomethan	Aufbereitung des Biogases zu Biomethan
Biomüll Input in Vergärungsanlage	t/a	35.500	31.000	35.500
Grünabfallinput	t/a	5.000	5.000	5.000
Gesamtabfallmenge	t/a	40.500	36.000	40.500
Summe Aufwendungen	€/a	4.124.402	3.807.945	4.124.402
Summe Erlöse	€/a	1.690.941	1.894.172	2.120.503
Gesamtkosten	€/a	2.433.462	1.913.773	2.003.899
Spezifische Gesamtkosten ohne MWSt.	€/t	69	62	56
Spezifische Gesamtkosten mit MWSt.	€/t	82	73	67

Die Ergebnisse zeigen, dass in jedem Fall eine Anlage mit einer größeren Durchsatzleistung geringere spezifische Behandlungskosten verursacht. Grundsätzlich sollte deshalb versucht werden, die Vergärungsanlage, unabhängig vom Standort, möglichst groß auszulegen. Dies gilt auch dann, wenn eine kleine Anlage zum späteren Zeitpunkt erweitert wird.

Die Boxenvergärung (Variante 3) ist bei kleinen Durchsatzmengen aufgrund ihrer geringen Investitionskosten am günstigsten. Die spezifischen Kosten (brutto 117 €/t) liegen aufgrund der angesetzten Sanierungskosten für den Komposthof Pfullingen deutlich den Kosten einer geschlossenen Bioabfallkompostierung. Im Rahmen einer Ausschreibung sollte jedoch keine Einschränkung auf ein Verfahren getroffen werden, um einen Wettbewerb zwischen Systemen und Bietern zu ermöglichen.

Bei einer Anlagenkapazität von 31.000 t/a bzw. 35.500 t/a gleichen sich die spezifischen Kosten/ Preise der untersuchten Varianten an (brutto 78 €/t bis 84 €/t bzw. brutto 73 €/t bis 77 €/t), ausgenommen Nassvergärung, brutto 105 €/t bzw. 95 €/t). Bei der Boxenvergärung (3b/ 3d) ist der Aufwand für den Radladerbetrieb jedoch sehr hoch und die Grüngutannahme müsste aus Platzgründen eingeschränkt werden. Deshalb empfehlen wir hier nur die höher technisierten Verfahren mit stehendem und liegendem Fermenter (Varianten 1b/1d, 2b/ 2d) weiter zu verfolgen.

Aufgrund seiner aufwändigen Aufbereitungstechnik und des hohen Abwasseranfalls weist die Nassvergärung (Variante 4, 4b, 4c, 4d) sowohl bei kleinen, mittleren als auch bei großen Durchsatzmengen deutlich höhere Kosten auf (brutto 95 €/t, 105 €/t, 117 €/t bzw. 152 €/t) auf.

In den weiteren Planungsschritten empfehlen wir daher nur noch die Trockenvergärung zu verfolgen. Im Rahmen einer Ausschreibung sollte jedoch grundsätzlich kein bestimmtes Trockenverfahren vorgegeben werden, um den Wettbewerb zwischen Anlagensystemen und Anbietern nicht einzuschränken.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass Varianten ohne eine Wärmenutzung weder ökologisch sinnvoll noch wirtschaftlich sind.

Die aufgezeigte Möglichkeit, das Biogas zu einem BHKW zu transportieren, Strom zu erzeugen und die entstehende Wärme im Fernwärmesystem der FairEnergie GmbH zu nutzen hat sich bei den getroffenen Annahmen positiv auf die Wirtschaftlichkeit ausgewirkt. Da der Wärmepreis, in Abhängigkeit der Strom- und Gaspreise, starken Schwankungen unterworfen ist, wird es kaum möglich sein, einen gesicherten Abnahmepreis vertraglich festzulegen. Sollte keine bindende Preisvereinbarung möglich sein, sollten weitere Alternativen der Wärmenutzung, wie z.B. eine Klärschlamm-trocknung, in Betracht gezogen werden.

