

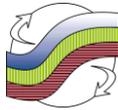
In Kooperation mit



i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

und dem Institut für Landschafts- und
Pflanzenökologie der Universität Hohenheim



Working Paper 05 - 2011

**Leitfaden für die Nutzung kommunaler,
halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen
und Bestandsanlagen**

**Elisa Dunkelberg, Astrid Aretz, Timo Böther,
Martin Dieterich, Sebastian Heintschel,
Chantal Ruppert-Winkel**

Published by:

**Centre for Renewable Energy
Zentrum für Erneuerbare Energien**

University of Freiburg
Tennenbacher Str. 4
79106 Freiburg
Germany

Tel.: +49 (0) 761-203-3689
Fax: +49 (0) 761-203-3690
E-Mail: stefan.adler@zee.uni-freiburg.de
Web: www.zee-uni-freiburg.de

ISSN online: 2191-0685
ISSN print: 2191-0677

In 2010, the Centre for Renewable Energy initiated its work on a series of working papers. The primary objective of these papers is to stimulate discussion in the field of sustainable energy in Europe as well as on a global scale. An accurate citation of the findings, interpretations and opinions included in these papers must be ensured. They reflect the work of their authors and do not reflect the opinions of the Centre for Renewable Energy or the University of Freiburg. We welcome feedback from readers and request that they convey their comments and criticisms directly to the authors.

AutorInnen

**Elisa Dunkelberg
Dr. Astrid Aretz
Timo Böther**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Kontakt:

Potsdamer Str. 105

10785 Berlin

Tel. ++49-(0)30-884594-36

Fax ++49-(0)30-8825439

E-Mail: elisa.dunkelberg@ioew.de

Internet: <http://www.ioew.de/www.ioew.de>

Prof. Dr. Martin Dieterich

Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim

Sebastian Heintschel

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Dr. Chantal Ruppert-Winkel

Zentrum für Erneuerbare Energien, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Kontakt:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Tel. ++49-(0)761-203-3792

Fax ++49-(0)761-203-3690

E-Mail: chantal.ruppert@zee.uni-freiburg.de

Internet: www.zee.uni-freiburg.de

Vorwort

Dieser Leitfaden ist das Ergebnis des Forschungsprojekts „Dezentrale Mikro-Biogaserzeugung (Mikro-Biogas) – Entwicklung übertragbarer Konzepte zur nachhaltigen Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe für die Mikro-Biogasproduktion in Gemeinden und Landkreisen“. Ziel des Projektes war es, ungenutzte, halmgutartige Reststoffe, die in Kommunen anfallen (z. B. Grünschnitt), in Biogasanlagen energetisch zu verwerten. Das Projekt wurde in Kooperation zwischen dem Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE) und dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) im Zeitraum Juli 2009 bis August 2011 bearbeitet. Die Potenzialerhebung der Restschnittgutfraktionen führte das Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim durch.

Als Untersuchungsgebiet diente der Landkreis Schwäbisch Hall. Der Wirtschaftsförderungsgesellschaft und dem Energiezentrum des Landkreises Schwäbisch Hall, die uns die Wege in die Kommunen geebnet und unsere Arbeit tatkräftig unterstützt haben, möchten wir an dieser Stelle ausdrücklich für die gute Zusammenarbeit danken. Ebenso gilt unser Dank den weiteren Akteuren des Landkreises, die am Projekt „Mikro-Biogas“ durch Interviews, Workshops und ähnlichem beteiligt waren.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Förderprogramm Energetische Biomassenutzung unter den Förderkennzeichen 03KB015A und 03KB015B gefördert. Wir danken dem BMU für diese Förderung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die Inhalte dieses Leitfadens bauen auf den jeweiligen Zwischen- und Abschlussberichten der am Projekt beteiligten Institutionen auf, die beim Projektträger Jülich hinterlegt sind.

Förderprogramm:



Gefördert von:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Koordiniert vom:



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	6
2	ZUSAMMENFASSUNG DER KAPITEL 3 BIS 10: ABLAUFPLAN UND ERFOLGSAUSSICHTEN	8
2.1	ZIELSETZUNG.....	8
2.2	TRAGFÄHIGES GRUNDKONZEPT.....	9
2.2.1	<i>Abschätzung des vorhandenen Restschnittguts</i>	9
2.2.2	<i>Technisches Anlagenkonzept</i>	10
2.2.3	<i>Wirtschaftlichkeit des Grundkonzepts</i>	11
2.3	DETAILPLANUNG UND WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG.....	13
2.4	EINHOLUNG VON EINVERSTÄNDNISSEN UND GENEHMIGUNGEN	13
2.5	IMPLEMENTIERUNG	14
3	BIOMASSEPOTENZIALERHEBUNG	15
3.1	ERHEBUNG FÜR EIN TRAGFÄHIGES GRUNDKONZEPT	15
3.1.1	<i>Erfassung der Potenziale von extensiv bewirtschafteten Flächen</i>	15
3.1.2	<i>Erfassung der Potenziale von intensiv bewirtschafteten Flächen</i>	16
3.1.3	<i>Gasertrag und Qualität des Restschnittguts</i>	17
3.2	DETAILLIERTE ERHEBUNG FÜR EIN NUTZUNGSKONZEPT.....	19
4	TECHNISCHE KONZEPTE	20
4.1	BIOMASSEBEREITSTELLUNG UND -VORBEHANDLUNG	20
4.2	FERMENTATION	21
4.2.1	<i>Trockenfermentation</i>	21
4.2.2	<i>Nassfermentation</i>	21
4.3	ENERGIEUMWANDLUNG UND WÄRMENUTZUNG	22
4.4	EINSATZ IN BESTANDSANLAGEN	23
5	RELEVANTE AKTEURE UND LIEFERVERTRÄGE	24
5.1	RELEVANTE AKTEURE	24
5.2	LIEFERVERTRÄGE	26
6	FINANZIERUNGSMÖGLICHKEITEN UND UNTERNEHMENSFORMEN	27
6.1	ERRICHTUNG UND BETRIEB EINER NEUEN ANLAGE	27
6.2	NUTZUNG VON BESTANDSANLAGEN.....	28
7	RECHTLICHER RAHMEN	29
7.1	RESTSCHNITTGUT ALS BIOABFALL	29
7.2	BIOGASLEITUNG ALS ENERGIEANLAGE	30
8	WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	31
8.1	EEG-VERGÜTUNG UND MARKTANREIZPROGRAMM	31
8.2	METHODE UND ANNAHMEN	32
8.3	RELEVANTE EINFLUSSGRÖßEN.....	32
8.4	ERGEBNISSE VERSCHIEDENER KONZEPTE	33
8.5	EINSATZ IN BESTANDSANLAGEN	34
9	WERTSCHÖPFUNGSEFFEKTE	36
10	ÖKOLOGISCHE ASPEKTE	40
11	ANHANG	41
11.1	WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG.....	41
11.2	EINSATZ IN BESTANDSANLAGEN	45
12	LITERATURVERZEICHNIS	49

1 Einleitung

Energie aus Biomasse schont fossile Energieträger wie Erdöl und Erdgas und kann die mit der Energieerzeugung und -umwandlung einhergehenden Treibhausgasemissionen reduzieren. Allerdings verringern sich mit zunehmender Intensität des Anbaus von Biomasse diese Reduktionspotenziale, weil Intensivierung insbesondere auch im Zusammenhang mit der Verkürzung von Fruchtfolgen den verstärkten Einsatz von Produktionsmitteln bedingt (Dünger, Pestizide). Darüber hinaus hat der Anbau von Biomasse zu Energiezwecken in Monokultur Auswirkungen auf die Nutzungsfunktionen ländlicher Räume **und steht in unmittelbarer Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelanbau**. Vor diesem Hintergrund ist es empfehlenswert, bisher nicht genutzte Biomassefraktionen wie halmgutartige Reststoffe in neue Konzepte der Energiegewinnung einzubinden.

Dieser Leitfaden wendet sich in erster Linie an Kommunalvertreter und Landwirte in ländlichen Gemeinden, die an einer **Nutzung von halmgutartigem Restschnittgut für die Biogasproduktion** interessiert sind. Unter Restschnittgut wird Schnittgut verstanden, das nicht zum Zweck einer landwirtschaftlichen Nutzung angebaut wird. Vielmehr handelt es sich um aus der Realnutzung gegangenes Grünland, um Grünschnitt von Vertragsnaturschutzflächen, von Uferrandstreifen oder von kommunalen Rasenflächen wie Sport- oder Spielplätzen. Grünschnitt von den genannten Flächen wird heute entweder entsorgt, teilweise kompostiert oder nach dem Mähen liegen gelassen (Mulchschnitt). Durch eine energetische Verwertung sind daher keine Nutzungskonkurrenzen zu erwarten. Im Gegensatz zu gängigen Biogassubstraten wie Mais oder Getreide, deren Produktion auf festgelegten Ackerflächen erfolgt, fällt Restschnittgut unsystematisch an. **Restschnittgutkonzepte bedürfen daher einer angepassten Potenzialerhebung und Logistik**.

Die anfallende Biomasse kann in Biogasanlagen unterschiedlicher Größe eingesetzt werden. In diesem Leitfaden wird beispielhaft auf ein Konzept eingegangen, bei dem der Anteil des Restschnittguts im Biogassubstrat verhältnismäßig hoch ist. Dementsprechend liegt die Nennleistung der realisierbaren Anlage mit weniger als 50 Kilowatt weit unter der gegenwärtigen, durchschnittlichen Leistung von Biogasanlagen in Deutschland. Dies ist vor allem auf die **begrenzte Verfügbarkeit möglicher Kosubstrate** zurückzuführen. Rinder- und Schweinemist – beides Kosubstrate, die hohe Biogaserträge liefern – liegen in vielen Kommunen nur begrenzt vor. Gülle ist zwar meist in größeren Mengen vorhanden, liefert jedoch nur verhältnismäßig geringe Gaserträge. Auf andere mögliche Kosubstrate wie Mais wird in dem vorgestellten Konzept verzichtet, da die Bereitstellung in der gegenwärtigen Praxis durch hohe Düngemittelgaben ökologisch nachteilig ist.

Zur möglichst effizienten Verwertung der begrenzt vorhandenen Rohstoffe **ist die Nutzung der bei der Stromproduktion anfallenden Wärme unabdingbar**. Potenzielle Wärmeabnehmer wie Nahwärmenetze oder Schwimmbäder befinden sich häufig nicht in direkter Nähe zu den Fermentern. Dementsprechend muss die Wärme mittels Wärmeleitungen zum Abnehmer transportiert werden. Eine andere vielversprechende Möglichkeit ist es, unaufbereitetes Biogas in Biogasleitungen zu einem zentralen Blockheizkraftwerk (BHKW) zu transportieren.

Daneben wird in diesem Leitfaden die Möglichkeit des Einsatzes von Restschnittgut in bestehenden Biogasanlagen (im Folgenden: Bestandsanlagen) diskutiert. Dies kann ökonomisch vorteilhaft sein, wenn Substrate mit höheren Bereitstellungskosten wie Mais substituiert werden.

Der vorliegende Leitfaden erleichtert Kommunalvertretern und Landwirten den Einstieg in die energetische Nutzung von halmgutartigen Reststoffen. **Alle relevanten Schritte und die notwendigen Maßnahmen von der Konzeptentwicklung bis zur Implementierung werden aufgegriffen:** Methoden zur Biomassepotenzialerhebung, unterschiedliche technische Nutzungsvarianten sowie deren Wirtschaftlichkeit und Wertschöpfungseffekte werden vorgestellt. Die entscheidenden Einflussgrößen auf die Rentabilität der Nutzung werden identifiziert. Zudem enthält der Leitfaden Informationen zu rechtlichen Rahmenbedingungen, relevanten Akteuren und über die Möglichkeiten der Ausgestaltung einer Geschäftspartnerschaft.

Die Ergebnisse ermöglichen es Interessenten, die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit möglicher Nutzungskonzepte für halmgutartiges Restschnittgut in der eigenen Kommune einzuschätzen.

Während der Projektlaufzeit haben sich die **Rahmenbedingungen in Form des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)** sowie des **Marktanzreizprogramms (MAP)** mehrfach geändert. Da die ursprüngliche Definition des Begriffs „Landschaftspflegematerial“ im EEG Missverständnisse hervorgerufen hatte, erfolgte durch die EEG-Clearingstelle Anfang 2010 eine Spezifizierung. Danach zählte Schnittgut aus Parkanlagen und Privatgärten zum bonusfähigen Landschaftspflegematerial. Die erneute Novellierung des EEG 2012 wird vermutlich dazu führen, dass diese Flächen wieder aus dem bonusfähigen Substrat herausgenommen werden. Außerdem werden Biogasleitungen seit Anfang des Jahres 2011 nicht länger durch das MAP gefördert. Der Leitfaden berücksichtigt diese Änderungen.



Bildquelle: Patric Schlager

2 Zusammenfassung der Kapitel 3 bis 10: Ablaufplan und Erfolgsaussichten

Kommunalvertretern oder Landwirten, die sich für eine energetische Verwertung kommunalen Grünschnitts interessieren, dient diese Zusammenfassung als Muster für einen Ablaufplan, an dem sie sich orientieren können. Der Ablaufplan enthält die folgenden Schritte:

1. Zielsetzung
2. Erstellung eines tragfähigen Grundkonzepts¹
3. Einholung der Einverständnisse und Genehmigungen
4. Detailplanung und Wirtschaftlichkeitsberechnung
5. Implementierung

Nach jedem Schritt sollte beurteilt werden, ob das Vorhaben weiterhin erfolgversprechend ist und dementsprechend der nächste Schritt angegangen werden kann. Teilweise werden iterative Anpassungen der Planungen notwendig sein. Wenn die Erfolgsaussichten zu gering oder zu unsicher sind, sollte das Vorhaben abgebrochen werden. Im Folgenden werden am Ende jedes Schrittes Empfehlungen gegeben, unter welchen Voraussetzungen von einer erfolgreichen Umsetzung der Planung ausgegangen werden kann.

2.1 Zielsetzung

Für die Umsetzung eines Konzepts zur energetischen Reststoffverwertung kommen unterschiedliche Zielsetzungen infrage. Folgende Aspekte können dabei eine Rolle spielen:

- a.) *Treibhausgasemissionen:* Durch die Verwendung von halmgutartigem Restschnittgut zur Biogasnutzung werden gegenüber der Nutzung fossiler Brennstoffe Treibhausgasemissionen eingespart.
- b.) *Beitrag zur Energiewende:* Die Verwendung von kommunalem Restschnittgut zur Energieerzeugung leistet einen Beitrag zu einer lokalen, nachhaltigen und unabhängigen Energieversorgung.
- c.) *Naturschutz:* Mit abnehmenden Milchviehbeständen droht eine Vielzahl von Flächen zu verbuschen und damit in Bezug auf die Biodiversität zu verarmen. Durch die energetische Verwendung von Schnittgut aus solchen extensiv genutzten Flächen können die Pflegemaßnahmen kostengünstiger oder kostenneutral gestaltet werden.

¹ Grundkonzept meint in diesem Leitfaden ein Vorabkonzept, für das der Substrateinsatz, das technische Konzept und die Anlagengröße festgelegt werden.

- d.) *Einsparung von Entsorgungskosten:* Kommunen können durch die Nutzung des Grünschnitts zur Erzeugung von Biogas die Entsorgungskosten für von öffentlichen Grünflächen anfallendes Schnittgut verringern.
- e.) *Tourismus:* Das Offenhalten der Kulturlandschaft ist in touristischen Regionen eine Notwendigkeit, um die Attraktivität einer Region zu erhalten.
- f.) *Lokale Wertschöpfung:* Die Implementierung einer Biogasanlage schafft in der jeweiligen Kommune in geringem Maße Wertschöpfung in Form von Steuern und Arbeitsplätzen.

Die Ergebnisse aus dem Projekt „Mikro-Biogas“ zeigen, dass unter den Rahmenbedingungen des EEG 2009 eine Nutzung von grasartigem Restschnittgut in Biogasanlagen nur in Sonderfällen gewinnbringend ist, beziehungsweise dass die Umsetzung der Konzepte nur geringe Gewinne erbringt (siehe Kapitel 8). Im Sinne der oben genannten Ziele ist aus gesellschaftlicher Sicht jedoch auch eine kostenneutrale Gestaltung von Restschnittgutkonzepten empfehlenswert. Werden Ziele wie die Treibhausgaseinsparung, der Beitrag zur Energiewende oder Naturschutzziele innerhalb einer Kommune hoch gewichtet, so ist außerdem eine Querfinanzierung durch die Kommune denkbar.

