

# Schlussbericht

## zum Vorhaben

Thema:

**Verbundvorhaben: Biogasanlagen im Ökolandbau; Teilvorhaben 1 - 3**

Zuwendungsempfänger:

**Ecofys Germany GmbH**

**FiBL Projekte GmbH**

**Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften**

Förderkennzeichen:

**22003312 bzw. 12NR033**

**22021112 bzw. 12NR211**

**22021212 bzw. 12NR212**

Laufzeit:

01.09.2012 bis 31.12.2014

Datum der Veröffentlichung:

24.09.2015



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

**ECOFYS**

sustainable energy for everyone



Ökologische Agrarwissenschaften **U N I** K A S S E L



**MEP**

Maschinenringe Schleswig-Holstein  
Energie Pool GmbH & Co. KG



## Biogasanlagen im Ökolandbau

Projektbericht im Auftrag der FNR

## Autoren

### **Ecofys Germany GmbH**

Albrechtstraße 10 c  
10117 Berlin

Frank Hofmann

T: +49 (0)30 29773579-41

E: [f.hofmann@ecofys.com](mailto:f.hofmann@ecofys.com)

Ulf Weddige

T: +49 (0)30 29773579-43

E: [u.weddige@ecofys.com](mailto:u.weddige@ecofys.com)

### **Universität Kassel**

Steinstr. 19  
37213 Witzenhausen

Benjamin Blumenstein

T: +49 (0)5542 981235

E: [blumenstein@uni-kassel.de](mailto:blumenstein@uni-kassel.de)

Prof. Dr. Detlev Möller

T: +49 (0)5542 981330

E: [d.moeller@uni-kassel.de](mailto:d.moeller@uni-kassel.de)

### **FiBL Projekte GmbH**

Weinstr. Süd 51  
67098 Bad Dürkheim

Beatrice Grieb

T: +49 (0)6322 98970-222

E: [grieb@soel.de](mailto:grieb@soel.de)

Rolf Mäder

T: +49 (0)69 7137699-71

E: [rolf.maeder@fibl.org](mailto:rolf.maeder@fibl.org)

Dr. Uli Zerger

T: +49 (0)6322 98970-223

E: [uli.zerger@fibl.org](mailto:uli.zerger@fibl.org)

### **Maschinenringe Schleswig-Holstein Energie Pool GmbH & Co. KG (MEP)**

Thorshammer 11  
24866 Busdorf

Florian Gerlach

T: +49 (0)4621 39298-0

E: [info@mep-sh.de](mailto:info@mep-sh.de)

### **RENAC**

Schönhauser Allee 10-11  
10119 Berlin

Volker Jaensch

T: +49 (0) 30 526 895 8-85

E: [jaensch@renac.de](mailto:jaensch@renac.de)

Katharina Hartmann

T. +49 (0) 30 526 895 8-95

E: [hartmann@renac.de](mailto:hartmann@renac.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>x</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ziel .....	1
1.2 Motivation für Biogasanlagen im Ökolandbau .....	1
1.3 Bedarf zum Ausbau von Biogasanlagen im Ökolandbau .....	2
<b>2 Grundlageninformation</b> .....	<b>4</b>
2.1 Grundgedanken des Ökologischen Landbaus .....	4
2.1.1 Grundgedanken.....	4
2.1.2 Strukturen im Ökologischen Landbau.....	5
2.1.3 Flächen- und Marktentwicklung .....	6
2.2 Biogas im ökologischen Landbau.....	6
2.2.1 Biogaspioniere und Energiepflanzenanbau .....	6
2.2.2 Rechtliche Einordnung.....	7
2.2.3 Definition.....	12
2.2.4 Biogas: Perspektive für Betriebe des ökologischen Landbaus.....	14
2.2.5 Unterschiede zur Biogaserzeugung in der konventionellen Landwirtschaft .....	18
2.2.6 Herausforderungen ökologischer Biogaserzeugung.....	19
<b>3 Systemanalyse</b> .....	<b>21</b>
3.1 Einführung und Methode der Systemanalyse.....	22
3.2 Abbildung der Systeminteraktionen von Ökobetrieben ohne und mit Viehhaltung bzw. Biogaserzeugung .....	24
3.2.1 Ökologische Betriebssysteme .....	24
3.2.2 Ökobetrieb ohne Biogas, viehhaltend.....	26
3.2.3 Ökobetrieb mit Biogas, viehhaltend .....	27
3.2.4 Ökobetrieb ohne Biogas, viehlos .....	28
3.2.5 Ökobetrieb mit Biogas, viehlos .....	29
3.2.6 Fazit der Abbildung der Systeminteraktionen .....	30

3.3	Qualitative Beschreibung der Systemwirkungen und Quantifizierung der ökonomisch wirksamen innerbetrieblichen Effekte einer integrierten Biogasanlage.....	31
3.3.1	Steigerung der N-Effizienz im ökologischen Betriebssystem .....	34
3.3.2	Beschreibung der weiteren Systemwirkungen.....	37
3.3.3	Zusammenfassende Übersicht der quantifizierten Systemwirkungen .....	43
3.4	Bewertung und Ausblick.....	46
<b>4</b>	<b>Potenzialermittlung .....</b>	<b>47</b>
4.1	Einführung.....	47
4.2	Methodisches Vorgehen.....	47
4.3	Landschaftspflegematerial .....	48
4.4	Lebensmittelreststoffe .....	51
4.4.1	Datengrundlage .....	52
4.4.2	Vorgehen .....	52
4.4.3	Potenzial aus Lebensmittelreststoffen .....	52
4.5	Landwirtschaftliche Reststoffe.....	54
4.5.1	Datengrundlage .....	54
4.5.2	Vorgehen .....	55
4.5.3	Potenzial aus den Reststoffen im Ökolandbau .....	55
4.6	Gesamtpotenzial .....	57
4.6.1	Regionale Verteilung .....	58
4.6.2	Umrechnung in Strom und Wärme .....	59
4.6.3	Möglicher Anlagenzubau .....	60
4.6.4	Wirtschaftlich mobilisierbares Potenzial.....	62
4.7	Diskussion.....	63
<b>5</b>	<b>Spezifikation der Substrate .....</b>	<b>64</b>
5.1	Bestimmungsgründe der Substratzusammensetzung .....	65
5.2	Substrateinsatz in Biogasanlagen im Ökolandbau .....	67
5.3	Kenndaten wichtiger Substrate .....	68
5.3.1	Futterleguminosen und –gemenge (Klee gras, Luzerne gras etc.).....	69
5.3.2	Wiesengras (intensiv) .....	73
5.3.3	Wiesengras aus Landschaftspflege (extensiv) .....	74
5.3.4	Zwischenfrüchte .....	77

5.3.5	Festmist (Rind, Schwein, Geflügel) .....	79
5.3.6	Gülle .....	81
5.3.7	Getreidenebenprodukte .....	83
5.3.8	Reststoffe aus dem der Acker- und Gemüsebau .....	85
5.3.9	Stroh .....	87
5.3.10	Futterreste .....	89
5.3.11	Molke .....	91
5.3.12	Übersicht über die Gaserträge der unterschiedlichen Substrate .....	94
5.4	Substratmischungen.....	96
<b>6</b>	<b>Technologische Aspekte von Biogasanlagen im Ökolandbau .....</b>	<b>99</b>
6.1	Robuste Technologie .....	100
6.1.1	Konstruktive Maßnahmen.....	100
6.1.2	Auswahl der Komponenten.....	101
6.1.3	Reaktortypen und -systeme.....	104
6.2	Biologische Prozessführung.....	106
6.2.1	Schwefelwasserstoff .....	106
6.2.2	Stickstoff und Ammoniak .....	107
6.2.3	Technische Lösungsmöglichkeiten bei hohen Ammoniakgehalten .....	107
6.3	Erfahrungen der Ökolandwirte und technische Handlungsempfehlungen .....	109
<b>7</b>	<b>Realisierung von Gemeinschaftsanlagen.....</b>	<b>110</b>
7.1	Einführung.....	110
7.2	Methodik.....	110
7.3	Betriebsdaten .....	111
7.4	Ergebnisse .....	113
7.4.1	Standortwahl und Transportwege unter den Substratlieferanten .....	113
7.4.2	Gemeinschaft der Gemeinschaftsanlage.....	114
7.4.3	Substrate .....	116
7.4.4	Betriebsform .....	119
7.4.5	Erträge.....	120
7.5	Fazit .....	120
<b>8</b>	<b>Ökonomische Analyse .....</b>	<b>122</b>

