

IÖW:

Elisa Dunkelberg

Bernd Hirschl

Astrid Aretz

Timo Böther

ZEE:

Chantal Ruppert-Winkel

Daniel Pick

Dezentrale Mikro- Biogaserzeugung

Entwicklung übertragbarer Konzepte zur nachhaltigen Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe für die Mikro-Biogasproduktion in Gemeinden und Landkreisen

Schlussbericht, 23.12.2011

gefördert durch das BMU Förderkennzeichen: 03KB015 A (ZEE)

Förderkennzeichen: 03KB015 B (IÖW)

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2009 bis 31.08.2011



| i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG



ZEE Zentrum für
Erneuerbare Energien

Impressum

Herausgeber:

Institut für ökologische

Wirtschaftsforschung (IÖW)

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Tel. +49 – 30 – 884 594-0

Fax +49 – 30 – 882 54 39

E-mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de

Zentrum für Erneuerbare Energien

Universität 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

www.zee.uni-freiburg.de

Als Unterauftragnehmer beim ZEE waren eingebunden:

Universität Hohenheim

Institut für Landschafts-
und Pflanzenökologie

Prof. Dr. Martin Dieterich

Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft des Landkreises Schwäbisch-Hall

Martin Henßler, Heinz Kastenholz

Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) „Förderung von Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung“, Projektträger Jülich



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	7
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	8
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	9
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	11
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	16
6	Zentrale Ergebnisse des Projekts	18
6.1	Arbeitspaket 1 (IÖW): Auswahl relevanter Technologien und Konzepte	18
6.1.1	Biomassebereitstellung und -vorbehandlung.....	18
6.1.2	Fermentation	19
6.1.3	Energieumwandlung und Wärmenutzung.....	19
6.2	Arbeitspaket 2 (Universität Hohenheim): Ökologisch orientierte Biomasse-Potenzialermittlung Biomassepotenzialerhebung	20
6.2.1	Erhebung für ein tragfähiges Grundkonzept.....	21
6.2.2	Gasertrag und Qualität des Restschnittguts	22
6.2.3	Detaillierte Erhebung für ein Nutzungskonzept	23
6.3	Arbeitspaket 3 (IÖW): Energie- und Klimabilanz.....	24
6.3.1	Vorgehensweise und Annahmen	24
6.3.2	Ergebnisse der Treibhausgas- und Energiebilanz.....	25
6.3.3	Sensitivitätsanalyse	27
6.4	Arbeitspaket 4: Wirtschaftlichkeitsanalyse	28
6.4.1	Methode und Annahmen.....	28
6.4.2	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse	32
6.4.3	Wertschöpfungseffekte	33
6.5	Arbeitspaket 5 (ZEE): Analyse vorhandener Akteursstrukturen und Interessen	36
6.5.1	Akteure und Interessen.....	36
6.5.2	Lieferverträge	38
6.5.3	Einrichtung und Betrieb einer neuen Anlage	38
6.6	Arbeitspaket 6 (ZEE): Stakeholderorientierte Konkretisierung und Auswahl der Konzepte	39
6.7	Arbeitspaket 7 (IÖW, ZEE): Maßnahmen zur Implementierung bzw. Einsatz von Restschnittgut in Bestandsanlagen.....	40
6.7.1	Vorgehensweise zur Substitution von Maissilage durch Grassilage	40
6.7.2	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse	42
6.7.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	45
6.8	Arbeitspaket 8 (ZEE, IÖW): Übertragbarkeitsanalyse bzw. Wirtschaftlichkeit unter Optimalbedingungen	45
6.8.1	Zielsetzung.....	46
6.8.2	Potenziale und ihre aktuelle Nutzung	46
6.8.3	Rechtsrahmen (Restschnittgut als Bioabfall).....	47
6.8.4	Einfluss verschiedener Parameter	49
6.8.5	Biogasleitung versus Wärmeleitung	50
6.8.6	Schlussfolgerungen	50
7	Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit.....	51

8	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	51
9	Voraussichtlicher Nutzen	51
10	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	55
11	Veröffentlichungen	55
12	Literaturverzeichnis.....	57

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Übersicht über den Zusammenhang der Arbeitspakete im Projekt	
Abb. 6.2:	Treibhausgasbilanz für Biogasbereitstellung aus Nassfermentation, Verteilung mittels Mikrobiogasleitung sowie Nutzung in einem Zündstrahl-BHKW (Kosubstrate Rindergülle- und Rindermist)	26
Abb. 6.3:	Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in tausend Euro, unterteilt in einmalige und jährliche Effekte	35
Abb. 6.4:	Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in Tausend Euro, über 20 Jahre Anlagenlaufzeit	35
Abb. 6.5:	Gewinnfunktionen für den Einsatz von Grassilage und Maisilage in bestehenden Biogasanlagen (75 kWel), Inbetriebnahme der Bestandsanlage: 2004, mit Wärmenutzung.....	43
Abb. 6.6:	Gewinnfunktionen für den Einsatz von Grassilage und Maissilage in bestehenden Biogasanlagen (350 kWel), Inbetriebnahme der Bestandsanlage: 2010, mit Wärmenutzung.....	45
Abb. 6.7:	Variation der Parameter Investitionskosten, Transportkosten, Netzlänge, Eigenwärme und Gasertrag und ihr Einfluss auf die Höhe der Gewinne bzw. Verluste über 20 Jahre	49

Tabellenverzeichnis

Tab. 6.1:	Biomasse und Biogaserträge von unterschiedlich gepflegten Grünlandflächen	23
Tab. 6.2:	Annahmen zur Annuitätenberechnung	28
Tab. 6.3:	Kostenbegriffe nach VDI Richtlinie 2067	29
Tab. 6.4:	Kostenpositionen zur Bewertung von Biogaskonzepten	30
Tab. 6.5:	Annahmen zur Einnahmenberechnung Nassfermentation	31
Tab. 6.6:	Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung im Nassfermentationsverfahren unter verschiedenen Rahmenbedingungen	32
Tab. 6.7:	Wertschöpfungseffekte des Mikro-Biogas-Konzepts einer Nassfermentationsanlage	34
Tab. 6.8:	Akteure, die in den Prozess der Anlagenkonzeption für eine Restschnittgutnutzung einbezogen werden sollten	37
Tab. 6.9:	EEG-Vergütung für Biogasanlagen bis 150 kWel und bis 500 kWel im Jahr 2010 (nach EEG 2009) und im Jahr 2004 (nach EEG 2004)	41
Tab. 6.10:	Technische Parameter der Modellanlagen	42
Tab. 6.11:	Annahmen und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen (nach den Vergütungsstrukturen des EEG 2009).....	50

1 Aufgabenstellung

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 Biomasseanbaus diese Reduktionspotenziale, weil eine 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, um die politisch gesetzten Klimaschutzziele zu erreichen und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu überwinden.

Zentrale Ausgangsthese des Projekts „Mikro-Biogas“ war, dass es noch eine Reihe ungenutzter Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe gibt, obwohl die Biomasseproduktion in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen hat. Mögliche Ursachen für die fehlende Nutzung von Reststoffen sind vielfältiger Natur – ein wichtiger Grund ist die mangelnde Rentabilität der Nutzung dezentraler Biomassemengen infolge von zu hohen Transportkosten. Hier setzte das Projekt „Mikro-Biogas“ an, indem es dezentrale Konzepte erarbeitete, um derartige Potenziale zu erschließen. Dabei wurden in Austausch mit einem Partnerlandkreis (Schwäbisch Hall, SHA) - mit politischer Willenserklärung, sich komplett mit EE zu versorgen - und dessen Gemeinden¹ unter Einbezug relevanter Akteure vor Ort Nutzungskonzepte entwickelt. Das Projekt „Mikro-Biogas“ konzentriert sich auf die energetische Verwertung von Restschnittgut. 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.

Für ausgewählte Kommunen in SHA wurden in einem ersten Schritt mehrere technische Konzepte unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen wie zum Beispiel der vorhandenen Restschnittgutpotenziale erstellt. Teilaufgaben waren dementsprechend eine Analyse der Akteursstrukturen und vorhandenen Interessen (ZEE) eine Biomassepotenzialanalyse (Universität Hohenheim), sowie eine Analyse der bestehenden Biogastechnologien und ihrer Eignung zur Verwertung von Restschnittgut (IÖW). Da ein hoher Wärmenutzungsgrad eine zentrale Voraussetzung für eine effiziente Bioenergienutzung ist, wurde als Teil des Konzeptes ein Transport von teilaufbereitetem Biogas zu einem zentralen Blockheizkraftwerk (BHKW) angenommen.

¹ Ursprünglich war ein Fokus auf eine weitere Partnergemeinde vorgesehen, jedoch erwies es sich als zweckmäßiger den Fokus auch auf andere Gemeinden des Landkreises zu erweitern.

In einem zweiten Schritt sollte ein konkretes Konzept ausgewählt werden, für das die Möglichkeiten der wirtschaftlichen Umwandlung von Restschnittgut in dezentralen, kleinen Biogas-Fermentern mit anschließender Verteilung des Biogases zum Ort der Biogasnutzung aufgezeigt werden sollte. Die dezentrale Umwandlung von Biomasse in Biogas in kleinen Fermentern wird im Folgenden als Mikro-Biogaserzeugung bezeichnet. Ziel des ausgewählten Konzeptes ist es, durch Vermeidung von Transportwegen und zusätzlichen Lagerflächen von Biomasse eine größere Erschließung der regionalen Biomassepotenziale zu erreichen und zudem durch diese zusätzliche Nutzung die regionale Wirtschaft zu stärken. Entsprechende Teilaufgaben waren eine Analyse der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Mikro-Biogaserzeugung sowie der regionalökonomischen Effekte (Wertschöpfung und Beschäftigung) (IÖW) eine Akteurs bezogene Analyse der Umsetzungsmöglichkeiten und Auswahl des Konzeptes (ZEE) sowie eine Analyse der ökologischen Wirkungen, insbesondere des Klimaschutzpotenzials (IÖW). Außerdem wurde eine Übertragbarkeitsanalyse durchgeführt, um zu ermitteln ob und unter welchen Bedingungen ein dezentrales Mikro-Biogaskonzept auch in anderen Kommunen umgesetzt werden könnte (ZEE, IÖW). Da die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes zentrale Voraussetzung für die Umsetzung ist, wurden die optimalen Randbedingungen für die Errichtung und den Betrieb des Mikro-Biogas-Konzeptes identifiziert und der Einfluss verschiedener Parameter ermittelt. Zuletzt wurde im Rahmen der Übertragbarkeitsanalyse untersucht, inwiefern eine Substitution von Maissilage durch Grassilage in Biogasbestandsanlagen gewinnbringend erfolgen kann.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt Mikro Biogas erfolgte in Kooperation zwischen dem Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE) der Universität Freiburg und dem Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin. Die Universität Hohenheim (Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie) und das Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft des Landkreises Schwäbisch Hall waren durch Unterverträge mit der Universität Freiburg in das Projekt eingebunden.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte in acht Arbeitspaketen, die im Folgenden beschreiben werden (siehe auch Abb. 3.1).

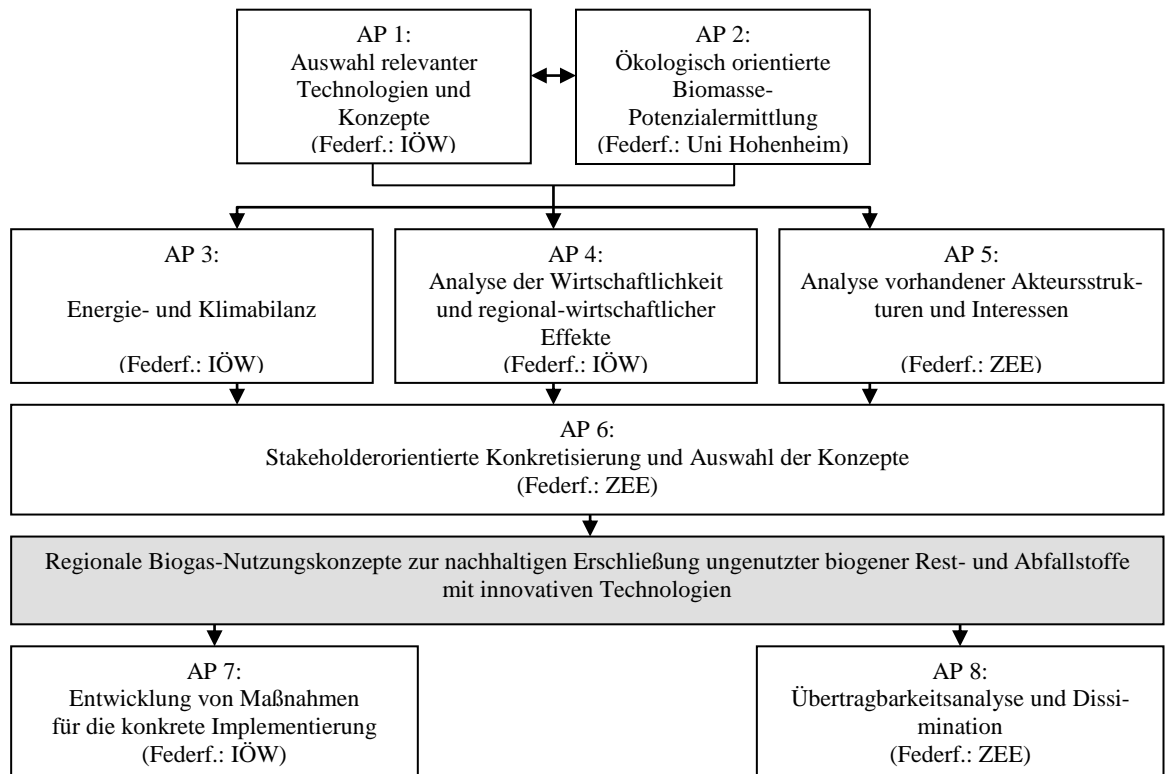


Abb. 3.1: Übersicht über den Zusammenhang der Arbeitspakete im Projekt

Die Arbeitspakete 1 (IÖW) und 2 (Universität Hohenheim) stellen die Grundlage zur Erstellung des Nutzungskonzepts dar. Ziele von Arbeitspaket 1 waren eine umfassende Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Umsetzung einer Mikro-Biogaserzeugung und -nutzung sowie die Auswahl von für den Anwendungskontext besonders geeigneter Technologien, Konzepte und Komponenten. Als mögliche technische Verfahren wurden im Ergebnis sowohl Nass- als auch Trockenfermentationsverfahren berücksichtigt, da beide Verfahren in der Lage sind Restschnittgut zu verwerten. Als Varianten für das Wärmenutzungskonzept wurde die Verteilung von teilaufbereitetem Biogas zu einem zentralen BHKW sowie der Transport von Wärme mittels einer Wärmeleitung berücksichtigt. Als Ergebnis des Arbeitspakets 1 wurde ein Arbeitsbericht verfasst. Parallel wurden in Arbeitspaket 2 die Restschnittgutpotenziale in verschiedenen Kommunen in SHA abgeschätzt und Gasertragstests zu unterschiedlich gepflegten Grünflächen durchgeführt. Hierzu wurden zunächst mittels Analysen von Luftbildern in Kombination mit Begehungen sowie durch Befragung der beteiligten Verwaltungen und Institutionen die potenziellen Rest-Flächen für die Gewinnung von Substrat zur Produktion von Biogas ermittelt. Die Flächen wurden anhand von Nutzung, Funktion und Aufwuchs typisiert und den Flächentypen wurden Ertragswerte zugeordnet (Schätzwerte, Erfahrungswerte von Nutzerseite, stichprobenbasierte Erhebung). Auf der Basis der Biomasseerträge und Gasertragstests konnte die Größenordnung der zu realisierenden Anlage abgeschätzt werden.

Da ausschließlich Rinder- oder Schweinegülle und Rinder- oder Schweinemist als mögliche Ko-substrate berücksichtigt wurden, sind die zu realisierbaren dezentralen Anlagen klein (etwa 50 kWel bei etwa 1000 Tonnen Frischbiomasse).

In Arbeitspaket 3 (IÖW) erfolgte die Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz für die Vergärung von Restschnittgut in Biogasanlagen, den Transport des Gases mittels Biogasleitungen sowie die Verstromung in einem zentralen BHKW. Die Ergebnisse zeigen, dass deutliche Treibhausgaseinsparungen im Vergleich zur fossilen Elektrizitätserzeugung erzielt werden können. Der nächste Schritt war eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für die identifizierten Konzepte. Die Fertigstellung der Wirtschaftlichkeitsanalyse im Rahmen von Arbeitspaket 4 (IÖW) verzögerte sich um fünf Monate, da die Gaserträge aus Gas aus der ersten Recherche als sehr unsicher eingeschätzt und weitere Recherchen durchgeführt wurden. In der Folge der Recherchen bzw. durch die Neuauflage der FNR Studie (2010) wurde der zunächst erwartete Gasertrag von etwa 750 Kubikmeter pro Tonne organische Trockensubstanz auf etwa 500 Kubikmeter pro Tonne organische Trockensubstanz heruntergestuft. Unter diesen Bedingungen war das geplante Konzept (inklusive der Biogasleitung) kaum wirtschaftlich darstellbar bzw. nur mit minimalen Gewinnen verbunden.

In Arbeitspaket 5 (ZEE) wurde bereits parallel zu den Arbeitspaketen 1 bis 4 eine Analyse der bestehenden Akteursstrukturen und deren Interessen mit Hilfe von qualitativen Leitfadeninterviews und mit Unterstützung des Energiezentrums durchgeführt, um die wesentlichen Akteure und deren Interessenlagen in Bezug auf die Umsetzung der erarbeiteten Konzepte sowie die kontextuellen und lokalen Rahmenbedingungen zu erheben. Es wurden verschiedene Stakeholder identifiziert und die Rolle der Akteure der Wertschöpfungskette Restschnittgutnutzung herausgearbeitet. Am zielführendsten erschien eine Akteurskonstellation aus Kommune (Unterstützung durch den Bürgermeister), interessierten Landwirten und Wärmeabnehmern, wobei die notwendige Sorgfalt für den Betrieb einer Biogasanlage am besten von einem Hauptakteur, der auch Hauptinvestor ist, geleistet zu sein schien. In vier Kommunen mit dem höchsten Anfall von Schnittgut in SHA war auch, von Ausnahmen abgesehen, ein Interesse an einer Nutzung gegeben. In einigen Kommunen wurde bereits kommunaler Grünschnitt in bestehende Biogasanlagen verbracht. Die Rahmenbedingungen für ein Restschnittnutzungskonzept erscheinen in Ackerbaugeregungen am besten, da hier die landwirtschaftlichen Betriebsabläufe keine Verwendung für Grünschnitt vorsieht, aber ein hoher Viehbesatz Wirtschaftsdünger als Kosubstrat zur Restschnittgut-Vergärung liefern könnte.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Arbeitspakete 1 bis 5 wurden im Rahmen des Arbeitspakets 6 (ZEE) in einem Workshop am 09.12.2010 die Nutzungskonzepte, mit Schwerpunkt auf der wirtschaftlichen Variante verschiedenen Stakeholdern aus den vier Kommunen in SHA vorgestellt. Vorgenannte Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit haben dazu geführt, dass es in den ausgewählten Kommunen keine Bereitschaft zur Umsetzung des ursprünglich geplanten Konzepts gibt. Der Schwerpunkt der Diskussion lag im zweiten Teil des Workshops daher auf alternativen „Entsorgungswegen“ im Verhältnis zum Transportaufwand zu einem zentralen Fermenter. In der gemeinsamen Diskussion zeigten sich Ansatzpunkte einer Verbringung des anfallenden kommunalen Schnittguts in Bestandsanlagen, wofür allerdings die notwendigen Voraussetzungen insbesondere im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit sowie rechtliche Bedingungen noch erhoben werden mussten. Aus diesem Grund wurden die geplanten Arbeitspakete 7 und 8 etwas verändert.