Akteure, die bereits frühzeitig zusammengebracht werden sollten, sind kommunale Vertreter, die Interesse an einer Umsetzung haben, und Landwirte, die als Anlagenbetreiber infrage kommen. Landwirte haben Zugang zu den notwendigen Kosubstraten (Mist und Gülle) und betreiben häufig bereits Biogasanlagen, sodass die notwendige Infrastruktur vorhanden ist. Frühzeitig sollte außerdem nach einem geeigneten Wärmeabnehmer gesucht werden.

Einschätzung der Erfolgsaussichten: Wenn die involvierten Akteure oder die Gesellschaft keine Bereitschaft zeigen, die genannten Ziele auch ohne nennenswerte Gewinnaussichten zu unterstützen, sind die Umsetzungschancen als gering einzustufen.

2.2 Tragfähiges Grundkonzept

Um zu einem tragfähigen Konzept zu gelangen, müssen Substratkombinationen und das technische Anlagenkonzept unter Berücksichtigung der Vergütungsstrukturen des EEG solange variiert werden, bis eine Wirtschaftlichkeit erreicht ist.

2.2.1 Abschätzung des vorhandenen Restschnittguts

Nach der Festlegung der Zielsetzung sollten sich die interessierten Akteure einen ersten Überblick über das Potenzial der verschiedenen Substratfraktionen verschaffen, ohne in diesem Planungsstadium den Aufwand einer detaillierten Potenzialerhebung zu betreiben. Grundsätzlich wird zwischen extensiv gepflegten und intensiv gepflegten Flächen unterschieden.

Extensiv gepflegte Landschaftspflegeflächen werden ein bis zwei Mal jährlich geschnitten und wenig oder gar nicht gedüngt. Zu diesen Flächen gehören Uferrandstreifen, Straßen- und Schienenbegleitgrün und Vertragsnaturschutzflächen. Aufgrund der seltenen Mahd weist Grünschnitt von extensiv gepflegten Flächen verhältnismäßig hohe Ligninanteile auf, die Gaserträge sind daher relativ gering.

Intensiv gepflegte Flächen werden mindestens dreimal jährlich bis hin zu einmal wöchentlich geschnitten. Neben Privatgärten zählen hierzu von den Kommunen verwaltete und bewirtschaftete Flächen, sogenannte kommunale Grünflächen wie zum Beispiel Friedhöfe, Sportflächen, Parkanlagen, Grünstreifen, Spielplätze sowie Sport- und Golfplätze. Da es hier das Ziel ist, einen dichten, ansehnlichen Rasen zu erhalten, werden diese Flächen teilweise gedüngt. Aus Grünschnitt von intensiv gepflegten Flächen sind aufgrund der regelmäßigen Mahd höhere Gaserträge zu erzielen.

Grasartiges Restschnittgut wird selten als einziges Substrat in eine Vergärungsanlage eingebracht, da es insbesondere bei frisch geschnittenem, stickstoffreichen Grünschnitt zur Ammoniumtoxizität kommen kann, die den Gärprozess hemmt. Für Nassfermentationsanlagen ist ein zu hoher Anteil an faserreichem Schnittgut von spät gemähten Landschaftspflegeflächen aufgrund der Belastung der mechanischen Rührvorrichtungen problematisch. Kosubstrate müssen neben der Verfügbarkeit auch hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Vergütung im EEG bei einer Kovergärung mit Grasschnitt beurteilt werden.

2.2.2 Technisches Anlagenkonzept

Grundsätzlich wird zwischen Nass- und Trockenfermentation unterschieden. Bei großen Mengen Schnittgut von Extensivflächen bieten sich Trockenfermentationsanlagen an, die mit dem ligninhaltigen Substrat gut zurechtkommen. Allerdings sind diese Anlagen in der Investition teurer und weniger erprobt. Schnittgut von Intensivflächen und zu einem geringeren Anteil von Extensivflächen lässt sich anteilig auch in Nassfermentationsanlagen vergären.

In das Anlagenkonzept sollte ein Wärmenutzungskonzept integriert werden. Ab dem 1.1.2012 wird eine Wärmenutzung von 60 Prozent der in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugten Wärme Voraussetzung für eine EEG-Vergütung des eingespeisten Stroms. Im Beispielkonzept des Projekts „Mikro-Biogas“ wird das unaufbereitete Biogas zu einem am Ort der Wärmesenke befindlichen BHKW geleitet. Alternativ kann die am BHKW entstehende Wärme über eine Wärmeleitung transportiert oder direkt am Ort der Entstehung genutzt werden.

2.2.3 Wirtschaftlichkeit des Grundkonzepts

Die wesentlichen Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeit eines Anlagenkonzepts begründet das jeweils gültige EEG. Bezüglich der Einspeisevergütung für Strom aus der Produktion von Biogas mit Restschnittgut sind folgende Unterschiede zwischen dem EEG 2009 und dem EEG 2012 hervorzuheben:

- Das EEG 2009: Restschnittgut von extensiv und intensiv gepflegten Flächen erhält den NawaRo-Bonus sowie den Landschaftspflegebonus bei einem Massenanteil von mehr als 50 Prozent (insgesamt 24,42 Cent pro Kilowattstunde²).
- Das EEG 2012: Ab dem 1.1.2012 wird Landschaftspflegematerial auch bei geringeren Einsatzmengen als 50 Prozent mit einem höheren Bonus von 8 Cent pro Kilowattstunde vergütet. Gras-Grünschnitt von intensiv gepflegten Flächen wie Privatgärten oder kommunalen Grünflächen erhält allerdings keine einsatzbezogene Vergütung, sodass sich die Gesamtvergütung in diesem Fall auf ca. 18,3 Cent pro Kilowattstunde³ beläuft.

Eine erste Hilfe zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Grundkonzepten können die folgenden ausgearbeiteten Konzepte und Praxisbeispiele liefern:

Intensivschnittgut, Kleinanlage (< 50 kWel): Im Projekt „Mikro-Biogas“ wurde ein Nutzungskonzept für kommunales Schnittgut von intensiv gepflegten Flächen ausgearbeitet. Die Konzeption sieht die Wirtschaftsdünger Rindergülle und Rindermist als Kosubstrate vor.

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2009: Unter eng gesetzten Rahmenbedingungen (Biogasleitung < 1.800 m, Fermenterwärme wird von einer bestehenden Anlage bereitgestellt) kann ein Gewinn erzielt werden. Für kleinräumige Konzepte mit einem Einzugsradius von höchstens zehn Kilometern wirkt sich die begrenzte Anzahl an kommunalen Grünflächen in ländlichen Gemeinden limitierend aus. Der Landschaftspflegebonus wird in den meisten Fällen nicht relevant sein. Denn aufgrund des geringen Aufkommens an Schnittgut muss, um eine hinreichend große, wirtschaftliche Anlage realisieren zu können, der Anteil an Kosubstraten (Gülle, Mist) soweit heraufgesetzt werden, dass der Landschaftspflegebonus nicht mehr erreichbar ist.

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2012: Eine Vergärung kommunalen Schnittguts ist nur noch in Bioabfallanlagen attraktiv, die 90 Prozent Bioabfall vergären. Dieser Anteil ist nach dem EEG 2012 die Voraussetzung für eine höhere Vergütung. In Gemeinden, in deren Umfeld Bioabfall als Kosubstrat nicht zur Verfügung steht, dürfte eine wirtschaftliche Nutzung des Schnittguts von öffentlichen Grünflächen in derart kleinen Biogasanlagen nicht mehr gegeben sein.

² Bei Inbetriebnahme im Jahr 2010, inklusive Grundvergütung, NawaRo-Bonus, Gülle-Bonus und Landschaftspflegebonus.

³ Bei in Betriebnahme im Jahr 2012 inklusive Grundvergütung und Zusatzvergütung durch Verwendung von Einsatzstoffen der Einsatzvergütungskategorie II (50% Gülle und Mist bezogen auf die Energiebereitstellung).

Extensivschnittgut, Kleinanlage (< 50 kWel): Der Hof Wendbüdel vergärt zu einem 95-prozentigen Anteil extensiv gepflegtes Schnittgut von Vertragsnaturschutzflächen in einer Trockenfermentationsanlage und erhält damit den Landschaftspflegebonus nach EEG 2009.

Das Anlagenkonzept vom Hof Wendbüdel ist unter folgendem Link näher beschrieben (Stand: 31.08.2011):

<http://www.wendbuedel.de/bfnprojekt.php>

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2009: Dieses Projekt wird vom Bundesamt für Naturschutz gefördert und bewegt sich am Rande der Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig ist es das einzige seiner Art.

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2012: Die Rahmenbedingungen für dieses Konzept verändern sich durch den Wegfall des Landschaftspflegebonus sowie hinsichtlich der Auflage der 60-prozentigen Wärmenutzung. Da für kleinere Anlagen die Verlegung einer Mikrobiogasleitung einen verhältnismäßig höheren finanziellen Aufwand darstellt als für größere, sind derartige Anlagen nicht mehr wirtschaftlich darstellbar. Voraussetzung für einen gewinnbringenden Betrieb wird daher ein geeigneter Wärmeabnehmer am Ort der Biogaserzeugung sein.

Mischkonzept Intensiv- und Extensivschnittgut, Großanlage (600 kWel): Die Kooperation von fünf bayrischen Landkreisen mit der Firma SIUS in Regen ist ein großräumig angelegtes Konzept, das vornehmlich Restschnittgut von Grünschnittsammelplätzen in Kofermentation mit geringen Anteilen Mais und Weizen vergärt. In dieser Anlage erzeugter Strom erhält den Landschaftspflegebonus. Der Grünschnitt wird vor der Vergärung mehrere Wochen gelagert, was zu leichten Gasverlusten führt. Von den Entsorgungsgebühren, die die Gartenbesitzer entrichten, und von Einnahmen aus dem Kompostverkauf wird eine Anlagentechnik finanziert, die den abgelagerten Grünschnitt soweit aufschließt, dass relevante Gaserträge erreicht werden. Die erreichbare Anlagengröße, die die Anlagenkosten im Verhältnis zur installierbaren Leistung der Anlage verringert, hat einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Eine Darstellung des Konzepts findet sich in der folgenden Präsentation (Stand: 31.08.2011):

http://www.lpv.de/fileadmin/user_upload/data_files/Vortraege/Bioenergie_aus_der_LAPF_Sachsen/4web_Buchheit_Gruengutk_.pdf

http://www.awg.de/?content_id=aktuelles/vga_regen&menu_id=7

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2009: Die Beispielanlage trägt sich wirtschaftlich.

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2012: Die um 6 Cent geringere Vergütung für Gartenschnitt hat Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, sodass eine Umsetzung dieses Modells nach dem EEG 2012 für die Kommunen kostspieliger wird.

Einsatz in Bestandsanlagen: Des Weiteren bietet sich eine Verbringung von Restschnittgut in bereits bestehende Anlagen an. Im Projekt „Mikro-Biogas“ sind auch Wirtschaftlichkeitsberechnungen für dieses Konzept durchgeführt worden (siehe Kapitel 8.5).

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2009: Der Einsatz von Restschnittgut als Substitution für Mais lohnt sich bis zu einem mittleren Gasertrag des Mais. Die Gaserträge vom Mais sowie dem vorhandenen Schnittgut müssen erhoben werden, um eine exakte Aussage über die Wirtschaftlichkeit zu treffen.

Erfolgsaussichten nach dem EEG 2012: Da die Vergütung von kommunalem Restschnittgut gegenüber Mais 6 Cent geringer sein wird, wird diese Option nur noch bei hohen Gaserträgen aus Grünschnitt attraktiv sein.

2.3 Detailplanung und Wirtschaftlichkeitsberechnung

Wenn diese ersten Schritte geklärt sind, kann die zeit- und kostenintensivere Detailplanung folgen, die in einer konkreten Wirtschaftlichkeitsberechnung mündet. Zur Detailplanung gehört eine detaillierte Potenzialerhebung und unter Umständen eine Gasertragsmessung, wenn keine verlässlichen Angaben zu den Gaserträgen vorliegen. Die Interessenten entscheiden sich für einen konkreten Anlagenstandort und ein Wärmenutzungskonzept. Zuletzt wird die Anlage ausgeschrieben beziehungsweise werden Angebote von verschiedenen Anlagenherstellern eingeholt, auf deren Basis die Wirtschaftlichkeit genau berechnet werden kann.

Einschätzung der Erfolgsaussichten: Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigen, ob Gewinne anfallen und wie hoch diese voraussichtlich sein werden. Auf dieser Grundlage können die Beteiligten entscheiden, ob das Konzept umgesetzt wird oder nicht.

2.4 Einholung von Einverständnissen und Genehmigungen

Eine Nutzung kommunal vorhandenen Restschnittguts in Biogasanlagen setzt eine Reihe von Genehmigungen und Absprachen voraus. Bevor eine Detailplanung erfolgt, sollten folgende Aspekte beachtet werden.

- Ein wesentlicher Punkt ist die gewählte Gesellschaftsform des Betreiberunternehmens. Diese hängt von der Verteilung der Verantwortlichkeiten, der Risiken und der Gewinne sowie von den jeweiligen Interessen ab. Verbreitet ist die Gründung einer Genossenschaft.
- Bezüglich der Finanzierung sollten Vorgespräche mit interessierten Stakeholdern/Investoren wie Kommunalvertretern, Landwirten, Naturschutz- und Tourismusverbänden und Banken getätigt werden.
- Restschnittgutanlagen gelten als Abfallanlagen, sodass eine immissionsschutzrechtliche Baugenehmigung notwendig ist. Daher sollten frühzeitig die entsprechenden Genehmigungsbehörden bezüglich der Kosten und der Aussicht auf eine Genehmigung befragt werden.

- Sofern eine Wärme- oder eine Mikrobiogasleitung als Bestandteil des Wärmekonzepts geplant ist, sind Grundstücksbesitzer, deren Grundstücke gequert werden, sowie die jeweils zuständige Behörde der Kommune bezüglich der Querung von Wasserläufen oder Straßen zu befragen.
- Die Elektrizitätseinspeisung in das lokale Netz sowie eine eventuelle Biogaseinspeisung sollte frühzeitig mit dem lokalen Energieversorger geklärt werden.

Einschätzung der Erfolgsaussichten: Eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzbarkeit des geplanten Konzepts ist das Zustandekommen eines Interessenausgleichs zwischen potenziellem Anlagenbetreiber und Substratlieferanten. Außerdem muss grundsätzlich eine Anlieferungsbeziehungsweise Abnahmebereitschaft bestehen und es muss eine Baugenehmigung in Aussicht stehen.

2.5 Implementierung

Sofern das Konzept umgesetzt werden soll, können nun der Gesellschaftervertrag und die Liefer- und Abnahmeverträge abgeschlossen und der Baugenehmigungsantrag eingereicht werden.

3 Biomassepotenzialerhebung

In diesem Leitfaden wird ausschließlich die Erhebung von grasartigen Restschnittgutfraktionen betrachtet. Holzartiges Schnittgut, zum Beispiel von Sträuchern und Bäumen, lässt sich zwar nach entsprechendem Aufschluss ebenfalls vergären, allerdings ist dies ungleich aufwendiger und eine Verbrennung ist energetisch meist sinnvoller.

3.1 Erhebung für ein tragfähiges Grundkonzept

Um in einem ersten Schritt einen Überblick über das im geplanten Projektgebiet vorhandene Potenzial zu erhalten, müssen zunächst die Flächen der jeweiligen Substrate abgeschätzt werden. Hierfür stehen die folgenden Methoden zur Verfügung.

3.1.1 Erfassung der Potenziale von extensiv bewirtschafteten Flächen

Straßenbegleitgrün: Bei klassifizierten Straßen (keine Autobahnen) kann grob von 0,75 Hektar (durchschnittliche Randstreifentiefe 3,25 m) pro Kilometer Straße ausgegangen werden, bei nicht-klassifizierten Straßen und Wegen ist der entsprechende Wert mit etwa 0,5 ha (durchschnittliche Randstreifentiefe 2,5 m) niedriger (Dieterich und Gärtner 2010, Dieterich und Lüning 2010). Berücksichtigt sind in diesen Angaben entsprechende Abzüge für nicht begrünte Abschnitte (Ausfahrten, Parkplätze) bzw. Gehölze. Allerdings stellt Straßenbegleitgrün derzeit kein relevantes Substrat dar, da das Inverkehrbringen der entstehenden Gärreste nach der geltenden Düngemittelverordnung ausgeschlossen ist (weitere Gründe siehe Kapitel 7.1).