8.1	Wirtschaftlichkeitsanalyse von Biogasanlagen im Ökolandbau .....	122
8.1.1	Methodische Vorgehensweise .....	123
8.1.2	Definition der betrachteten Anlagentypen.....	124
8.1.3	Ergebnisse und Diskussion .....	129
8.1.4	Sensitivitätsanalyse .....	135
8.2	Monetäre Systembewertung einer integrierten BioBiogaserzeugung .....	144
8.2.1	Methodische Vorgehensweise .....	145
8.2.2	Ergebnisse der Simulation.....	155
8.3	Zusammenfassung und Abschließende Beurteilung der Ökonomischen Analyse.....	167
8.3.1	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	167
8.3.2	Monetäre Systembewertung .....	168
<b>9</b>	<b>Ökologische Analyse .....</b>	<b>170</b>
9.1	Ökobilanzielle Untersuchung von Biogasanlagen im ökologischen und konventionellen Landbau (LCA) .....	170
9.1.1	Vorbemerkungen .....	170
9.1.2	Methodische Grundlagen der ökobilanziellen Bewertung ...	172
9.1.3	Ziel der Untersuchung .....	177
9.1.4	Sachbilanz .....	183
9.1.5	Berechnungen der anlagenbezogenen Klimagasemissionen.....	190
9.1.6	Gesamt-Ergebnisse und Wirkungsabschätzung:.....	195
9.1.7	Szenarien .....	202
9.1.8	Empfehlungen aus der Klimagasbilanzierung.....	210
9.2	Weitere Nachhaltigkeitsaspekte, qualitative Beschreibung .....	211
9.2.1	Auswirkungen einer Biogasanlage auf den Flächenbedarf in konventionellen und ökologischen Betrieben.....	212
9.2.2	Auswirkungen einer Biogasanlage auf Nährstoffkreisläufe und CO <sub>2</sub> -Speicherung im Boden in konventionellen und ökologischen Betrieben .....	213
9.2.3	Auswirkungen einer Biogasanlage auf die Biodiversität in konventionellen und ökologischen Betrieben.....	219
<b>10</b>	<b>Restriktionsanalyse und Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>223</b>
10.1	Methode .....	223
10.2	Hemmnisse .....	223
10.2.1	Ergebnisse aus SUSTAIN GAS Befragung .....	224

10.2.2	Ergebnisse der Literaturstudie .....	227
10.2.3	Erkenntnisse aus der Akteursbefragung.....	235
10.3	Handlungsempfehlungen .....	247
10.3.1	Forschung und Entwicklung.....	248
10.3.2	Politik.....	253
10.3.3	Beratung und Wissenstransfer .....	257
10.3.4	Image von Biogas, Öffentlichkeitsarbeit.....	259
10.3.5	Marktentwicklung.....	260
<b>11</b>	<b>Wissenstransfer.....</b>	<b>262</b>
11.1	Arbeitskreis (FIBL zuständig) .....	262
11.2	Workshops. (RENAC zuständig) .....	264
11.3	Zusätzliche Veranstaltungen .....	267
11.4	Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau .....	267
11.5	24. Internationale Jahrestagung des Fachverbandes Biogas.....	267
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>268</b>
12.1	Grundlagen .....	268
12.2	Systemanalyse.....	270
12.3	Potenzialermittlung.....	271
12.4	Spezifikation der Substrate .....	273
12.5	Technologie.....	274
12.6	Gemeinschaftsanlagen.....	275
12.7	Ökonomische Analyse.....	276
12.8	Ökologische Analyse.....	277
12.8.1	Treibhausgasbilanzierung, LCA:.....	277
12.8.2	Weitere Nachhaltigkeitsaspekte: .....	279
12.9	Restriktionsanalyse und Handlungsempfehlungen .....	280
12.10	Wissenstransfer .....	282
<b>13</b>	<b>Weitere Informationen, deren Verbleib im Bericht bei der Veröffentlichung von der FNR entschieden werden sollte: .....</b>	<b>283</b>
13.1	Verwertung der Projektergebnisse .....	283
13.1.1	Wirtschaftlich .....	283
13.1.2	Wissenschaftlich.....	284
13.1.3	Technisch .....	284
13.1.4	Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....	285

13.2	Erkenntnisse von Dritten .....	286
13.3	Veröffentlichungen .....	286
<b>14</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>288</b>
<b>15</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>301</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung eines einzelbetrieblichen Unternehmenssystems mit Subsystemen und Systemumwelt .....	24
Abbildung 2: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs ohne Biogas. ....	27
Abbildung 3: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogas .....	28
Abbildung 4: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs ohne Biogas .....	29
Abbildung 5: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogas. ....	30
Abbildung 6: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogaserzeugung einschließlich monetär wirksamer innerbetrieblicher Effekte. .	32
Abbildung 7: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogaserzeugung einschließlich monetär wirksamer innerbetrieblicher Effekte. .	33
Abbildung 8: Jährliches Energiepotenzial aus pflanzlichen Reststoffen aus der Landwirtschaft nach Abzug der Flächen, die für die Bereitstellung der Futtermittel benötigt wird.....	56
Abbildung 9: Energiegehalt der Substrate aus der ökologischen Tierhaltung nach Tierart für Deutschland pro Jahr .....	57
Abbildung 10: Übersicht über die Verteilung der Energiepotenziale aus allen berücksichtigten Quellen .....	58
Abbildung 11: Regionale Verteilung des biologischen Potenzials pro Bundesland, aufgeteilt nach Substratherkunft .....	59
Abbildung 12: Substratmix im Durchschnitt aller BioBiogasanlagen in Deutschland.....	68
Abbildung 13: Substrateigenschaften Kleegrassilage.....	72
Abbildung 14: Substrateigenschaften Wiesengrassilage .....	74
Abbildung 15: Substrateigenschaften Wiesengrassilage aus der Landschaftspflege.....	77
Abbildung 16: Substrateigenschaften Zwischenfrüchte .....	78
Abbildung 17: Substrateigenschaften Rindermist.....	80
Abbildung 18: Substrateigenschaften Hühnermist.....	81
Abbildung 19: Substrateigenschaften von Gülle .....	82
Abbildung 20: Substrateigenschaften von Getreideausputz .....	84
Abbildung 21: Substrateigenschaften von Gemüseabfällen .....	87
Abbildung 22: Substrateigenschaften von Gemüseabfällen .....	89
Abbildung 23: Substrateigenschaften Futterreste.....	91
Abbildung 24: Substrateigenschaften von Molke .....	94
Abbildung 25: Austauschbeziehung Nawaro .....	118
Abbildung 26: Austauschbeziehung Wirtschaftsdünger.....	118
Abbildung 27: Rechtsformen der Gemeinschaftsanlagen im Ökolandbau...	119