In Arbeitspaket 7 (IÖW, ZEE) sollten ursprünglich konkrete Maßnahmenschritte für die Implementierung des Konzeptes erarbeitet werden. Aufgrund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse und der dadurch bedingten Ergebnisse des Arbeitspaketes 6 sowie der Unsicherheit über die tatsächlichen Gasertragswerte wurde das Arbeitspaket 7 mit Zustimmung des Projektträgers und mit Empfehlungen des DBFZs verändert. Zum einen führte die Universität Hohenheim Gasertragsmessungen für Restschnittgut von verschiedenen Flächentypen (Extensivwiese, Naturschutzwiese, Sportplatz etc.) in SHA durch. Mit den Ergebnissen ließen sich aus den bislang theoretischen Po-

tenzialen tatsächlich verwertbare Potenziale ableiten. Zum anderen wurde ein Leitfaden zur Nutzung kommunaler Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen (s.u.) für Interessierte erstellt, in dem auch die Ergebnisse des Arbeitspaketes 8 - die Übertragbarkeitsanalyse - eingeflossen sind. Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Verbringung des Restschnittguts in Bestandsanlagen am Fallbeispiel untersucht. Dazu wurde von ZEE zusätzlich Expertengespräche zu den rechtlichen Voraussetzungen und den logistischen Erfordernissen geführt. Die Arbeiten des IÖW bezogen sich nach der Überarbeitung des Arbeitspaketes auf eine Analyse der Wirtschaftlichkeit bzw. der Opportunitätskosten einer Substitution von Maissilage durch Grassilage in Biogasbestandsanlagen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gewinnbringende Substitution bei hohen Gaserträgen aus Gras und gleichzeitig hohen Bereitstellungskosten von Maissilage möglich ist. Die Ergebnisse wurden in Form eines Arbeitsberichtes zusammengefasst.

In Arbeitspaket 8 (ZEE, IÖW) wurde eine Übertragbarkeitsanalyse durchgeführt, das heißt geplant war eine Übertragung der vorherigen Analysen auf abweichende Rahmenbedingungen. Die Arbeit am ZEE konzentrierte sich dabei vor allen auf die Kriterien „Zielsetzung der Akteure einer potenziellen Restschnittgutnutzung“, „Potenziale und ihre aktuelle Nutzung“ und „Rechtsrahmen“. Es kann auch in anderen Landkreisen von ähnlichen Zielsetzungen ausgegangen werden, teilweise ergänzend werden in manchen Gebieten noch Naturschutzziele und Tourismusziele hinzukommen, die jedoch nicht im Zielkonflikt zum Konzept stehen. Im Fall Naturschutz, können durch den Energieverkauf eventuelle Pflegemaßnahmen kostenneutral gestaltet werden. Das Potential des Restschnitts variiert je Region. Die vom Projekt erarbeitete Systematisierung, Nutzenkategorisierung und Zugangsbeschreibung dient dazu, diese Potentiale erhebbar zu machen. Das IÖW konzentrierte sich auf eine detaillierte Analyse der Wirtschaftlichkeit des Konzeptes bei veränderten Rahmenbedingungen, da die Ergebnisse der Arbeitspakete 3 bis 5 zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes kritisch und zugleich eine zentrale Voraussetzung zur Umsetzung eines solchen Konzeptes ist. Ziel war es, optimale Rahmenbedingungen zu identifizieren, unter denen eine wirtschaftliche Realisierung des ursprünglichen Konzeptes möglich ist. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Faktoren Investitionskosten, Netzlänge (sowohl Biogasleitung als auch Wärmeleitung), Eigenwärmebedarf und der Gasertrag aus Gras einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis ausüben. Die genauen Ergebnisse der Übertragbarkeitsanalyse sind in den nachstehenden Leitfaden, dem Endprodukt des Projektes, eingeflossen.



Elisa Dunkelberg, Astrid Aretz, Timo Böther, Martin Dieterich, Sebastian Heintschel, Chantal Ruppert-Winkel (2011): Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen. Working Paper 05 – 2011.

Die Arbeitspakete 1 bis 3 wurden im geplanten Zeitrahmen ausgeführt. In Arbeitspaket 4 gab es eine Verschiebung um fünf Monate. Grund hierfür ist eine beim Projektträger Jülich beantragte Konzeptumstellung, die eine Neuberechnung der Wirtschaftlichkeit notwendig machte. Für das ZEE ist auf Antrag bei dem Projektträger die Gesamtlaufzeit des Projektes um zwei Monate kostenneutral verlängert worden. Grund waren unzureichende Literaturwerte bezüglich der Gaserträge von kommunalem Grünschnitt, die die Durchführung von Gasertragstests notwendig machten.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Dieses Kapitel beschreibt zunächst den Stand des Wissens, wie er Anfang des Jahres 2009, also zu Beginn des Projektes, vorlag. Dann werden die neuesten wissenschaftlichen Ergebnissen dargestellt, die im Projekt während seiner Laufzeit integriert wurden.

Stand des Wissens zu Projekt Beginn:

Verschiedene Studien zeigen, dass erhebliche Potenziale zur Nutzung von Biomasse-Reststoffen in Deutschland, insbesondere auch in Baden-Württemberg existieren, die jedoch erst wenig erschlossen sind (Nachhaltigkeitsbeirat BaWü 2008, Aretz/Hirschl 2007, Raussen/Kern 2006, Prochnow et al. 2006, Rahmesohl/Arnold 2005, Kappler et al. 2005, Leible/Kälber 2006, Öko-Institut 2004); die verstärkte energetische Nutzung von Landschaftspflege-Reststoffen wird dabei explizit befürwortet (BMU 2008a). Bei den bisherigen Potenzialabschätzungen wird die Nutzung von kommunalen Biomassereststoffen selten fokussiert (Raussen/Einzmann 2005), so dass es bislang erst wenige Studien zur systematischen Erschließung dieser Potenziale gibt.

Zur Erstellung von kommunalen bzw. regionalen Biomasse-Konzepten gibt und gab es verschiedene Forschungsprojekte, auf deren Ergebnisse aufgebaut werden kann: Hier sind z.B. das BMU-Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ und „BioRegio“, „Bioenergiedorf Jühnde“, sowie insbesondere der Wettbewerb „BioenergieRegionen“ zu nennen. Im Zusammenhang mit den 100%-EE-Regionen sind außerdem die Projekte „Entwicklungsperspektiven für nachhaltige 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen in Deutschland“ sowie „EE-Regionen: Sozialökologie der Selbstversorgung“ relevant, die die Nutzung von Biomasse als einen Bestandteil von Konzepten auf dem Weg zur regionalen 100% Versorgung mit EE analysieren und bei denen in nächster Zeit mit wissenschaftlichen Publikationen zu rechnen ist. Keines der genannten Projekte befasst sich jedoch explizit mit der dezentralen energetischen Nutzung von kommunalen Biomassereststoffen.

Das Forschungsvorhaben „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ gefördert durch das BMU (2004) hatte als Zielsetzung die Identifikation von Biomassepotenzialen, Umweltwirkungen und Beschäftigungseffekten auf nationaler Ebene. Bei der Potenzialanalyse wurden verschiedenste Biomassen berücksichtigt, die Auflösung der möglichen Bereitstellung – also die Genauigkeit der Beantwortung der Frage „wo fällt wie viel an“ – ist aufgrund des nationalen Kontexts jedoch gering. Die Erfassung kommunaler Garten- und Parkabfälle erfolgte beispielsweise anhand von deutschlandweit erhobenen Entsorgungsdaten. Auf deren Herkunft und dementsprechend auf mögliche ungenutzte Potenziale z.B. im Bereich Straßenrandschnitt wurde nicht detaillierter eingegangen. Bei der Auswahl der untersuchten Technologien wurden Mittelwerte über verschiedene Leistungsgrößen dargestellt – ein Vergleich verschiedener Konzepte für Biogas-Kleinanlagen erfolgte nicht. Ebenso fehlt ein Konzept der Nutzung von Biogasleitungen zum Transport von unaufbereitetem Biogas. Aus den Ergebnissen wurden politische Handlungsempfehlungen abgeleitet, die im „BioRegio-Projekt“ auf ihre Wirksamkeit und Anwendbarkeit für den regionalen Kontext überprüft wurden (IZES 2007). Einige der Handlungsempfehlungen aus der Stoffstromanalyse sowie aus dem BioRegio-Projekt wurden inzwischen umgesetzt: Dies betrifft bezüglich der Biogastechnologien die Aufbereitung auf Erdgasqualität (umgesetzt im Rahmen des Technologie-Bonus im EEG) und den Bau von Biogasleitungen für unaufbereitetes Biogas (umgesetzt im Rahmen des Marktanreizprogramms (MAP)² sowie, insbesondere für die Anwendung im regionalen Kontext, die stärkere Förderung von Kleinanlagen bei der Stromerzeugung (EEG).

Im „Wettbewerb Bioenergie Regionen“, gefördert durch das BMELV, werden aus 210 Bewerbern 25 Regionen ausgewählt, die innovative Konzepte zur Bioenergienutzung umsetzen möchten. Die ausgewählten Regionen erhalten bis zu 400.000 €, wobei Maßnahmen zur Netzwerkbildung, zur

² Die Förderung von Biogasleitungen für den Transport von teilaufbereitetem Biogas wurde Anfang 2011 gestoppt.

Weitergabe von Wissen und zur Beteiligung der Öffentlichkeit gefördert werden. Nicht förderfähig sind Investitionen in konkrete Anlagen (BMELV 2008).

Die Studie „Biogasnutzung im ländlichen Raum“ von Ecologic (2008) legte den Schwerpunkt auf regional- und betriebswirtschaftliche Aspekte verschiedener Biogasnutzungskonzepten. Ziel der Untersuchung war der Vergleich von zentraler Nutzung mit dezentralen Hofeinzelanlagen, wobei die Leistung der betrachteten Anlagen mit 190 – 550 kWel über dem Mikro- und Mini-Bereich liegen. Nicht betrachtet wurde die Möglichkeit der Einspeisung von unaufbereitetem Biogas in Mikro-gasnetze.

Das Forschungsprojekt „EE-Regionen“ befasst sich mit der Erarbeitung von Erfolgsfaktoren von Strategien zur vollständigen Energieversorgung (Strom, Wärme) von Kommunen und Regionen auf der Basis von EE. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der land- und forstwirtschaftlichen Bioenergienutzung, nicht der Reststoffverwertung. Ziel ist es, einen Entscheidungsrahmen für kommunale Entscheidungsträger zu erarbeiten, der als Entscheidungshilfe für eine sozialökologische Umsetzung einer EE Selbstversorgung dient. Dieses Projekt begleitet und analysiert seine Partnerkommunen (darunter auch der Landkreis Schwäbisch Hall und die Gemeinde Wopertshausen) mit Blick auf den Prozess der Entscheidungsfindung und der Implementierung von EE Selbstversorgungsstrategien, befasst sich jedoch nicht mit der dezentralen energetischen Nutzung kommunaler Biomassereststoffen und einer entsprechenden Konzepterstellung.

Betrachtet man die technischen Komponenten des beantragten Projektes, so ist das entscheidende Verfahren zur Biogaserzeugung die anaerobe Fermentation, wobei die Trockenfermentation die geeignete Technologie zur Methanisierung von fester Biomasse ist³. Eine Anlage, die ausschließlich mit Reststoffen anstatt mit lebensmitteltauglichen Rohstoffen wie Maiskolben betrieben wird, wurde Anfang 2009 vom Fraunhofer Institut IKTS entwickelt. In dieser Anlage wird die Zellulose der Reststoffe, im Fall der Pilotanlage Maisstroh, vor der Gärung durch Enzyme gespalten (FhG 2009). Im Bereich der Biogasnutzung hat sich der Einsatz von Motor-BHKW etabliert. Für wärmesenkenferne Biogasanlagen kann der ORC-Prozess⁴ eine sinnvolle Alternative sein, bei dem die Abwärme durch den Einsatz von organischen Arbeitsmedien mit niedriger Siedetemperatur zur Stromerzeugung genutzt wird⁵. Neuere Technologien, die sich noch in der Pilotphase befinden, sind BHKWs mit Mikrogasturbinen, Brennstoffzellen oder Stirling-Motoren.

Kann die Nutzung des Gases nicht direkt vor Ort erfolgen, besteht die Möglichkeit der Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und die Einspeisung in ein vorhandenes Erdgasnetz oder der Einspeisung von unaufbereitetem Biogas in ein Microbiogasnetz (IFEU 2008), um das Biogas zu den Verbrauchern zu transportieren. Zur Bereitstellung eines jahreszeitenabhängigen Wärmebedarfs können mobile BHKWs eingesetzt werden (beispielsweise für die Beheizung eines Schwimmbads im Sommer und einer Schule im Winter), die bereits in den 90er Jahren für die Verwendung von Erdgas entwickelt wurden und nun auch für den Einsatz Biogas angeboten werden (z.B. PEWO GmbH). Eine räumliche Trennung von Biogaserzeugung und –nutzung, hat grundsätzlich den Vorteil, dass keine Geruchsbelästigungen am Ort der Energiekonversion (Biogas zu elektrischer und

³ In diesem Verfahren kann im Gegensatz zur Nassfermentation ein Substrat mit weniger als 75 - 80% Wassergehalt eingesetzt werden (Maierhofer/Wagner 2004).

⁴ Organic Rankine Cycle: Verfahren des Betriebs von Dampfturbinen mit einem anderen Arbeitsmittel als Wasserdampf.

⁵ Im Vergleich zu KWK-Anlagen (gekoppelte Strom und Wärmeerzeugung) weisen diese Anlagen einen geringeren Wirkungsgrad auf.

thermischer Energie) auftreten und gleichzeitig die sonst üblichen Netzverluste für den Transport von Wärme (typ. 5-10%) und elektrischer Energie (typ. min. 5%) vermieden werden können.

Zur Eingrenzung des Begriffes Mikro-Biomassenutzung kann auf verschiedene Regelwerke zurückgegriffen werden. Für die Größenabschätzung wird davon ausgegangen, dass das erzeugte Biogas zur Elektrizitätserzeugung genutzt wird (unabhängig von einer möglichen Nutzung der Abwärme). Im EEG erhalten Anlagen mit einer Leistung zwischen 150 und 500 kWel (Kilowatt elektrisch) im Vergleich zu größeren Anlagen eine Zusatzvergütung. Noch höher liegen die Vergütungssätze für Anlagen mit einer Leistung von weniger als 150 kWel (EEG 2009). Mit einer maximalen Leistung von 50 kWel wird in der Richtlinie zur Förderung von Mini-KWK (Kraft-Wärme-Kopplung) eine weitere Stufe zur Abgrenzung festgesetzt. Abhängig vom Leistungsniveau wird die Neuerrichtung dieser Anlagen unterschiedlich hoch bezuschusst (BMU 2008b). Unter Mikro-KWK-Anlagen werden im Allgemeinen noch kleinere Anlagen mit einer Leistungsobergrenze von etwa 15 kWel verstanden (Pehnt 2005). Abhängig von der Umwandlungstechnologie werden jedoch auch Obergrenzen bis 100 kWel (Gasturbinen-Anlagen) angegeben (Görner 2006). Um einen Eindruck für den jeweils nötigen Umfang der Biogaserzeugung zu erhalten, erfolgte eine vereinfachte Berechnung des Rohstoffbedarfs: Um ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer Leistung von 150 kWel auszulasten, müssen etwa 375.000 m³ Biogas pro Jahr erzeugt werden, was einem Einsatz von 2.100 t Grünabfall pro Jahr entspricht (eigene Berechnung⁶). Bei einer Obergrenze von 50 kWel sind es 125.000 m³ Biogas bzw. 710 t Grünabfall pro Jahr. Eine genaue Definition der Größenordnung „Mikro-Biogaserzeugung“ scheint vor Bearbeitung des Projektes nicht sinnvoll, da die Dimensionierung in hohem Maße von der tatsächlich anfallenden Menge an kommunalen Reststoffen, den Biogaserträgen sowie von der technischen Machbarkeit abhängig ist. Als maximale Obergrenze der Fermenter kann jedoch die Erzeugung der Menge Biogas festgelegt werden, die für die Versorgung eines BHKW mit einer Leistung von 150 kWel benötigt wird.

Die Wichtigkeit der frühzeitigen Einbindung der relevanten Akteure und der Einbeziehung von sozialen, ökonomischen und strukturellen Rahmenbedingungen, nicht zuletzt bei der Einführung von Innovationen, wurde bereits in einer Reihe von Begleitforschungsprojekten deutlich gemacht.⁷ Auch die Bedeutung von sozialen Beziehungen und regionalen Netzwerken für eine 100% Versorgung mit EE wird stets hervorgehoben, und es lassen sich viele Ansätze dafür in der Praxis erkennen (Bannasch 2007, Tischer 2006 et al.). Im Forschungsbereich ländliche Entwicklung liegen verschiedene Studien vor, die sich mit Erfolgsfaktoren, Wertschöpfungsketten, Akteursnetzwerken und Governance Strukturen befassen (z.B. Böcher/Tränkner 2008, Kiese/Schätzl 2008). Zudem existieren auch erste Studien, die sich mit fördernden und hemmenden Faktoren und der Gestaltung von EE-Netzwerken (Kratz 2007, Beck et al. 2008) sowie mit der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogene Abfall- und Reststoffen als Chance und Risiko für die Entwicklung des ländlichen Raums (Narodoslawsky 2007, Bahrs/Held 2007) auseinandersetzen. Neuere Untersuchungen messen besonders dem Informationsfluss zwischen den Akteuren Bedeutung für den Erfolg regionaler Ansätze zu (Morosini 2004, Kaplinsky/Morris 2001). Gerade bei der Einführung und Implementierung neuer, innovativer Konzepte und Technologien spielt die Kommunikation zwischen den Akteuren eine entscheidende Rolle (Leeuwis 2004). An diese genannten Erkenntnisse knüpft das beantragte Forschungsprojekt an.