Uferstrandstreifen: Vereinfachend kann von 0,45 Hektar (durchschnittliche Tiefe des nutzbaren Uferstreifens 2,25 m) Fläche pro Kilometer Gewässerlauf ausgegangen werden (Dieterich und Gärtner 2010, Dieterich und Lüning 2010). Durchschnittliche Gehölzanteile sind in diesen Angaben ebenfalls bereits abgezogen. Ein weiteres Hindernis bei der Ernte ist die Hangneigung (Uferneigung). Entsprechend bedarf es einer Abschätzung, welcher Anteil des Substrats mit der vorhandenen Technik zugänglich ist.

Für die Biomasse aus Uferstrandstreifen gilt, dass sie in der Regel vielen Besitzern und/oder Nutzern zuzuordnen ist (Ausnahme z. B. Gewässerunterhaltungsverbände). In einem zweiten Erhebungsschritt wird es daher notwendig sein, die Interessenlagen von unübersichtlich vielen Nutzern zu eruieren, um die tatsächlich zur Verfügung stehende Menge an Grünschnitt bestimmen zu können. Ein Aufruf im Projektgebiet, zum Beispiel in Form einer Bekanntmachung im Amtsblatt mit der Nachfrage, wer seinen Grünschnitt zur Verfügung stellen möchte, ist gegenüber einer aufwendigen persönlichen Anfrage an sämtliche Nutzer (zumeist Landwirte) vorzuziehen, führt aber in der Regel zu unvollständigen Ergebnissen (Rückmeldungen). Der Aufwand einer individuellen Anfrage rechtfertigt sich nur bei Nutzern, die potenziell große Substratmengen zu einem Konzept beisteuern können. Im Einzelfall kann auch Schnittgut von ansonsten nicht genutzten und vielfach öffentlichen Überschwemmungsflächen für eine Nutzung in Biogasanlagen verfügbar sein.

Vertragsnaturschutzflächen: Diese Flächen sind bei der unteren Naturschutzbehörde kartiert. Es empfiehlt sich, zur Abschätzung von Potenzialen mit den entsprechenden Fachbehörden in Kontakt zu treten, um Informationen über die aktuelle Nutzung zu erhalten und Nutzungskonkurrenzen auszuschließen. Vielfach werden Vertragsnaturschutzflächen beweidet (Schafe, Ziegen, Rinder). Bei anderen Flächen ist allerdings auch eine Schnittnutzung zwingend vorgesehen und die Beseitigung/Verwertung des Schnittguts bereitet gegebenenfalls Probleme (verursacht Kosten). Gehölzanteile müssen bei den entsprechenden Flächen ebenfalls abgezogen werden.



Bildquelle: Patric Schlager

3.1.2 Erfassung der Potenziale von intensiv bewirtschafteten Flächen

Privatgärten: Bei Privatgärten stellt sich ebenfalls das Problem der Vielzahl an Nutzern. Allerdings existieren in den meisten Landkreisen Sammelstellen, an die Gartenbesitzer ihren Grünschnitt liefern können. Die Betreiber der Sammelstellen beziehungsweise die Abfallbetriebe der Landkreise können bezüglich der Erfassungsmengen und der Möglichkeit zur Nutzung in Biogasanlagen Auskunft geben.

Kommunale Grünflächen: Den statistischen Bundes- und Landesämtern liegen relativ verlässliche Daten bezüglich folgender Flächen vor:

- *Friedhöfe:* Annähernd kann von einem Anteil von 20 Prozent Rasenfläche bezogen auf die Gesamtfläche ausgegangen werden.
- *Parkanlagen, Grünstreifen, Spielplätze, Schulen:* Von den statistisch zugänglichen Daten zur Flächengröße müssen für die Abschätzung von Potenzialen versiegelte Bereiche, Gehölze und sonstige nicht als Grünland ausgebildete Flächen abgezogen werden. Öffentliche Grünflächen können bezüglich der Nutzungsintensität stark divergieren. Die Abschätzung der Hektarerträge ist daher schwierig (zwischen 2 und 6 t pro ha) und

auch sehr stark von den für die Aufnahme von Schnittgut verwendeten Geräten abhängig. Im Prinzip gewährleisten bei häufig geschnittenen Rasenflächen nur Saugvorrichtungen eine umfassende Bergung des Schnittguts. Die Biogaserträge aus dem Schnittgut sind jedoch jeweils vergleichsweise hoch. Für Biogaserträge von wenig oder ungedüngten Rasenflächen und Parkflächen hat Heintschel (2012) einen Wert zwischen 600 und 650 m³/t oTS ermittelt (Tab. 1).

- *Sportplätze und Golfplätze*: Die wöchentliche oder zweiwöchentliche Mahd ist auf diesen Flächen die Regel, sodass die mit herkömmlicher Technik zu bergenden Mengen sehr gering sein können. Aufgrund der regelmäßigen Mahd und des hohen Biogasertrages ist die Eignung dieses Schnittguts für die Biogaserzeugung jedoch hoch (Heintschel 2012).

3.1.3 Gasertrag und Qualität des Restschnittguts

Die Werte in Tabelle 1 geben einen Anhaltspunkt, welche Masse Grünschnitt von einem Hektar der jeweiligen Fläche zu erwarten ist und wie hoch der erwartete Biogasertrag pro Tonne Trockenmasse angenommen werden kann. Die genannten Werte sind Durchschnittswerte, die flächenspezifisch zum Teil stark schwanken können. Um einen Eindruck zu gewinnen, welcher Frischmasse die unten genannten Trockenmassewerte entsprechen, können die Erträge mit fünf multipliziert werden. Dahinter steht die Annahme, dass der Trockenmasseanteil bei 20 Prozent liegt, tatsächlich kann der Anteil auch bei 15 oder 30 Prozent liegen. Daher ist der Frischmasseertrag eine verhältnismäßig ungenaue Richtzahl zur Ertragsbestimmung.

Tabelle 1: Biomasse und Biogaserträge von unterschiedlich gepflegten Grünlandflächen (nach Erhebungen im Rahmen des Projektes Mikro-Biogas¹: Heintschel¹ 2012, Öchsner² 2002 und mündliche Mitteilung, Dieterich und Lünig³ 2010, Elsässer⁴ 2004 und mündliche Mitteilung)

Flächentyp	Biomasse (t TM/ha)	Biogasertrag* (m ³ /t oTS)
Extensivgrünland (2-3-schüurig)**	4–7 ²	440–480 ²
Sportplatz gedüngt	3 ¹	635 ¹
Rasen im Park, ungedüngt oder selten gedüngt (7-8-schüurig)	6 ¹	625 ¹
Naturschutz-Wiese 1-schüurig	2,5 ⁴	150–250 ²
Straßenbegleitgrün 1-2-schüurig	3–5 ³	400–500 ²

* Der Methanertrag des Biogasertrags beträgt 50 bis 60 Prozent. oTS bezeichnet die organische Trockensubstanz, die in der Regel 95 Prozent der Trockenmasse ausmacht.

** Extensivgrünland sind zum Beispiel Uferrandstreifen oder Vertragsnaturschutzflächen. Der Biomassertrag kann je nach Standort stark variieren (Staudenanteil).

Verschiedene Faktoren haben einen Einfluss auf die Vergärungsmöglichkeiten und auf den erreichbaren Biogasertrag. Dies sind vor allem der Frischegrad und die Art der Vorbehandlung des Schnittguts.

Frischegrad: Der Frischegrad hat erhebliche Auswirkungen auf die Vergärungsmöglichkeit des Grünschnitts. Bringt man Grünschnitt frisch gemäht in eine Anlage ein, so erhält man im Vergleich zu zwischenlagertem Grünschnitt deutlich höhere Gasausbeuten. Bei der Lagerung kann der Gärungsprozess bereits einsetzen, sodass das Material teilweise ausgast. Außerdem kann es zu Pilzbefall kommen, der den Vergärungsprozess in der Biogasanlage hemmt.

Vorbehandlung – Erntemethode: Die Erntemethode und weitere Vorbehandlungsmaßnahmen können den Gasertrag beeinflussen. Durch eine Vergrößerung der Oberfläche, zum Beispiel durch mechanisches Häckseln, Quetschen und Scheren des Materials, können die verarbeitenden Mikroorganismen das Substrat besser verwerten. Dies gilt vor allem für faserreiches Schnittgut von Extensivgrünland. Für chemische und physikalische Prozesse ist die größere Reaktionsfläche von Vorteil. Des Weiteren gibt es thermische und mit Druck arbeitende aufschließende Verfahren zur Vorbehandlung von Substraten.

Silieren: Dieser Konservierungsschritt ist notwendig, wenn der Grünschnitt nicht zeitnah in die Fermenter eingebracht werden kann. Silieren führt zu einem Massenverlust von durchschnittlich 10 Prozent (Kaltschmitt et al. 2009).



Bildquelle: Patric Schlager

3.2 Detaillierte Erhebung für ein Nutzungskonzept

Nach einer ersten Abschätzung kann die Entscheidung fallen, welche der potenziellen Substrate und Flächen für ein Nutzungskonzept in Betracht kommen. Um ein genaueres Bild über die zur Verfügung stehenden Grünschnittmengen zu erhalten, ist es wichtig, die infrage kommenden Flächen zu begehen und Nutzungsparameter abzuschätzen bzw. zu erfragen (Häufigkeit des Schnitts, Düngung).

Die infrage kommenden kommunalen Flächen weisen in der Regel große Anteile an Randbereichen auf, zum Beispiel an Wegen, die meist durch Büsche begrenzt sind. Daher sollte bei der Planung das tatsächliche Potenzial immer an der Untergrenze angesetzt werden.

4 Technische Konzepte

Das Nutzungskonzept besteht aus der Bereitstellung des Grünschnitts und der Kosubstrate (Gülle oder Mist), einer eventuellen Substrataufbereitung, der Fermentation der Substrate, der energetischen Verwertung des erzeugten Biogases in einem BHKW sowie einem Wärmenutzungskonzept. Zwischen den jeweiligen Schritten sind Transportwege zu überbrücken. Abhängig vom Nutzungskonzept ist es auch möglich, das erzeugte Biogas in einer Leitung zum BHKW zu transportieren, das sich in direkter Nähe zum Wärmeabnehmer befindet. Alternativ kann die im BHKW produzierte Wärme mit einer Wärmeleitung zu den Wärmeabnehmern transportiert werden (siehe Abbildung 1).

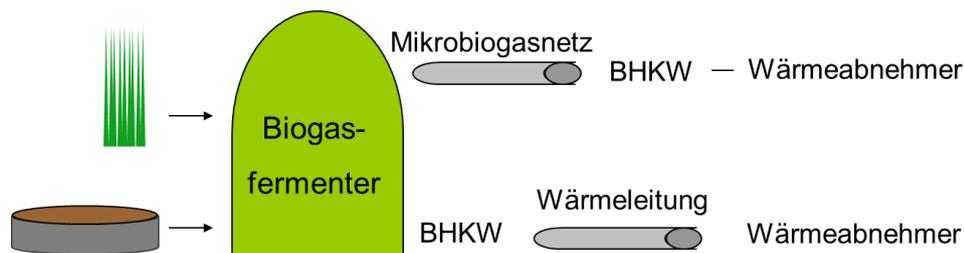


Abbildung 1: Skizze möglicher Nutzungskonzepte

Bildquelle: IÖW

4.1 Biomassebereitstellung und -vorbehandlung

Die Ernte beziehungsweise die Mahd des Grünschnitts kann mit konventionellen Maschinen durchgeführt werden. Der Transport des Schnittguts ist ebenfalls mit verfügbaren Maschinen wie Traktoren und Anhängern oder Unimogs, bei längeren Transportwegen auch mit Lastkraftwagen, möglich. Für die Bergung von Straßenbegleitgrün wären jedoch Saugvorrichtungen notwendig, die die wenigsten Straßenmeistereien besitzen. Aus diesem Grund ist die Bergung von Straßenbegleitgrün häufig nicht lohnenswert.⁴ Da darüber hinaus ein In-Verkehr-Bringen von Gärresten aus Straßenbegleitgrün rechtlich nicht erlaubt ist (BioAbfV), sollte das entsprechende Schnittgut anderweitig verwertet (zum Beispiel direkte Verbrennung) oder gemulcht werden (siehe hierzu auch Kapitel 7.1).

Abhängig von der Beschaffenheit des Schnittguts ist vor der Fermentierung eine Zerkleinerung von Vorteil. Insbesondere, wenn unterschiedliche Grünflächen für die Bereitstellung des Grünschnitts herangezogen werden, sollte möglichst eine zusätzliche Zerkleinerung erfolgen, um die Homogenität des Substrates zu erhöhen. Da die biogenen Reststoffe nicht kontinuierlich über das ganze Jahr hinweg anfallen, ist außerdem eine Konservierung (Silierung) des Grünschnitts notwendig. Die Silierung erfolgt unter Luftabschluss in Flach- oder Fahrsilos. Bei der Silierung wird ein Teil der organischen Masse abgebaut. Durchschnittlich kann von einem Verlust von 10 Massenprozent ausgegangen werden (Kaltschmitt et al. 2009). Die Silierung wird beeinträchtigt, wenn heterogene, unterschiedlich häufig

⁴ Steht der Kauf neuer Maschinen an, so kann dies eine günstige Gelegenheit darstellen, in geeignete Maschinen zu investieren, allerdings unter der Voraussetzung, dass es zu rechtlichen Änderungen kommt (siehe hierzu Kapitel 7.1).

gemähte Flächen in Anspruch genommen werden (Nussbaum 2010). In diesem Fall ist es zu empfehlen, die Silierung mit chemischen Silierhilfsmitteln durchzuführen. Silierhilfsmittel stehen in flüssiger Form oder in Form von Granulaten zur Verfügung. Flüssige Mittel haben den Vorteil, dass sie über ein Spritzsystem während des Häckselns zudosiert werden können, wodurch eine gleichmäßigere Verteilung erzielt wird als bei der Verwendung von Granulaten.

4.2 Fermentation

Die Biogaserzeugung durch anaeroben mikrobiellen Abbau der Substrate (Fermentation) ist der zentrale Bestandteil von Biogasanlagen. Zur Erzeugung des Biogases kommen unterschiedliche Fermentationsverfahren infrage.

4.2.1 Trockenfermentation

Trockenfermentationsverfahren sind durch einen Trockensubstanzgehalt von mindestens 30 Prozent gekennzeichnet (BMU 2007). Die Verfahren der Trockenvergärung sind aufgrund hoher Anfangsinvestitionen im Vergleich zu Nassfermentationsverfahren deutlich weniger verbreitet. Bedingt durch die geringere Verbreitung sind auch die Erfahrungen mit diesen Technologien weniger ausgeprägt.

Einschubfermenter (Perkolationsverfahren): Einschubfermenter eignen sich gut für kleine Verarbeitungskapazitäten. Der geringe maschinentechnische Aufwand wirkt sich in der Praxis positiv auf Verschleiß und Wartungsaufwand aus (Scholwin, Weidele et al. 2006). Einschubfermenter-Anlagen eignen sich außerdem besonders für die Verwertung von Substraten aus der Landschaftspflege, da das Verfahren stapelbare Substrate benötigt, robust ist und auch holzartige Substrate anteilig verwerten kann.

Andere mögliche Trockenfermentationsverfahren sind das *Haufwerkverfahren* und das *Aufstauverfahren*. Haufwerkverfahren gelten jedoch als weniger stabil und effizient, und Aufstauverfahren sind technisch aufwendiger als Einschubverfahren.

4.2.2 Nassfermentation

Speicher-Verfahren: Innerhalb der Nassfermentationsverfahren ist das Speicher-Verfahren für die Nutzung halmgutartiger Substrate gut geeignet. Durch seinen platzsparenden und einfachen Aufbau ist es auch für kleine, dezentrale Anwendungen einsetzbar und hat gerade in niedrigen Leistungsklassen eine große Verbreitung. Nachteilig sind die schlechte Ausnutzung des Fermentervolumens und der hohe Eigenenergiebedarf durch Volldurchmischung des Reaktors.