Optimierungs- und Erweiterungspotenzial

Optimierungs-/ Erweiterungspotential besteht z.B.:

- in der Generierung weiterer Mengen Bioabfall oder der Mitvergärung von anderen Abfällen,
- in der Nutzung der Wärme zur Trocknung von Klärschlamm oder Holzhack-schnitzeln,
- in der Aufbereitung des Biogases zu Biomethan einschließlich Einspeisung in ein Erdgasnetz oder Nutzung in einer Tankstelle, sofern eine Bioabfallmenge von > 30.000 t/a zur Verfügung steht oder
- in der Erzeugung von Biokohle

Die verschiedenen Szenarien wurden in der Studie beleuchtet und, wo möglich und sinnvoll, eine Einbindung in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

Die Generierung von Bioabfällen ist die sinnvollste Optimierungsmaßnahme. Durch größere Inputmengen steigt der Gasertrag, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung auswirkt. Im Gegenzug steigen jedoch die Investitionskosten und Betriebskosten nicht in gleichem Maße, weshalb empfohlen wird, wenn möglich, weitere Mengen an Bioabfall zu generieren.

Ebenso kann eine Klärschlamm-trocknungsanlage in das Platzkonzept einer Vergärungsanlage auf dem Komposthof Pfullingen einbezogen werden. In den Städten Reutlingen und Pfullingen fallen zusammen ca. 13.000 t Klärschlamm pro Jahr an. Mit der Wärme aus der Behandlung von 15.500 t/ a Bioabfällen lassen sich ca. 7.000 t/ a Klärschlamm trocknen. Bei einer Verdopplung der Bioabfallmenge kann entsprechend die doppelte Klärschlammmenge (ca. 14.000 t/ a) getrocknet werden.

Damit würde sich eine Synergie von Verstromung des Biogases und einer Nutzung der Motorenabwärme vor Ort ergeben.

Die Biogasaufbereitung zu Biomethan und Einspeisung ins Erdgasnetz ist relativ teuer und wird deshalb erst ab Anlagenkapazitäten > 30.000 t/a empfohlen. Die Varianten mit 31.000 und 35.500 t/a (6b, 6c) können beim derzeitigen Marktpreis für Biomethan am Standort Pfullingen wirtschaftlich betrieben werden und schneiden mit 73 €/t bzw. 67 €/t rechnerisch sogar etwas besser ab, als die günstigsten Varianten mit BHKW und Wärmenutzung (1b, 1d). Neben der Wirtschaftlichkeit hat die Biomethanverwertung auch ökologische Vorteile aufzuweisen.

Durch die Gegebenheit, das Biomethan in den verschiedenen Vermarktungspfaden, wärmegeführte BHKW, Erdgasbeimischprodukte und Kraftstoffmarkt einsetzen zu können, ist eine effektivere und effizientere Nutzung möglich als bei reiner Verstromung in einem Biogasmotor ohne sinnvolle Nutzung der dabei entstehenden Prozessabwärme.

Die Erzeugung von Biokohle ist eine Technik, die für die Zukunft interessant werden kann. Derzeit befindet sich diese Technik noch im Pilotstadium. Eine Anwendung auf dem Standort Komposthof Pfullingen wird nur in Rahmen eines Forschungsprojektes empfohlen.

Empfehlung

Zusammenfassend werden folgende Empfehlungen für den Standort Komposthof Pfullingen gegeben:

- Bau einer Vergärungsanlage, möglichst groß ausgelegt (Möglichkeit einer späteren Erweiterung)
- Einzusetzende Abfallmenge: 31.000 t/a bzw. 35.500 t/a (oder mehr)
- Auszuschließende Verfahren: Nassverfahren, bei größeren Mengen auch das Boxenverfahren
- Verstromung des Biogases anlagenfern und Nutzung der Abwärme (Einspeisung in ein Fernwärmenetz) oder bei großen Inputmengen Aufbereitung zu Biomethan
- Gärrestverwertung: landwirtschaftliche Verwertung oder Kompostierung des festen Gärrestes, landwirtschaftliche Verwertung des flüssigen Gärrestes