⁶ Folgende Annahmen gehen in die Berechnung ein: für 1 kWel-Anlagenleistung werden jährlich ca. 2500 m³ Biogas (Minerva 2009) benötigt, aus 1 Tonne Grünabfall können etwa 175 m³ Biogas (FNR 2005) gewonnen werden, Verweilzeit des Gärsubstrats im Fermenter beträgt durchschnittlich 55 Tage.

⁷ Z.B. Begleitforschung des BMELV Projektes „Regionen Aktiv“ zu Kooperationsstrukturen von Modellregionen im ländlichen Raum; im Rahmen des Wettbewerbs BionergieRegionen ist ebenfalls eine Begleitforschung zur Akteursvernetzung geplant. Vgl. auch das Aktionsforschungsprojekt Bioenergiedorf Jühnde. Vgl. auch Rogers (2003).

Zudem wird im Projekt eine Erhebung der Potenziale der Rest- und Abfallstoffe in den Partnerkommunen unter Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten vorgenommen. Es liegen Untersuchungen zu den Biomasse- und Biogaserträgen aus verschiedenen Grünlandtypen vor (für Baden-Württemberg zusammengefasst in Rösch et al., 2007). Speziell bei Straßenrändern ist allerdings auch eine starke Abhängigkeit der Erträge von der Art der Pflege und speziellen Faktoren, wie z.B. der Salzbelastung in den Böden anzunehmen. Diesbezüglich besteht Untersuchungsbedarf. Die verfügbare Literatur zur potenziellen Lebensraumfunktion von Straßenbegleitgrün für Flora und Fauna ist relativ umfassend (Sayer/Schäfer 1989, Sayer 1992, Reck/Kaule 1993, Thaler/Prots 2008). Dies schließt auch Untersuchungen zur Auswirkung von Pflegemaßnahmen ein (Wasner 1984, Mederake et al. 1989, Sayer/Schaefer 1995, Brackel/Brunner 2001, Ries et al. 2001). Grabenränder- und Gewässerrandstreifen erfüllen wichtige Funktionen als Rückzugsräume und Biotopverbundstrukturen. Auch hierzu liegen umfassende Untersuchungen vor (z.B. Jedicke 1994, Mader et al. 1986). Analysen der spezifischen Wirkung einer Nutzung im Zusammenhang mit der Gewinnung von Biomasse gibt es bisher nicht.

Wissenschaftliche Erkenntnisse nach Projektbeginn, die integriert wurden:

Um auch während des Projektes an die neusten wissenschaftlichen Ergebnissen anzuknüpfen, wurden folgende Tagungen und Messen besucht, die aufgeführten Ämter konsultiert und die unten aufgeführte Literatur verwendet.

Tagungen, Messen:

- Statusseminare und Arbeitsgruppen des Begleitvorhabens Energetische Biomassenutzung
- „Biogasmesse“ in Offenburg (2009 und 2010)
- „100% EE-Regionen“ Kongress 2010
- Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“

Bezüglich Baugenehmigungen für Biogasanlagen und rechtlichen Regelungen zur Gärrestausringung wurden folgende Stellen kontaktiert:

- Ministerium für ländliche Entwicklung, Produkt und Verbraucherschutz, Fr. Pleiterer
- Regierungspräsidium Freiburg, Referat Industrie, Kommunen, Schwerpunkt Abfall, Hr. Burger
- Landwirtschaftsamt, Kreis Schwäbisch Hall, Hr. Kilian
- Bundesgütegemeinschaft Kompost, Gärprodukte, Hr. Kirsch

Wichtigste, neu erschiene Literatur seit 2009 für das Projekt:

DBFZ (2010): Methoden zur stoffstromorientierten Beurteilung für Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ Teil 1, Thrän, D., Fischer, E., Fritsche, U., Hennenberg, K., Oehmichen, K., Pfeiffer, D., Schmersahl, R., Schröder, T., Zeller, V., Zeymer, M., DBFZ Leipzig, 2010, zugegriffen am 22.7.2011:

http://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Programminformationen/Methodenhandbuch_10-11-30.pdf

Erlor, R., Krause, K. (2010): Mikro-Biogasnetz in Burkersdorf, Schriftenreihe des Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen, Heft 14/2010, zugegriffen am 28.4.2011:

(http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4771_1.pdf)

GTZ (2010): Mainstreaming Participation, Instrumente zur AkteursAnalyse 10 Bausteine für die partizipative Gestaltung von Kooperationssystemen, URL: <http://www.gtz.de/de/dokumente/de-SVMP-Instrumente-Akteursanalyse.pdf>, zugegriffen am 26.4.2010

Kern (n/d): Energiepotenzial für Bio- und Grünabfall, Kern, M., Raussen T., Turk, T. und Frick, K. www.abfallforum.de/downloads/Energiepotenzial_Bio_und_Gruenabfall_3_2004.pdf; zugegriffen am 15.7.2010

Landtag BW (2009): Landtag Baden Württemberg, Stellungnahme des Wirtschaftsministeriums; Nachträgliche Einbindung vorhandener Biogasanlagen in eine Wärmenutzung, Drucksache 14/4351 vom 14.4.2009; http://www.landtag-bw.de/wp14/drucksachen/4000/14_4351_d.pdf, zugegriffen am 21.7.2009

Statistisches Bundesamt (2010): Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2010, zugegriffen am 17.8.2011: <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Qualitätsberichte/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Flaechenerhebung,property=file.pdf>

Statistisches Landesamt Brandenburg (2009): Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung im Land Brandenburg, Statistischer Bericht AV3 – j/09, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam 2010, zugegriffen am 24.8.2011: http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2010/SB_A5-3_j01-09_BB.pdf

SRU (2011), Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung, Sondergutachten, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Geschäftsstelle des Sachverständigenrates für Umweltfragen, Berlin; zugegriffen am 11.4.2011: (http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_Sondergutachten_100Prozent_Erneuerbare.pdf?__blob=publicationFile)

Thumm (n/d): Thumm, U.: Energetische Verwertung des Schnittguts von Golfanlagen, Thumm, U., Böhmel, C., Tonn, B., Schulz, H., Claupein, W., Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenbau und Grünland, zugegriffen am 25.5.2011: (<https://www.uni-hohenheim.de/rasenfachstelle/pdf/projekt/Energetische%20Verwertung%20des%20Schnittguts%20von%20Golfanlagen.pdf>)

Wagner, Robert (2010-1): Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen – Mögliche Inhalte von Lieferverträgen-, C.A.R.M.E.N. e.V., zugegriffen am 28.4.2011: (<http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/biogas/liefervertrag.pdf>)

Wagner, Robert (2010-2): Vorschläge für die Gestaltung eines Wärmeliefervertrages, Biogas Forum Bayern ausgerichtet von C.A.R.M.E.N. e.V., zugegriffen am 28.4.2011: (http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Vorschlaege_fur_die_Gestaltung_eines_Warmeliefervertrages.pdf)

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts fand eine intensive Zusammenarbeit zwischen den folgenden, am Projekt beteiligten Partnern statt:

- ZEE Zentrum für Erneuerbare Energien, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Dr. Chantal Ruppert-Winkel, Dr. Daniel Pick
- IÖW Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung; Dr. Astrid Aretz, Elisa Dunkelberg, Dr. Bernd Hirschl

- Universität Hohenheim, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie; Prof. Dr. Martin Dieterich
 - Biogasertragstests: Prof. Oechsner, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Prof. Prochnow
- Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft (WFG) des Landkreises Schwäbisch Hall in Wolpertshausen; Martin Hensler, Heinz Kastenholz, (WFG: Helmut Wahl)

Darüber hinaus erfolgte bei der Projektbearbeitung eine Einbeziehung von einigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Akteuren aus der Biomassebranche. Diese Zusammenarbeit erfolgte fernmündlich durch bilaterale Gespräche und per Email. Ein Austausch fand unter anderem mit folgenden Verbänden und Einrichtungen statt:

- Biokompost Betriebsgesellschaft Donau Wald
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- Daimler AG
- Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)
- Deutschen Verband für Landschaftspflege
- Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES)
- Institut für Erneuerbare Energien, Instytut Energetyki Odnawialnej EC BREC (IEO), Polen
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)
- Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)
- Leibniz Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Des Weiteren fand im Rahmen des Projekts, insbesondere durch die Workshops in SHA sowie durch die Teilnahme an Veranstaltungen ein Austausch mit zahlreichen kommunalen Akteuren sowie mit Wissenschaftler/innen aus dem Bereich Bioenergie statt.

Intensiverer Austausch mit Projekte im Programm zur Energetischen Biomassenutzung:

- Projekt 03KB029 wurde bezüglich Konzepten zur Nutzung von extensiv gepflegtem Restschnittgut in Trockenfermentationsanlagen kontaktiert und die Ergebnisse mit eingebunden (Übertragbarkeitsanalyse)
- Projekt 03KB018F des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT): Austausch zum jeweiligen Projektstand und zu inhaltlichen Ergebnissen. Da bezüglich der betrachteten Anlagengrößen keine Vergleichbarkeit gegeben ist, diese aber ein Hauptkriterium für die Wirtschaftlichkeit darstellt, wurden die Konzepte nicht aufeinander abgestimmt. Im Projekt Mikro-Biogas wurden Anlagengrößen von <50kWel. behandelt im Projekt des KIT beginnt die betrachtete Anlagengröße bei 190 kWel

Projektmitarbeiter/innen des Projekts „Mikro-Biogas“ nahmen außerdem an den folgenden Arbeitsgruppen im Förderschwerpunkt teil:

- Systemintegration und standortoptimierte Konzepte
- Akteursanalyse, Netzwerkanalyse und Akzeptanzforschung
- Ökobilanzierung
- Ökonomie (Wertschöpfung)

6 Zentrale Ergebnisse des Projekts

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse zu den jeweiligen Arbeitspaketen des Projekts „Mikro-Biogas“ präsentiert. Der Leitfaden „Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen“ (Dunkelberg et al. 2011) umfasst eine ausführlichere Darstellung dieser Projektergebnisse.



Elisa Dunkelberg, Astrid Aretz, Timo Böther, Martin Dieterich, Sebastian Heintschel, Chantal Ruppert-Winkel (2011): Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen. Working Paper 05 – 2011.

6.1 Arbeitspaket 1 (IÖW): Auswahl relevanter Technologien und 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 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 oder aber der Wärmeabnehmer befindet sich am Standort des Fermenters, so dass kein Transport notwendig ist.

6.1.1 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. Steht der Kauf neuer Maschinen an, so kann dies eine günstige Gelegenheit darstellen, in geeignete Maschinen zu investieren. Da darüber hinaus ein In-Verkehr-Bringen von Gärresten aus Straßenbegleitgrün rechtlich nicht erlaubt ist (BioAbfV), sollte das entsprechende Schnittgut derzeitig anderweitig verwertet (zum Beispiel direkte Verbrennung) oder gemulcht werden.

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 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 Häcksels dosiert werden können, wodurch eine gleichmäßigere Verteilung erzielt wird als bei der Verwendung von Granulaten.

6.1.2 Fermentation

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

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

Nassfermentationsverfahren zeichnen sich durch höhere Wassergehalte der Substrate aus. 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. 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. 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.

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.

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.

6.1.3 Energieumwandlung und Wärmenutzung

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

tungsaufwand und dem hohen Gesamtwirkungsgrad. Nachteile sind der geringere elektrische Wirkungsgrad im unteren Leistungsbereich und die gegenüber Zündstrahlmotoren höheren Kosten. Zündstrahlmotoren arbeiten grundsätzlich nach dem Dieselprinzip, 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. 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 Mikrobiogas-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 entfernte 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.

Neben dem Bau und der Inbetriebnahme einer neuen Fermentationsanlage und der Erstellung eines Nutzungskonzepts wurde entgegen der ursprünglichen Projektplanung der Einsatz von Schnittgut aus Pflegeflächen in Bestandsanlagen als eine mögliche Alternative berücksichtigt. Grund hierfür waren die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse (siehe Kapitel 6.4), da Neuerichtung und Betrieb kleiner, dezentraler Anlagen nur unter günstigen Rahmenbedingungen gewinnbringend möglich sind. Alternativ kann es aber sinnvoll sein, teurere Rohstoffe durch das kostenlose oder sehr günstige Gras zu ersetzen. Das alternative Konzept sieht daher vor in der Bereitstellung teurere Substrate wie Mais durch Grassilage zu substituieren. 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.

6.2 Arbeitspaket 2 (Universität Hohenheim): Ökologisch orientierte Biomasse-Potenzialermittlung Biomassepotenzialerhebung

In der Erhebung wurden ausschließlich 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. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden ausführlich in Dieterich und Gärtner 2010 sowie Dieterich und Lüning 2010 dargestellt. Die entsprechenden Arbeitsberichte liegen dem Projektträger vor. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

6.2.1 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.

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 nichtklassifizierten 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 In-Verkehrbringen der entstehenden Gärreste nach der geltenden Düngemittelverordnung ausgeschlossen ist.

Uferrandstreifen: 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 Uferrandstreifen 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.

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 Saugmaschinen 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).

6.2.2 Gasertrag und Qualität des Restschnittguts

Die Werte in Tab. 6.1 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.

Tab. 6.1: Biomasse und Biogaserträge von unterschiedlich gepflegten Grünlandflächen (nach Erhebungen im Rahmen des Projektes Mikro-Biogas¹: Heintschel¹ 2012, Öchsner² 2002 und mündliche Mitteilung, Dieterich und Lüning³ 2010, Elsässer⁴ 2004 und mündliche Mitteilung)

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

6.2.3 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 Flä-

chen 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.

6.3 Arbeitspaket 3 (IÖW): Energie- und Klimabilanz

6.3.1 Vorgehensweise und Annahmen

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 wurden zwei Konzepte ausgewählt: eines für eine Trockenfermentationsanlage und eines für eine Nassfermentationsanlage. Für die Treibhausgas- und Energiebilanz wurden die Konzepte weiter konkretisiert bzw. wurden weitere Annahmen beispielsweise bezüglich der Lagerung der Gärreste getroffen. Dabei orientieren sich die Konzepte an den aus unserer Sicht wahrscheinlichsten Kenngrößen für ein in diesem Projekt angestrebtes Konzept einer dezentralen Biogaserzeugung und zentralen Biogasnutzung. Die Auswahl der Kenngrößen ergibt sich dabei aus ökonomischen Kriterien, aus Literaturangaben (z.B. Gaserträge), aus dem Stand der Technik (gasdichte Gärrestlagerung, Wirkungsgrade), aus bisherigen Projektergebnissen (Transportentfernung abgeleitet aus den in Schwäbisch Hall vorhandenen Biomassepotenzialen) sowie aus der Grundidee des Projektes (hoher Wärmenutzungsgrad durch Biogasleitung).

Folgende Eigenschaften werden für das Trockenfermentationskonzept unterstellt:

- Durchschnittliche Transportentfernung zum Fermenter: Gras: 7 km (zusätzliche Entfernung), Mist: 5 km
- Substrate: Gras (Anteil: 60 %), Schweine- oder Rindermist (Anteil: 40 %)
- Massenverlust durch Silieren: 10 %
- Gaserträge: Grassilage: 150 m³/tFM, Schweinemist: 60 m³/tFM bzw. Rindermist: 95 m³/tFM
- Eigenstrombedarf des Fermenters: 1,5 %
- Gärrestlager: gasdichte Lagerung mit Methanverlusten von 0,1 %
- Mikrobiogasleitung, Länge: 5 km
- BHKW – Zündstrahl, Feuerungsleistung: ca. 120 kW, elektr. Leistung: ca. 40 kWel
- Wirkungsgrad des BHKW: elektr. Wirkungsgrad 35 %, Gesamtwirkungsgrad: 85 %
- Wärmenutzung: 80 %, dh. jährlicher Wärmenutzungsgrad: 40 %, Temperatur der Nutzwärme am Endenergielieferort: 70 °C
- Gutschriften (Stromgutschrift: Strommix-Deutschland vgl. Methodenharmonisierung (BMU 2010), Wärmegutschrift (70 % Erdgas, 30 % Heizöl), Düngegutschrift: bezogen auf pflanzenverfügbaren Stickstoffgehalt im Gärrest)

Folgenden Eigenschaften werden für das Nassfermentationskonzept unterstellt:

- Durchschnittliche Transportentfernung zum Fermenter: Gras: 7 km (zusätzliche Entfernung), Gülle und Mist: 5 km
- Substrate: Gras (Anteil: 50 %), Schweine- bzw. Rindergülle (Anteil: 20 %), Rindermist (Anteil: 30 %) (Volumenprozent)

- Massenverlust durch Silieren: 10 %
- Gaserträge: Grassilage: 150 m³/tFM, Schweinegülle: 20 m³/tFM bzw. Rindergülle: 30 m³/tFM, Rindermist: 95 m³/tFM
- Eigenstrombedarf des Fermenters: 8 %
- Gärrestlager: gasdichte Lagerung mit Methanverlusten von 0,1 %
- Mikrobiogasleitung, Länge: 5 km
- BHKW – Zündstrahl, Feuerungsleistung: etwa 120 kW, elektrische Leistung: etwa 40 kW_{el}
- Wirkungsgrad des BHKW: elektrischer Wirkungsgrad 35 %, Gesamtwirkungsgrad: 85 %
- Wärmenutzung: 80 %, dh. jährlicher Wärmenutzungsgrad: 40 %, Temperatur der Nutzwärme am Endenergielieferort: 70 °C
- Gutschriften (Stromgutschrift: Strommix-Deutschland vgl. Methodenharmonisierung (BMU 2010), Wärmegutschrift (70 % Erdgas, 30 % Heizöl), Düngegutschrift: bezogen auf pflanzenverfügbaren Stickstoffgehalt im Gärrest)

6.3.2 Ergebnisse der Treibhausgas- und Energiebilanz

Zur Ermittlung der Treibhausgas- und Primärenergieeinsparung werden zwei Verfahren, ein Gutschriftenverfahren und ein Allokationsverfahren, verwendet. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik und die Datengrundlage sind in Dunkelberg (2010) dargestellt. Zunächst werden die Ergebnisse des Gutschriftenverfahrens vorgestellt. Dabei werden die Emissionen an klimarelevanten Gasen aus allen Prozessen der Biogaserzeugung und Nutzung denen gegenübergestellt, die bei der Bereitstellung von Strom und Wärme aus fossilen Energieträgern sowie bei alternativer Behandlung des Kosubstrates Mist oder Gülle entweichen. Durch Verrechnung der zusätzlichen Aufwendungen (positive Werte) und der Einsparungen gegenüber der Bereitstellung aus fossilen Energieträgern (negative Werte) ergibt sich der Saldo-Wert (Einsparung an CO_{2äq}/MJ Elektrizität).