Pfropfenstromverfahren: Das Pfropfenstromverfahren ist in der Anschaffung kostengünstig, da Fermenter aus der Industrie adaptiert werden können. Problematisch für die Nutzung biogener Reststoffe erscheint das Rührwerk (vgl. Scholwin, Weidele et al. 2006). Nicht vorbehandelte halmgutartige Substrate könnten Blockaden verursachen. Anfallende Wartungsarbeiten am Rührwerk würden bei diesem Fermenter dazu führen, dass der Reaktor komplett entleert werden muss. Da entsprechende Prozessunterbrechungen bei Verwendung von

faserreichem Schnittgut zu erwarten sind, ist dieses Verfahren nur bei geeigneter Substrataufbereitung (Zerkleinerung) zu empfehlen.

Mischverfahren: Von besonderem Interesse erscheinen Mischverfahren (TNS-Verfahren), die mit der Zielsetzung entwickelt wurden, den Betrieb kleiner, aber wirtschaftlicher Biogasanlagen zu ermöglichen. Durch die Kombination von Trocken- und Nassvergärung wird einerseits ein im Vergleich zum Perkolationsverfahren höherer Gasertrag erreicht und zum anderen der Vergärungsprozess stabilisiert.

Bio4gas: Die Bio4gas-Gesellschaft hat ein Anlagenkonzept für kleine Biogasanlagen mit einem Reaktorvolumen von 300 Kubikmetern entworfen. Vorteilhaft ist die einfache Bauweise, die die Durchmischung und Beheizung des Fermenters durch Druckluft ermöglicht und auf Rührwerke verzichtet. Da das Anlagenkonzept erst in Erprobung ist, kann die Eignung biogener Reststoffe als Substrate nicht abschließend bestätigt werden.

Durchfluss-Speicher-Verfahren: Das Durchfluss-Speicher-Verfahren ist für kleine Biogasanlagen im unteren Leistungsbereich nicht optimal. Wegen des hohen technischen Aufwands ist diese Anlagentechnik erst bei höheren Leistungsklassen sinnvoll.

4.3 Energieumwandlung und Wärmenutzung

Zur Energieumwandlung können übliche BHKW-Module eingesetzt werden. Infrage kommen Gas-Otto-Motoren, Zündstrahlmotoren sowie Mikrobiogasturbinen (siehe auch Scholwin, Weidele et al. 2006).

Gas-Otto-Motoren: Diese Motoren sind speziell für den Gasbetrieb entwickelt. Die Verwendung von Gas-Otto-Motoren ist grundsätzlich in allen Biogasanlagen denkbar, jedoch ist ein wirtschaftlicher Einsatz eher in größeren Anlagen möglich. Vorteile dieser Technik liegen in dem geringen Wartungsaufwand und dem hohen Gesamtwirkungsgrad. Nachteile sind der geringere elektrische Wirkungsgrad im unteren Leistungsbereich und die gegenüber Zündstrahlmotoren höheren Kosten.

Zündstrahlmotoren: Diese Motoren arbeiten grundsätzlich nach dem Dieselpinzip, sind jedoch durch Modifizierungen an den Gasbetrieb angepasst. Die Verwendung von Zündstrahlmotoren ist grundsätzlich in allen Biogasanlagen möglich, allerdings ist ein wirtschaftlicher Einsatz eher bei kleineren Anlagen gegeben. Vorteile können in dem Preisvorteil und dem höheren elektrischen Wirkungsgrad im unteren Leistungsbereich gesehen werden. Ein klarer Nachteil sind häufigere Wartungsarbeiten. Weiterhin sind die Zündstrahlmotoren nicht für die spezifische Verbrennung von Biogas entwickelt, daraus resultiert ein geringerer Gesamtwirkungsgrad als bei Gas-Otto-Motoren.

Mikrobiogasturbinen: Bei Mikrogasturbinen handelt es sich um schnell laufende Gasturbinen mit niedrigen Brennkammerdrücken und Temperaturen. Ursprünglich aus Hilfsantrieben aus der Flugzeug- und Turboladertechnologie entwickelt, werden sie hauptsächlich als KWK-Anlagen in der dezentralen Energieversorgung im unteren Leistungsbereich (< 200 Kilowatt) verwendet. Vorteile bei diesem Anlagentyp sind die relativ geringen Emissionen, die geringe Geräuschentwicklung und

die sehr niedrigen Wartungskosten. Aufgrund ihrer Eignung für untere Leistungsbereiche können sie für die Wärmebereitstellung an den dezentralen Fermentern eingesetzt werden.

Aus Gründen der Effizienz sollte ein möglichst hoher Wärmenutzungsgrad angestrebt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es außerdem sinnvoll, die Distanz zwischen Biogasanlage und Wärmeabnehmer möglichst gering zu halten. In landwirtschaftlichen Betrieben kann die Wärme zum Beispiel zur Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten sowie zum Beheizen von Stallungen oder Treibhäusern verwendet werden. In vielen Fällen ist es jedoch aus Gründen der Infrastruktur, Genehmigung oder Geruchsbelästigung nicht möglich, dass Fermenter, BHKW und Wärmeabnehmer direkt beieinander liegen. Daher muss entweder das Gas mit einer Mikro-Biogas-Leitung zu der Energieumwandlungsanlage transportiert werden, oder aber die erzeugte Wärme wird mittels einer Nahwärmeleitung zum Wärmeabnehmer transportiert. In diesem Fall treten Wärmeverluste auf. Mögliche weiter entfernt liegende Wärmeabnehmer sind Nahwärmenetze, die den Wärmebedarf von Wohnhäusern decken. Wohnhäuser benötigen jedoch nicht das ganze Jahr über kontinuierlich gleich viel Wärme. Geeignete Wärmeabnehmer, die kontinuierlicher Wärme nachfragen, sind unter anderem Hotels, Krankenhäuser und Schwimmbäder.

4.4 Einsatz in Bestandsanlagen

Neben der Inbetriebnahme einer neuen Fermentationsanlage und der Erstellung eines Nutzungskonzepts ist der Einsatz von Schnittgut aus Pflegeflächen in Bestandsanlagen eine mögliche Alternative. In der Bereitstellung teurere Substrate wie Mais könnten in diesem Fall ersetzt werden. Da es sich um verhältnismäßig geringe Mengen an Biomasse handelt, ist der Einsatz in Bestandsanlagen technisch gesehen meist unkritisch. Dennoch ist es zu empfehlen, sich bei Interesse an einer Einspeisung von Pflegematerial beim Hersteller der jeweiligen Anlage nach entsprechenden Erfahrungen zu erkundigen. Inwiefern die entstehende Wärme genutzt wird, hängt dann von dem bestehenden Nutzungskonzept ab.

5 Relevante Akteure und Lieferverträge

5.1 Relevante Akteure

In die Konzeption einer Biogasanlage ist eine Vielzahl von Akteuren ein-zubeziehen (ausführliche Informationen in Pick und Ruppert-Winkel 2010, 2011). Dies betrifft die Gestaltung der Liefer- und Abnahme-beziehungen, die Schaffung von Finanzierungsoptionen oder die Gründung eines gemeinsamen Unternehmens. Außerdem ist eine Viel-zahl von Rechtsgrundlagen zu beachten, die für eine Anlagen-genehmigung Voraussetzung sind. Die wichtigsten Akteure sind in Tabelle 2 aufgeführt.

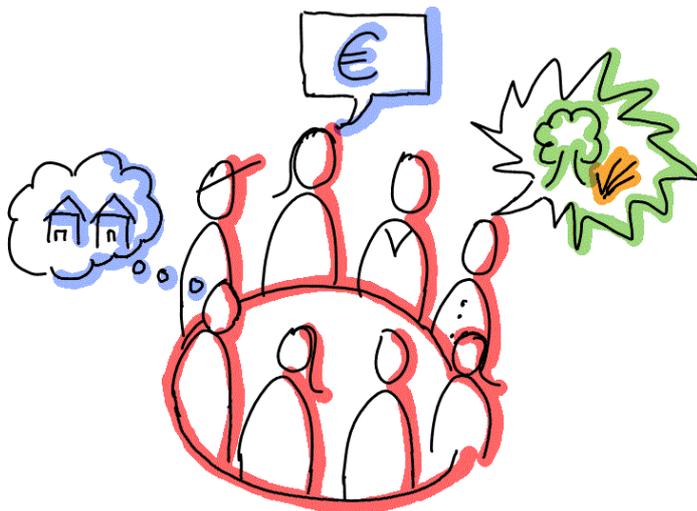
Tabelle 2: Akteure, die in den Prozess der Anlagenkonzeption für eine Restschnittgutnutzung einbezogen werden sollten

Akteure	Bezug zur Anlagenkonzeption
Anlagenbetreiber (üblicherweise Landwirte, möglicherweise Land- kreise, Kommunen oder Stadtwerke)	betreiben die Anlage
Landwirte	bearbeiten Pflegeflächen Lieferanten für Restschnittgut ggf. Betreiber der Anlage
Kommunalvertreter	stellen Schnittgut von kommunalen Grünflächen bereit
Wärme-, Gasabnehmer	nehmen Wärme, Kälte und eventuell Gas ab
Netzbetreiber	nehmen Strom und eventuell Gas ab
Banken	ermöglichen eine Fremdfinanzierung von bis zu 70 Prozent
Naturschutzverbände, Naturschutzbehörden	beteiligen sich ggf. an der Erschließung von Substraten und werden bei Geneh- migungsverfahren mit einbezogen
Versicherung	bietet Versicherungen, zum Beispiel Ertragsausfallsversicherungen (oftmals Voraussetzung für einen Bankkredit)
Steuerberater	unterstützt bei der Wahl der Unternehmensform

Nachbarn	können eventuell durch die Anlage beeinträchtigt werden
Genehmigungsbehörden	vergeben Genehmigungen bezüglich Umweltbeeinträchtigungen, Sicherheit

Da bei der Nutzung von Restschnittgut in Biogasanlagen keine hohen Gewinne zu erwarten sind, werden die Initiative zur Umsetzung eines Konzepts und die Motivation für einen Anlagenbetrieb von den Akteuren ausgehen, bei denen Restschnittgut anfällt und denen sich das Problem der Entsorgung stellt. Für das extensive Schnittgut sind dies die mit den Pflegearbeiten von Uferrandstreifen und Vertragsnaturschutzflächen betrauten Landwirte, Vereine, Verbände oder Kommunen. Für die Pflege kommunaler Flächen sind die Kommunen zuständig. Die Verwaltung der Sammelstellen für Gartenschnitt obliegt vornehmlich den Landkreisen. Für Landwirte stellt sich das Entsorgungsproblem nicht so dringlich dar, da sie zumeist genügend Möglichkeiten haben, den Grünschnitt einzusetzen – zum Beispiel durch die Verwendung als Einstreumaterial, als Futter oder als Gründüngung auf den Ackerflächen.

Um Skaleneffekte nutzen zu können, sollte möglichst Schnittgut von mehreren potenziellen Lieferanten in einer Anlage verarbeitet werden. Außerdem ist es sinnvoll, Restschnittgutlieferanten über ein gemeinsames Unternehmen oder feste Lieferverträge einzubinden, um Versorgungssicherheit herzustellen und nicht von den Preisschwankungen alternativer Entsorgungsmöglichkeiten abzuhängen.



Bildquelle: Chantal Ruppert-Winkel

5.2 Lieferverträge

Neben der Einbettung in eine Unternehmensform (siehe Kapitel 6) stellen Substratlieferverträge eine Möglichkeit für den Anlagenbetreiber dar, eine (auch von der finanzierenden Bank verlangte) Versorgungssicherheit herzustellen. Lieferverträge für Restschnittgut weichen in einigen Parametern von Verträgen für Marktfrüchte ab (Wagner 2003):

- *Preisgestaltung:* Normalerweise orientiert sich der Preis von Marktfrüchten an dem Marktpreis oder an der Preisentwicklung anderer Marktfrüchte. Für die Restschnittgutlieferanten ist das Verhältnis zu sonst entstehenden Entsorgungskosten relevant. Da Landwirte über alternative Optionen der Entsorgung verfügen, zeigen sie vermutlich keine Bereitschaft, Entsorgungskosten zu zahlen. Kommunen werden unter der Bedingung Entsorgungskosten zahlen, dass diese geringer sind als alternative Entsorgungsmöglichkeiten. Die höchste Nutzungsrate des vorhandenen Grünschnitts wird daher durch die kostenlose Abnahme des Schnittguts erreicht werden.
- *Mengen:* Die Liefermengen können über das Gewicht oder über die Herkunftsflächen definiert werden. Diese Entscheidung hat Auswirkungen auf die Risikoverteilung bei Ertragsminderung. Werden die Verträge über das Gewicht abgeschlossen, hat der Bewirtschafter der Flächen die Bringschuld. Werden sie über Flächen abgeschlossen, steht dem Anlagenbetreiber unter Umständen nicht genug Substrat zur Verfügung. Da der Einfluss des Bewirtschafters auf die Erträge jedoch gering ist, erscheint es sinnvoll, die Verträge flächenbezogen abzuschließen.
- *Qualität:* Da der Bewirtschafter der Flächen wenige bis keine Möglichkeiten hat, die Schnittgutqualität durch Düngung, Sortenwahl oder Bodenbearbeitung zu steuern, muss der Betreiber die gelieferte Qualität akzeptieren. Die Qualität von Marktfrüchten wird meist über den Trockensubstanzgehalt definiert, Abweichungen von festgelegten Bandbreiten bringen Entgeltminderungen. Bei Restschnittgut sollte dem Anlagenbetreiber bei starken Verunreinigungen die Möglichkeit offen gelassen werden, das Schnittgut abzulehnen.
- *Vertragslaufzeit:* Im Vergleich zu Lieferverträgen für nachwachsende Rohstoffe sind die Interessenlagen bei Restschnittgut vermutlich wenig konfliktbeladen, da es für die Bewirtschafter der Pflegeflächen keine alternative Anbaumöglichkeit bei höheren Preisen für Marktfrüchte gibt. Dadurch werden längerfristige Lieferverträge attraktiver.

In Bezug auf die übrigen Punkte ist eine Orientierung an den Vertragsvorlagen für Marktfrüchte sinnvoll. Anleitungen für die Abfassung von Lieferverträgen sind zum Beispiel bei C.A.R.M.E.N. zu finden (Stand: 31.08.2011):

<http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/biogas/liefervertrag.pdf>.

6 Finanzierungsmöglichkeiten und Unternehmensformen

6.1 Errichtung und Betrieb einer neuen Anlage

Beim Betrieb einer Biogasanlage mit Restschnittgut ist von geringen Gewinnen auszugehen. Entsprechend ist es für eine Privatperson wie einen Landwirt wenig attraktiv, in eine solche Anlage zu investieren. Allerdings existieren, wie eingangs aufgezeigt, eine Reihe gesellschaftlicher Gruppen, die Interesse an einem Nutzungskonzept für Restschnittgut haben (können). Diese Gruppen in die Finanzierung eines Anlagenkonzepts einzubinden funktioniert am besten über eine gemeinsame Unternehmensgründung. Idealerweise können so die Lieferanten des Restschnittguts, der Anlagenbetreiber und gesellschaftliche Gruppen wie Kommunalvertreter oder Naturschutzverbände finanziell oder in Form von verbindlichen Absprachen beteiligt werden. Die Gründung eines gemeinsamen Unternehmens gibt den Eigenkapitalgebern die Möglichkeit, die Konzeptgestaltung zu beeinflussen. Unabhängig davon ist eine Aufnahme von etwa 67 Prozent Fremdkapital bei Banken für die Finanzierung von Biogasanlagen üblich (Hirschl et al. 2010, S. 117, 126).

Eine gute Möglichkeit ist zum Beispiel die Genossenschaft, die durch die Förderung der Interessen ihrer Mitglieder Elemente eines Vereins hat. Dadurch kann sie den unterschiedlichen Zielen der Interessengruppen Rechnung tragen und muss nicht nur Gewinnabsichten verfolgen. Es gibt die Möglichkeit, zwei Genossenschaften zu bilden, wobei eine für die Biogasproduktion und eine für den Strom- und Wärmeverkauf zuständig ist. Dies ermöglicht es der erstgenannten Genossenschaft, in den Genuss der Steuerfreiheit für landwirtschaftliche Verwertungsgenossenschaften zu kommen. Allerdings darf die Biogasproduktionsgenossenschaft, um diesen Vorteil zu erhalten, nur aus Landwirten, also den Restschnittgutlieferanten bestehen. In der Genossenschaft haftet jeder in der Höhe seines Geschäftsanteils. Durch Stimmrechtsvereinbarungen kann den unterschiedlichen finanziellen Einlagen oder auch unterschiedlichem Arbeitsengagement Rechnung getragen werden (Agentur, DRV, Bauernverband SH 2007).