Abbildung 28: Investitionskosten der Modellanlagen .....	129
Abbildung 29: Wirtschaftliche Kennzahl der Annuität aller Modellanlagen auf Basis der Vergütungssätze des EEG 2012.....	132
Abbildung 30: Wirtschaftliche Kennzahl der Annuität aller Modellanlagen auf Basis der Vergütungssätze des EEG 2014.....	132
Abbildung 31: Kostenanteile aller Modellanlagen .....	133
Abbildung 32: Zusammensetzung der Einnahmen aller Modellanlagen bei Vergütung durch das EEG 2012 .....	134
Abbildung 33: Zusammensetzung der Einnahmen aller Modellanlagen bei Vergütung durch das EEG 2014 .....	134
Abbildung 34: Einfluss der Bewertung des Einkaufs von Gülle-/Festmist und Biogasgülleverkauf auf die Wirtschaftlichkeit der betrachteten ökologischen Modellanlagen vor dem Hintergrund der EEG-Novellen 2012 und 2014 .....	137
Abbildung 35: Landwirtschaftliche Nutzfläche (Ackerbau und Grünland) der aus den Modellanlagen abgeleiteten Modellbetriebe.....	147
Abbildung 36: Schematische Darstellung der Stickstoffflüsse im Betriebsmodell .....	149
Abbildung 37: Änderungen des Nmin-Angebots aus Flüssigdünger und Bodenvorrat in Abhängigkeit des Betriebstyps und des Zwischenfruchtanbaus, am Beispiel der Betriebsgröße 75 kW. ....	156
Abbildung 38: Nettoerträge der Marktfrüchte Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Kartoffeln der viehhaltenden/viehlosen Betriebe ohne/mit Biogas am Beispiel der Betriebsgrößenklasse 250 kW .....	158
Abbildung 39: Einsparung von Arbeitserledigungskosten für Bestandspflege bei verminderter Häufigkeit von Unkrautbekämpfungsmaßnahmen für drei Betriebsgrößenklassen .....	159
Abbildung 40: Kalkulatorische Betriebszweigergebnisse Ackerbau verschiedener Betriebsgrößen und –typen (viehhaltend / viehlos) ohne/mit Biogas und ohne/mit Zwischenfruchtanbau.....	160
Abbildung 41: Kalkulatorische Betriebszweigergebnisse Grünland verschiedener Betriebsgrößen und –typen (viehhaltend / viehlos) ohne/mit Biogas und ohne/mit Zwischenfruchtanbau.....	161
Abbildung 42: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis des Betriebszweigs Rinderhaltung für alle Betriebsgrößen .....	162
Abbildung 43: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Betriebszweige und Saldo aller Betriebszweigergebnisse des Gesamtbetriebs, Szenario ohne Zwischenfruchtanbau (oZF) .....	163
Abbildung 44: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Betriebszweige und Saldo aller Betriebszweigergebnisse des Gesamtbetriebs, Szenario mit Zwischenfruchtanbau (mZF) .....	164

Abbildung 45: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis nach DLG-Standard (2004) der in Kapitel 8.1 vorgestellten Modellanlagen unter Berücksichtigung der in der Systembewertung angesetzten innerbetrieblichen Verrechnungspreise für Substrate .....	165
Abbildung 46: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis aller Modellanlagen und Differenz der Gesamt-BZE alle Betriebstypen „ohne Biogas/mit Biogas“ sowie Saldo aus Anlagen-BZE und Differenz-BZE; Szenario oZF .....	166
Abbildung 47: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis aller Modellanlagen und Differenz der Gesamt-BZE alle Betriebstypen „ohne Biogas/mit Biogas“ sowie Summe aus Anlagen-BZE und Differenz-BZE; Szenario mZF .....	167
Abbildung 48: Graphische Darstellung der Addition der mit der Energieproduktion verbundenen Emissionen .....	180
Abbildung 49: Einzelne Prozessschritte bei denen Klimagasemissionen in der LCA berücksichtigt wurden .....	184
Abbildung 50: Klimagasemissionen aller Modellbiogasanlagen, Basis-szenario und (fossile) Vergleichsemissionen .....	196
Abbildung 51: Klimagasemissionen der Biogasanlagen nach RED/COM Methodologie .....	200
Abbildung 52: Klimagasemissionen nach RED/COM Methodologie in Bezug auf die Bereitstellung elektrischer Energie .....	201
Abbildung 53: Klimagasemissionen nach RED/COM Methodologie in Bezug auf die Bereitstellung thermischer Energie .....	202
Abbildung 54: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario 5% diffuse Methanemissionen .....	203
Abbildung 55: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario 15 % Methanemissionen .....	204
Abbildung 56: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario Wärmee-nutzung .....	205
Abbildung 57: Klimagasemissionen der Biogasanlagen, Szenario Brutto-Strom Rechnung .....	206
Abbildung 58: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario Humusbilanz .....	210
Abbildung 59: Besichtigung der Biogasanlage Püggen, Wendland .....	265
Abbildung 60: Teilnehmer des Hoftags vor der Biogasanlage des Sophienhofs im September 2014, Neustrelitz .....	266
Abbildung 61: Treibhausbilanzierung der 12 Model Biogasanlagen .....	278

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der EU-Ökoverordnung und der Richtlinien von fünf Anbauverbänden des Ökolandbaus, Stand Juli 2013 .....	8
Tabelle 2: Wirkungskategorien und Systemwirkungen bei viehhaltenden und viehlosen Betrieben mit Biogaserzeugung .....	31
Tabelle 3: Anrechenbare gasförmige N-Verluste aus Wirtschaftsdüngern und Biogasgärresten .....	35
Tabelle 4: Identifizierte Kategorien und Systemwirkungen mit Quantifizierung und Quellenangabe .....	44
Tabelle 5: Verteilung der Landesfläche und damit des Landschaftspflegematerials (LPfM) auf die einzelnen Bundesländer .....	51
Tabelle 6: Umsteuerbare Reststoffe in der Bioproduktion. Umsteuerbare Reststoffe nach Gaida u.a., prozentualer Bioanteil nach Expertenschätzung und Marktanteil .....	53
Tabelle 7: Potenzial an Strom und Wärme und der Anzahl an Haushalten, die damit versorgt werden könnten .....	60
Tabelle 8: Übersicht über den möglichen Anlagenzubau in den Bundesländern für verschiedene Anlagengrößenklassen .....	61
Tabelle 9: Vergleich der möglichen elektrischen Leistung ( $kW_{el}$ ) aus dem biologischen Potenzial mit der aktuell installierten Leistung aus BioBiogasanlagen. ....	62
Tabelle 10: Erläuterung zu den Parametern und der jeweiligen Bewertung ..	69
Tabelle 11: Übersicht über die Gaserträge der aufgeführten Substrate .....	94
Tabelle 12: Übersicht der Betriebsdaten befragter Gemeinschaftsanlagen.	112
Tabelle 13: Durchschnittliche Biogasausbeuten .....	120
Tabelle 14: Konfiguration der Modellanlagen nach Größe ( $kW_{el}$ ), Management (ökol./konv.) und Substratmix (tierisch/pflanzlich) .....	124
Tabelle 15: Technische Parameter der Modellanlagen, gruppiert nach Anlagengröße (75, 250, 500 $kW_{el}$ ), Substrateinsatz (ökol. /konv.) und Substratmix (wirtschaftsdünger-/pflanzenbasiert) .....	126
Tabelle 16: Ökonomische Parameter der Modellanlagen, gruppiert nach Anlagengröße (75, 250, 500 $kW_{el}$ ), Substrateinsatz (ökol./konv.) und Substratmix (wirtschaftsdünger-/pflanzenbasiert) .....	127
Tabelle 17: Preissteigerungsraten für Güter und Dienstleistungen .....	129
Tabelle 18: Aufschlüsselung der Investitionskosten der Modellanlagen nach Kostengruppen .....	130
Tabelle 19: Vergleich der Gestehungskosten aller Anlagenmodelle .....	135
Tabelle 20: Vergleich der Vergütungssätze von EEG 2012 und EEG 2014 sowie der Break-Even-Vergütungssätze aller Anlagenmodelle	138
Tabelle 21: Break-Even-Analyse der Modellanlagen für die Parameter Investitions-, Substrat-, Kapital- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Vergütungssätze der EEG-Novellen EEG 2012 und EEG 2014 .....	140
Tabelle 22: Charakterisierung der aus den Modell-Biogasanlagen abgeleiteten Modellbetriebe nach Tierhaltung und Fläche .....	145