Das Konzept der Trockenfermentation erbringt eine deutliche Einsparung an CO₂-Äquivalenten. Der Einsatz von Rindermist als Kosubstrat führt zu Einsparungen von 0,26 kg CO_{2äq}/MJ Elektrizität. Mit diesem Konzept werden jährlich etwa 340.000 kWh_{el} produziert, so dass sich die Einsparungen jährlich auf 312 Tonnen CO₂-Äquivalente belaufen.

Die Nettoeinsparungen pro MJ_{el} sind vor allem auf die hohen Emissionen an CO₂-Äquivalenten zurückzuführen, die mit der herkömmlichen Strom- und Wärmeproduktion einhergehen. Ebenfalls hohe Einsparungen werden durch den Ersatz des herkömmlichen Mistlagers – dieses wurde als offenes Lager angenommen – erzielt. Etwas weniger bedeutsam sind die Einsparungen durch den Ersatz der herkömmlichen Mistausbringung und die Düngergutschrift, die durch die Verwendung des Gärrestes als Dünger erreicht wird. Auf der Aufwendungsseite fallen insbesondere der Fermentationsprozess, die Gärrestlagerung und -ausbringung sowie die Teilaufbereitung und Verteilung über das Gasnetz negativ ins Gewicht. Die Emissionswerte der Gärrest- und Mistausbringung sowie der Düngegutschrift und des Referenzsystems Mistdüngung sind mit Unsicherheit behaftet, da zu den hier relevanten Stickstoff- und Ammoniumgehalten sowie den Ammoniakemissionen verschiedene und ausschließlich Sekundärquellen verwendet wurden.

Für die Primärenergiebilanz sind nicht alle Prozessstufen relevant. Auf der Aufwendungsseite beeinflussen primär die Teilaufbereitung und der Zündölverbrauch des BHKW den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie. Insgesamt werden 3,4 MJ Primärenergie pro MJ Elektrizität eingespart.

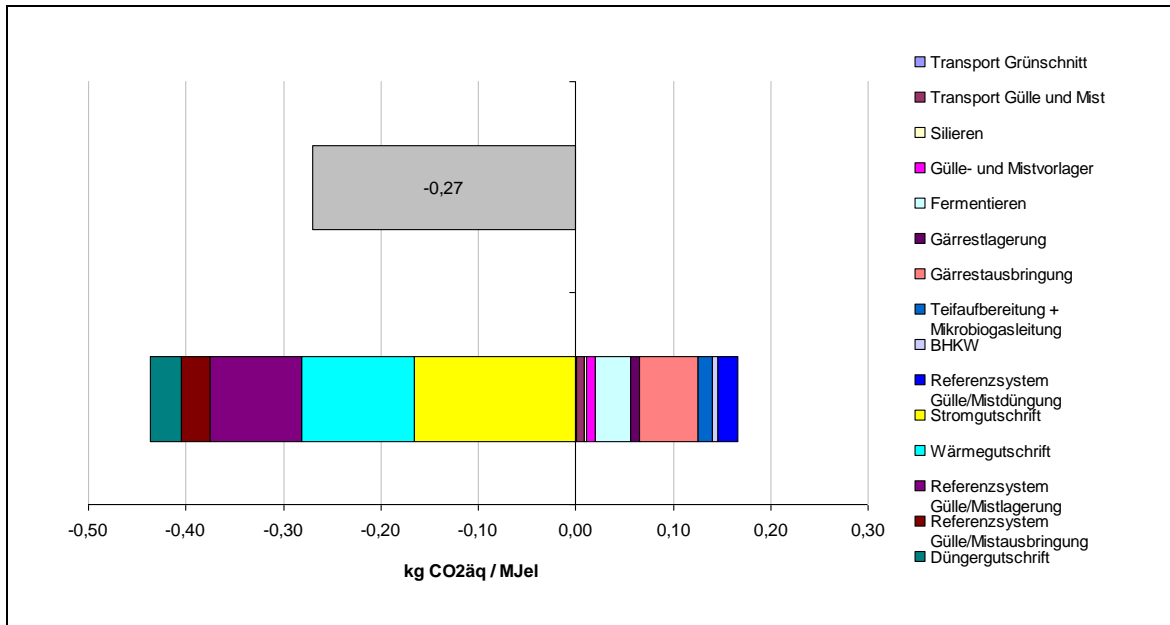


Abb. 6.1: Treibhausgasbilanz für Biogasbereitstellung aus Nassfermentation, Verteilung mittels Mikrobiogasleitung sowie Nutzung in einem Zündstrahl-BHKW (Kosubstrate Rindergülle- und Rindermist)

Nach dem Allokationsverfahren nach Carnot-Effizient ergeben sich die folgenden Ergebnisse: Beim Einsatz von Rindermist im Trockenfermentationsverfahren werden pro MJ Elektrizität 0,15 kg CO₂-Äquivalente und 1,8 MJ Primärenergie eingespart. Pro MJ Nutzwärme beläuft sich die Einsparung auf etwa 0,07 kg CO₂-Äquivalente und 1,6 MJ Primärenergie.

Die Biogaserzeugung im Nassfermentationsverfahren und anschließenden Strom- und Wärmenutzung führt im Vergleich zur konventionellen Strom- und Wärmebereitstellung ebenfalls zu deutlichen Einsparungen von CO₂-Äquivalenten. Bei einem Einsatz von 50 % Grassilage, 30 % Rindermist und 20 % Rindergülle liegen die Gaserträge im Vergleich zu anderen Mischverhältnissen am höchsten, weshalb dieses Konzept gewählt wurde. Die Einsparungen an CO₂-Äquivalenten liegen bei 0,27 kg CO₂äq/MJ Elektrizität (vgl. Abb. 4.2). Für ein Jahr würde durch die Umsetzung dieses Konzeptes eine Einsparung von etwa 288 Tonnen CO₂-Äquivalente erzielt. Welche Art von Gülle eingesetzt wird, beeinflusst die Treibhausgasbilanz dabei kaum. Mit dem Konzept des Nassfermentationsverfahrens können außerdem 2,9 MJ Primärenergie pro MJ Elektrizität eingespart werden.

Werden die Treibhausgase auf Wärme und Elektrizität nach der Carnot-Effizienz alloziert, so werde pro MJ Elektrizität 0,16 kg CO₂-Äquivalente und pro MJ Nutzwärme etwa 0,09 kg CO₂-Äquivalente eingespart. Außerdem reduziert sich der Primärenergieeinsatz pro MJ Elektrizität um 1,7 J und pro MJ Nutzwärme um 1,3 MJ.

Aus der Sicht der Treibhausgas- und Energiebilanz sind Nassfermentation und Trockenfermentation diesen Ergebnissen zufolge als gleichwertig zu betrachten.

Zum Vergleich mit Biogasanlagen, die andere Substrate verwerten, wurden Anlagen von möglichst vergleichbarer Größe herangezogen: dies waren eine güllebasierte Anlage mit einem BHKW einer Leistung von 150 kW_{el} sowie eine maisbasierte Anlage mit einem BHKW einer Leistung von 500 kW_{el}. Studien zu kleineren und damit besser vergleichbaren Anlagen wurden nicht gefunden.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen aufgrund der teilweise unbekanntem und abweichenden Annahmen mit Unsicherheiten behaftet ist. Dennoch lässt er eine ungefähre Einordnung des Konzeptes aus Sicht des Klimaschutzes zu. Im Vergleich zu den oben genannten Anlagen schneiden die hier vorgeschlagenen Konzepte gut ab. Während die güllebasierte Anlage mit 1,237 kg CO_{2äq} pro kWhel (WBA 2007) höhere Einsparungen erzielt als das vorgesehene Konzept mit zusätzlichem Einsatz von Grünschnitt, führt der Einsatz von Maissilage zu geringeren Einsparungen von nur 0,475 kg CO_{2äq} pro kWhel (WBA 2007). Grund hierfür ist, dass die Bereitstellung von Mais als Substrat mit einem sehr energieaufwändigen Anbauverfahren (Feldbearbeitung, Düngung) einhergeht. Durch die Verwendung von Reststoffen in den hier vorgestellten Konzepten fallen abgesehen von Emissionen beim Transport des Grünschnitts keine zusätzlichen Emissionen aus der Biomassebereitstellung an, da alle Bearbeitungsschritte auch ohne die Biomassenutzung erfolgen würden.

6.3.3 Sensitivitätsanalyse

Für einige Parameter wurden im Folgenden annahmen-basierte Berechnungen durchgeführt, um herauszufinden, wie stark sich die Ergebnisse bei abweichenden Werten verändern würden. Diese Methode dient auch dazu die für das Ergebnis relevantesten Einzelprozesse zu identifizieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Länge der Transportwege und die Länge des Mikrobiogasnetzes die Treibhausgasbilanz kaum beeinflussen. So verschlechtert sich das Ergebnis der Treibhausgasbilanz erst bei einer Distanz zwischen den Grünflächen und der Biogasanlage von 100 km um etwa 10 Prozent. Ab einer Entfernung von 500 km wird die Reduktion der Einsparung mit mehr als 30 Prozent ergebnisrelevant. Die Länge des Biogasnetzes verursacht ab einer Länge von 15 km eine Reduktion der Einsparung um mehr als 10 Prozent. Ab einer Länge von 100 km ist sie höher als 30 Prozent. Im Vergleich zur alternativen Elektrizitäts- und Wärmebereitstellung wird jedoch selbst bei diesen hohen Werten insgesamt eine Einsparung erzielt. Derartige Transportentfernungen bzw. Längen des Biogasnetzes sind außerdem aufgrund der Dezentralität des Konzeptes keine realistischen Annahmen. Der Prozess des Häckselns und Silierens hat ebenfalls kaum einen Einfluss auf die Ergebnisse. Ob ein Gas-Motor-BHKW oder ein Zündstrahl-BHKW verwendet wird, hat ebenfalls einen vernachlässigbaren Effekt auf die Gesamtbilanz.

Andere Einzelprozesse wie die Ausbringung und Lagerung der Gärreste oder die alternative Lagerung und Ausbringung von Gülle und Mist beeinflussen das Ergebnis sehr deutlich. Zudem ist die Datenlage in diesem Bereich als unsicher einzuschätzen. Allerdings schlagen die Prozesse und relevanten Parameter wie zum Beispiel Stickstoff- oder Ammoniakgehalte sowohl auf der Aufwendungs- als auch auf der Einsparungsseite zu Buche. Von großer Relevanz aus Sicht des Klimaschutzes ist die Verwendung eines gasdichten Lagers, die in den vorgestellten Konzepten vorausgesetzt wurde.

Der Gasertrag aus Gras hat bei Bezug auf die funktionelle Einheit MJ_{el} kaum einen Einfluss auf Energie- und Treibhausgasbilanz, da sich ebenfalls sowohl auf Aufwendungs- als auch auf Einsparungsseite die Beträge steigen. Allerdings beeinflusst der Gasertrag die absolute Einsparung deutlich. Denn bei geringeren Gaserträgen wird pro Jahr auch weniger Elektrizität erzeugt. Wird der Gasertrag beim Nassfermentationskonzept von 150 m³ auf 100 m³ pro t Frischmasse gesenkt, so verringert sich die absolute Treibhausgaseinsparung pro Jahr um etwa 20 Prozent. Sinkt er auf 68 m³ pro t Frischmasse, so beträgt die Einsparung nur noch 207 t CO_{2äq} pro Jahr bei der Nassfermentation beziehungsweise 70 Prozent der ursprünglichen Einsparung bei einem Gasertrag von 150 m³ pro t Frischmasse.

Der Wärmenutzungsgrad stellt ebenfalls eine unsichere Variable dar. Viele Wärmeabnehmer wie Wohnhäuser benötigen nicht das ganze Jahr über kontinuierlich gleich viel Wärme. Geeignete Wärmeabnehmer, die kontinuierlich Wärme nachfragen sind unter anderem Hotels, Krankenhäuser

und Schwimmbäder. Mit einer 80 %igen Wärmenutzung strebt das Konzept eine möglichst hohe Wärmenutzung an. Wird in der Umsetzung ein geringerer Nutzungsgrad von 50 Prozent erzielt, so sinkt die Treibhausgaseinsparung pro MJ_{el} um etwa 15 Prozent. Liegt die Wärmenutzung nur bei 30 Prozent, so sinkt sie um 25 Prozent.

Zum Vergleich mit der Stromerzeugung aus Biogas verschiedene Referenzsysteme der Stromerzeugung herangezogen werden. Neben dem Stromix-Deutschland, der in den Basiskonzepten als Referenzsystem diente, kann die Marginalmethode eingesetzt werden. Dieser Methode liegt die Annahme zu Grunde, dass regenerativer Strom nicht durch Biogas-Strom verdrängt wird, sondern realistischer Weise fossil befeuerte Grundlastkraftwerke ersetzt werden (Braunkohle, Steinkohle, Schweröl) (vgl. IFEU (2008)). Als Referenzwerte wurden daher in der Sensitivitätsanalyse die Emissionen dieser Kraftwerke berücksichtigt. Unter diesen (methodischen) Voraussetzungen erhöht sich die Treibhausgaseinsparung um 40 Prozent auf 0,39 kg CO_{2äq} pro MJ_{el}.

6.4 Arbeitspaket 4: Wirtschaftlichkeitsanalyse

6.4.1 Methode und Annahmen

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde das Annuitätenverfahren nach VDI-Richtlinie 2067 (VDI 2000) verwendet. Nach diesem Verfahren, 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. Tab. 6.2 zeigt diese Annahmen und die sich daraus errechnenden Annuitätenfaktor, Barwertfaktor und preisdynamischer Annuitätenfaktor.

Tab. 6.2: 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 Wirtschafts-

dünger 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 Kosten- gruppen und -arten gibt Tab. 6.3.

Tab. 6.3: Kostenbegriffe nach VDI Richtlinie 2067

Investitionsbezogene Kosten	Bedarfsbezogene Kosten	Betriebsbezogene Kosten	Sonstige Kosten
Anlagenkomponenten Bauliche Anlagen Anschlusskosten Instandsetzung	Energiekosten Kosten für Betriebsstoffe	Personalkosten	Versicherungen Steuern Allgemeine Abgaben 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 Tab. 6.4 sind die betrachteten Komponenten und Kostenpositionen aufgeführt.

Tab. 6.4: 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 Verdichtung
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 Gärrestausbringung	
Gasspeicher (zentral)	Transportkosten für landwirtschaftliche Züge (für Wirtschaftsdünger)	
Lokales Wärmenetz	Transportkosten für kommunale Sammelfahrzeuge (für Grünschnitt)	
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/kW_{el}. Allerdings sind die Anlagen im kleinen Leistungsbereich deutlich unterrepräsentiert, so dass 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/kW_{el} 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 Gärrestaubsbringung 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.)⁸ 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 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 2009 zugrunde gelegt. Zusätzlich erzielt die Anlage Einnahmen aus dem Wärmeverkauf. Die Wärmegutschrift wurde mit 4,5 Cent/kWhth festgelegt. Die für die Berechnung der Einnahmen wesentlichen Annahmen sind in Tab. 6.5 aufgelistet.

Tab. 6.5: 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/ kWhth

⁸ Die Umsatzsteuer wurde nicht berücksichtigt, weil die Betreiber in der Regel vorsteuerabzugsberechtigt sind.

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.

6.4.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Ergebnisse in Tab. 6.6 zeigen, dass in vielen Fällen die Neuerrichtung und der Betrieb einer kleinen, dezentralen Biogasanlagen inklusive des Transports des Biogases zu einem BHKW nicht gewinnbringend möglich ist, bzw., dass nur geringe Gewinne erzielt werden können. Trockenfermentationsverfahren sind in der Regel durch höhere Investitionskosten charakterisiert als Nassfermentationsverfahren, so dass die Wirtschaftlichkeit noch weniger wahrscheinlich ist. Da unter diesen Voraussetzungen in der Partnerkommune keine Bereitschaft zur Umsetzung des Konzepts bestand, wurden die folgenden Arbeitspakete angepasst. Zunächst wurde als Alternative der Substitution von Maissilage durch Grassilage analysiert. Danach erfolgte eine Analyse von optimalen Rahmenbedingungen, die eine gewinnbringende Errichtung und Betrieb des ursprünglich geplanten Mikro-Biogas-Konzepts ermöglichen.

Tab. 6.6: Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung im Nassfermentationsverfahren unter verschiedenen Rahmenbedingungen

Gasertrag 68, 1000 m Netz, Investitionskosten 7000

Annuität der Gesamteinnahmen in €	66.709,70
Annuität der Gesamtkosten in €	72.154,21
jährliche Überdeckung in €	-5.444,51
Überdeckung der Gesamtlaufzeit	-114.334,72

Gasertrag 68, 2000 m Netz, Investitionskosten 7000

Annuität der Gesamteinnahmen in €	66.709,70
Annuität der Gesamtkosten in €	79.885,32
jährliche Überdeckung in €	-13.175,62
Überdeckung der Gesamtlaufzeit	-276.688,09

Gasertrag 100, 1000 m Netz, Investitionskosten 6500

Annuität der Gesamteinnahmen in €	78.448,09
Annuität der Gesamtkosten in €	76.694,07
jährliche Überdeckung in €	1.754,02
Überdeckung der Gesamtlaufzeit	36.834,48

Gasertrag 100, 2000 m Netz, Investitionskosten 6500

Annuität der Gesamteinnahmen in €	78.448,09
Annuität der Gesamtkosten in €	84.425,18
jährliche Überdeckung in €	-5.977,09
Überdeckung der Gesamtlaufzeit	-125.518,89

6.4.3 Wertschöpfungseffekte

Im Rahmen des Projektes „Mikro-Biogas“ wurde außerdem eine Abschätzung der regionalwirtschaftlichen Effekte vorgenommen, die sich infolge der Realisierung des Mikro-Biogas-Konzepts 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 Mikro-Biogas-Konzept 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 Tab. 6.7 zu entnehmen ist, würde demnach durch die Investition in ein Mikro-Biogas-Konzept 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 Betreibergewinn 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.