Alternativ kann eine GmbH & Co. KG eine angemessene Unternehmensform darstellen. In diesem Fall ist es möglich, der Verantwortung des Anlagenbedieners stärker Rechnung zu tragen. Der Landwirt, auf dessen Gelände die Anlage steht, kann beispielsweise einen größeren Anteil an den Gewinnen und Verlusten beziehen. Oder er erhält ein mit dem Erfolg korreliertes Gehalt, um den Anreiz zur Sorgfalt zu erhöhen. Der hauptverantwortliche Landwirt fungiert als Geschäftsführer der GmbH, er ist Komplementär und Vollhafter. Eine oder mehrere Kommunen, Tourismusvertreter oder Natur- und Landschaftsschutzorganisationen können als Kommanditisten das Projekt finanziell unterstützen und damit ihre Ziele sichern.

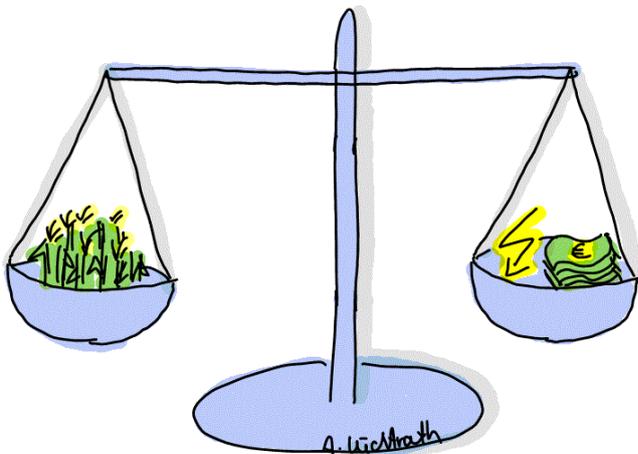
In jedem Fall sollten bei der Wahl der Unternehmensform interessierte Akteure den Rat eines Steuerberaters einholen.

6.2 Nutzung von Bestandsanlagen

Für eine einzelne Kommune oder den Zusammenschluss von wenigen, nahe beieinander gelegenen Kommunen sind Errichtung und Betrieb einer neuen Biogasanlage problematisch. Denn das Grünschnittaufkommen in ländlichen Gemeinden erlaubt nur kleine Anlagengrößen. Die Möglichkeiten, durch Wirtschaftsdünger oder Nachwachsende Rohstoffe die Substratmengen zu erhöhen, sind vielfach problematisch und nur bei Mitwirkung eines Landwirts gegeben.

Eine Alternative zur energetischen Nutzung von Grünschnitt in neuen Anlagen ist daher der Einsatz in Bestandsanlagen (siehe Kapitel 4.4). Der kommunale Grünschnitt wird allerdings aufgrund der geringen Einsatzmengen in bestehenden Anlagen vermutlich eine untergeordnete Rolle spielen.

Aufgrund der relativ hohen Gaserträge des kommunalen Grünschnitts einerseits und der im Verhältnis zu den Gesamteinsatzmengen einer Biogasanlage geringen Mengen andererseits ist eine kostenlose Anlieferung des anfallenden Grünschnitts vonseiten der Kommune die praktikabelste Vorgehensweise. Allerdings ist es nicht immer einfach, eine nahe gelegene Bestandsanlage zu finden, die eine Genehmigung zur Nutzung von Abfallstoffen besitzt (vgl. Kap. 7). Die zusätzliche Beschaffung der Genehmigung ist im Verhältnis zu den zusätzlich zu erwartenden Gewinnen aufwendig.



Bildquelle: Angela Luchtrath

7 Rechtlicher Rahmen

7.1 Restschnittgut als Bioabfall

Restschnittgut ist ein Substrat, das nicht dem Ziel der Flächennutzung entspricht, vielmehr fällt es unerwünscht an. Der Besitzer wünscht, sich des Materials zu entledigen, daher handelt es sich bei dem entsprechenden Material rechtlich gesehen um Abfall. Dies hat weitreichende Konsequenzen. Abfall unterliegt einer Reihe von Bestimmungen, die die Nutzung von Restschnittgut verteuern und eine kostenneutrale Einbringung in solche Anlagen erschweren, die für nachwachsende Rohstoffe konzipiert wurden. Es ist beim Einsatz von Restschnittgut deswegen unabdingbar, bereits im Rahmen der Erstellung des Grundkonzepts Gespräche mit den Genehmigungsbehörden zu führen.

Bioabfallverordnung (BioAbfV): Die Bioabfallverordnung übernimmt den Abfallbegriff aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz, demzufolge Restschnittgut in die Kategorie Bioabfall fällt. Dies beinhaltet Schnittgut von Uferrandstreifen und von Vertragsnaturschutzflächen, kommunales Schnittgut und Straßenbegleitgrün. Für diese Substrate müssen die Schadstoffgrenzwerte der Bioabfallverordnung eingehalten werden, auch wenn, abgesehen von Straßenbegleitgrün, keine Untersuchungspflicht besteht.

Immissionsschutzrechtliche Genehmigung: Anlagen, die Restschnittgut, das heißt Bioabfall nach der Bioabfallverordnung, einbringen, müssen ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren durchlaufen. Dieses ist kosten- und zeitaufwendig, da verschiedene Behörden über die Genehmigung zu entscheiden haben.

Düngemittelverordnung (DüMV) und Düngemittelgesetz: Die Restschnittgutfraktionen dürfen bestimmte Grenzwerte (z. B. Schwermetallgehalte) nicht überschreiten, sofern die Gärreste in Verkehr gebracht werden. Für Straßenbegleitgrün ist ein Inverkehrbringen zurzeit ausgeschlossen, wobei sich die Abgrenzung von Straßenbegleitgrün nach dessen Herkunft/Bewirtschafter (nicht nach der Flächenkategorie) bestimmt. Wird es durch Straßenmeistereien bereitgestellt, so gilt es als Straßenbegleitgrün und darf nicht verwendet werden. Kommt es aus privaten Haushaltungen, selbst wenn diese an Straßen liegen, zählt es als Restschnittgut aus privaten Haushaltungen und darf verwendet werden.⁵

⁵ Dieser Sachverhalt bedarf einer genaueren Prüfung, bzw. es muss die zukünftige Auslegung beachtet werden. Die Bioabfallverordnung und die Düngemittelverordnung sind z. T. nicht aufeinander abgestimmt. Eine Novellierung der Bioabfallverordnung zur Angleichung an EU-Richtlinien wird momentan diskutiert. Zurzeit kann davon ausgegangen werden, dass die Düngemittelverordnung das Inverkehrbringen von Straßenbegleitgrün ausschließt, da die entsprechenden Bewirtschafter, die Straßenmeistereien, nicht in der Positivliste der Verordnung (siehe hierzu DüMV §3) aufgeführt werden. Die Düngemittelverordnung Punkt 7.1.2 ist nach Aussage des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg nur für Gärten und Landschaftsbau sowie Landwirtschaft relevant. Es werde nach dem Bewirtschafter unterschieden, nicht nach dem Charakter der Fläche. Das heißt, ein Landwirt oder Landschaftspfleger darf Grünschnitt vom Straßenrand verwenden, die Straßenmeisterei nicht.

7.2 Biogasleitung als Energieanlage

Bei der Errichtung von Biogasleitungen ist zu beachten, dass die Leitung ab der Stelle, wo sie das Gelände des Fermenters verlässt, als Energieanlage im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) gilt. Entsprechend sind für Planung, Bau und Betrieb die Anforderungen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW) zu beachten. Für den Betrieb muss daher eine 24-Stunden-Bereitschaft gewährleistet werden. Dies sollte Thema bei Vorgesprächen mit Energieversorgern sein, da diese meist über die notwendige Infrastruktur für eine Überwachung verfügen.

8 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Im Rahmen des Projekts „Mikro-Biogas“ wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für verschiedene Nutzungsoptionen durchgeführt. Außerdem wurde die Bandbreite der möglichen Ergebnisse mittels Parametervariation abgeschätzt. An dieser Stelle werden die wichtigsten Ergebnisse in Kurzform vorgestellt (ausführliche Informationen in Aretz et al. 2010, Dunkelberg et al. 2011).

Das Projekt zielt auf kleinräumige Konzepte, da lange Transportwege vermieden werden sollen. Aufgrund der verhältnismäßig geringen verfügbaren Menge an halmgutartigen Reststoffen in Kommunen sind die realisierbaren Biogasanlagen von geringer Größe. Dies schlägt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen nieder, da die Investitionskosten pro installierte Leistung umso höher ausfallen, je kleiner die Anlage ist. Aus diesem Grund sind die Errichtung und der Betrieb einer neuen Anlage nur unter Optimalbedingungen gewinnbringend. In vielen Fällen wird nach den derzeitigen Vergütungsstrukturen des EEG sowie den vorhandenen Fördermechanismen ein gewinnbringender Betrieb nicht möglich sein.

8.1 EEG-Vergütung und Marktanzreizprogramm

Das Projekt „Mikro-Biogas“ bezieht sich auf die Bedingungen des *EEG 2009*. Die Grundvergütung im EEG 2009 beträgt bei einer Anlagenleistung von maximal 150 Kilowatt 11,67 Cent pro erzeugter elektrischer Kilowattstunde (kWhel)⁶. Hinzu kommen der NawaRo-Bonus von 7 Cent pro kWhel, sofern das Biogas ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen oder Gülle erzeugt wird, und der Gülle-Bonus von 4 Cent, sofern der Anteil an Gülle mindestens 30 Massenprozent beträgt. Außerdem wird im EEG 2009 ab einem Anteil von 50 Massenprozent Landschaftspflegegut der Landschaftspflegebonus von 2 Cent pro kWhel gezahlt. Für genutzte Wärme wird ein zusätzlicher KWK-Bonus von 3 Cent pro kWhel gezahlt.

Mit dem *EEG 2012* wird sich die Grundvergütung von Strom aus Biogas auf 14,3 Cent pro kWhel erhöhen. Voraussetzung für die Vergütung des eingespeisten Stroms wird ab dem 1. 1. 2012 eine Wärmenutzung von 60 Prozent (inklusive 25 Prozent Fermenterbeheizung) der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärme sein. Die Vergütung erhöht sich entsprechend dem jeweiligen Einsatzstoff-Energieertrag um 6 Cent, wenn Substrate aus der Einsatzvergütungsklasse I (z. B. Mais, Getreide) eingesetzt werden, und um 8 Cent, wenn Substrate aus der Einsatzvergütungsklasse II (z. B. Landschaftspflegematerial, Gülle und Mist) eingesetzt werden. Allerdings fallen nach EEG 2012 kommunale Grünflächen aus der Kategorie der Landschaftspflegeflächen heraus. Macht Bioabfall – in diese Kategorie fallen ab diesem Zeitpunkt Park- und Gartenabfälle – mindestens 90 Massenprozent bezogen auf die Einsatzmenge aus, so beträgt die Gesamtvergütung 16 Cent pro kWhel.

Seit Anfang des Jahres 2011 werden *Biogasleitungen* nach dem MAP nicht länger gefördert. Zuvor erhielten sie einen Investitionszuschuss von 30 Prozent. *Nahwärmenetze* erhalten im Rahmen des MAP weiterhin

⁶ Die angegebenen Vergütungen beziehen sich auf das Jahr 2009, die Vergütungen sinken jährlich um 1 Prozent.

eine Förderung von 60 Euro pro Trassenmeter, sofern das Wärmenetz zu mindestens 50 Prozent mit Wärme aus erneuerbaren Energien gespeist wird. Für Wärmenetze von KWK-Anlagen verringert sich der Tilgungszuschuss auf 20 Euro pro Trassenmeter (BMU 2011).

8.2 Methode und Annahmen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung basiert auf der Annuitätenmethode nach der VDI-Richtlinie 2067 (VDI 2000). Damit ist es möglich, alle investitions-, bedarfs- und betriebsabhängigen Kosten unter Berücksichtigung von Zinsen und Inflation auf die Laufzeit der Biogasanlage zu verteilen und den Einnahmen aus dem EEG sowie anderen Einnahmen gegenüberzustellen. Es wurde ein Gesamtbetrachtungszeitraum von 20 Jahren gewählt. Für alle Komponenten, die kürzere Laufzeiten aufweisen, wurden Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Als Grundkonzept wurde ein Nassfermentationsverfahren unterstellt, dem pro Jahr 900 Tonnen pflanzliche Biomasse (50 Volumenprozent), 1.281 Tonnen Rindermist (30 Volumenprozent) und 977 Tonnen Rindergülle (20 Volumenprozent) zugeführt werden. Bei der pflanzlichen Biomasse handelt es sich ausschließlich um Reststoffe, es wurde von einer Mischung aus Grünschnitt von Parkanlagen, Sportplätzen und Extensivgrünland ausgegangen. Mais als potenzielles Biogassubstrat wird hier nicht berücksichtigt. Der Betrieb von Trockenfermentationsanlagen ist bei sehr kleinen Anlagen, wie sie in diesem Konzept bei hauptsächlichlicher Nutzung der biogenen Reststoffe auftreten, aufgrund von hohen Investitionskosten kaum gewinnbringend möglich. Deshalb stellt dieser Leitfaden ausschließlich die Ergebnisse für Nassfermentationsverfahren vor. Angaben zu den gewählten Annahmen sowie deren Herleitung finden sich im Anhang dieses Leitfadens.

8.3 Relevante Einflussgrößen

Die im Folgenden dargestellte Wirtschaftlichkeitsberechnung bezieht sich auf eine Nassfermentationsanlage mit einer Nennleistung von 43 kW. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung gehen zahlreiche Annahmen ein, die teils erhebliche Auswirkungen auf das Ergebnis zeigen. Eine Pauschalaussage, ob sich Errichtung und Betrieb einer Biogasanlage zur Verwertung von kommunalem Grünschnitt lohnen, ist ohne Kenntnis der konkreten lokalen Rahmenbedingungen nicht möglich. Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden ausgehend von einer Basisvariante verschiedene Parameter variiert, um ihren Einfluss auf das Ergebnis zu ermitteln. Die Basisvariante zeichnet sich durch spezifische Investitionskosten von 6.500 Euro pro installierte Leistung (in kWel) für die Biogasanlage aus, durch eine Netzlänge von 1.500 Metern und einen Gasertrag aus Grünschnitt von 105 Kubikmeter Biogas pro Tonne Frischmasse. Der Gasertragswert basiert auf Beispielmessungen im Landkreis Schwäbisch Hall⁷.

Als Spannweite wurden bei den spezifischen Investitionskosten Werte zwischen 5.500 Euro und 7.500 Euro pro kWel angesetzt. Die Länge der

⁷ Den Messungen zufolge liegt der Gasertrag von kommunalem Grünschnitt und Grünschnitt von Extensivgrünland zwischen 400 und 635 Kubikmeter pro Tonne organische Trockensubstanz (siehe Tabelle 1). An dieser Stelle wurde ein Mischwert von 550 Kubikmeter pro Tonne angenommen. Die Umrechnung auf Gasertrag pro Tonne Frischmasse basiert auf der Annahme, dass der Trockenmassegehalt 20 Prozent, und der Gehalt an organischer Substanz 95 Prozent betragen.

Biogasleitung wurde zwischen 1.000 und 2.000 Metern variiert. Um mögliche Schwankungen im Gasertrag abzudecken, wurde der Gasertrag zwischen 80 und 130 Kubikmeter pro Tonne Frischmasse variiert. Außerdem wurden jeweils eine Variante mit und ohne Transportkosten für den Grünschnitt und mit und ohne Eigenwärmebedarfsdeckung berechnet. Wird das Biogas per Biogasleitung zu einem weiter entfernt liegenden BHKW geleitet, so ist ein zusätzlicher Gasbrenner am Ort des Fermenters notwendig. Für den Betrieb dieses Gasbrenners müssen etwa 25 Prozent des erzeugten Gases abgezweigt werden, weshalb sich die Elektrizitätserzeugung und die erzielbaren Gewinne verringern.

Die Parametervariation zeigt, dass insbesondere die Investitionskosten, der Gasertrag, der Eigenwärmebedarf und die Netzlänge einen starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ausüben (siehe Abbildung 2). Um ein gewinnbringendes Ergebnis zu erzielen, ist es nahezu unerlässlich, dass bereits eine Wärmequelle am Fermenter vorhanden ist, da der zusätzliche Gasbrenner sowie der Verlust an Gas zu hohe Kosten beziehungsweise einen zu hohen Einkommensverlust verursachen.