Tabelle 23: Beispielfruchtfolge mit Angaben zum Saat- und Erntezeitpunkt, der Vorfruchteignung sowie der Stellung möglicher Zwischenfrüchte.....	148
Tabelle 24: Prozentuale Anrechnung und Zuordnung des über organisches Material zugeführten Stickstoffs zu verschiedenen schnell wirksamen N-Pools.....	150
Tabelle 25: Bei der Ertragsbestimmung unterstellte Maximalerträge .....	151
Tabelle 26: Einfluss der Betriebsgröße auf die Festlegung von Feldentfernung und Schlaggröße.....	152
Tabelle 27: Eingangswerte der ausgewählten Modellparameter der Betriebsmodelle ohne und mit Biogas.....	155
Tabelle 28: Einsatzstoffe in Biogasanlagen im Ökolandbau und in konventionelle BGA .....	171
Tabelle 29: Emissionsfaktoren für Strom- und Wärmeenergie. ....	179
Tabelle 30: Treibhauspotenziale der betrachteten Gase .....	180
Tabelle 31: Spezifikationen der untersuchten Biogasanlagen .....	182
Tabelle 32: Datenquellen.....	183
Tabelle 33: Basisdaten der Einsatzsubstrate.....	187
Tabelle 34: Emissionsfaktoren der eingesetzten Düngemittel .....	188
Tabelle 35: Substitution des Düngers durch behandelten Wirtschaftsdünger.....	188
Tabelle 36: Emissionsfaktor des eingesetzten Pflanzenschutzmittels .....	189
Tabelle 37: Emission beim Transport von einer Tonne Einsatzmaterial pro Kilometer mit einem Traktor-Schlepper (90 kW) .....	190
Tabelle 38: Durchschnittliche Transportentfernung bzw. Hof-Feld-Entfernung in Kilometern .....	190
Tabelle 39: Emissionen aus Anbau und Transport .....	191
Tabelle 40: Emissionen aus BGA, Gärrestlager (abgedeckt), Lagerungs- und Silierprozessen .....	192
Tabelle 41: Emissionen während der Biogasverbrennung (BHKW) .....	192
Tabelle 42: Eingesparte Emissionen durch 50 % externe Wärmeenergienutzung .....	193
Tabelle 43: Klimagas-Emissionsvermeidung durch Behandlung von Wirtschaftsdünger .....	194
Tabelle 44: Eingesparte Emissionen durch Behandlung des Wirtschaftsdüngers.....	194
Tabelle 45: Klimagasemissionen aller Modellbiogasanlagen, Basis-szenario .....	199
Tabelle 46: Bilanzkoeffizient Humus.....	208
Tabelle 47: Emissionen unter Berücksichtigung der Humusbilanz .....	209
Tabelle 48: Biodiversität .....	222
Tabelle 49: Überblick über die Antworten zu der Frage „Was hindert Sie an der Errichtung einer Biogasanlage auf Ihrem Betrieb?“. ....	224
Tabelle 50: Überblick über die Antworten zu der Frage: „Was wären ihrer Meinung nach die Wirkungen einer Biogasanlage auf Ihrem Hof?“ .....	225

Tabelle 51: Genaue Ergebnisse der Frage „Wer sollte ihrer Meinung nach mögliche Kunden informieren und aufmerksam machen?“ .....	226
Tabelle 52: Verteilung der Interviewpartner auf Personengruppen.....	236
Tabelle 53: Übersicht über die Nennungen der Kategorien auf die offenen Fragen nach den Hemmnissen .....	236
Tabelle 54: Übersicht über die Zustimmung oder Ablehnung der Kategorien als Hinderungsgrund in Prozent der antwortenden Personen .....	237
Tabelle 55: Übersicht über das Energiepotenzial aus den verschiedenen betrachteten Quellen.....	272
Tabelle 56: Datengrundlage pflanzliche Erzeugung der Bundesländer. ....	301
Tabelle 57: Tierbesatz in den Bundesländern .....	303
Tabelle 58: Biogas- und Methanertrag aus der Nutzung von Reststoffen der Bioproduktion.....	304
Tabelle 59: Grunddaten zu Tierzahlen und Flächen die der Berechnung zu Grunde liegen.....	305
Tabelle 60: Vergleich aktuelle und potenzielle Biogaserzeugung im ökologischen Landbau .....	307

## Abkürzungsverzeichnis

€	Euro
a	Jahr
Abs.	Abschnitt
Äq./äq.	Äquivalente
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BZA	Betriebszweigabrechnung
BZE	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> äq	Kohlenstoffdioxid Äquivalente (bei Lebenszyklus Analyse)
DAKL	Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DE	Dungeinheit (80 kg Stickstoff)
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien
EWS	Elektrizitätswerke Schönau GmbH
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
GVE	Großvieheinheit
GVO	Gentechnisch veränderte Organismen
GWh	Gigawattstunde (1000 Megawattstunden)
ha	Hektar
iLUC	Indirekte Landnutzungsänderungen, indirect Land Use Change
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Kalium
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kW <sub>el</sub>	Installierte elektrische Leistung
kWh	Kilowattstunde
kWh <sub>el</sub>	Kilowattstunde, elektrisch
kWh <sub>th</sub>	Kilowattstunde, thermisch
LCA	Life Cycle Assessment (Engl.), Lebenszyklus Analyse (Deut.)
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
LÖK	Länderarbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau
LPfM	Landschaftspflegematerial
LUC	Landnutzungsänderungen, Land Use Change
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Millionen
MWh	Megawattstunde (1000 Kilowattstunden)
mZF	Mit Zwischenfruchtanbau
N	Stickstoff

N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub>	Ammonium
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter
N <sub>min</sub>	Stickstoff in mineralisierter Form
oZF	Ohne Zwischenfruchtanbau
P	Phosphat
PJ	Petajoule
PSM	Pflanzenschutzmittel
RED	EU-Richtlinie 2009/28EG, Erneuerbare Energie Richtlinie der EU, „Renewable Energy Directive“
t	Metrische Tonne
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
TP	Tierplatz
TS	Trockensubstrat
TWh	Terawattstunde (1000 Gigawattstunden)
UBA	Umweltbundesamt
VO	Verordnung
ZF	Zwischenfruchtanbau

Zusätzlich zu den oben gelisteten Abkürzungen werden die international gültigen SI Einheiten verwendet. Neben der abgeleiteten Einheit für Energie Joule (J) wird aufgrund der höheren Vertrautheit bei technischen Anlagen die Leistung in kW, bzw. die Energie in kWh angegeben.

# 1 Einführung

## 1.1 Ziel

Das Ziel dieses Projektes ist es, den für Deutschland relevanten, aktuellen Kenntnisstand zu Biogasanlagen im ökologischen Landbau:

- systematisch zu erfassen,
- über gezielte Zusatzforschung in Einzelbereichen vorhandene Forschungslücken durch verlässliche Informationen zu schließen,
- Handlungsbedarf zu identifizieren und
- Lösungsmöglichkeiten zur Zielerreichung aufzuzeigen.

Weiteres Ziel des Projektes ist, durch zielgerichtete Kommunikation der Ergebnisse die Öffentlichkeit (Ökolandbaubetriebe, Biogasanlagenhersteller, Forschungsinstitutionen, Entscheidungsträger und Multiplikatoren sowie allgemeine Bevölkerung) über das Potenzial und den Nutzen von Biogasanlagen im Ökolandbau zu informieren, um diese Anwendung der Bioenergienutzung weiter zu optimieren.

## 1.2 Motivation für Biogasanlagen im Ökolandbau

Die wenigen bisher vorliegenden Untersuchungen zur Biogaswirtschaft in ökologischen Landbausystemen (EG - Die Kommission 2008; Graß et al. 2009; Möller et al. 2006) deuten darauf hin, dass diese gegenüber Biogasanlagen mit Substrat aus konventioneller Energiepflanzenproduktion deutliche Vorteile vor allem in Bezug auf Gesamtenergieeffizienz, Klimaschutz, Biodiversität und Flächenbedarf erreichen kann. Hemmnisse einer weiteren Verbreitung der Biogaserzeugung im Ökolandbau, wie die komplexere Situation der Kosten und Leistungen, wurden bisher nur ansatzweise dokumentiert.

Auch die Landwirtschaft profitiert von der Integration einer Biogasanlage in ökologisch bewirtschaftete Betriebe, weil im Biogassystem neben Strom- und Wärmeproduktion eine Reihe interner Leistungen erbracht werden, die insbesondere in den betrachteten Low-Input-Systemen von Bedeutung sind. Diese umfassen zum Beispiel die Nutzung von Klee gras zum Zweck der Umsatzgenerierung, den Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten sowie Ertrags- und Qualitätssteigerungen der Agrarprodukte. Vertiefende Informationen zu dieser

Thematik werden insbesondere in den Kapiteln 3 und 0 dargestellt. Zudem sind positive ökologische Effekte möglich, wie die Vermeidung von Treibhausgasemissionen, die Produktion von Erneuerbaren Energien, die Reduktion von Lachgasemissionen, die Reduktion von Nitratauswaschung in das Grundwasser, Beeinflussung der Biodiversität, sowie weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe. Vertiefende Informationen zu Nachhaltigkeitsaspekten finden sich in Kapitel 9.