Tab. 6.7:
Wertschöpfungseffekte des Mikro-Biogas-Konzepts einer Nassfermentationsanlage

Wertschöpfungsstufe	Nach-Steuer-Gewinn	Nettobeschäftigung	Gewerbesteuer (netto)	Kommunalanteil an der Einkommensteuer	Wertschöpfung gesamt
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro
Einmalige Effekte					
Biogasanlage	18.752	114.070	3.233	5.964	142.018
<i>davon Anlagenkomponenten</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 Ersatzinvestitionen 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 Rohrleitungen</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 Biogasanlage</i>	<i>2.785</i>	<i>9.906</i>	<i>326</i>	<i>447</i>	<i>13.464</i>
<i>davon Mikrogasnetz</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
Jährliche Effekte auf 20 Jahre hochgerechnet					
Betrieb	63.381	210.387	7.791	9.564	291.123
<i>davon Biogasanlage</i>	<i>55.699</i>	<i>198.115</i>	<i>6.523</i>	<i>8.948</i>	<i>269.285</i>
<i>davon Mikrogasnetz</i>	<i>7.682</i>	<i>12.272</i>	<i>1.269</i>	<i>615</i>	<i>21.838</i>
Betreibergesellschaft	204.431	0	0	12.638	217.069
Gesamt	267.812	210.387	7.791	22.202	508.193

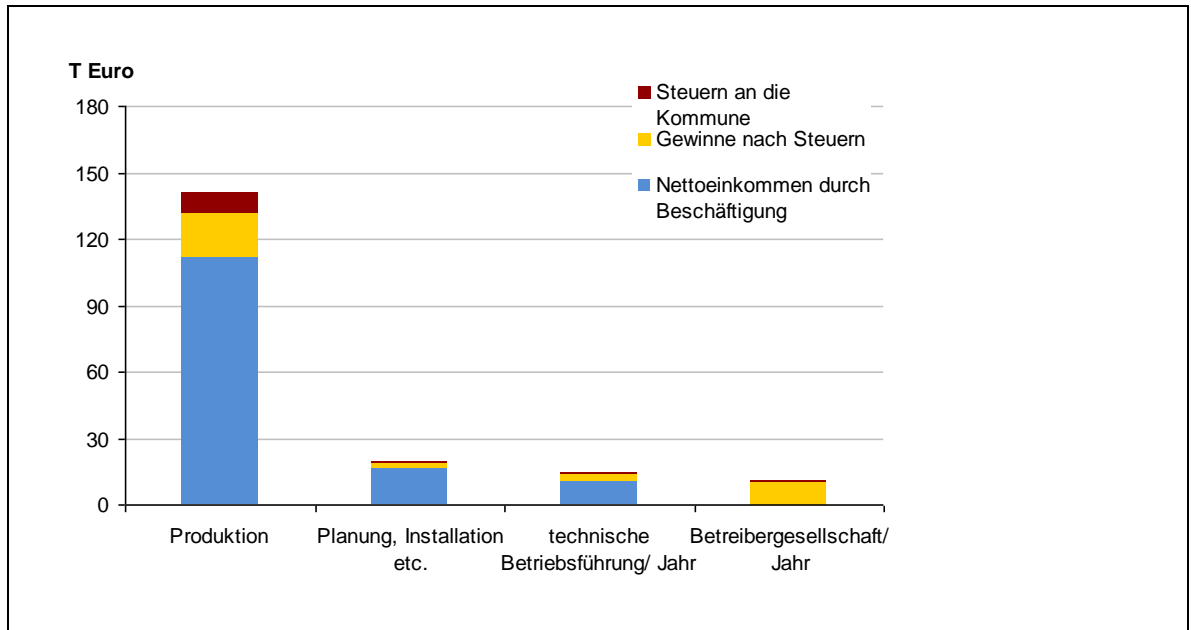


Abb. 6.2: Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in tausend Euro, unterteilt in einmalige und jährliche Effekte

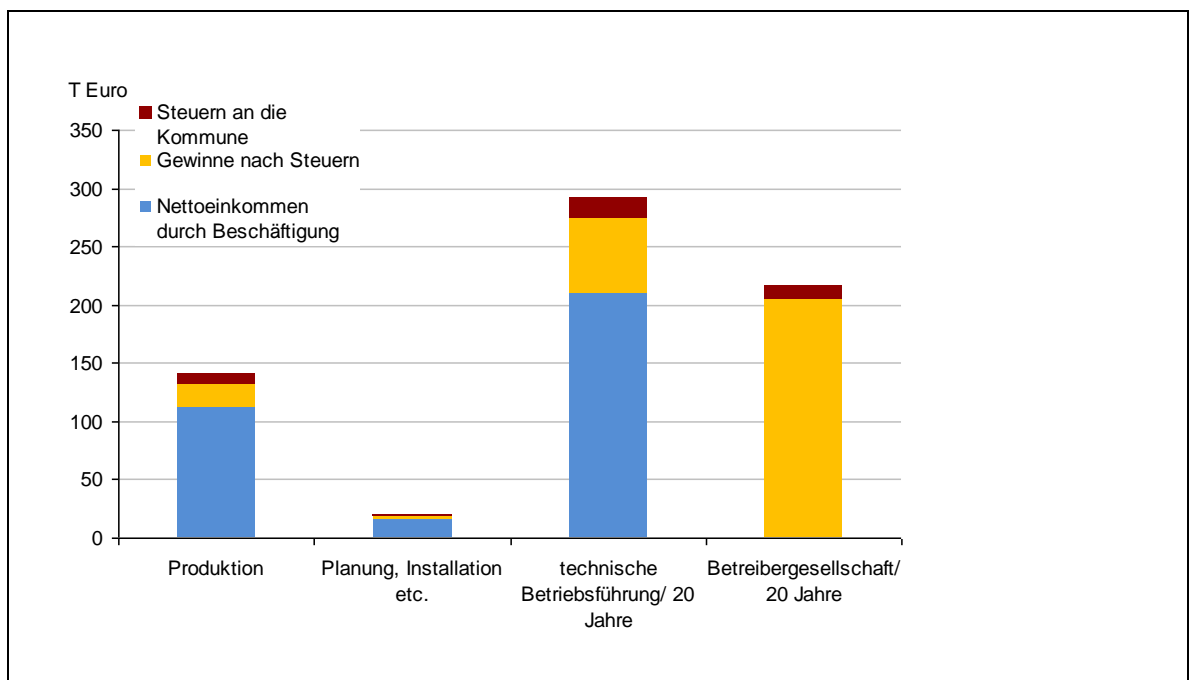


Abb. 6.3: Kommunale Wertschöpfung der Nassfermentation in Tausend Euro, über 20 Jahre Anlagenlaufzeit

6.5 Arbeitspaket 5 (ZEE): Analyse vorhandener Akteursstrukturen und Interessen

6.5.1 Akteure und Interessen

Im Rahmen des Arbeitspaketes 5 wurden das ZEE durch das Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall dabei unterstützt, einer Reihe von Erhebungen und Analysen zum Partnerlandkreis Schwäbisch Hall durchzuführen, die unter anderem Folgendes beinhalten:

- Ermittlung und Kontaktvermittlung von und zu Schlüsselakteuren und weiteren relevanten Akteuren
- Unterstützung bei der Ermittlung der Rahmenbedingungen und Implikationen (Ermittlung der EEG Daten des Landkreises Schwäbisch Hall, Ermittlung der Tierbestände und damit verbundene Güllemengen und Verfügbarkeiten, Heizungsbestand, Ermittlung der Stoffströme der Sammelplätze für Grün-, Baum-, Strauchschnitt etc., sowie Schlachtabfälle)
- Informationsstreuung, Unterstützung bei der Organisation und Durchführung von Seminaren mit Schlüsselakteuren
- Unterstützung bei der Einbindung der notwendigen Kommunikationsnetze in bestehende Netzwerke (im Zielkontext 100% Erneuerbare Energie)

Diese fallspezifischen Daten werden an dieser Stelle nicht noch einmal aufgeführt (Details sind Henßler 2010 und 2011 zu entnehmen, entsprechende Arbeitsberichte liegen dem Projektträger vor). Diese Tätigkeiten bildeten wichtige Ausgangsdaten für Konzeptüberlegungen und eine wichtige Unterstützung der Kooperation mit Akteuren in Schwäbisch Hall.

Von ZEE wurden zudem die theoretischen Grundlagen zur Akteursanalyse erarbeitet anhand derer die Akteursanalyse durchgeführt wurden. Methodisch kamen dazu Interviews zum Einsatz. Ziel einer ersten Erhebung war es, eine Übersicht über die Akteure und die Behandlung des Themas Erneuerbarer Energien (EE) im Projektgebiet zu bekommen, um dann für die zweite Runde potenzielle Projektpartner identifizieren zu können. Außerdem dienten die Interviews dazu einen Einstieg in die lokale Thematik Restschnittgut und Biogasnutzung zu ermöglichen. In den Arbeitsberichten Pick und Ruppert-Winkel 2010 und 2011 werden die Ergebnisse für Schwäbisch Hall ausführlich dargestellt (wer ist zentral für das Konzept und wer hat welche Interessen), ebenso wie die für den Landkreis erhobenen Rahmenbedingungen zu „räumliche Gliederung“, „Potentiale“, „Biogas-Anlagenbestand“ und „Wärmeabnehmer“. Entsprechende Kategorien gaben wichtige Anhaltspunkte für die Auswahl der konkreten Kommunen, mit denen eine Projektumsetzung diskutiert wurde. Im Folgenden werden die Ergebnisse komprimiert dargestellt, wie sie auch für andere Kommunen relevant sind (Lieferverträge und Unternehmensformen werden bereits an dieser Stelle dargestellt, da sie eng mit den Akteuren und Interessenslagen verbunden sind, auch wenn diese Aspekt vornehmlich unter Arbeitspaket 6 zur Vorbereitung auf den Akteursworkshop behandelt wurden, siehe Pick und Ruppert-Winkel 2010 und 2011).

In die Konzeption einer Biogasanlage ist eine Vielzahl von Akteuren einzubeziehen. Dies betrifft die Gestaltung der Liefer- und Abnahmebeziehungen, die Schaffung von Finanzierungsoptionen oder die Gründung eines gemeinsamen Unternehmens. Außerdem ist eine Vielzahl von Rechtsgrundlagen zu beachten, die für eine Anlagengenehmigung Voraussetzung sind (s.u. Übertragbarkeitsanalyse). Die wichtigsten Akteure sind in Tab. 6.8 aufgeführt.

Tab. 6.8: Akteure, die in den Prozess der Anlagenkonzeption für eine Restschnittgutnutzung einbezogen werden sollten

Akteure	Bezug zur Anlagenkonzeption
Anlagenbetreiber (üblicherweise Landwirte, möglicherweise Landkreise, 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 Genehmigungsverfahren 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. Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen und deren Gestaltungsmöglichkeiten erläutert, die eng mit den Akteuren und deren Interessenslage verbunden sind.

6.5.2 Lieferverträge

Neben der Einbettung in eine Unternehmensform (s.u.) 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.

6.5.3 Einrichtung 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 gemein-

samen 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.

6.6 Arbeitspaket 6 (ZEE): Stakeholderorientierte Konkretisierung und Auswahl der Konzepte

Aufbauend auf den Ergebnissen der Arbeitspakete 1 bis 5 wurde im Rahmen des Arbeitspakets 6 (ZEE) in einem Workshop am 09.12.2010 die Konzepte mit Schwerpunkt auf dem wirtschaftlichsten Nutzungskonzept verschiedenen Stakeholdern aus vier Kommunen in Schwäbisch Hall vorgestellt.

Das Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall hat bei diesem Arbeitspaket unterstützend bei der Informationsvermittlung an die Akteure vor Ort und der Organisation des Workshops mitgewirkt (siehe Henßler 2011). In dem Arbeitsbericht Pick und Ruppert-Winkel 2011 werden die vorbereitenden Arbeiten für den Akteursworkshop in Schwäbisch Hall zur Auswahl des konkreten Projektgebietes, der Akteurskonstellation, zu Lieferverträgen und Unternehmensformen dargestellt (zu letzteren beiden Punkten s.o. Darstellung des Arbeitspakets 5).

Vorgenannte Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit haben dazu geführt, dass es im Workshop (Teilnehmerliste und Protokoll liegen den Projektträger vor) in den ausgewählten Kommunen keine Bereitschaft zur Umsetzung des ursprünglich geplanten Konzepts gab. Der Schwerpunkt der Diskussion lag im zweiten Teil des Workshops daher auf alternativen „Entsorgungswegen“ im Verhältnis zum Transportaufwand zu einem zentralen Fermenter. In der gemeinsamen Diskussion zeigten sich Ansatzpunkte einer Verbringung des anfallenden kommunalen Schnittguts in Bestandsanlagen, wofür allerdings die notwendigen Voraussetzungen insbesondere im Hinblick auf die Wirt-

schaftlichkeit sowie rechtliche Bedingungen noch erhoben werden mussten. Aus diesem Grund wurden die geplanten Arbeitspakete 7 und 8 etwas verändert.

6.7 Arbeitspaket 7 (IÖW, ZEE): Maßnahmen zur Implementierung bzw. Einsatz von Restschnittgut in Bestandsanlagen

In Arbeitspaket 7 sollten ursprünglich konkrete Maßnahmenschritte für die Implementierung des Konzeptes erarbeitet werden. Aufgrund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung und der dadurch bedingten Ergebnisse des Arbeitspaketes 6 sowie der Unsicherheit über die tatsächlichen Gasertragswerte wurde das Arbeitspaket 7 mit Zustimmung des Projektträgers und mit Empfehlungen des DBFZs verändert. Zum einen führte die Universität Hohenheim Gasertragsmessungen für Restschnittgut von verschiedenen Flächentypen (Extensivwiese, Naturschutzwiese, Sportplatz etc.) in SHA durch (Integriert in das Arbeitspaket 2 oben dargestellt). Zum anderen wurde ein Leitfaden zur Restschnittgutnutzung für Interessierte erstellt, in dem auch die Ergebnisse des Arbeitspaketes 8 - der Übertragbarkeitsanalyse - eingeflossen sind (s.u.). Zusätzlich wurde die Möglichkeit der Verbringung des Restschnittgutes in Bestandsanlagen untersucht.

Dazu wurden vom ZEE zusätzlich Expertengespräche zu den rechtlichen Voraussetzungen und den logistischen Erfordernissen geführt. Der kommunale Grünschnitt wird 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. 6.6). Die zusätzliche Beschaffung der Genehmigung ist im Verhältnis zu den zusätzlich zu erwartenden Gewinnen aufwendig.

Die Arbeiten des IÖW bezogen sich nach der Überarbeitung des Arbeitspaketes auf eine Analyse der Wirtschaftlichkeit bzw. der Opportunitätskosten einer Substitution von Maissilage durch Grassilage in Biogasbestandsanlagen. Dass die Substitution von Maissilage durch Grassilage in Biogasbestandsanlagen eine gewinnbringende Situation für einen Anlagenbetreiber sein kann, war zu vermuten, da die Bereitstellungskosten für Mais deutlich höher sind als die für kommunalen Grünschnitt. Zugleich weist Maissilage jedoch deutlich höhere Gaserträge auf, was gegen einen Einsatz von Grassilage sprechen würde. Ziel dieser Analyse war es daher, die Wirtschaftlichkeit beider Situationen zu ermitteln und gegenüberzustellen.

6.7.1 Vorgehensweise zur Substitution von Maissilage durch Grassilage

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 Inbetriebnahme Zeitpunkte – 2004 und 2010 – unterschieden, um unterschiedliche 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 (s. Tab. 6.9) sowie optional Einnahmen aus dem Verkauf der Wärme mit 0,45 Cent pro kWh_{th} 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.

Tab. 6.9: 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
	EURc.	EURc.	EURc.	EURc.
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/kWh_{th}]

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. Der Gasertrag aus Maissilage wird beeinflusst durch die Maissorte, den Anbaustandort, die Silagequalität (FNR 2009c), die Silagebedingungen (Zusatzstoffe, Zerkleinerungsgrad) (D'Jesús et al. 2005), die Verweildauer der Silage in der Biogasanlage (FNR 2009c) sowie die Prozessvariablen während der Fermentation (D'Jesús et al. 2005). 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. Laut KTBL (2005) liegt er bei Biogas aus Maissilage bei 52 %

und bei Biogas aus Grassilage bei 54 % – diese Werte wurden übernommen. Hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Biomasse wurde von der in Schwäbisch Hall vorhandenen Menge Grünschnitt von 1000 Tonnen Frischmasse ausgegangen. Vereinfachend wurde in dieser Analyse davon ausgegangen, dass durch eine Tonne Grassilage eine Tonne Maissilage substituiert wird, so dass dieser Parameter keinen Einfluss auf das Ergebnis hat. Real können in geringem Umfang aufgrund unterschiedlicher Dichten Differenzen auftreten.

Der elektrische und thermische Wirkungsgrad wurden aus Modellanlagen nach KTBL (2005) für Anlagen verschiedener Größe übernommen. Entsprechend der obigen Referenzanlagen wurden Werte für eine 75 kWel-Anlage sowie für eine 350-kWel-Anlage übernommen (s. Tab. 6.10). Die Stromkennzahl ergibt sich aus dem Verhältnis beider Werte.

Tab. 6.10: 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 Silierungstechnologie bestimmt (Eder et al. 2008). 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 (KTBL 2005) 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.

6.7.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Zur Berechnung der Gewinnfunktionen wurden jeweils die Gaserträge für Gras- und Maissilage innerhalb der oben angegebenen Spannweite variiert. Hieraus entstehen separate Geraden für Gras- und Maissilage, bei denen mit steigendem Gasertrag der Gewinn steigt (s. Abb. 6.4).

Da die Kosten für die Bereitstellung des Grünschnitts deutlich geringer sind als die für Maisilage, werden bei geringerem Gräsgertrag die gleichen Gewinne erzielt wie bei einem höheren Maisgertrag. Aus diesem Grund liegt die Gerade für den Einsatz von Grassilage auf der Ordinatenachse nach oben versetzt. Außerdem sind in den folgenden Abbildungen die Kurven für Maissilage für drei verschiedene Kostenwerte dargestellt – den untersten und obersten der recherchierten Werte sowie einen Mittelwert von 36 EUR/t Maissilage – die Kurven finden sich weiter rechts in dem Diagramm und weisen eine geringere Linienstärke auf als die Kurve für den Gewinn aus Grassilage. Die gestrichelte Linie im Diagramm veranschaulicht eine mögliche Stelle an den Gewinnkurven, an denen der Gewinn aus Grassilage und Maissilage gleich hoch ist.