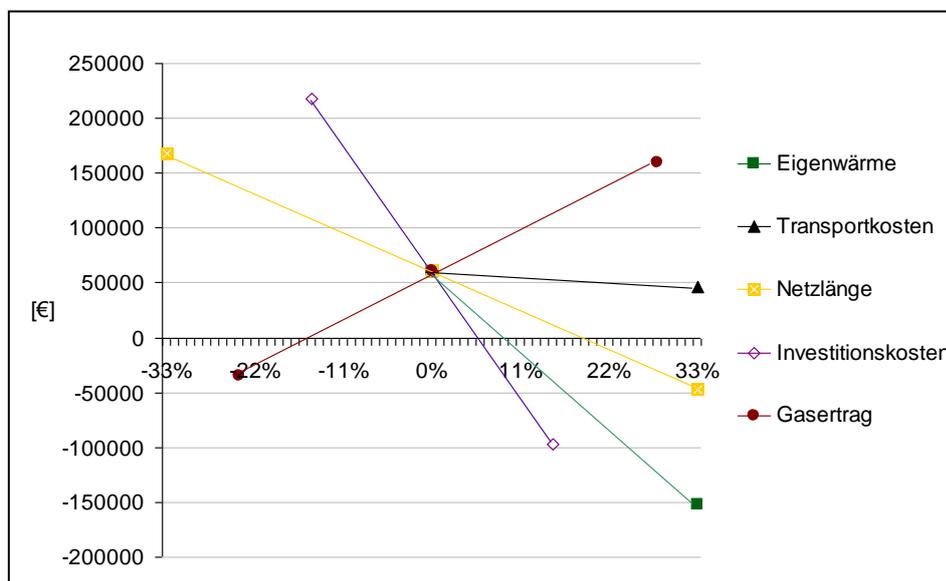


Abbildung 2: Variation der Parameter Investitionskosten, Transportkosten, Netzlänge, Eigenwärme und Gasertrag und ihr Einfluss auf die Höhe der Gewinne bzw. Verluste über 20 Jahre

8.4 Ergebnisse verschiedener Konzepte

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung verdeutlichen, dass Errichtung und Betrieb einer neuen dezentralen Biogasanlage auf der Basis von Restschnittgut mit einem separaten BHKW nur unter sehr günstigen Rahmenbedingungen gewinnbringend möglich ist. In den in Tabelle 3 aufgeführten Varianten wurde angenommen, dass die Kommune die Transportkosten übernimmt, da zugleich Entsorgungskosten gespart werden. Als Investitionskosten wurden wiederum 6.500 Euro und als Gasertrag 105 Kubikmeter pro Tonne Frischmasse angenommen.

Tabelle 3: Annahmen und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen (nach den Vergütungsstrukturen des EEG 2009)

	Biogasleitung		Wärmeleitung	
Netzlänge [m]	1.000	2.000	1.000	2.000
Über- bzw. Unterdeckung über 20 Jahre [€]	178.183	-36.888	170.930	-202.295

Außerdem wurde angenommen, dass am Ort des Fermenters eine Wärmequelle vorhanden ist – dies kann beispielsweise ein bereits vorhandenes BHKW sein. Ein wirtschaftlicher Betrieb mit einer Biogasleitung ist unter diesen Voraussetzungen bis zu einer Leitungslänge bis etwa 1.800 Meter möglich, eine Länge von 2.000 Metern verursacht unter den gewählten Bedingungen Verluste. Neben einem Transport des Gases zu einem BHKW direkt beim Wärmeabnehmer kommt der Transport der Wärme zum Wärmeabnehmer mit einer Wärmeleitung infrage. Eine Wärmeleitung ergibt bei geringer Leitungslänge etwas bessere, bei längeren Leitungen jedoch schlechtere Ergebnisse. Dies ist auf die höheren spezifischen Investitionskosten (Leitungs- und Tiefbaukosten) pro Trassenmeter zurückzuführen. Dagegen fallen Investitionen in Vorrichtungen zur Kühlung und Verdichtung sowie stetig anfallende Stromkosten weg, was sich bei geringen Längen positiv auswirkt.

Die geplanten Änderungen im EEG 2012 führen dazu, dass nahezu keines der untersuchten Konzepte mehr gewinnbringend darstellbar ist. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der KWK-Bonus entfällt, dass Zusatzboni nur entsprechend dem jeweiligen Einsatzstoff-Energieertrag gewährt werden und dass kommunaler Grünschnitt nicht länger zur Kategorie Landschaftspflegematerial zählt. Die Errichtung einer Biogasleitung ist nach EEG 2012 bei derart kleinen Anlagen nicht mehr wirtschaftlich möglich, Voraussetzung für einen gewinnbringenden Betrieb solcher Anlagen wird daher ein geeigneter Wärmeabnehmer am Ort der Biogasproduktion sein.

8.5 Einsatz in Bestandsanlagen

In Bestandsanlagen kann zum Beispiel Mais durch Restschnittgut ersetzt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Substitution wird durch die jeweiligen Bereitstellungskosten der Substrate Mais bzw. Gras sowie durch die jeweiligen Gaserträge bestimmt. Abbildung 3 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Gaserträgen und Bereitstellungskosten. Da die Kosten für die Bereitstellung des Grünschnitts geringer sind als die für Maissilage, werden bei einem geringeren Graspasertrag die gleichen Gewinne erzielt wie bei einem höheren Maisgasertrag. Aus diesem Grund liegt die Gerade für den Einsatz von Grassilage auf der x-Achse nach links versetzt. Für Maissilage sind drei Kurven für verschiedene Bereitstellungskosten dargestellt.

Das Diagramm lässt sich folgendermaßen interpretieren: Geht man für Grassilage von einem Graspasertrag von 105 Kubikmeter pro Tonne Frischmasse (keine Bereitstellungskosten) und von Bereitstellungskosten für Mais von 36 Euro pro Tonne Frischmasse aus, so darf der Gasertrag

aus Mais 193 Kubikmeter pro Tonne Frischmasse nicht überschreiten, sofern die Substitution gewinnbringend sein soll.

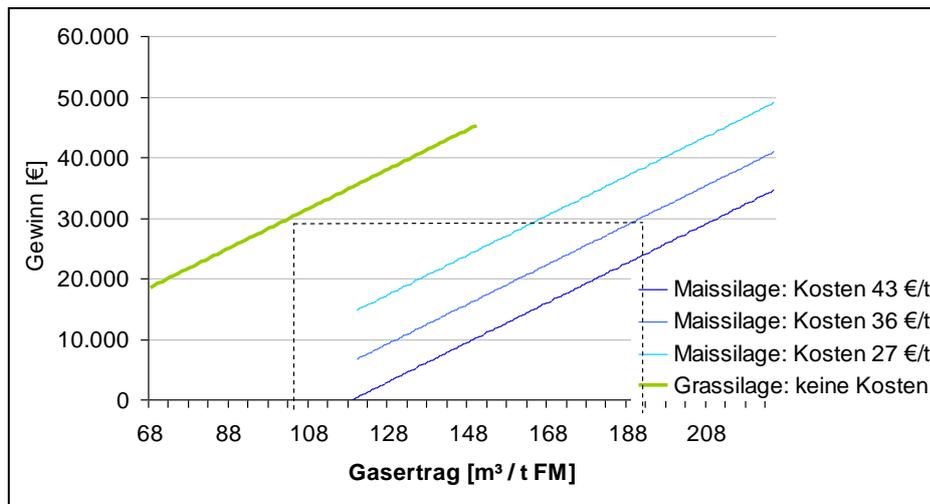


Abbildung 3: Gewinnfunktionen für den Einsatz von Grassilage und Maissilage in bestehenden Biogasanlagen (350 kWel), Inbetriebnahme der Bestandsanlage: 2010, mit Wärmenutzung

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist außerdem die Höhe der Einnahmen pro ausgekoppelter Energie. Die Einnahmen hängen vor allem von den geltenden Vergütungsstrukturen ab. Um unterschiedliche Voraussetzungen zu berücksichtigen, wurde die Wirtschaftlichkeit für ein BHKW einer elektrischen Leistung < 150 kWel sowie für ein BHKW einer elektrischen Leistung zwischen 150 und 500 kWel berechnet. Zusätzlich wurden für beide Anlagentypen zwei Inbetriebnahmezeitpunkte – 2004 und 2010 – unterschieden. Aus den Berechnungen lassen sich einige Schlussfolgerungen ziehen: Der Ersatz von Maissilage durch Grassilage ist nur unter spezifischen Bedingungen gewinnbringend. Der Ersatz ist dabei umso eher lohnend, je geringer die Einnahmen pro ausgekoppelter Energie sind: Bei älteren und bei größeren Anlagen sind die EEG-Vergütungssätze geringer als bei jüngeren und kleineren Anlagen. In älteren und größeren Anlagen ist daher eher ein gewinnbringender Einsatz von Grassilage in Bestandsanlagen möglich. Wird die produzierte Wärme nicht genutzt, sodass die Einnahmen aus KWK-Bonus und aus dem Wärmeverkauf wegfallen, so ist eine Wirtschaftlichkeit ebenfalls wahrscheinlicher beziehungsweise ist der zusätzliche Gewinn für den Betreiber größer. Ein Anlagenbetreiber kann über die Art seiner Anlage, einige technische Parameter, die Bereitstellungskosten für Maissilage und Grassilage sowie über die jeweiligen Gaserträge verhältnismäßig leicht abschätzen, ob sich durch den Einsatz von Grünschnitt ein zusätzlicher Gewinn erzielen lässt.

9 Wertschöpfungseffekte

Im Rahmen des Projektes „Mikro-Biogas“ wurde eine Abschätzung der regionalwirtschaftlichen Effekte vorgenommen, die sich infolge der Realisierung der favorisierten Anlagenkonzepte einstellen. Dabei ist die Quantifizierung der Wertschöpfung ein in der Praxis weit verbreiteter Indikator für die Steigerung der Wirtschaftsleistung einer Kommune oder Region. Damit verbunden sind Arbeitsplätze in unterschiedlichsten Wirtschaftszweigen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die aus der Investition und dem Betrieb der Anlage resultieren.

Inwieweit eine Kommune durch die Investition in ein Mikrobiogaskonzept profitieren kann, ist abhängig von der Anzahl an lokalen Akteuren, die an der Wertschöpfung partizipieren. Dabei ist insbesondere dem Betrieb eine entscheidende Rolle zuzuweisen, da Dienstleistungen wie die Wartung und Instandhaltung oftmals von lokalen Handwerksunternehmen durchgeführt werden können. Demgegenüber ist die Produktion von Anlagenkomponenten geografisch auf wenige Standorte in Deutschland verteilt und eher selten in den jeweiligen Kommunen anzutreffen.

In methodischer Hinsicht werden für alle unternehmerischen Tätigkeiten entlang des gesamten Lebenszyklus der Biogasanlage vier Wertschöpfungsstufen definiert. An den meisten dieser Schritte sind Unternehmen beteiligt, die Gewinne generieren, Beschäftigung erzeugen und Steuern zahlen:

- Produktion
- Planung, Installation etc.
- Technische Betriebsführung (Wartung, Instandhaltung, Pacht etc.)
- Betreibergesellschaft (kaufmännische Betriebsführung, Gewinnermittlung)

Die Ergebnisse der Wertschöpfungseffekte durch die Produktion und den Betrieb einer Nassfermentationsanlage mit einer Nennleistung von 43 kW und einem Gasnetz mit einer Länge von 1.000 m sind in der nachfolgenden Tabelle im Überblick, sowie in den darauf folgenden Abbildungen grafisch dargestellt. Dabei zeigt die erste Grafik die einmaligen sowie jährlichen Effekte. Die zweite Grafik zeigt die über eine Laufzeit von 20 Jahren generierte Wertschöpfung des gesamten Anlagenkonzepts. Dabei verdeutlichen die Ergebnisse die maximal erzielbare Wertschöpfung, das heißt, dass alle beteiligten Akteure in der Kommune ansässig sind.

Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, würde demnach durch die Investition in ein Mikrobiogaskonzept sowie die notwendigen Ersatzinvestitionen (inkl. Rückbau) eine kommunale Wertschöpfung in Höhe von 179.246 Euro generiert werden, wenn die Produktion und Errichtung der Anlage durch lokal ansässige Unternehmen erfolgt.

Die jährlichen Wertschöpfungseffekte aus dem Betrieb der Anlage erreichen einen Wert von 25.409 Euro. Diese Wertschöpfung könnte in

der Kommune verbleiben. Die Wartung und Instandhaltung der Anlagen kann zum Beispiel neben dem Hersteller auch von kleinen kommunalen Handwerksbetrieben durchgeführt werden. Zudem sind die jährlichen Wertschöpfungseffekte der Betreibergesellschaft hinzuzufügen, die dem Landwirt oder auch der Kommune zufließen. In den Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass die Anlage hauptsächlich von dem Landwirt getragen wird und dementsprechend Einkommensteuer auf den Betreiberertrag anfällt.

Über eine Anlagenlaufzeit von 20 Jahren ergeben sich demzufolge mehr als 508.193 Euro an kommunaler Wertschöpfung. Dabei entfällt der Großteil der Wertschöpfung auf die Gewinne nach Steuern, gefolgt von den Nettoeinkommen der Beschäftigten sowie den Steuern an die Kommune.

Tabelle 4: Wertschöpfungseffekte des Mikrobiogaskonzepts einer Nassfermentationsanlage

Wertschöpfungsstufe	Nach-Steuer-Gewinn	Netto-beschäftigung	Gewerbe-steuer (netto)	Kommunal-anteil an der Ein-kommen-steuer	Wert-schöp-fung gesamt
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro
Einmalige Effekte					
Biogasanlage	18.752	114.070	3.233	5.964	142.018
<i>davon Anlagen-komponenten</i>	<i>8.543</i>	<i>48.055</i>	<i>1.484</i>	<i>2.505</i>	<i>60.588</i>
<i>davon Planung, Installation etc.</i>	<i>2.227</i>	<i>16.390</i>	<i>382</i>	<i>835</i>	<i>19.834</i>
<i>davon Ersatz-investitionen und Rückbau</i>	<i>7.982</i>	<i>49.624</i>	<i>1.366</i>	<i>2.624</i>	<i>61.596</i>
Mikrogasnetz	5.598	29.380	990	1.260	37.228
<i>davon Rohr-leitungen</i>	<i>2.497</i>	<i>7.531</i>	<i>428</i>	<i>260</i>	<i>10.716</i>
<i>davon Tiefbau</i>	<i>3.101</i>	<i>21.849</i>	<i>562</i>	<i>1.001</i>	<i>26.512</i>
Gesamt	24.350	143.449	4.223	7.224	179.246
Jährliche Effekte					
Betrieb	3.169	10.519	390	478	14.556
<i>davon Biogas-anlage</i>	<i>2.785</i>	<i>9.906</i>	<i>326</i>	<i>447</i>	<i>13.464</i>
<i>davon Mikrogas-netz</i>	<i>384</i>	<i>614</i>	<i>63</i>	<i>31</i>	<i>1.092</i>
Betreibergesellschaft	10.222	0	0	632	10.853
Gesamt	13.391	10.519	390	1.110	25.409

Wertschöpfungs- stufe	Nach- Steuer- Gewinn	Netto- beschäfti- gung	Gewerbe- steuer (netto)	Kommunal- anteil an der Ein- kommen- steuer	Wert- schöp- fung gesamt
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro
Jährliche Effekte auf 20 Jahre hochgerechnet					
Betrieb	63.381	210.387	7.791	9.564	291.123
<i>davon Biogas- anlage</i>	55.699	198.115	6.523	8.948	269.285
<i>davon Mikrogas- netz</i>	7.682	12.272	1.269	615	21.838
Betreibergesell- schaft	204.431	0	0	12.638	217.069
Gesamt	267.812	210.387	7.791	22.202	508.193