Die Biogaserzeugung im Ökolandbau ist aufgrund langjähriger Erfahrungen grundsätzlich technisch ausgereift und verlässlich, auch wenn fallbezogen weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Handhabung der öko-spezifischen Substrate besteht. Angesichts der offenkundigen Vorteile überrascht die relativ geringe Verbreitung in Öko-Betrieben (unter 200 Anlagen in Deutschland). Ein Hauptgrund dafür liegt – neben ideologischen Vorbehalten – vermutlich darin, dass die Vorteile der Biogas- und Gärrestproduktion für Öko-Betriebe noch nicht ausreichend quantifiziert werden konnten (Know-how Bedarf). Die Erfassung der Vorteile einer Biogasproduktion im Ökolandbau stellt sich zudem komplexer dar als bei konventionellen Anlagen. Der systembezogene Ansatz des Ökolandbaus erfordert eine differenziertere Bewertung von Kosten und Nutzen auch systembezogener Leistungen der Biogaserzeugung. So ist der Betrieb von Biogasanlagen in ökologischen Landbausystemen auch wegen der substratbedingt aufwändigeren Anlagentechnik (zur Technologie, siehe Kapitel 6), des höheren Eigenenergiebedarfs und der systembedingt oft geringeren Kapazitäten in der Regel mit überdurchschnittlich hohen Kosten verbunden. Die Einschätzung der Vorzüglichkeit für Biogas auf dem Öko-Betrieb erfordert daher zusätzlich eine differenziertere Betrachtung der Leistungen für das Landbausystem als im konventionellen Landbau. Dennoch existieren im Gegensatz zur konventionellen Biogasanlagen weder eine breite Basis belastbarer Fakten als Informationsgrundlage noch eine spezifische Informations- und Beratungsinfrastruktur zu Biogas im Ökolandbau. Eine umfangreiche Ökonomische Analyse in der verschiedene Systeme von Ökolandbetrieben und Biogasanlagen untersucht werden ist in Kapitel 8 dargestellt.

### **1.3 Bedarf zum Ausbau von Biogasanlagen im Ökolandbau**

Anhand von zwei Fakten lässt sich der zwingende Bedarf zum Ausbau der Biogaserzeugung im Ökolandbau ablesen:

- 1) Die Bundesregierung hat hohe Ausbauziele sowohl in Bezug auf Bioenergie als auch in Bezug auf Ökolandbau. Aktuell werden in Deutschland auf ca. 2 Mio. ha Ackerfläche Nawaro angebaut (entspricht ca. 16 % der Ackerfläche). Ein

weiterer Ausbau der Nutzung von Bioenergien ist energiepolitisch zwingend erwünscht (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2009; Bundesregierung 2010). Das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) geht in vielen Potenzialstudien von bis zu 4 Mio. ha Nawaro Flächen aus (Seyfert et al. 2011b). Dies entspräche 33 % der Ackerflächen.

2) Die Ausbauziele bezüglich des Ökolandbaus werden mit 20 % der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland beziffert (Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE, 2011). Der Vergleich dieser Ausbauziele zeigt klar, dass bei gleichzeitiger Sicherung der Lebens- und Futtermittelversorgung aus konventioneller Erzeugung beide Ziele zusammen nur erreichbar sind, wenn auch in Ökobetrieben zunehmend Bioenergie produziert wird. Dies wird in erster Linie durch die Erzeugung von Biogas zu realisieren sein, da in diesem Bereich das größte Potenzial des Ökolandbaus ohne oder mit geringer Flächenkonkurrenz zur Lebensmittelerzeugung liegt.

Hinweis zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Textes: Dieses Projekt wurde im Zeitraum September 2012 bis Dezember 2014 erarbeitet. Große Teile des folgenden Textes über Biogasanlagen im Ökolandbau basieren auf den Randbedingungen des damals aktuellen „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)“ von 2012. Einfluss hatte das EEG 2012 insbesondere bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit, der Beschreibung der geeigneten Substrate, bei Gemeinschaftsanlagen und bezüglich der Handlungsempfehlungen. Im Sommer 2014 erfolgte eine Novellierung des EEG das am 1. August 2014 in Kraft getreten ist. Nach Verabschiedung des EEG 2014 konnte das Kapitel 8, Ökonomische Analyse, noch komplett überarbeitet werden um die Auswirkungen der EEG Novellierung darzustellen. Aufgrund des laufenden Projektfortschritts konnte jedoch nicht jedes Kapitel vollständig überarbeitet werden, so dass sich die Darstellung vorwiegend auf die Situation des EEG 2012 bezieht.

## **2 Grundlageninformation**

(Verantwortlich: FiBL – MEP (Unterauftrag); Mitarbeit: Universität Kassel)

Die grundlegenden Zusammenhänge, Vorteile im Vergleich zur konventionellen Biogasproduktion und Risiken beim Betrieb von Biogasanlagen im ökologischen Landbau werden im Folgenden dargestellt. Grundlage ist eine Recherche der aktuellen Literatur unter Einbeziehung sowohl wissenschaftlicher als auch weiterer, fachlich relevanter Quellen. Da das Wissen um konventionelle Biogasanlagen als gut entwickelt vorausgesetzt werden kann, liegt die Betonung auf den Unterschieden von Biobetrieben mit und ohne Biogasanlagen sowie den Unterschieden bei Biogasanlagen in konventionellen und ökologischen Betrieben. Darüber hinaus sollen in diesem Arbeitspaket die rechtlichen Grundlagen sowie die privatrechtlichen Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus unter besonderer Berücksichtigung der Biogaserzeugung dargestellt werden.

### **2.1 Grundgedanken des Ökologischen Landbaus**

Um die besonderen Vorteile, Hemmnisse und Besonderheiten der Biogaserzeugung im System des ökologischen Landbaus sowie die Handlungsmotivation der relevanten Akteure zu verstehen ist es notwendig, zunächst einen Einblick in die Grundgedanken und Zielsetzungen des ökologischen Landbaus zu erhalten. Insbesondere die Zielsetzungen möglichst geschlossener Nährstoffkreisläufe und möglichst geringer Abhängigkeiten von externen Betriebsmitteln sind dabei für die potenzielle Bedeutung der Biogaserzeugung hoch relevant.

#### **2.1.1 Grundgedanken**

Der ökologische Landbau versteht sich nicht nur als Produktionssystem für einen Nischenmarkt sondern insbesondere als alternative Anbauweise. Der Anbauverband Bioland hat die Ziele der ökologischen Landwirtschaft wie folgt zusammengefasst (Bioland e.V. 2013a):

- So weit möglich geschlossene Systeme realisieren (Kreislaufgedanke) und auf lokale regenerierbare Ressourcen zurückgreifen.
- Erhaltung der langfristigen Bodenfruchtbarkeit.

- Vermeidung von Umweltverschmutzung und Reduktion des Einsatzes fossiler Energie in der landwirtschaftlichen Praxis auf ein Minimum.
- Förderung der Biodiversität und Erhaltung der Kultur-Landschaft.
- Produktion gesunder Lebensmittel in ausreichender Menge.
- Den landwirtschaftlichen Nutztieren Lebensbedingungen ermöglichen, die ihren physiologischen Bedürfnissen und humanitären Grundsätzen gerecht werden.
- Den Landwirten ermöglichen, ihren Lebensunterhalt durch ihre Arbeit zu erwirtschaften und ihre Fähigkeiten als menschliche Wesen zu entwickeln.