Das Diagramm lässt sich daher folgendermaßen interpretieren: Ausgehend von einem minimalen Gasertrag aus Grassilage von 68 m³/t FM lässt sich an der Stelle, wo die gestrichelte Linie die Gewinnfunktionen für den Einsatz von Maissilage kreuzt, eine Art Grenzgertrag für Mais ablesen. Hierunter ist der Maisgertrag zu verstehen, unterhalb dessen der Einsatz von Grassilage gewinnbringend ist. Mit steigenden Transportkosten nimmt dieser Grenzgertrag selbstverständlich zu – dies veranschaulichen die parallel verlaufenden Kurven für variierende Transportkosten. Umgekehrt lässt sich ausgehend vom Gasertrag aus Maissilage eine wahrscheinlichere Situation beschreiben: Geht man von einem realistischen Gasertrag von 200 m³/t FM und Transportkosten von 36 €/t FM aus, so müsste man die gestrichelte Linie entsprechend nach oben schieben. Dort, wo sie nun die Kurve für Grassilage kreuzt, liegt der minimal notwendige Gräsgertrag, der überschritten werden muss, um einen Gewinn zu erwirtschaften. Dementsprechend müsste der Gräsgertrag oberhalb von 110 m³/t FM liegen, um in diesem Fall einen Gewinn zu ermöglichen.

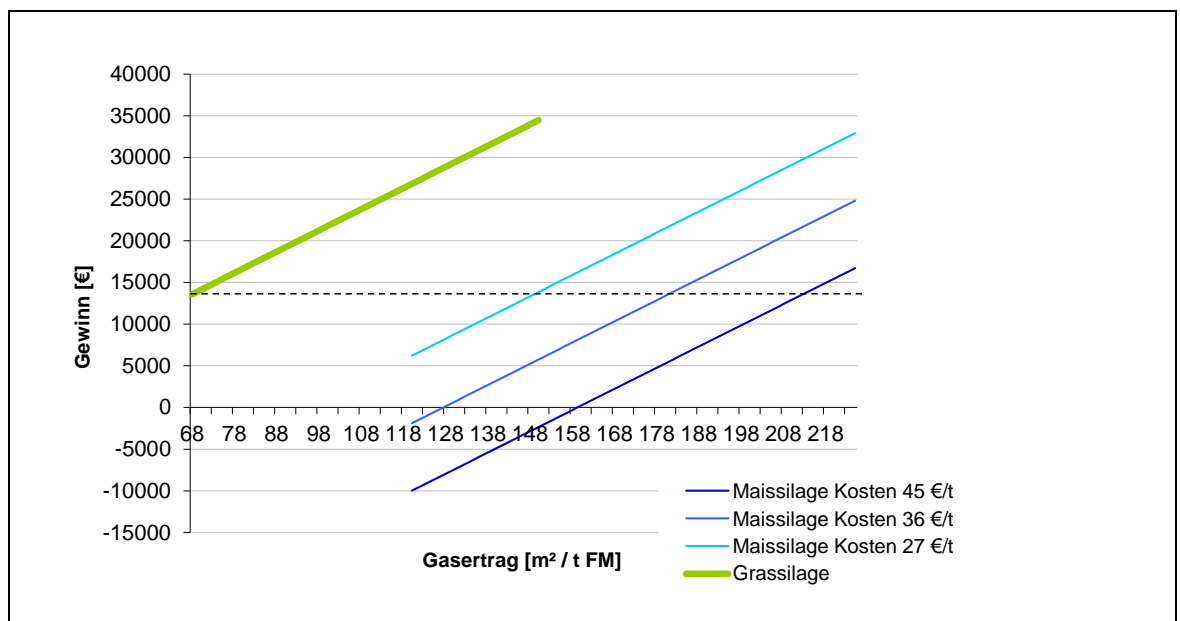


Abb. 6.4: Gewinnfunktionen für den Einsatz von Grassilage und Maisilage in bestehenden Biogasanlagen (75 kWel), Inbetriebnahme der Bestandsanlage: 2004, mit Wärmenutzung

Die Gewinnkurven setzen sich aus Einnahmen aus der EEG-Vergütung und dem Verkauf der Wärme sowie aus Ausgaben für die Grassilage beziehungsweise Maissilage zusammen.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigen, dass der Ersatz von Maisilage durch Grassilage in Bestandsanlagen einer Größenordnung von weniger als 150 kWel (Inbetriebnahme

im Jahr 2004) in vielen Fällen nicht zu einer Erhöhung der Gewinne führt – jedoch können Gewinne gegenüber der ursprünglichen Situation entstehen, wenn sowohl der Gasertrag aus Grassilage als auch die Bereitstellungskosten von Maissilage hoch sind und gleichzeitig der Gasertrag aus Maissilage gering ist (s. Abb. 6.4). Unterhalb eines Gasertrags aus Maissilage von $132 \text{ m}^3/\text{t FM}$ ist ein Ersatz durch Grassilage zu empfehlen, da der Gewinn selbst bei sehr geringem Gasertrag aus Grassilage und niedrigen Kosten für die Maissilage höher liegt – allerdings ist dies keine sehr wahrscheinliche Situation. Oberhalb eines Gasertrags von $132 \text{ m}^3/\text{t FM}$ sind die Höhe der Transportkosten sowie die Differenz zwischen den beiden Gaserträgen entscheidend, ob der Ersatz gewinnbringend ist. Wird die produzierte Wärme nicht genutzt und verkauft, so ist ein gewinnbringender Ersatz von Maissilage eher möglich, da die Einnahmen pro kWh geringer ausfallen und somit die Differenz im Gasertrag nicht so stark zu Buche schlägt. Ein Gewinn lässt sich unter diesen Bedingungen bis zu einem Gasertrag aus Maissilage bis zu $149 \text{ m}^3/\text{t FM}$ sicher erwirtschaften.

Wird Maisilage in einer Bestandsanlage der Größenordnung bis zu 500 kWel durch Grassilage ersetzt, so kann eher einen zusätzlichen Gewinn erwirtschaftet werden als bei einer kleineren Anlage. Unterhalb eines Maisgasertrags von $136 \text{ m}^3/\text{t FM}$ kann mit der gewählten Referenzanlage in jedem Fall ein Gewinn erwirtschaftet werden. Dass eine gewinnbringende Situation hier eher möglich ist als bei einer kleineren Anlage, liegt an der geringeren EEG-Vergütung bei größeren Anlagen. Dadurch wirkt sich die Differenz im Gasertrag von Maissilage und Grassilage weniger stark auf das Gesamtergebnis aus. Bei fehlender Wärmenutzung liegt der Grenzgasertrag von Mais bei $158 \text{ m}^3/\text{t FM}$.

Die höheren EEG-Vergütungssätze nach EEG 2009 im Vergleich zum EEG 2004⁹ haben einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis. Dies zeigen die Berechnungen für zwei Anlagen, die erst im Jahr 2010 in Betrieb genommen wurden. Bei sehr kleinen Anlagen ist es nun meist nicht mehr gewinnbringend für den Anlagenbetreiber, Grassilage anstatt Maissilage als Substrat zu verwenden. Vorteilhaft ist der Einsatz von Grünschnitt nur bei gleichzeitig hohen Graspaserträgen und niedrigen Maisgaserträgen. Eher möglich ist eine gewinnbringende Situation dann, wenn die entstehende Wärme nicht genutzt wird, das heißt, wenn der Anlagenbetreiber weder den KWK-Bonus erhält noch Gewinne aus dem Verkauf von Wärme anfallen. Der Grenzgasertrag liegt für den Fall ohne Wärmenutzung bei $131 \text{ m}^3/\text{t FM}$. Handelt es sich um eine größere Anlage, so ist der Ersatz aufgrund der niedrigeren Vergütungssätze ebenfalls wieder eher lohnend. Der Grenzgasertrag liegt dann bei $131 \text{ m}^3/\text{t FM}$ mit Wärmenutzung und $151 \text{ m}^3/\text{t FM}$ ohne Wärmenutzung.

Ist der Gasertrag aus Gras für das konkrete, verfügbare Restschnittgut bekannt, so kann eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit auch ausgehend vom Graspasertrag erfolgen. Abb. 6.5 zeigt den Zusammenhang an einer Beispielanlage mit einer Leistung von 350 kWel und mit Wärmenutzung. Das Diagramm lässt sich folgendermaßen interpretieren: Geht man für Grassilage von einem Graspasertrag von $105 \text{ Kubikmeter pro Tonne Frischmasse}$ (keine Bereitstellungskosten) und von Bereitstellungskosten für Mais von $36 \text{ Euro pro Tonne Frischmasse}$ aus, so darf der Gasertrag aus Mais $193 \text{ Kubikmeter pro Tonne Frischmasse}$ nicht überschreiten, sofern die Substitution gewinnbringend sein soll. Mit Hilfe solcher Berechnungen können Anlagenbetreiber verhältnismäßig einfach einschätzen, ob sich die Substitution für sie finanziell lohnt.

⁹ Die höheren Vergütungssätze sind auf den nach der Novellierung hinzugekommenen Gülle-Bonus zurückzuführen.

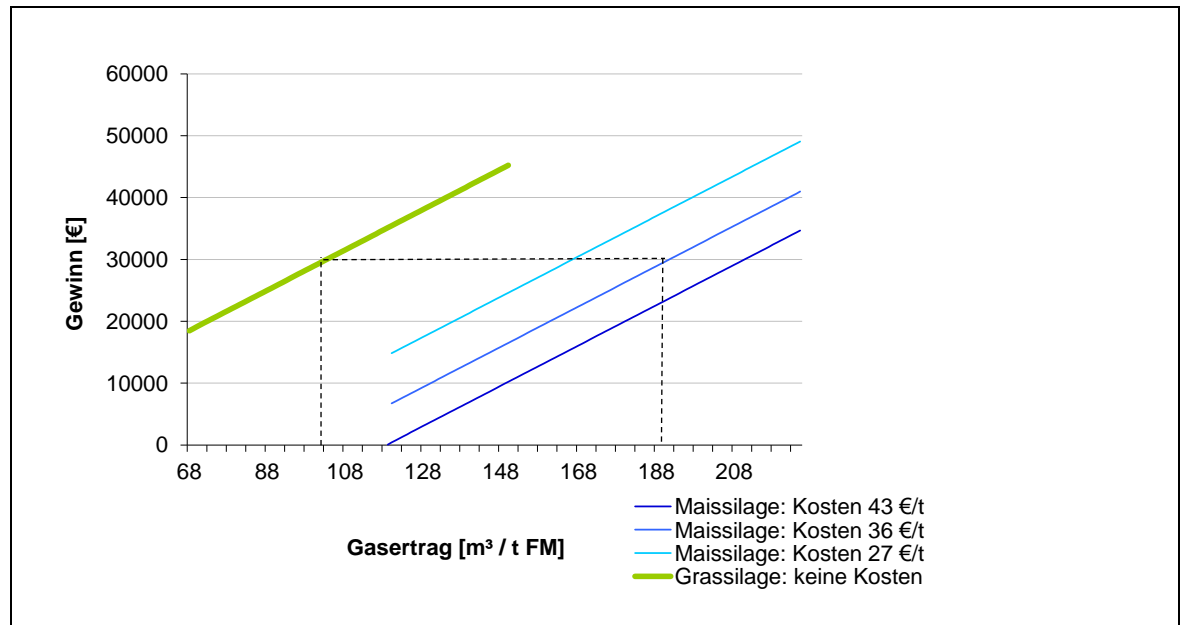


Abb. 6.5: Gewinnfunktionen für den Einsatz von Grassilage und Maissilage in bestehenden Biogasanlagen (350 kWel), Inbetriebnahme der Bestandsanlage: 2010, mit Wärmenutzung

6.7.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Abschließend lassen sich einige Schlussfolgerungen aus der Analyse ziehen. Zunächst einmal ist der Ersatz von Maisilage durch Grassilage nur unter spezifischen Bedingungen gewinnbringend für den Anlagenbetreiber. Demnach müssen die Bereitstellungskosten für Maissilage hoch und die Gaserträge aus Grassilage ebenfalls hoch sein. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist außerdem die Höhe der Einnahmen pro ausgekoppelter Energie. 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 eher möglich 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.

6.8 Arbeitspaket 8 (ZEE, IÖW): Übertragbarkeitsanalyse bzw. Wirtschaftlichkeit unter Optimalbedingungen

ZEE:

Die Übertragbarkeitsanalyse am ZEE wurde auf Grundlage folgender Kriterien durchgeführt:

- Zielsetzung der Akteure einer potenziellen Restschnittgutnutzung
- Potenziale und ihre aktuelle Nutzung
- Rechtsrahmen

6.8.1 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.
- 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 (s.o.). 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.

6.8.2 Potenziale und ihre aktuelle Nutzung

Bei den Potentialen wurde je nach Kategorie die Übertragbarkeit geprüft.

Potenziale von extensiv gepflegten Flächen:

Vertragsnaturschutzflächen: Auf andere Regionen übertragen kann man von einem ähnlichen Nutzungsvorrang des Restschnittguts in der Landwirtschaft ausgehen. Allerdings stellen sich die Nutzungsmöglichkeiten für den Grasschnitt durch die Landwirtschaft in Regionen mit geringem Viehbesatz ungünstiger dar. Dies ist der Fall bei:

- großen zusammenhängende Gebieten mit Vertragsnaturschutzflächen wie zum Beispiel die Landschaftspflegeflächen um Bad Säckingen
- stark vernässten Standorten, deren Grünschnitt geringen Futterwert aufweisen, wie zum Beispiel in weiten Gebieten Sachsen-Anhalts.

Uferrandstreifen: Die Nutzung des Schnittguts von Uferrandstreifen sieht sich einem Erhebungsproblem gegenüber und einer sowie schlechten Befahrbarkeit dieser oft vernässten Flächen. Das Erhebungsproblem ergibt sich aus der Vielzahl von Nutzern und Besitzern, die man koordinieren müsste, wollte man das Schnittgut nutzen. Im Projektgebiet der vier Gemeinden ist ein Wasserverband tätig, der die Uferrandstreifen pflegt und das Schnittgut birgt. Die Pflege durch einen Wasser-

verband stellt hier demnach eine gute Voraussetzung für eine Nutzung des Schnittguts von Uferandstreifen dar. Die Potenziale in anderen Gebieten Deutschlands dürften somit geringer sein.

Grünschnittsammelstellen Übertragbarkeit: Einen Ansatzpunkt für die Abschätzung von Grünschnitt aus Privatgärten gibt das Statistische Bundesamt, das getrennt erfasste organische Abfälle ausweist. Allerdings ohne diese zu untergliedern. Die Erfassungsmenge des Grünschnitts an Sammelstellen ist ein gutes Kriterium für die Umsetzungsmöglichkeit eines Konzepts für Grünschnitt aus Privatgärten. Die Mengen sind hier sehr unterschiedlich zu erwarten.

Straßenränder: Der Nutzung von Straßenbegleitgrün in Biogasanlagen ist durch die Düngemittelverordnung eine Grenze gesetzt (s.u. Rechtsrahmen). Die Düngemittelverordnung gilt bundesweit und schließt ein In-Verkehrbringen der Gärreste von Straßenbegleitgrün aus. Allerdings kommt zur Schadstoffproblematik noch das Problem einer aufwändigen Bergung hinzu, so dass grasartiges Straßenbegleitgrün aus mehreren Gründen ein brachliegendes Potenzial bleiben wird. Straßenbegleitgrün wird bezüglich der Übertragbarkeit nicht weiter betrachtet.

Potenziale von intensiv gepflegten kommunalen Flächen:

Da das Projekt Mikro-Biogas sich auf ein Nutzungskonzept für grasartigen Grünschnitt von kommunalen Flächen konzentriert hat, wurde hierzu eine Datenauswertung der Daten des Statistischen Bundesamtes und des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt vorgenommen. In vier Gemeinden wurden kommunale Akteure bezüglich des Aufkommens an kommunalen Grünschnitt befragt. Mit höheren Einsatzmengen sinken die Kosten pro kW installierte Leistung. Deshalb ist es im Sinne einer Übertragbarkeit relevant, ob es in anderen Landkreisen beziehungsweise Gemeindezusammenschlüssen höhere Aufkommen an kommunalem intensiv gepflegtem Grünschnitt gibt als im Landkreis Schwäbisch Hall, die die Wirtschaftlichkeit des Konzepts erhöhen würde. Nimmt man Erholungsflächen als Suchschlüssel, so liefert die Statistik keinen Anhaltspunkt dafür, dass Gemeindezusammenschlüsse in der BRD einen relevant höheren Anteil an intensiv gepflegten kommunalen Grünflächen erreichen als im Untersuchungsgebiet Schwäbisch Hall. Relevant höher meint hier die fünffache Menge, die es erlauben würde bei Kovergärung mit 50 Massenprozent Wirtschaftsdünger eine 200 KW el – Anlage zu versorgen. Die Länder Brandenburg, Mecklenburg Vorpommern und Niedersachsen haben ebenfalls Statistiken zu kommunalen Grünflächen oder Erholungsflächen veröffentlicht: nicht berücksichtigt wurden Städte. Brandenburg hat demnach einen Anteil von ca. 6% an Gemeinden mit über 100 ha Grünanlagen, Mecklenburg Vorpommern weist neben Parkanlagen die Kategorie sonstige Grünflächen aus, hier beträgt der Anteil an Gemeinden mit über 100ha ca. 3%, In Niedersachsen liegt der Anteil an Gemeinden mit über 100 ha Grünanlagen unter 1%. Dieses Ergebnis verwundert nicht, da ländliche Gemeinden nur einen begrenzten Bedarf an öffentlichen Grünflächen haben. Andere Ansätze um relevante Flächenzusammenhänge mit kommunalem Grünschnitt zu bekommen, könnte die Verschneidung von Merkmalen sein, die gewöhnlich große Grünflächen bedeuten, also z.B. Golfanlagen und Schlossanlagen in räumlicher Nähe zu suchen. Auch eine Clusterung von Gemeinden könnte Ansammlungen mit großem Aufkommen an kommunalem Schnittgut als Ergebnis bringen.

6.8.3 Rechtsrahmen (Restschnittgut als Bioabfall)

An dieser Stelle werden die Ergebnisse zur Analyse des Restschnittguts als Bioabfall dargestellt. Die Ergebnisse zum EEG sind bereits in verschiedenen anderen Arbeitspaketen in Zusammenarbeit mit dem IÖW mit eingebaut worden (siehe auch Übertragbarkeitsanalyse IÖW), da eine getrennte Darstellung von den Inhalten in diesem Bericht nicht sinnvoll erschien und Dopplungen vermieden werden sollten.

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.¹⁰

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.