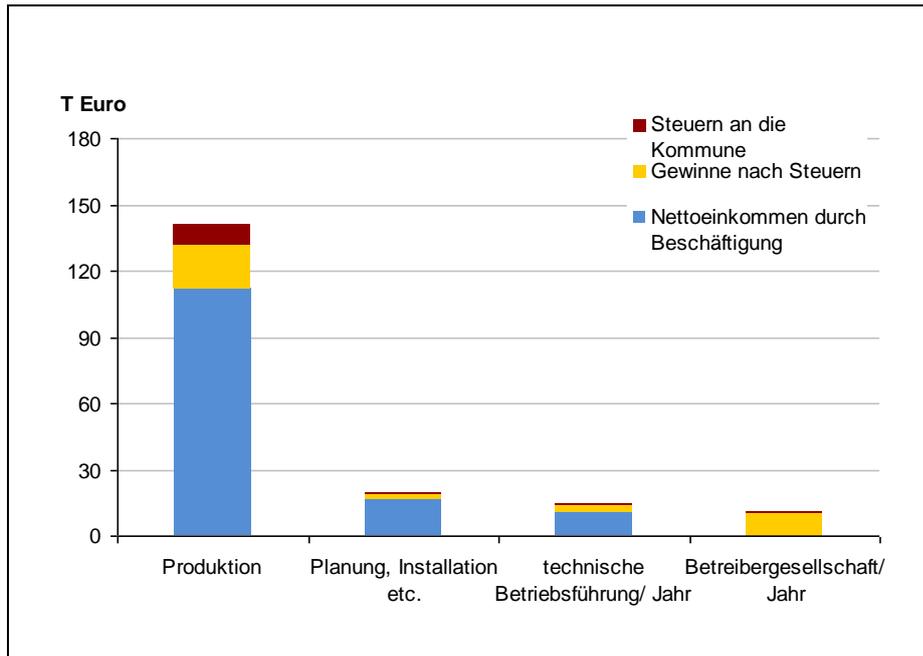


Abbildung 4: Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in tausend Euro, unterteilt in einmalige und jährliche Effekte

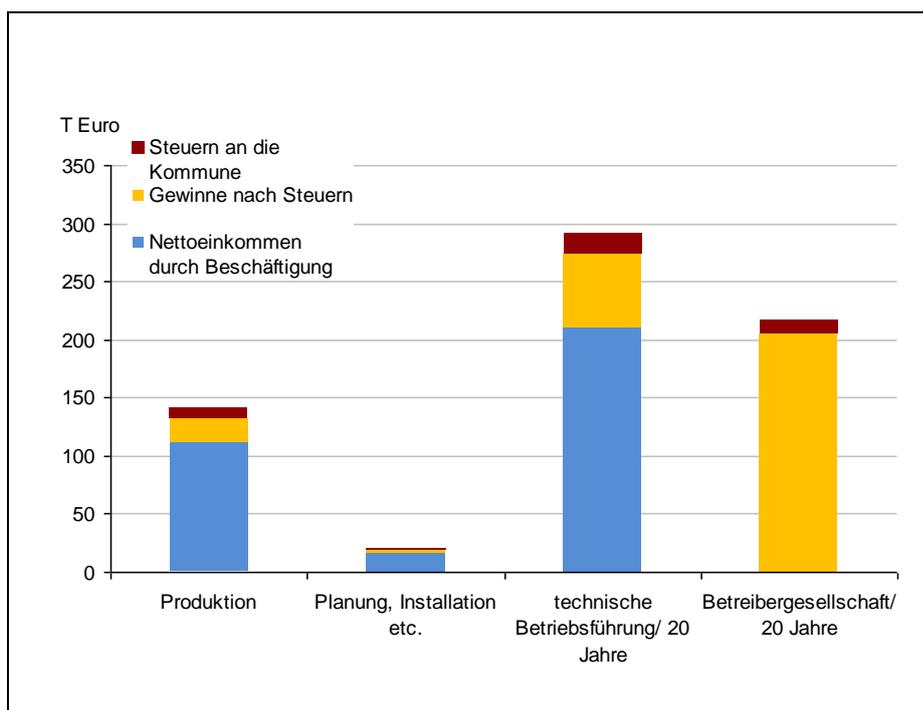


Abbildung 5: Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in tausend Euro, über 20 Jahre Anlagenlaufzeit

10 Ökologische Aspekte

Aus ökologischer Perspektive ist die Verwertung von kommunalem Grünschnitt in Biogasanlagen aus mehreren Gründen zu empfehlen:

- *Klimaschutz:* Im Vergleich zur fossilen Energieerzeugung werden Treibhausgasemissionen eingespart. Nach Berechnungen im Projekt „Mikro-Biogas“ können durch den Betrieb einer Biogasanlage im Nassfermentationsverfahren 0,27 Kilogramm Treibhausgase pro Megajoule Elektrizität eingespart werden.⁸ Dies entspricht einer Einsparung von 220 Tonnen Treibhausgasen pro Jahr im Vergleich zu fossiler Elektrizitätserzeugung. Über die gesamte Lebensdauer von 20 Jahren können 4.400 Tonnen Treibhausgase eingespart werden (s. Dunkelberg 2010).
- *Naturschutz und Biodiversität:* Mit abnehmenden Milchviehbeständen droht Grünlandflächen die Verbrachung. Dadurch nimmt der naturschutzfachliche Wert der entsprechenden Flächen in der Regel langfristig ab. Das Freihalten der entsprechenden Flächen ist außerdem zur Erhaltung der traditionellen Kulturlandschaften mit hohem Erholungswert erforderlich. Einnahmen aus der energetischen Verwertung bzw. die kostenneutrale Abnahme von Schnittgut können die Finanzierung der Pflegemaßnahmen unterstützen.
- *Nutzungskonkurrenz:* Für die Bereitstellung von Grünschnitt aus kommunalen oder aus der Nutzung gegangenen Flächen entfällt die Nutzungskonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Ein kleiner Teil des Grünschnitts gelangt derzeit in Kompostierungswerke. Im Sinne der Kaskadennutzung ist es jedoch sinnvoll, die Reststoffe zunächst energetisch zu verwerten, um die Gärreste danach als Düngemittel zu nutzen.

Im Vergleich zu Biomasse, die eigens zum Zwecke der energetischen Nutzung angebaut wird, weist das vorgeschlagene Konzept einige Vorteile auf. Beispielsweise werden nachwachsende Rohstoffe wie Mais oder auch Grünland gedüngt, um die Erträge zu erhöhen. Die Düngung wirkt sich jedoch negativ auf die Treibhausgasbilanz aus (Energiebedarf zur Herstellung und Ausbringung von Düngemitteln, Lachgasemissionen) und führt zu einer Nährstoffanreicherung im Boden und Nährstoffausträgen in Gewässer. Grünflächen werden außerdem häufiger geschnitten, um die Biomassepotenziale und damit die flächenbezogenen Gaserträge zu erhöhen. Ein häufigerer Schnitt beeinträchtigt in der Regel in erheblichem Umfang die Artenvielfalt eines Standorts.

Der Einsatz von kommunalem Grünschnitt in Bestandsanlagen ist aus ökologischen Gründen ebenfalls zu empfehlen, sofern Mais substituiert wird. Maisanbau führt durch hohe Düngergaben, Herbizidbehandlungen und fehlende Bodendeckung potenziell zu besonders hohen Beeinträchtigungen der Umwelt. Wichtig sind im Zusammenhang mit Treibhausgasbilanzen insbesondere erhöhte Lachgasemissionen als Folge von Düngung.

⁸ Die Berechnungen erfolgten analog zu den Wirtschaftlichkeitsberechnungen für eine Biogasanlage, der pro Jahr 900 Tonnen Grünschnitt (50 Vol-%), 1.281 Tonnen Rindermist (30 Vol-%) und 977 Tonnen Rindergülle (20 Vol-%) zugeführt werden.

11 Anhang

11.1 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Berechnung nach dem Annuitätenverfahren, welches regelmäßig jährlich fließende Zahlungen sowie den Einfluss von Zinsen und Tilgung berücksichtigt, sind Annahmen über die Höhe der jährlichen Zinsen und der jährlichen Inflation sowie den Betrachtungszeitraum zu treffen. Diese dienen als Grundlage für die Berechnung des Annuitätenfaktors beziehungsweise des preisdynamischen Annuitätenfaktors. Als Betrachtungszeitraum wurden 20 Jahre gewählt, da für diese Zeitspanne der EEG-Anspruch geltend gemacht werden kann und für die meisten Anlagenkomponenten diese Lebensdauer zu erwarten ist. Für Komponenten, denen eine kürzere Lebensdauer zugeschrieben wird, wurden Ersatzinvestitionen berücksichtigt.

In der Regel wird im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsberechnungen derzeit eine Inflationsrate von 1,5 bis 2 Prozent angesetzt. Für die Berechnungen wurde eine Rate von 1,6 Prozent gewählt, was laut Statistischem Bundesamt der mittleren deutschen Inflationsrate der letzten 10 Jahre (2000–2009) entspricht.

Als Zinssatz zur Berechnung der Annuität wurde ein Zins von 5,5 Prozent angesetzt. Im Falle einer Eigenkapitalbeteiligung an der Anlage ist entsprechend dieser Zinssatz als Eigenkapitalrendite zu erwarten.

Tabelle 5 zeigt diese Annahmen und die sich daraus errechnenden Annuitätenfaktor, Barwertfaktor und preisdynamischer Annuitätenfaktor.

Tabelle 5: Annahmen zur Annuitätenberechnung

Laufzeit	20 Jahre	Annuitätenfaktor	0,08718456
Zinsfaktor	1,055	Barwertfaktor	13,56955009
Inflationsfaktor	1,016	Preisdynamischer Annuitätenfaktor (Basis Inflationsrate)	1,13549086
		Preisdynamischer Annuitätenfaktor (für Strompreis)	1,389292418

Für Eigenverbräuche von Strom wird die Preisentwicklung für den Betrachtungszeitraum berücksichtigt, um die verbrauchsbedingten jährlichen Ausgaben realistisch zu berücksichtigen. Auf der Einnahmenseite werden für EEG-fähige Anlagen die jeweilige Vergütung und Boni in die Rechnung einbezogen. Weitere Förderungen, zum Beispiel durch das Marktanreizprogramm, werden ebenso berücksichtigt. Für den Verkauf von Wärme werden als Referenzwert Preise für Fernwärme herangezogen. Für den Verkauf der Gärreste werden keine Einnahmen unterstellt, da für Wirtschaftsdünger keine Erlöse zu erwarten sind. Annuitäten für alle investitionsbezogenen Kosten werden mithilfe des Annuitätenfaktors ermittelt. Alle anderen Kostenkategorien, also vor allem die bedarfs- und betriebsbezogenen Kosten, unterliegen Preissteigerungen

im Zeitablauf. Diese werden durch den preisdynamischen Annuitätenfaktor berücksichtigt, der sich als Produkt aus Annuitätenfaktor und Barwertfaktor errechnet. Für die Steigerung der bedarfs- und betriebsbezogenen Kosten wurde die Inflationsrate zugrunde gelegt. Eine Ausnahme bildet die Annahme für die Strompreise, weil davon auszugehen ist, dass im Hinblick auf die Entwicklung der Strompreise in den letzten Jahren die Steigerung über der Inflationsrate liegen wird. Die Endkundenstrompreise sind in den letzten zehn Jahren (2001-2010) durchschnittlich um 5,5 Prozent gestiegen. Da möglicherweise die Strompreise für Großkunden nicht in dem Maße steigen werden, wurde für den Strompreis eine Steigerung von 4 Prozent pro Jahr angenommen. Für die derzeitigen Strombezugskosten wurde ein Arbeitspreis von 13,86 Cent/kWh angesetzt. Mit dieser Steigerungsrate ergibt sich ein etwas höherer preisdynamischer Annuitätenfaktor.

Die dieser Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde liegende VDI-Richtlinie 2067 unterscheidet in investitions-, bedarfs-, betriebsbezogene und sonstige Kosten. Einen Überblick zu den Kostengruppen und -arten gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Kostenbegriffe nach VDI 2067

Investitionsbezogene Kosten	Bedarfsbezogene Kosten	Betriebsbezogene Kosten	Sonstige Kosten
Anlagenkomponenten	Energiekosten Kosten für Betriebsstoffe	Personalkosten	Versicherungen
Bauliche Anlagen			Steuern
Anschlusskosten			Allgemeine Abgaben
Instandsetzung			Gewinn und Verlust

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde zwischen Investitions- und Betriebskosten unterschieden sowie bei den sonstigen Kosten noch die Ersatzinvestitionen und der Rückbau berücksichtigt. In Tabelle 7 sind die betrachteten Komponenten und Kostenpositionen aufgeführt.

Tabelle 7: Kostenpositionen zur Bewertung von Biogaskonzepten

Investitionsbezogene Kosten	Betriebskosten	Ersatzinvestitionen/ Sonstiges
Substratlagerung/ Silierung	Wartung	Technische Anlagen
Feststoffeintragsysteme	- BHKW	BHKW (Gas-Otto-Motor)
Ausbringtechnik	- Übrige Bauteile	- 1. Generalüberholung BHKW
Rührwerk	- Gasbrenner	- 2. Generalüberholung BHKW
Fermenter	- Kühlung/Verdichtung	Gasbrenner
Entschwefelung	- Gasnetz	Gaskühlung und Ver- dichtung
Methananreicherung	Stromkosten (für Rührwerke und Kühlung/Verdichtung)	Rückbau
Gärrestelager	Laboranalysen	
Gasspeicher (dezentral)	Versicherung	
Gasbrenner	Pacht	
Notfackel	Personalkosten (Löhne, Verwaltung)	
Gasnetz	Chemischer Zusatz für Silage	
BHKW (zentral)	Transportkosten für Gär- restausbringung	
Gasspeicher (zentral)	Transportkosten für landwirtschaftliche Züge (für Wirtschaftsdünger)	
Lokales Wärmenetz	Transportkosten für kommunale Sammel- fahrzeuge (für Grün- schnitt)	
Unvorhergesehenes		

Aufgrund der starken Unterschiede im Anlagenaufbau und im Leistungsbereich gibt es eine sehr große Schwankungsbreite bei den spezifischen Investitionssummen für eine Biogasanlage. Sie beträgt nach den Ergebnissen des Biogasmessprogramms II (FNR 2009) zwischen 1.529 EUR und 6.140 EUR/kWel. Allerdings sind die Anlagen im kleinen Leistungsbereich deutlich unterrepräsentiert, sodass eine Annahme für die hier betrachtete Anlagengröße nicht abgeleitet werden kann. Um einen möglichst realistischen Wert zu verwenden, wurden Daten von klein dimensionierten Bestandsanlagen ausgewertet sowie Experteninterviews geführt, die insgesamt Hinweise auf deutlich höhere Investitionskosten in dem Leistungsbereich geben. Die spezifischen Investitions- und Investitionsnebenkosten wurden daher mit 6.500 EUR/kWel für die Nassfermentation angenommen (zzgl. eines Sicherheitsaufschlags für Unvorhergesehenes). Mit diesen Kosten werden die Komponenten einer Biogasanlage abgedeckt. Für dieses Konzept zusätzlich erforderliche Komponenten, wie das Gasleitungsnetz oder die Anlage zur Kühlung

und Verdichtung, werden darüber hinaus einkalkuliert. Für das Gasnetz wurden Kosten von 100 Euro je Meter angenommen. Damit wurden für das Netz mittlere Kosten angesetzt (vgl. Blokhina et al. 2009). Andere Quellen geben für den Meter Biogasnetz Werte zwischen 55 und 110 Euro an (Beese 2006). Mit den angesetzten 100 Euro je Meter sind alle Kosten für den Tiefbau, die Rohre sowie alle Anschlüsse berücksichtigt. Für das Wärmeleitungsnetz wurden Kosten von 210 Euro pro Meter angenommen, wobei eine Förderung von 20 Euro pro Meter durch das Marktanzreizprogramm berücksichtigt wurde (BMU 2011).

Bei den Betriebskosten werden jährliche Kosten für Wartung, Eigenstromverbrauch, Laboranalysen, Versicherung, Pacht, Personalkosten sowie Transportkosten für die Substrate und die Gärrestausbringung berücksichtigt. Für Nassfermentationsanlagen wird ein mittlerer Eigenstrombedarf von 8 Prozent bezogen auf die erzeugte Stromproduktion zugrunde gelegt (vgl. FNR 2009). Dabei wird von einem Strompreis für Großkunden von 13,86 Cent/kWh (ohne USt.)⁹ ausgegangen. Darin noch nicht berücksichtigt ist der Strombedarf für Kühlung und Verdichtung des Biogases. Für Verdichtung wurden pauschal Stromkosten von 1.500 Euro angenommen. Da die Datenlage keine Rückschlüsse darauf zulässt, ob darin bereits der Strombedarf für Kühlung enthalten ist, wurde für Kühlung noch kein separater Strombedarf angerechnet. Ein Aufwand für Dieselkraftstoff wird für das Nassfermentationsbeispiel nicht angesetzt, da Nassfermentationsanlagen durch strombasierte Beschickungssysteme mit Substrat versorgt werden.