Im ökologischen Landbau kommen keine synthetischen Stickstoffdünger zum Einsatz. Grund dafür sind die negativen Umweltwirkungen der eingesetzten Düngemittel und der oft sehr hohe Energiebedarf bei der Herstellung. Stattdessen wird das landwirtschaftliche System mit dem Stickstoff versorgt, welcher überwiegend durch stickstoffbindende Leguminosen, wie beispielsweise Klee, aus der Luft fixiert wird. Im ökologischen Landbau erfolgt die Pflanzenernährung über einen gesunden Boden und ein intensives Bodenleben. Daher wird vorrangig der Boden gesund gehalten und gedüngt, während durch synthetische Düngemittel vorrangig die Pflanze direkt mit Nährstoffen versorgt wird.

### **2.1.2 Strukturen im Ökologischen Landbau**

Biobetriebe unterscheiden sich durch mehrere Eigenschaften von konventionellen Betrieben. Einer der Grundsätze der Biotierhaltung ist der im Ökolandbau verpflichtende Weidegang und die Einstreu mit Stroh oder anderem Einstreumaterial. Zudem ist die Tierhaltung an die Fläche gebunden, mit der Folge, dass Biobetriebe im Vergleich zu konventionellen Betrieben einen geringeren Tierbesatz pro Fläche aufweisen. Des Weiteren ist der Grad der Spezialisierung auf einzelne Betriebszweige weniger ausgeprägt. Als Ziel einer nachhaltigen Produktionsweise im Ökolandbau gilt der vielfältige Gemischtbetrieb.

Da auf den Einsatz von synthetischem Dünger- und Pflanzenschutzmitteln verzichtet wird, hat die Fruchtfolge einen hohen Stellenwert für die Unkrautregulierung und das Nährstoffmanagement. Die Fruchtfolge ist daher meist diversifizierter und komplexer als im konventionellen Landbau.

### **2.1.3 Flächen- und Marktentwicklung**

Im Rahmen der 2002 veröffentlichten Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung wurde erstmals ein Zielwert für die Ausdehnung der ökologisch bewirtschafteten Fläche in Deutschland festgelegt. Demnach sollte ein Anteil von 20 % bis zum Jahr 2010 erreicht werden. Im Fortschrittsbericht 2008 bekennt sich die Bundesregierung weiterhin zu einer Ausdehnung der Ökofläche auf einen Anteil von 20 %, ohne allerdings ein konkretes Jahr vorzugeben (Anspach et al. 2011b; Bundesregierung 2008).

Der Flächenanteil des ökologischen Landbaus stieg von 1994 bis 2011 von 1,6 % auf 6,1 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche oder 1.015.626 ha (BMELV 2012). Gegenüber dem Vorjahr nahm die Ökolandbaufläche im Jahr 2011 um 2,3 % zu (BÖLW - Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 2012). In 2013 betrug die Ökofläche 6,3 % (Statistisches Bundesamt 2014a). Allerdings wächst der Markt für Biolebensmittel schneller als die ökologisch bewirtschaftete Fläche in Deutschland. Die Nachfrage nach Biolebensmitteln wird daher zunehmend durch Importe aus anderen EU-Staaten und aus Drittländern gedeckt. Inwieweit der Importanteil durch inländische Erzeugung ersetzt werden könnte ist nicht genau bekannt, allerdings besteht hier ein klares Potenzial für die Landwirte eine nationale Versorgungslücke zu schließen (BÖLW - Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 2012).

## **2.2 Biogas im ökologischen Landbau**

### **2.2.1 Biogaspioniere und Energiepflanzenanbau**

Biogaserzeugung im ökologischen Landbau ist keine neue Entwicklung. Im Gegenteil: Betriebe des ökologischen Landbaus zählten zu den Pionieren in der Weiterentwicklung der Biogastechnologie. Zwischen 1984 und 1995, als in Deutschland erstmals mehrere landwirtschaftliche Biogasanlagen errichtet wurden, waren an der Entwicklung vor allem Biolandwirte in Süddeutschland beteiligt. In den Jahren 1990/91 wurde der Bestand an Biogasanlagen in Deutschland auf ca. 100 geschätzt, von denen ca. 70 Anlagen auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben vermutet wurden (Meyer & Priefer 2012a). Die Ziele dieser ökologisch wirtschaftenden Betriebe aus der Pionierzeit waren neben der Energieautarkie auch das Bestreben, Nährstoffkreisläufe noch besser zu schließen bzw. eine Aufwertung von Wirtschaftsdünger aus der betriebseige-

nen Tierhaltung zu erreichen (Lerf & Lerf 2000; Müller 1993). Gewinnerzielungsabsichten standen in der Regel bei den Landwirten nicht im Vordergrund (Meyer & Priefer 2012a).

Durch erhöhte Stromvergütungen für Biogasanlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Nawaros) entstanden seit 2004 insbesondere auf konventionell wirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieben große Biogasanlagen, die als Substratgrundlage vorwiegend Mais nutzen. Unter den Vergütungsbedingungen des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) von 2004 und 2009 war die Biogaserzeugung wirtschaftlich besonders attraktiv, und es erfolgte ein rapider Zubau an Neuanlagen.

Unter anderem wirkte sich die zunehmende Anzahl von Biogasanlagen auf die Flächennutzung aus: Die Anbaufläche von Silomais stieg in den vergangenen zehn Jahren um über 60 Prozent (Meyer 2013). In Deutschland wurde 2014 auf ca. 900.000 ha Mais (FNR 2014) als Einsatzstoff für Biogasanlagen angebaut (bei ca. 2,6 Mio. ha Maisanbau und ca. 12 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland). Intensiver Maisanbau kann negative Folgen für Boden, Artenvielfalt und Gewässer haben. Zudem ist für intensiven Energiepflanzenanbau der Einsatz direkter oder indirekter Energie, unter anderem für die Herstellung synthetischer Düngemittel notwendig. Daher widerspricht die Biogaserzeugung mit Schwerpunkt auf dem Einsatz von Energiepflanzen aus Intensivanbau den Prinzipien des ökologischen Landbaus. Um Biogas und ökologischen Landbau wieder in Einklang zu bringen, bedarf es einer erneuten Weiterentwicklung der Biogaserzeugung und einer Definition von BioBiogas.

## **2.2.2 Rechtliche Einordnung**

Eine einheitliche Abgrenzung der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau liegt bisher nicht vor. Wie die Gegenüberstellung der EU-Ökoverordnung und der Richtlinien von fünf Anbauverbänden des Ökolandbaus in Tabelle 1 zeigt, bestehen vor allem beim Einsatz von Substraten aus konventioneller Landwirtschaft, beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe und bei der Nutzung von Gärresten aus Gemeinschaftsanlagen unterschiedliche Ansätze.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der EU-Ökoverordnung und der Richtlinien von fünf Anbauverbänden des Ökolandbaus, Stand Juli 2013 (Biokreis e.V. 2010; Bioland e.V. 2013b; Demeter e.V. 2012; EG-Öko-Basisverordnung 2009; Gää e.V. Vereinigung ökologischer Landbau 2012; Naturland 2013)

Betroffener Bereich	EU-Ökoverordnung	Bioland	Naturland	Demeter	Biokreis	Gää
<b>Anteil konventionelles Substrat</b>	Keine Einschränkung	Max. 30 % Ziel bis 2020: 0% konv. Substrat, hierzu wird ein Maßnahmenplan gefordert	Max. 30 % Außer Klee gras oder Gras ohne Einsatz von Mineraldünger Ziel bis 2020: 0% konv. Substrat	< 33%, da 66% vom eigenen Betrieb stammen müssen	< 50%	Ziel 0%
<b>Qualitative Einschränkung</b>	Frei von genetisch verändertem Material und Exkrementen aus industrieller Tierhaltung	Muss gelistet sein (u.a. Rinder-, Schafs-, Ziegen-, Pferdemit, Produkte und Nebenprodukte pflanzlichen Ursprungs) Keine konv. Gülle, Kein GVO Konv. Mais nur ohne Neonicotinoideinsatz	Muss Anhang 1 entsprechen (u.a. Produkte und Nebenprodukte tierischen Ursprungs, außer konv. Gülle und Geflügelmist; Produkte und Nebenprodukte pflanzlichen Ursprungs)	Beiprodukte von Lebens- und Futtermitteln (max. 10% des Substrates), sowie Klee, Klee gras, Gras, Grünlandaufwuchs und Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung <a href="#">[iv]</a>	Konv. Gülle und Schweine- und Geflügelmist nicht zugelassen, keine GVO, Kein Biomüllkompost, kein Klärschlamm. Produkte und Nebenprodukte pflanzlichen Ursprungs nach Beantragung	Keine GVO. Dünger aus Tierhaltung ohne Vollspaltenböden, Liegeplätze mit Stroh eingestreut, Tierbesatz <2GVE/ha, kein konv. Geflügelmist
<b>Zulässige Nährstoffzufuhr (in kg N/ha pro Jahr)</b>	<b>170</b> Import von Nährstoffen ist nur zulässig, wenn Bedarf nachgewiesen ist	<b>40 [i]</b> Zugekauftes Substrat und sonstige betriebsfremde Dünger	<b>40</b> Wenn mehr in die Biogasanlage aufgenommen werden, muss die Abgabe des Gärrestes belegt werden	<b>40</b> Zugekauftes Substrat und sonstige betriebsfremde Dünger		