IÖW:

Ziel der Übertragbarkeitsanalyse am IÖW war die Darstellung sogenannter Optimalbedingungen, das heißt Rahmenbedingungen, die dazu führen, dass das ursprünglich angedachte Anlagenkonzept wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Ursprünglich war in diesem Arbeitspaket eine Übertragbarkeitsanalyse geplant, das heißt für alle bisherigen Analysen sollten Sensitivanalysen durchgeführt werden, um den Einfluss abweichender Bedingungen abzuschätzen. Für die Treibhausgasbilanz war dies bereits im Arbeitspaket 3 erfolgt. Daher wurde nun auf die Wirtschaftlichkeitsanalyse fokussiert.

¹⁰ 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 In-Verkehrbringen 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.

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 Hall.

6.8.4 Einfluss verschiedener Parameter

Als Spannweite wurden bei den spezifischen Investitionskosten Werte zwischen 5.500 Euro und 7.500 Euro pro kWel angesetzt. Die Länge der 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 Abb. 6.6).

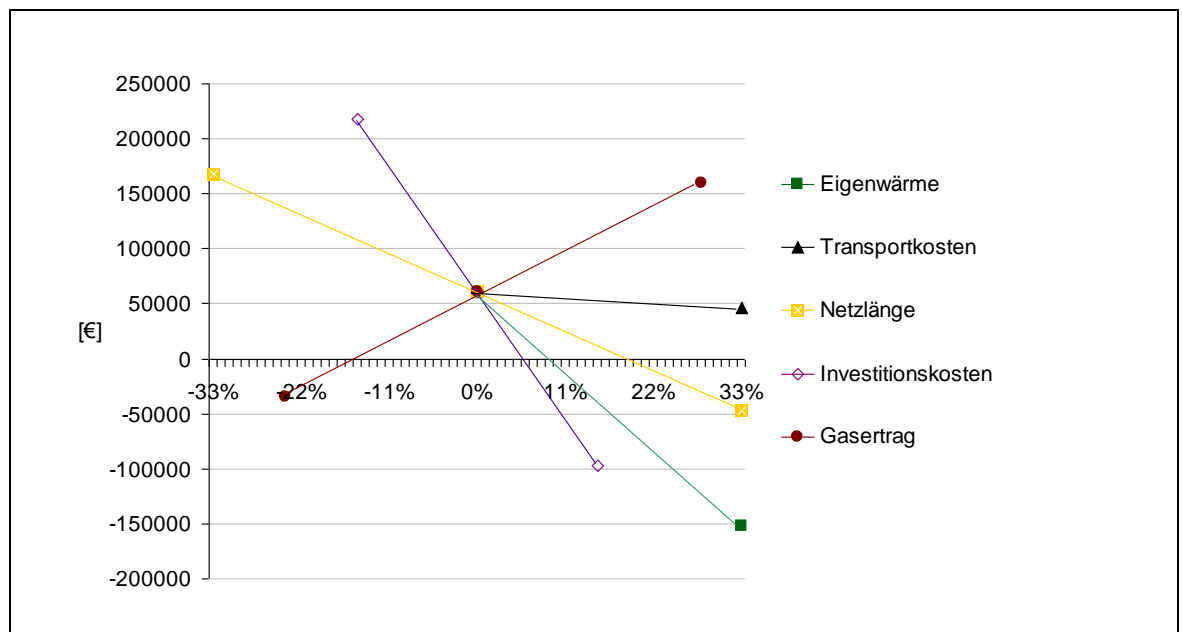


Abb. 6.6: Variation der Parameter Investitionskosten, Transportkosten, Netzlänge, Eigenwärme und Gasertrag und ihr Einfluss auf die Höhe der Gewinne bzw. Verluste über 20 Jahre

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. Ist dies nicht der Fall, so ist eine Installation einer Biogasleitung nicht rentabel. Stattdessen müsste ein kontinuierlicher Wärmeabnehmer direkt am Standort der Biogasanlage vorhanden sein.

6.8.5 Biogasleitung versus Wärmeleitung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung in Arbeitspaket vier hatten bereits verdeutlicht, 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. Nun wurde analysiert, inwiefern eine Wärmeleitung einer Biogasleitung vorzuziehen ist. In den in men.

Tab. 6.11 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.

Tab. 6.11: Annahmen und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen (nach den Vergütungsstrukturen des EEG 2009)

	Biogasleitung		Wärmeleitung	
	1.000	2.000	1.000	2.000
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.

6.8.6 Schlussfolgerungen

Nach den Vergütungsstrukturen des EEG 2009 sind derartig kleine Anlagen nur bei optimalen Rahmenbedingungen – nämlich sehr kurzer Biogasleitung und möglichst alternativer Wärmequelle – wirtschaftlich. Dies wird sich auch durch die Änderungen des EEG 2012 trotz Einführung eines Bonus für Biogaskleinanlagen nicht ändern, da gleichzeitig der KWK-Bonus entfällt und Zusatzboni nur entsprechend dem jeweiligen Einsatzstoff-Energieertrag gewährt werden. Die Errichtung einer Biogasleitung ist nach EEG 2012 bei derart kleinen Anlagen und bei zusätzlichen Investitionen in Infrastrukturen wie Biogas- oder Wärmeleitungen demnach ebenfalls kaum wirtschaftlich möglich. Voraussetzung für einen gewinnbringenden Betrieb solcher kleiner Anlagen wird daher ein geeigneter Wärmeabnehmer am Ort der Biogasproduktion sein. Alternativ kommt natürlich weiterhin die Zufuhr von Grassilage in Biogasbestandsanlagen in Frage.

7 Notwendigkeit und Angemessenheit der Arbeit

Die durch das Projekt erarbeiteten Ergebnisse liefern eine wichtige Grundlage für die Entscheidung von kommunalen Akteuren, ob und auf welche Weise sie Restschnittgut energetisch verwerten möchten und dies auch gewinnbringend umsetzen können. Vor allem zeigen die Ergebnisse den großen Einfluss der Gaserträge aus Restschnittgut auf die Wirtschaftlichkeit der Nutzungskonzepte sowie die hohe Bandbreite an möglichen Gaserträgen in Abhängigkeit von den verfügbaren Flächen bzw. Biomassen. Der Leitfaden, als wichtigstes Produkt des Projektes, geht auf diese sowie andere wichtige Rahmenbedingungen ein. Auf diese Weise können die Ergebnisse Investitionen zur energetischen Nutzung von Restschnittgut anstoßen und dadurch zum Klimaschutz beitragen. Zugleich können jedoch Fehlinvestitionen, die beispielsweise aus einer Fehleinschätzung der Gaserträge aus Gras entstehen würden, vermieden werden. In diesem Fall sollten andere energetischen Nutzungskonzepte angedacht werden.

Der Einsatz von Bundesmitteln war für die Durchführung des Vorhabens ursächlich. Da das ZEE und das IÖW selber nicht über ausreichende Mittel verfügt und keine anderen Mittelgeber für ein entsprechendes Vorhaben zur Verfügung standen, wäre das Ziel ohne Bundesmittel nicht erreicht worden.

8 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

ZEE: Im Projektablauf war die Umstellung des Projektziels auf Grund der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung und der damit unterbundenen Weiterverfolgung der Konzepte in Richtung Implementierung notwendig. Da der Gasertrag aus Gras auf Basis von Literaturwerten nicht abgeleitet werden konnte, wurden statt der Implementierung Gasertragstests für verschiedene Restschnittgutarten durchgeführt. Zusätzlich ist auf Grund der Dauer der Gasertragstests eine Projektlaufzeitverlängerung um zwei Monate für das ZEE notwendig geworden. Die Kosten für die Gasertragstests konnten durch die eingesparten Kosten für die Implementierung innerhalb des Postens „Unterverträge“ kompensiert werden. Die Projektlaufzeitverlängerung um zwei Monate für das ZEE ist kostenneutral gestaltet worden. Aufgrund der Umstellung des Projektverlaufs wurden nicht alle Mittel in Anspruch genommen und werden entsprechend zurückerstattet.

IÖW: Die oben benannten Änderungen haben den Kostenplan des IÖWs nicht betroffen. Der ursprüngliche Kostenplan wurde eingehalten.

9 Voraussichtlicher Nutzen

Erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden Konzepte zur Verwertung von Restschnittgut in Biogasanlagen erarbeitet. Der Schwerpunkt lag beim ZEE auf der Analyse der Akteure und deren Interessen, der Einbindung des Akteure in den Entwicklungsprozess und der Analyse der zur Verfügung stehenden Potenziale (über den Unterauftragnehmer Universität Hohenheim. Beim IÖW lag der Schwerpunkt auf den Analysen der betrieblichen Wirtschaftlichkeit, der regionalökonomischen Effekte so-

wie des Klimaschutzpotenzials. Als Grundkonzept wurde die Neuerrichtung und der Betrieb einer dezentralen Biogasanlagen betrachtet, wobei das Biogas mit einer Biogasleitung zu einem zentralen BHKW geleitet wird. Als Alternative wurde die Substitution von Maissilage durch Grassilage in einer Biogasbestandsanlage untersucht.

Als konkrete Ergebnisse entstanden aus dem Projekt:

ZEE:

- zwei Arbeitsberichte zur Akteursanalyse und Stakeholderworkshop
- zwei Arbeitsberichte zur ökologisch orientierten Potentialerhebung der Universität Hohenheim (Unterauftragnehmer)
- zwei Arbeitsberichte zu den Tätigkeiten des Energiezentrums der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall (Unterauftragnehmer)
- ein wissenschaftlicher Artikel zu „Potentials of economically usable green waste for biogas production“

IÖW:

- ein Arbeitsbericht zu technischen Optionen bei der Verwertung von Restschnittgut Biogasanlagen
- ein Arbeitsbericht zur Wirtschaftlichkeit des Mikro-Biogas-Konzepts zur Verwertung von Restschnittgut
- ein Arbeitsbericht zur Klima- und Energiebilanz des Mikro-Biogas-Konzepts zur Verwertung von Restschnittgut
- ein Arbeitsbericht zur Wirtschaftlichkeit der Substitution von Maissilage durch Grassilage in Biogasbestandsanlagen

Außerdem wurden die Ergebnisse im Rahmen Praxisworkshops verbreitet. Zentrale Publikation des Projekts ist ein gemeinsamer Leitfaden von IÖW, ZEE und der Universität Hohenheim, der sich an Kommunalvertreter sowie andere Interessierte richtet.



Elisa Dunkelberg, Astrid Aretz, Timo Böther, Martin Dieterich, Sebastian Heintschel, Chantal Ruppert-Winkel (2011): Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen. Working Paper 05 – 2011.

Wirtschaftliche Verwertung

ZEE und IÖW (die Einschätzung des Konzeptes kann nur unter einem Verschneiden der Arbeitspakete ZEE und IÖW erfolgen):

Der ursprünglich geplante Ansatz, Biogas von einem oder mehreren dezentralen Fermenter mit einer Mikrobiogasleitung zu einem zentralen BHKW zu leiten, bringt nur unter günstigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich einen Gewinn. Optimale Bedingungen zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass eine Wärmequelle am Ort des Fermenters vorhanden sein sollte. Ansonsten müssen etwa 25% des Biogases zur Wärmebereitstellung abgezweigt werden, was erhebliche negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit hat. Da die Investitionskosten ebenfalls einen starken Einfluss auf das Ergebnis haben, ist es wichtig, möglichst frühzeitig Gespräche mit Anlagenherstellern zu den konkreten, zu erwartenden Investitionskosten zu führen. Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Gasertrag aus Grünschnitt. Gasmessungen, die im Projekt „Mikro-Biogas“ von der Universität Hohenheim durchgeführt wurden, zufolge liegen die Gaserträge in Abhängigkeit von der verfügbaren Biomasse zwischen 150 und 635 Kubikmeter pro Tonne organischer Trockensubstanz. Niedrige Gaserträge erzielen vor allem einschürige Naturschutzwiesen, hohe Gaserträge erzielt vor al-

lem Grünschnitt von Rasenflächen und Sportplätzen. Nach einer ersten Sondierung, welche Art von Restschnittgut in welcher Menge in einer Kommune vorhanden ist, können kommunale Akteure mit Hilfe der im Projekt erhobenen Gaserträge abschätzen, ob eine Verwertung in Biogasanlagen wirtschaftlich umzusetzen ist. Zuletzt spielt die Wärmenutzung eine wichtige Rolle: Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass bei kleinen, dezentralen Anlagen (etwa 50 kWel), die durch eine Restschnittgutnutzung ohne Zusatz von weiteren NaWaRos realisierbar sind, eine Entfernung von etwa 1.500 m (Biogasleitung oder Wärmeleitung) nicht überschritten werden sollte, selbst der Eigenwärmebedarf der Fermenter nicht durch Abzweigen von Biogas gedeckt werden muss. Müssen 25% des Gases zur Wärmebereitstellung für den Fermenter abgezweigt werden, so kann nur eine Biogas- oder Wärmeleitung minimaler Längen realisiert werden. Ist jedoch ein geeigneter, kontinuierlicher Wärmeabnehmer am Ort der Biogasanlage vorhanden, so dass keine Biogas- oder Wärmeleitung notwendig ist, so lässt sich das Konzept gewinnbringend umsetzen, auch wenn nur eine kleine Anlage von etwa 50 kWel realisiert werden kann.

Die Ergebnisse des Projekts „Mikro-Biogas“ sind in einem Leitfaden zusammengefasst (s.o.), der sich an Kommunalvertreter und Landwirte in ländlichen Gemeinden richtet, die an einer Nutzung von halmgutartigem Restschnittgut für die Biogasproduktion interessiert sind. Dieser Leitfaden ermöglicht es Interessenten die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit möglicher Nutzungskonzepte für halmgutartiges Restschnittgut in der eigenen Kommune einzuschätzen und kann damit zur Umsetzung von konkreten Anlagen beitragen. Die Projektergebnisse wurden wie geplant über diverse Kommunikationskanäle (Workshops mit Multiplikatoren, Veranstaltungen der Begleitforschung, Fachworkshops etc.) verbreitet. Inwiefern das untersuchte Konzept tatsächlich zu einer Umsetzung gelangt, ist schwer abzuschätzen, da die Novellierung des EEG 2012 die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen verändert. Der Bonus für Kleinstbiogasanlagen kann eine geeignete Fördermöglichkeit für derartige Anlagen darstellen, wird aber ebenfalls nicht zu einer grundsätzlich wirtschaftlich tragfähigen Situation führen, sofern in eine Mikrobiogasleitung und einen separaten Gasbrenner investiert werden muss.

ZEE:

Die Ergebnisse der Akteursanalyse können interessierten Akteuren helfen, entsprechende Projekte zu initiieren, einen Teilnehmerkreis aufzubauen und über Rechtsform und Vertragsgestaltungen zu entscheiden. Der Gasertragstests können zudem den Kommunalvertretern als Argumentationshilfe gegenüber Landwirten dienen, kommunalen Grünschnitt in deren Biogasanlagen einzubringen.

IÖW:

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Anwendung der Projektergebnisse durch Dritte (Nutzer) dann zu regionalökonomischen / gesamtwirtschaftlichen Vorteilen führen, wenn das Konzept auch betriebswirtschaftlich gesehen zu Gewinnen führt.

Der Einsatz in Bestandsanlagen und die Substitution von Maissilage kann wirtschaftlich erfolgen, wenn die Bereitstellungskosten für Mais verhältnismäßig hoch und die Gaserträge aus Gras ebenfalls verhältnismäßig hoch sind.

Wissenschaftliche Verwertung

ZEE:

Die Akteursanalyse, einschließlich der Analyse der Rahmenbedingungen sowie die ökologisch orientierte Erhebung von Biomassepotentialen in Kooperation mit der Universität Hohenheim, konnten das Know-how im Bereich der Biogaserzeugung aus Restschnittgut erweitern. Ein Paper, das die Ergebnisse miteinander kombiniert, wurde auf der Internationalen Konferenz „Renewable Energy Self Sufficiency“ vom 14.-16.9.2011 in Freiburg vorgetragen und diskutiert. Der entspre-

chende Artikel dazu wurde zur Einreichung in das internationale peer-reviewte Journal „Sustainability“ eingeladen (Dieterich, M.; Heintschel, S.; Pick, D.: Potentials of economically usable green waste for biogas production). Die Datengrundlage insbesondere zu Gaserträgen aus Restschnittgut schafft zudem eine Grundlage für weitere Analysen zu energetischen Nutzungsoptionen von Restschnittgut.

IÖW:

Die Erarbeitung der technischen Optionen zur Nutzung von Restschnittgut in Biogasanlagen, die Analysen zur Wirtschaftlichkeit und zur Klima- und Energiebilanz dezentraler Konzepte sowie zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Restschnittgut in Biogasbestandsanlagen konnten das Know-How im Bereich der Biogaserzeugung aus Restschnittgut erweitern. Das IÖW konnte seine wissenschaftliche Kompetenz im Bereich der Bioenergieerzeugung und Bewertung erweitern.

ZEE und IÖW:

Die wissenschaftliche Verwertung der Projektergebnisse durch das ZEE und IÖW zielt im Wesentlichen auf das Aufzeigen und Verbreiten von neuen Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse und die damit zusammenhängenden Implikationen im Anschluss an das Themenfeld kommunaler Energieversorgungskonzepte durch Erneuerbare Energien. Dies erfolgt im Wesentlichen durch Veröffentlichungen bzw. Verbreitung der Ergebnisse sowie durch die Einbeziehung von Multiplikatoren und Entscheidungsträgern. Hier können auch verstärkt, entsprechend zitiert, die Kanäle des Projektes EE-Regionen genutzt werden, das ebenfalls am ZEE durchgeführt wird..

Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Vorhaben kann als ein anwendungsorientiertes Vorhaben der Forschung im Bereich Biogaserzeugung aus Restschnittgut gesehen werden. Die Einschätzung der Anschlussfähigkeit des Konzeptes kann nicht nach ZEE und IÖW getrennt erfolgen, da die Arbeitspakete beider Institute im Konzept zusammen fließen.