Die Substratkosten wurden mit Null angesetzt, da die Pflegemaßnahmen ohnehin durchgeführt werden müssen und daher keine zusätzlichen Kosten anfallen. Allerdings können längere Transportwege und damit höhere Transportkosten auftreten. Dies betrifft sowohl die Substrate als auch die Gärreste. Für den Wirtschaftsdünger- und den Gärrestetransport wurden 0,85 Euro pro Tonne angerechnet. Zusätzliche Transportkosten für Grünschnitt wurden nicht berücksichtigt.

Des Weiteren fallen für die Gewährleistung des Betriebs der Anlage Personalkosten an. Dafür wurde ein Arbeitsaufwand von täglich einer Stunde angesetzt, also 365 Stunden pro Jahr, bei einem Stundenlohn von 15 Euro.

Als dritte Kostenposition treten Ersatzinvestitionen und sonstige Kosten auf, zu denen auch der Rückbau zählt. Die Ersatzinvestitionen werden dann erforderlich, wenn die technische Lebensdauer einzelner Komponenten kürzer ist als der Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Dies betrifft technische Anlagenkomponenten, das BHKW, den Gasbrenner sowie die Gaskühlung und Verdichtung. Für die Technik wurde eine durchschnittliche Lebensdauer über alle Komponenten von zehn Jahren unterstellt, ebenso für den Gasbrenner. Die Anlage zur Kühlung und Verdichtung hat eine längere Lebensdauer von 12 Jahren und weist entsprechend nach 20 Jahren noch einen Restwert auf, der hier allerdings wegen der geringen Höhe vernachlässigt wurde.

Für das BHKW wurde angenommen, dass es nach sechs Jahren generalüberholt wird und dann noch vier weitere Jahre betrieben werden

⁹ Die Umsatzsteuer wurde nicht berücksichtigt, weil die Betreiber in der Regel vorsteuerabzugsberechtigt sind.

kann. Danach erfolgt ein Ersatz und nach weiteren sechs Jahren steht erneut eine Generalüberholung an. Für die bei den Ersatzmaßnahmen anfallenden Investitionskosten werden entsprechend ihres Eintretens die jeweiligen Barwerte für das Jahr der Installation der Anlage und daraus eine Annuität berechnet.

Für die Berechnung der Einnahmenseite dieser Anlage wurden die Vergütungssätze und Boni des EEG zugrunde gelegt. Zusätzlich erzielt die Anlage Einnahmen aus dem Wärmeverkauf. Die Wärmegutschrift wurde mit 4,5 Cent/kWh festgelegt. Die für die Berechnung der Einnahmen wesentlichen Annahmen sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Annahmen zur Einnahmenberechnung Nassfermentation

Betrachtungszeitraum	20 Jahre	Volllaststunden	8.000
Elektrischer Wirkungsgrad BHKW	35%	Durchschnittliche Wärmenutzung	60%
Thermischer Wirkungsgrad BHKW	50%	Preis für Wärmeverkauf	4,5 Cent/kWh

Aus der BHKW-Dimensionierung von 43 kW installierter Leistung und den 8.000 Volllaststunden ergibt sich eine jährliche Brutto-Stromerzeugung von etwa 347.000 kWh. Für diese Strommenge wurden die für das Jahr 2011 gültigen Vergütungssätze für Biogasanlagen kleiner 150 kW und alle dazugehörigen Boni berechnet. Mit der Substratzusammensetzung ist die Voraussetzung für die Gewährung des Landschaftspflegebonus nicht gegeben, weil dafür im Jahresdurchschnitt mehr als 50 Prozent (Gewicht der Frischmasse gemessen in Tonnen) aller Einsatzstoffe Landschaftspflegematerial sein müssten. Da diese Voraussetzung im vorliegenden Modell nicht erfüllt wird, wurde der Bonus nicht berücksichtigt.

11.2 Einsatz in Bestandsanlagen

Um unterschiedliche Voraussetzungen hinsichtlich der gegebenen Bestandsanlagen zu berücksichtigen, wurde die Wirtschaftlichkeit für ein BHKW einer elektrischen Leistung < 150 kWel sowie für ein BHKW einer elektrischen Leistung zwischen 150 und 500 kWel berechnet. Zusätzlich wurden für beide Anlagentypen jeweils zwei Inbetriebnahmezeitpunkte – 2004 und 2010 – unterschieden, um variierende EEG-Vergütungssätze aufgrund des jeweils gültigen EEG zu berücksichtigen.

Der Gewinn der jeweiligen Situation (Einsatz von Maissilage oder Grassilage) ergibt sich durch die Differenz von Einnahmen und Kosten:

$$G = E - K$$

G = Gewinn [EUR]

E = Einnahmen [EUR]

K = Kosten [EUR]

Auf der Seite der Einnahmen wurden die EEG-Vergütungen inklusive der entsprechenden Boni (siehe Tabelle 9) sowie optional Einnahmen aus dem Verkauf der Wärme mit 4,5 Cent/kWhth berücksichtigt. Einflussfaktoren auf die Höhe der Einnahmen sind außerdem technische Parameter, wie der elektrische und thermische Wirkungsgrad, sowie die Volllaststunden, da sie die Ausbeute an produzierter elektrischer und thermischer Energie bestimmen.

Tabelle 9: EEG-Vergütung für Biogasanlagen bis 150 kWel und bis 500 kWel im Jahr 2010 (nach EEG 2009) und im Jahr 2004 (nach EEG 2004)

	2004		2010	
	150 kWel	500 kWel	150 kWel	500 kWel
	Eurocent	Eurocent	Eurocent	Eurocent
EEG-Vergütung Biogas	11,50	9,90	11,55	9,09
NawaRo-Bonus	6,00	6,00	6,93	6,93
Gülle-Bonus			3,96	0,99
KWK-Bonus (optional)	2,00	2,00	2,97	2,97
Gesamtvergütung	19,50	17,90	25,41	19,98

Dementsprechend lassen sich die Einnahmen mit der folgenden Formel berechnen:

$$E = BA_{FM} * FM * \sigma_M * H_i * \frac{VL}{8760} (\eta_{el} * EEG - Verg_{Strom} + \eta_{th} * \zeta * \sigma * EEG - Verg_{KWK} + \eta_{th} * \zeta * p_{Wärme})$$

BA_{FM} = Biogasausbeute [m³/t FM]

FM = Menge an Frischmasse [t FM]

σ_M = Methangehalt [%]

H_i = Heizwert von Methan [kWh/m³]; gesetzt: 10 kWh/m³

VL = Volllaststunden [h]; gesetzt: 8000 h

η_{el} = elektrischer Wirkungsgrad der Anlage [%]

η_{th} = thermischer Wirkungsgrad der Anlage [%]

σ = Stromkennzahl

ζ = Wärmenutzungsgrad [%]; gesetzt: 60%

p_{Wärme} = Preis pro Wärmeeinheit [EUR/kWhth]

Inputgrößen, die variiert wurden, waren der Gasertrag von Maissilage, der Recherchen zufolge zwischen 120 und 220 m³/t FM liegt (eigene Berechnung nach FNR 2011; KTBL 2005), und der Gasertrag aus Grassilage – hier wurden Werte zwischen 68 und 150 m³/t FM angenommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für Grassilage aus Grünschnitt von Parkflächen und Landschaftspflegeflächen wenige Informationen vor-

liegen. Die tatsächlichen möglichen Spannbreiten für substratspezifischen Gasertrag sind daher insbesondere bei Einbeziehung von Landschaftspflegematerial vermutlich größer. Der Gasertrag aus Maissilage wird beeinflusst durch die Maissorte, den Anbaustandort, die Silagequalität, die Silagebedingungen (Zusatzstoffe, Zerkleinerungsgrad), die Verweildauer der Silage in der Biogasanlage sowie die Prozessvariablen während der Fermentation. Der Gasertrag aus Grassilage wird durch ähnliche Parameter beeinflusst – hinzu kommt als maßgeblicher Parameter die Regelmäßigkeit der Schnitte, da bei längeren Zeitabständen der Ligninanteil im Gras steigt, wodurch die mikrobielle Abbaubarkeit und dementsprechend der Gasertrag sinkt.

Der Methangehalt von Biogas aus Maissilage und Grassilage ist ebenfalls unterschiedlich. Bei Biogas aus Maissilage liegt er laut KTBL (2005) bei 52 Prozent und bei Biogas aus Grassilage bei 54 Prozent – diese Werte wurden übernommen, wobei zu beachten ist, dass der Methangehalt bei Biogas aus Grünschnitt von kommunalen Flächen oder Landschaftspflegeflächen abweichen kann. Hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Biomasse wurde von 1000 Tonnen Frischmasse ausgegangen. Vereinfachend wurde in dieser Analyse davon ausgegangen, dass durch eine Tonne Grassilage eine Tonne Maissilage substituiert wird, sodass dieser Parameter keinen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Der elektrische und der thermische Wirkungsgrad wurden aus Modellanlagen für Anlagen verschiedener Größe übernommen (KTBL 2005). Entsprechend der obigen Referenzanlagen wurden Werte für eine 75-kWel-Anlage sowie für eine 350-kWel-Anlage übernommen (siehe Tabelle 10). Die Stromkennzahl ergibt sich aus dem Verhältnis beider Werte.

Tabelle 10: Technische Parameter der Modellanlagen
Quelle: (KTBL 2005), Stromkennzahl: eigene Berechnung

	75 kWel	350 kWel
Elektrischer Wirkungsgrad [%]	34	37
Thermischer Wirkungsgrad [%]	44	44
Stromkennzahl	0,77	0,84

Bei der Berechnung der Kosten wurden nur die Betriebskosten berücksichtigt, da bei einer Bestandsanlage davon ausgegangen wird, dass bereits alle Investitionen getätigt wurden. Innerhalb der Betriebskosten wurde darüber hinaus angenommen, dass sich die Kosten für Wartung, Elektrizität, Laboranalysen, Versicherung, Pacht, Gärrestausbringung sowie die Personalkosten nicht verändern, sprich unabhängig davon sind, ob Mais- oder Grassilage als Substrat zugeführt wird. Einzig die Kosten für die Beschaffung der Substrate, also die Kosten für die Bereitstellung von Maissilage beziehungsweise für die Bereitstellung von Grassilage aus kommunalem Grünschnitt, wurden in die Berechnung einbezogen.

Dementsprechend lassen sich die Kosten mit der folgenden Formel berechnen:

$$K = FM * p_{FM}$$

FM = Menge an Frischmasse [t FM]

p_{FM} = Preis pro Biomasseeinheit [EUR/t FM]

Die Kosten für Maissilage werden vor allem durch die Maissorte, den Anbaustandort beziehungsweise den Flächenertrag sowie durch die Siliertechnologie bestimmt. Um die Höhe der Kosten zu ermitteln, wurden Literaturwerte recherchiert sowie einige Interviews mit Biogasanlagenbetreibern zur Validierung dieser Werte geführt. Demnach liegen die Kosten für Maissilage inklusive Transportkosten zwischen 27 und 45 Euro pro Tonne Frischmasse. Diese Kosten wurden im Rahmen der Analyse variiert. Nicht abgewandelt wurden die Bereitstellungskosten für den Grünschnitt. Mit 0,60 EUR/t FM bei einem Personalaufwand von einer Stunde liegen diese sehr niedrig – auch bei höherem Personalaufwand bleiben die Kosten in einem vernachlässigbar niedrigen Bereich. Zusätzlich wurden Kosten für Silagehilfsmittel in Höhe von 3,50 EUR/t FM Grünschnitt einbezogen.

12 Literaturverzeichnis

Agentur, DRV, Bauernverband SH (2007): Biogasanlagen in genossenschaftlicher Rechtsform, in: dialog 2/2007, S. 30-35.

Aretz, A.; Böther, T. (2010): Wirtschaftlichkeitsanalyse von Mikrobiogaskonzepten. Arbeitsbericht Projekt Mikro-Biogas. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

Beese, J. (2006): Ferntransport von Biogas zu zentralen BHKW-Standorten mit Wärmenutzung – Kosten und Nutzen aus mehreren realen Projekten. <http://www.siloxa.com/pdf/Biogasfernttransport-text.pdf> (Stand: 24.11.2010).

BioAbfV – Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV). Anhang 1, Stand: 10.5.2011. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bioabfv_anh1.pdf (Stand: 19.19.2011).

Blokhina, Y.; Prochnow, A.; Plöchl, M.; Luckhaus, C.; Heiermann, M. (2009): Ökonomische Bewertung der Biogaserzeugung. Naturschutz und Landschaftsplanung, 41. Jahrgang, Nr. 03/2009, S. 83-88.

BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007): Auslegungshilfe: Trockenfermentation für kontinuierliche Biogasverfahren. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/trockenfermentation_lang.pdf (Stand: 19.10.2011).

BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2011): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt. Vom 11. März 2011. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/map_waerme_2011_bf.pdf (Stand: 19.10.2011).

Dieterich, M.; Gärtner, M. (2010): 1. Zwischenbericht Projekt Mikro-Biogas – Teilprojekt Landschaftsökologie, Universität Hohenheim.

Dieterich, M.; Lüning, S. (2010): 2. Zwischenbericht Projekt Mikro-Biogas – Teilprojekt Landschaftsökologie, Universität Hohenheim.

Dunkelberg, E. (2010): Dezentrale Mikro-Biogas-Erzeugung. Energie- und Klimabilanz relevanter Konzepte zur Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe für die Mikro-Biogas-Produktion und -nutzung in Gemeinden und Landkreisen. Arbeitsbericht Projekt Mikro-Biogas. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

Dunkelberg, E.; Böther, T. (2011): Wirtschaftlichkeit von Mikrobiogaskonzepten unter Optimalbedingungen. Arbeitsbericht Projekt Mikro-Biogas. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

DüMV – Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV). Stand: 16.12.2008.
http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_mv_2008/gesamt.pdf
(Stand: 19.10.2011).

EEG 2009 – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Stand: 28.7.2011.
http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf
(Stand: 19.10.2011).

EEG 2012 – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzestextes in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung.
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2012.pdf
(Stand: 19.10.2011).

Elsässer, M. (2004): Alternative Verwendung von in der Landschaftspflege anfallendem Grünlandmärgut: verbrennen, vergären, kompostieren, mulchen oder extensive Weide. In: Natur und Landschaft 79 (2004), H.3, S. 110-117.

Elsässer, M. (2010, persönliche Mitteilung): Biomasseerträge von verschiedenen Grünlandflächen. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft. Befragt von M. Dieterich.

EnWG – Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG). Stand: 7. 7. 2005.
http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enwg_2005/gesamt.pdf
(Stand: 19.10.2011).

FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.] (2009): Biogas-Messprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich.
http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_385messdaten_biogasmessprogramm_ii.pdf (Stand: 24.11.2010).

FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2011):
www.bioenergie-portal.info: Bioenergieberatung.
<http://www.bioenergie-portal.info/> (Stand: 23. 3. 2011).

Heintschel, S. (2012): Quantifizierung der Biomasse- und Biogaserträge von öffentlichen Grünflächen und Straßenrandstreifen im Landkreis Schwäbisch Hall. Diplomarbeit an der TU Bergakademie Freiberg.

Hirschl, B.; Aretz, A.; Prah, A.; Böther, T.; Heinbach, K.; Pick, D.; Funcke, S. (2010): Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien, in: Schriftenreihe des IÖW 196/10, Berlin.

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse. 2. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.] (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage. Darmstadt.

Nussbaum, H. (2010, persönliche Mitteilung): Silierfähigkeit von Grünschnitt. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei. Interviewt von E. Dunkelberg.

Öchsner, H. (2010, persönliche Mitteilung): Biogasertrag von Schnittgut verschiedener Grünlandflächen. Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim. Befragt von M. Dieterich.

Pick, D.; Ruppert-Winkel, C. (2010): Akteursanalyse im Projekt Mikro-Biogas. Teil 1. Zwischenbericht 1, Mikro-Biogas. ZEE, Universität Freiburg.

Pick, D.; Ruppert-Winkel, C. (2011): Akteursanalyse im Projekt Mikro-Biogas. Teil 2. Zwischenbericht 2, Mikro-Biogas. ZEE, Universität Freiburg.

Wagner, R. (2003): Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen – Mögliche Inhalte von Lieferverträgen. Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N. e. V.):
<http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/biogas/liefervertrag.pdf>
(Stand: 31.08.2011).

Scholwin, F.; Weidele, T.; Gattermann, H. (2006). Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung. F. N. R. e. V. F. Gülzow, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: S. 36-39.

VDI [Verein Deutscher Ingenieure e. V.] (2000): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung, VDI 2067.