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Betroffener Bereich	EU-Ökoverordnung	Bioland	Naturland	Demeter	Biokreis	Gää
<b>Gärresttransfer</b>	Nährstoffexport durch Belieferung einer Gemeinschaftsanlage zusammen mit konv. Betreibern zulässig [iii]	Nutzung aus rein konv. Anlagen nicht zulässig; Gärrest darf ausgebracht werden, wenn in den letzten 6 Monaten nur zulässige Substrate benutzt worden sind	Rücknahme von Gärrest nur möglich, wenn eigene Substrate geliefert werden [iii]	Zukauf von Gärrest möglich (max. 40 kg N/ha pro Jahr) Kompostpräparatanwendung		Vor Ausbringung des Gärrestes Genehmigung nötig, Nährstoffbedarf muss anerkannt sein
<b>Gemeinschaftsanlagen</b>	Äquivalente Nährstoffmenge darf zurückgenommen werden. Darüber hinaus bis max. 40 kg N/ha und Jahr	Äquivalente Nährstoffmenge darf zurückgenommen werden. Darüber hinaus bis max. 40 kg N/ha und Jahr Siehe auch Gärresttransfer	Ökobetriebe sind zu bevorzugen			Rücknahme äquivalenter Nährstoffmenge zuzüglich 40 kg N/ha pro Jahr
<b>Übergangsregelungen für Bestandsanlagen</b>		Anlagen die vor 1.5.09 gebaut wurden: Übergangsfrist mit >30 % konv. Substrat		In bestimmten Anlagen, die vor 1.6.2005 genehmigt wurden, darf Getreide vergoren werden		
<b>Anlageneffizienz</b>		Wirkungsgrad von mind. 70 % angestrebt, Wärmenutzungskonzept gefordert				

[i] In der Biolandrichtlinie heißt es 0,5 DE/ha; 1 DE entspricht 80 kg N (Bioland e.V. 2013b)

[ii] Ausgenommen Export von überschüssigem Wirtschaftsdünger tierischen Ursprungs in konv. Betriebe

[iii] Ausgenommen Anlagen in denen GVO, Gülle, Jauche oder Geflügelmist aus konv. Tierhaltung genutzt werden

[iv] Ausgenommen von Straßenrändern, stark befahrenen Straßen und Bahndämmen

### **2.2.2.1 Ökolandbau-Verordnung der Europäischen Union**

Biogasbetriebe, die nach den Richtlinien der EU-Ökoverordnung wirtschaften, dürfen konventionell erzeugte Substrate ohne qualitative Einschränkung zu kaufen (BMELV 2012). Als einzige N-Zufuhrbeschränkung gilt, dass der Nährstoffimport maximal 170 kg N/ha betragen darf. Bei konventionellen Wirtschaftsdüngern spielt es keine Rolle, ob sie direkt oder nach einer Vergärung in der Biogasanlage auf die Kulturen ausgebracht werden. Die Länderarbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (LÖK) mit Vertretern von Kontrollbehörden<sup>1</sup> aus sieben Bundesländern hat sich im Jahr 2011 darauf geeinigt, dass sowohl das gemeinsame Vergären von konventionellen und biologischen Materialien in einer Biogasanlage zulässig ist als auch der Export von Nährstoffen pflanzlichen Ursprungs aus dem Ökobetrieb in lokale Biogasanlagen, die mit konventionellen Betrieben gemeinsam betrieben werden. Nicht zulässig ist demnach jedoch nach Artikel 3 Abs. 3 der VO 889/2008 (EG - Die Kommission 2008) der Export von überschüssigen Wirtschaftsdüngern tierischen Ursprungs in konventionelle Betriebe. Der Import von Nährstoffen pflanzlichen und tierischen Ursprungs ist zulässig, wenn Nährstoffbedarf nachgewiesen werden kann. Dies gilt auch für „fermentiertes Gemisch aus pflanzlichem Material“, welches durch „anaerobe Gärung bei der Erzeugung von Biogas“ gewonnen wurde. Voraussetzung ist, dass das zurückgenommene Substrat frei von gentechnisch verändertem Material und Exkrementen aus industrieller Tierhaltung ist. Dies alles erfordert eine detaillierte Dokumentation (Neuerburg zu finden in Zerger (Hrsg.) 2013)

### **2.2.2.2 Richtlinien der Anbauverbände**

Die ökologischen Anbauverbände beschäftigen sich seit 2005 mit dem Thema Biogas. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die jeweils gültigen Fassungen der Richtlinien der Anbauverbände Bioland (Bioland e.V. 2013b), Demeter (Demeter e.V. 2012) und Naturland (Naturland 2013).

Die beiden mitglieder- und flächenstärksten Verbände Bioland und Naturland begrüßen grundsätzlich die Nutzung von Biogas. Deren Richtlinien beschäftigen sich in erster Linie mit der Nährstoffzufuhr zum Betrieb sowie mit Fragen

---

<sup>1</sup>LÖK ist ein Arbeitskreis der Kontrollbehörden, die in den Bundesländern für den Vollzug und die Überwachung der EU-Rechtsvorschriften für den Ökologischen Landbau zuständig sind und an dem auch regelmäßig Vertreter der Kontrollstellen teilnehmen. Er trifft sich regelmäßig um Fragen, die sich aus der Anwendung der EU-Rechtsvorschriften für den ökologischen Landbau ergeben haben zu diskutieren und zu einheitlichen Aussagen über alle Bundesländer hinweg bezüglich deren Auslegung zu kommen.

der Vermischung mit konventionellem Substrat. Beide schreiben eine Wärmenutzung sowie einen möglichst hohen Wirkungsgrad vor. Bioland beziffert letzteren mit mindestens 70 %. Ein konventioneller Substratinput von bis zu 30 % ist erlaubt.

Bioland ermöglicht Übergangsfristen für die Verwendung von weniger als 70 % Fermentationsstoffen aus ökologischer Erzeugung bei bereits bestehenden Anlagen. Alle Betriebe müssen einen Maßnahmenplan erstellen aus dem ersichtlich ist, dass der Anteil an konventionellen Fermentationsstoffen ab 2020 auf 0 % reduziert werden soll. Bei Naturland dürfen Gras und Klee gras aus konventionellem Anbau stammen, wenn keine synthetischen Mineraldünger eingesetzt wurden.

Gärreste aus betriebsinternen Anlagen können als Dünger ausgebracht werden, wobei zugekaufte Fermentationsstoffe in die Berechnung der zugelassenen Nährstoffmengen einbezogen werden müssen und hierdurch begrenzt sind. Für Gärreste aus Gemeinschaftsanlagen, an denen der Bioland-Betrieb beteiligt ist, gilt: Bioland-Betriebe dürfen die äquivalente Nährstoffmenge, die sie in die Anlage hineingegeben haben, als Gärreste zurücknehmen und auf ihre Betriebsflächen ausbringen. Diese Menge ist beschränkt auf 0,5 Dungeinheiten (DE), also 40 kg N pro Hektar, wenn in der Biogasanlage in den letzten sechs Monaten vor Ausbringung weniger als 70 % biologische Substrate verwendet wurden. Bei Naturland ist die Rücknahme von Gärrest aus einer konventionellen Anlage möglich, wenn eigene Fermentationsstoffe geliefert werden. Darüber hinaus gelten die Naturland-Vorgaben, insbesondere die mengenmäßigen Begrenzungen von Anhang I (Zugelassene Dünger und Bodenverbesserer) bzw. Bl.1 (Humuswirtschaft und Düngung). Werden für den Betrieb einer Biogasanlage Fermentationsstoffe in einem Umfang von mehr als 0,5 DE/ha und Jahr aufgenommen, muss die Abgabe des Gärsubstrates der über diesen Wert hinausgehenden Menge belegt werden.