Im konkreten Untersuchungsgebiet: Bei einem Workshop am 09.12.2010 wurden die Nutzungskonzepte mit Schwerpunkt auf das wirtschaftlichste Konzept verschiedenen Stakeholdern aus vier Kommunen in Schwäbisch-Hall vorgestellt (ZEE). Die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit (IÖW) haben dazu geführt, dass es in den ausgewählten Kommunen keine Bereitschaft zur Umsetzung des ursprünglich geplanten Konzepts gibt, da dort keine optimalen Rahmenbedingungen vorliegen. In der gemeinsamen Diskussion zeigten sich Ansatzpunkte einer Verbringung des anfallenden kommunalen Schnittguts in Bestandsanlagen. Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit eines solchen Konzeptes haben gezeigt, dass eine Substitution von Maissilage durch Grassilage in Bestandsanlagen gewinnbringend sein kann. Die Höhe des Gewinnes hängt von der Größe der Anlage, dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme sowie dem Umfang der Wärmenutzung ab. Die Einschätzung der wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit der Konzepte ist schwierig, da das ab dem 01.01.2012 gültige EEG die Rahmenbedingungen für die Nutzung von Grünschnitt kommunaler Flächen (Parkanlagen, Privatgärten) verändert. Zukünftig wird vermutlich eine gemeinsame Vergärung mit Bioabfall wirtschaftlich interessant werden – ein Konzept, das im Projekt Mikrobiogas nicht untersucht wurde. Der erarbeitete Leitfaden berücksichtigt die veränderten Rahmenbedingungen jedoch durch Aufzeigen der wesentlichen Rahmenbedingungen und ihrer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit.

Allgemein: Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit des Projektes ist dagegen hoch:

IÖW:

Das IÖW plant eine Vertiefung der Forschungstätigkeit im Bereich Biogas. Es wurde eine Projektskizze zum Thema Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität im Förderschwerpunkt „Energetische Bi-

omassenutzung“ eingereicht. Das IÖW wird in jedem Fall die gewonnenen methodischen Erkenntnisse in Folgeprojekten weiter anwenden und entwickeln.

ZEE:

Auch über das ZEE wird an die Ergebnisse des Mikrobiogasprojektes angeknüpft. Die Ergebnisse der Akteurs-Analyse, die im Leitfaden zusammengefasst sind, werden Eingang in weitere Forschungstätigkeiten des ZEEs finden. Für die zukünftige Entwicklung von Konzepten zur Restschnittgutnutzung stehen zudem die Ergebnisse der Gasertragstests zur Verfügung.

Aufgrund der wachsenden Bedeutung einer klimaschutzeffizienten, energetischen Nutzung von Biomasse steigen die Möglichkeiten eines wissenschaftlichen Anschlusses und der wirtschaftlichen Relevanz der Ergebnisse. Denkbare Folgeprojekte ergeben sich aus der Breite möglicher energetischer Nutzungsformen von Biomasse bzw. auch konkret Restschnittgut. Das hier dargestellte Vorhaben konzentrierte sich auf die dezentrale Biogaserzeugung mit den Kosubstraten Gülle und Mist als eine Nutzungsoption. Eine andere Nutzungsoption ist die gemeinsame Vergärung mit Bioabfall, was insbesondere durch die Novellierung des EEG 2012 eine interessante Option wird. Konkrete Analysen oder Machbarkeitstudien stehen hierzu noch aus. Möglich wäre außerdem eine Aufbereitung des Biogases zu Biomethan. Hierzu bedarf es zunächst neuer Verfahren, die auch bei dezentralen Biogasanlagen kostengünstig angewandt werden können. Eine andere Alternative könnte die Vergasung des Restschnittguts ggf. gemeinsam mit anderen Biomassen sein – für diese Option bedarf es zunächst einer grundlegenden Analyse der technischen Machbarkeit.

Das Projekt liefert somit Ergebnisse zur Vergärung von Restschnittgut, der Wirtschaftlichkeit des Konzeptes sowie der damit verbundenen Klimaschutzwirkung, eine Einordnung dieser Nutzungsoption in die Vielfalt der möglichen Bioenergieverfahren und -konzepte steht noch aus.

10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Erkenntnisse aus relevanten Projekten und Veröffentlichungen sind in das Vorhaben eingeflossen (siehe Kapitel 4, das Literaturverzeichnis dieses Schlussberichts, des Leitfadens „Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen“ sowie der Arbeitsberichte).

11 Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Arbeitsberichte erstellt:

Aretz, Astrid, Böther, Timo, Dunkelberg, Elisa (2010): Wirtschaftlichkeitsanalyse von Mikrobiogas-konzepten. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

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, Elisa, Böther, Timo, Weiß, Julika (2011): Wirtschaftlichkeit von Mikrobiogaskonzepten unter Optimalbedingungen. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

Dunkelberg, Elisa, Kress, Michael (2011): Wirtschaftlichkeit des Ersatzes von Maissilage durch Grassilage in Bestandsanlagen. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

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

Henßler, M. (2010): Zwischenbericht Arbeitspaket 5: Sozioökonomische Analyse vorhandener Akteursstrukturen, Interessen und Implikationen, Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall.

Henßler, M. (2011): Endbericht Arbeitspaket 5 und 6, Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall.

Marcus Trommler (2010): Dezentrale Mikro-Biogas-Erzeugung. Entwicklung übertragbarer Konzepte zur nachhaltigen Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe für die Mikro-Biogasproduktion in Gemeinden und Landkreisen. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin.

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

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

Leitfaden:

(Der Leitfaden enthält die Ergebnisse aller Arbeitspakete in komprimierter Form)

Dunkelberg, E.; Aretz, A.; Böther, T.; Dieterich, M.; Heintschel, S.; Ruppert-Winkel, C. (2011): Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen. ZEE Working Paper 05 – 2011.

Zudem wurde folgender wissenschaftliche Artikel geschrieben und eingereicht:

Dieterich, M.; Heintschel, S.; Pick, D. (voraussichtlich 2012): Potentials of economically usable green waste for biogas production. Eingereicht in: Sustainability (internationales peer-reviewtes Online-Journal).

Vorträge:

Aretz, Astrid: Kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien. Workshop Wertschöpfung, 18.5.2010, UFZ-Kubus, Leipzig.

Pick, Daniel: Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial, Tagung, 01.-02.03.2011, Berlin

Pick, Daniel: Potentials of economically usable green waste for biogas production. Internationale Konferenz Renewable Energy Self Sufficiency 14.-16.9.2011, Freiburg

Darüber hinaus fanden Transferaktivitäten im Rahmen der Praxisworkshops mit den beteiligten Kommunen statt.

12 Literaturverzeichnis

- Aretz, A., Hirschl, B. (2007): Biomassepotenziale in Deutschland-Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1 März 2007.
- Bahrs, E., Held J.-H. (2007): Steigende Nachfrage auf den Energie- und Agrarrohstoffmärkten – Konsequenzen für die niedersächsische Landwirtschaft, die Bodenmärkte und die Agrarpolitik. Konsequenzen des Biomasseanbaus zur Energieproduktion auf die niedersächsische Landwirtschaft - eine partielle Analyse bedeutender Fragestellungen. Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung Georg-August-Universität Göttingen.
- Bannasch, D. (2007): MetropolSolar Rhein-Neckar – Regionales Netzwerk für 100% Erneuerbare Energien . In: Energie der Zukunft?: Bausteine einer nachhaltigen Energieversorgung (Hg.) Sabine Kratz Metropolis-Verlag GmbH, S.101-124, S. 147-160.
- Beese, Jochen (2006): Ferntransport von Biogas zu zentralen BHKW-Standorten mit Wärmenutzung - Kosten und Nutzen aus mehreren realen Projekten.
<http://www.siloxa.com/pdf/Biogaserfernttransport-text.pdf> (Zugegriffen 24. November 2010).
- Beck, J., Kempener, R., Cohen, B., Petrie, J. (2008): A complex systems approach to planning, optimization and decision making for energy networks. In: Energy Policy, Vol. 36, Issue 8, S. 2795-2805.
- 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, Yulia, Annette Prochnow, Matthias Plöchl, Christoph Luckhaus, und Monika Heiermann (2009): Ökonomische Bewertung der Biogaserzeugung 41. Jahrgang, no. 03/2009. Naturschutz und Landschaftsplanung: S. 83 - 88.
- BMELV [Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2008): Wettbewerb Bioenergie-Regionen. http://www.bioenergie-regionen.de/cms35/fileadmin/bioenergie-regionen/dateien/Brosch_BioenergieRegionen.pdf (02.03.09).
- 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).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008a): Biogas und Umwelt - Ein Überblick. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin: BMU, Referat .Öffentlichkeitsarbeit.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008b): Richtlinien zur Förderung von Mini-KWK-Anlagen vom 01.01.09.
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderrichtlinie_minikwk.pdf (02.03.09).
- 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] (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse – Endbericht.

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biomasse_vorhaben_endbericht.pdf (02.03.09).

Böcher, M., Tränkner, S. (2008): Erfolgsfaktoren integrierter ländlicher Entwicklung. In: Böcher, M., Krott, M., Tränkner, S. (2008): Regional Governance und integrierte ländliche Entwicklung: Ergebnisse der Begleitforschung zum Modell- und Demonstrationsvorhaben "regionen aktiv", VS Verlag, S. 109-150.

Brackel, W. von, Brunner, M. (2001): Geobotanische Dauerbeobachtung in Grünflächen der Stadt Münschen – Untersuchungen zur Optimierung der Pflege von Parkrasen und –wiesen. Stadt und Grün/ Das Gartenamt, 46: 107-116.

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

D'Jesús, P., C. Artiel, B. Kraushaar-Czarnetski, und E. Dinjus (2005): Untersuchung der Gasausbeute bei der Vergasung von Maissilage in überkritischem Wasser. Chemie Ingenieur Technik 77, no. 8: 984.

Ecologic (2008): Biogasnutzung im ländlichen Raum.

http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/Studien/BMVBS_Biogasstudie_Ecologic_081117__2_.pdf (02.03.09).

Eder, B., M. Mukengele, C. Papst, B. Darnhofer, H. Oechsner, und J. Eder (2008): Der ideale Typ. BIOGAS Journal, no. 1: 29-35.

EEG (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) (Stand: 25.10.2008). www.juris.de (02.03.09).

FhG [Fraunhofer Gesellschaft] (2009): Strom aus Stroh. In: Mediendienst, Nr.2 – 2009, http://www.fraunhofer.de/Images/md2_FERTIG_tcm5-110510.pdf (02.03.09).

FNR [Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe] (2011): www.bioenergie-portal.info: Bioenergieberatung. <http://www.bioenergie-portal.info/> (Zugegriffen 23. März 2011)

FNR [Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe] (2009): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2009

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 (Zugegriffen 24. November 2010).

FNR, [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.] (2009c): Tagungsband „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“. Tagungsband zum KTBL/FNR-Biogas-Kongress vom 15. bis

16. September 2009 in Weimar. Gülzower Fachgespräche Band 32. http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_400-gfg32_biogas-kongress.pdf (Zugegriffen 17. März 2011).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.] (2007): Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/leitfaden/datensammlung/> (Zugegriffen 25. November 2011).
- Görner, K. (2006): Einsatz der Mikro-KWK Technik im Wohnbereich - Dezentrale gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme für Gebäude. Vortrag im Rahmen der Frühjahrssitzung des Arbeitskreises Energie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, 27.04.06, Bad Honnef, http://www.unisaarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/AKE2006F/AKE2006F_Vortraege/AKE2006F_07G_oerner_Mikro-KWK_Gas.pdf (02.03.09).
- Heintschel, S. (2012): Quantifizierung der Biomasse- und Biogaserträge von öffentlichen Grünflächen und Straßenrandstreifen im Landkreis Schwäbisch Hall. Diplomarbeit an der TU Bergakademie Freiberg.
- Henßler, M. (2010): Zwischenbericht Arbeitspaket 5: Sozioökonomische Analyse vorhandener Akteursstrukturen, Interessen und Implikationen, Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall.
- Henßler, M. (2011): Endbericht Arbeitspaket 5 und 6, Energiezentrum der Wirtschaftsförderungsgesellschaft Schwäbisch Hall.
- 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.
- IFEU [Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH] (2008): Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. <http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/BMU-Biogasprojekt%202008-Gesamtband.pdf> (02.03.09).
- IZES [Institut für ZukunftsEnergieSysteme] (2007): Strategien zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse in ausgewählten Modellregionen – Regionale Umsetzungen zur Nutzung des im Rahmen der ökologischen Begleitforschung / ZIP Biomasse entwickelten nationalen Werkzeugs für die Politikberatung „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ – Endbericht. http://www.bioregio.info/cms/upload/pdf/BioRegio_ENDBERICHT.pdf (02.03.09).
- Jedicke, E. (1994): Biotopverbund: Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Ulmer Verlag, S. 287.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse. 2. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Kaplinsky, Morris (2001): A handbook for value chain research. Research Institute of Development Studies at University of Sussex, <http://www.inti.gov.ar/cadenasdevalor/manualparainvestigacion.pdf> (05.12.08).
- Kappler, G., Leible, L., Kälber, S., Witzner, D. (2005): GIS-gestützte Regionalanalyse (Baden-Württemberg) zur Erschließung des energetisch nutzbaren Potenzials an Waldrestholz und Überschussstroh für die Gaserzeugung.
- Kiese, M., Schätzl L. (2008): Cluster und Regionalentwicklung: Theorie, Beratung und praktische Umsetzung. Rhon-Klewe Dorothea.
- Kratz, S. (2007): Netzwerke als Strategie zur Umsetzung Nachhaltiger Entwicklung. Fördernde und hemmende Faktoren der Netzwerkbildung am Beispiel Erneuerbarer-Energien-Netzwerke. In: Energie der Zukunft?: Bausteine einer nachhaltigen Energieversorgung (Hg.) Sabine Kratz Metropolis-Verlag GmbH, S.101-124.

- KTBL [Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.] (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Aufl. Darmstadt.
- Leeuwis, C. (2004): Communication for Rural Innovation. Rethinking agriculture extension. Third Edition. Blackwell Publishing.
- Leible, L., Kälber, S. (2006): Energetische Nutzung fester biogener Reststoffe. Informationen zur Raumentwicklung Heft 1/2.2006.
- Mader, H.J., Klüppel, H., Overmeyer, H. (1986): Experimente zum Biotopverbundsystem - tierökologische Untersuchungen an einer Anpflanzung. Landwirtschaftsverlag, BfN, 136 S.
- Maierhofer, H., Wagner, R. (2004): Trockenfermentation im Batch-Verfahren. Hrsg: Carmen e.V., <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/biogas/Feststoff.pdf> (02.03.09).
- Mederake, R., Schmidt, W., Stottele, T. (1989): Pflegeversuche zur Sukzessionslenkung auf Straßenbegleitflächen. Möglichkeiten und Grenzen standortgemäßer Vegetationsentwicklung unter dem Einfluß extensiver Pflegemaßnahmen. – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, S. 158.
- Minerva Funds (2009): Biogas-Anlagen. <http://www.minervafunds.eu/15.html> (02.03.09)
- Morosini, P. (2004): Industrial Cluster, Knowledge Integration and Performance. World Development, 32(2), S. 305-326.
- Nachhaltigkeitsbeirat BaWü (2008): Energie aus Biomasse: Potenziale und Empfehlungen für BaWü. Gutachten des Nachhaltigkeitsbeirats der Landesregierung Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Narodoslawsky, M. (2007): Entwicklung eines regionalen Nutzungskonzeptes für nachwachsende Rohstoffe. In: Energie der Zukunft?: Bausteine einer nachhaltigen Energieversorgung (Hg.) Sabine Kratz Metropolis-Verlag GmbH, S. 55-72.
- Nussbaum, H. (2010, persönliche Mitteilung): Silierrfähigkeit von Grünschnitt. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei. Interviewt von E. Dunkelberg.
- Öko-Institut u.a.: (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Darmstadt 2004.
- Pehnt, M. (2005): Mikro-KWK und ihre Vernetzung. Vortrag im Rahmen der Tagung „Perspektiven dezentraler Energiesysteme“, 26.01.05, Berlin.
- Pick, D.; Ruppert-Winkel, C. (2010): Akteursanalyse im Projekt Mikro-Bio-gas. Zwischenbericht 1, Mikro-Biogas. ZEE, Universität Freiburg.
- Pick, D.; Ruppert-Winkel, C. (2011): Akteursanalyse im Projekt Mikro-Bio-gas. Zwischenbericht 2, Mikro-Biogas. ZEE, Universität Freiburg.
- Prochnow, A.; Heiermann, M., Idler, C.; Linke, B., Mähner, P., Plöchl, M. (2006): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge; Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim.
- Ramesohl, S., Arnold, K. (2005): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse – Band 1 Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertalinstitut.
- Rausen, T., Einzmann, U. (2005): Nutzungspotenziale biogener Rohstoffe im kommunalen Bereich. In; Wiemer, K, Kern, M. (Hesg): Bio- und Restabfallbehandlung IX. Biologisch – mechanisch – thermisch. Witzenhasuen-Institut – Neues aus Forschung und Praxis. S. 673-685, Witzenhausen.

- Raussen, T., Kern, M. (2006): Stand und Verfahren der Bioenergieerzeugung in Deutschland – Chancen für die Abfallwirtschaft. In: Bio- und Sekundärrohstoffverwertung, Witzenhausen 2006, Tagungsband zum 18. Kasseler Abfallforum.
- Reck, H., Kaule, G. (1993): Straßen und Lebensräume - Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume. - Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 645: 230 S.
- Ries, L., Debinski, D. M., Wieland, M.L. (2001): Conservation value of roadside prairie restoration butterfly communities. - Conservation Biology, 15, S. 401 – 411.
- Rogers, E. M. (2003): Diffusion of Innovations, 5th ed., New York, NY: Free Press
- Rösch, C., Raab, K., Sharka, J., Stelzer, V. (2007): Energie aus Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? – Forschungszentrum Karlsruhe, S. 178
- Sayer, M. (1992): Ökologische Bedeutung der Straßenränder für die Tierwelt. - In: Stottele, T., Sollmann, A. (eds.): Ökologisch orientierte Grünpflege an Straßen. Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes für Straßenbau 32, S. 85-107.
- Sayer, M., Schaefer, M. (1989): Wert und Entwicklungsmöglichkeiten straßennaher Biotop für Tiere (I). - Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 569, 64 S.
- Sayer, M., Schaefer, M. (1995): Wert und Entwicklungsmöglichkeiten straßennaher Biotop für Tiere (II). - Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 703, S. 444.
- 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.
- Thaler, F., Prots, B. (2008): Vegetationsökologisches Monitoring an Straßenbegleitflächen. - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Wien, S. 182.
- Tischer, M., Stöhr, M., Lurz, M., Karg, L. (2006): Auf dem Weg zur 100% Region - Handbuch für eine nachhaltige Energieversorgung von Regionen. Selbstverlag B.A.U.M., München.
- VDI [Verein Deutscher Ingenieure e.V.] (2000): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung, VDI 2067.
- 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).
- WBA (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. <http://www.bmelv.de> (Zugegriffen 16. März 2009).
- Wasner, U. (1984): Schonende Straßenrand pflege lässt Kleintierfauna überleben. Mitteilungen der LÖLF, 9: 9 -16.