Der Anbauverband Demeter steht der Biogasgewinnung weitgehend skeptisch gegenüber. Es wird vermutet, dass die Bildekräfte, die Rudolf Steiner beschrieben hat, bei der Vergärung nicht im Dünger gehalten werden können und verloren gehen. Dies wirkt dem geschlossenen Betriebskreislauf entgegen. Außerdem wird argumentiert, dass die fermentierte Gülle wegen der leichten Löslichkeit der Nährstoffe ähnlich den Mineraldüngern wirkt und dadurch den Abbau organischer Substanz steigern kann (Priming-Effekt). Auch der Humusaufbau bliebe aus, weil sich die Aminosäurezusammensetzung von Gülle und Mist durch die Vergärung verändere (Scheller 2006).

Die Wirkung der Biogasgülle auf die Bodenfruchtbarkeit ist in den Augen des Demeter-Verbands zu wenig untersucht, und es wird vermutet, dass die Biogasgülle die Bodenfruchtbarkeit nicht fördere (Olbrich-Majer 2012a). Dennoch ist in den Richtlinien der Einsatz von Biogasanlagen beschrieben. Zwei Drittel der zu vergärenden Trockenmasse muss aus dem eigenen Betrieb oder einer Betriebskooperation stammen. Der Einsatz von Substraten aus konventioneller Bewirtschaftung ist auf Nebenprodukte, Gras und Klee gras aus extensiver Bewirtschaftung beschränkt. Die Stickstoffmenge betriebsfremder Dünger und Kosubstrate zusammen darf 40 kg N/ha nicht überschreiten. Die biologisch-dynamischen Kompostpräparate sind bei der Fermentation im Gärraum oder vor der Vergärung anzuwenden.

### 2.2.3 Definition

Da bisher keine eindeutige Abgrenzung der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau vorliegt, wurde für die vorliegende Untersuchung eine Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes erarbeitet. Diese Definition wurde erstellt auf Basis der vorliegenden Verordnungen und Richtlinien zur Biogaserzeugung im ökologischen Landbau, sowie den Grundätzen und Leitzielen der ökologischen Landwirtschaft. Die Beschreibung wurde unter anderem auf einem Workshop im Rahmen dieses Projektes im März 2013 in Bonn mit Wissenschaftlern und Branchenvertretern diskutiert (Zerger (Hrsg.) 2013).

Im Rahmen dieser Arbeit wird BioBiogaserzeugung wie folgt verstanden:

Die Definition einer BioBiogasanlage basiert auf den drei Säulen **Substrateinsatz**, **Verwendung des Gärrestes** und **Nährstoffflüsse**. BioBiogas wird aus landwirtschaftlichen Reststoffen (u.a. Stalldung, Klee gras, Zwischenfrüchte, Landschaftspflegematerial) erzeugt, ergänzt durch ökologisch erzeugte Energiesubstrate. Die Gärrestverwendung dient der Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und ermöglicht im Zusammenspiel mit dem Substrateinsatz einen weitestgehend geschlossenen Nährstoffkreislauf. Die Eingliederung einer Biogasanlage in einen Ökobetrieb soll einen ökologisch und ökonomisch tragfähigen Landbau ermöglichen, dessen Ziel ein ausgewogenes Zusammenspiel zwischen Lebensmittelerzeugung, Futtermittelerzeugung und Energieproduktion darstellt. Eine Konkurrenz zur Nahrungs- oder Futtermittelerzeugung wird dabei möglichst vermieden. BioBiogasanlagen sind in ihrer Konzeption (Substrateinsatz, Verwendung des Gärrestes, Nährstoffflüsse) integrative Bestandteile ökologisch zertifizierter Landwirtschaftsbetriebe (BioBiogasbetriebe). Der Standort oder die Betreiber-Modelle einer BioBiogasanlage spielen eine untergeordnete Rolle.

Die Kernpunkte der BioBiogaserzeugung können folgendermaßen spezifiziert werden:

### **Substrate**

Eingesetzt werden ausschließlich Substrate aus ökologischer Erzeugung mit Ausnahme von Gras und Futterleguminosen ohne Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie von Grünschnitt aus extensiver Bewirtschaftung

### **Gärgut**

Material von betriebseigenen BioBiogasanlagen ist als Dünger zugelassen, höchstens jedoch mit einem Nährstoffäquivalent von 1,4 DE/ha oder 112 kg N/ha.

### **Nährstoffflüsse**

- Zukauf von Öko-Substrat ist bei Ausbringung des Gärguts auf eigenen Flächen bis zu einem Nährstoffäquivalent von 0,5 DE/ha bzw. 40 kg N/ha zulässig. Bei Zukauf größerer Nährstoffmengen mit dem Substrat muss Gärgut, das ein Nährstoffäquivalent von 40 kg N/ha übersteigt, an andere Öko-betriebe abgegeben werden.
- Die Rücknahme von Gärgut aus Gemeinschaftsanlagen ist zugelassen, wenn eigenes Substrat geliefert wurde. Die Rücknahme ist beschränkt auf eine dem gelieferten Substrat äquivalente Nährstoffmenge.
- Bis max. 0,5 DE/ha bzw. 40 kg N/ha betriebsfremder Nährstoffimport aus Gemeinschaftsanlagen ist zulässig, wenn zur Biogaserzeugung über 70 % Öko-Substrate eingesetzt werden sowie der Einsatz von Gülle, Jauche und Geflügelmist aus konventioneller Tierhaltung und der Eintrag gentechnisch veränderter Organismen ausgeschlossen sind.

### **Standort und rechtliche Konstellationen**

- Die BioBiogasanlage muss nicht auf einem Biobetrieb stehen. Beispielsweise werden BioBiogas-Gemeinschaftsanlagen auch unabhängig von den Betriebsstandorten errichtet und betrieben (Vgl. Kapitel 7 Realisierung von Gemeinschaftsanlagen).
- Die BioBiogasanlage muss nicht von einem Biolandwirt betrieben werden, sondern kann auch durch Betreiber-Modelle unterschiedlicher Konstellationen gekennzeichnet sein, die die Kriterien einer BioBiogasanlage erfüllen.

Die Abgrenzung des Begriffs BioBiogas erfolgte als Zielvorstellung im Sinne einer Biogaserzeugung im ökologischen Landbau, welche die unter Akteuren der ökologischen Agrarwirtschaft und gesamtgesellschaftlich diskutierten Zielvorstellungen weitestgehend umsetzt. Derzeit erfüllt nur eine Minderheit der im Rahmen ökologischer Landwirtschaft betriebenen Biogasanlagen alle genannten Voraussetzungen. Insbesondere verwendet ein erheblicher Anteil der Anlagen im Ökolandbau bisher anteilig konventionell erzeugte Substrate (Siegmeyer et al. 2013) – teils aus ökonomischen Gründen, teils aus Gründen der Verfügbarkeit und der Prozessoptimierung. Zudem geht die Definition von Bio-Biogas deutlich über die Vorgaben der EU-Öko-Verordnung hinaus. Insbesondere bei Status-Quo-Analysen und Befragungen werden daher auch Ökobertriebe berücksichtigt, die dieser Definition nicht entsprechen.

Die Ökolandbau-Branche arbeitet auf Ebene der Verbände und der Betreiber derzeit an der schrittweisen Umstellung der Substratbeschaffung bestehender Biogasanlagen im Ökolandbau auf ausschließlich systemkonforme Einsatzstoffe. Dieser Ansatz wurde in den vergangenen Jahren im Bereich der ökologischen Tierernährung verfolgt – hier wurde das Ziel einer Futtergrundlage zu 100 % aus ökologischem Anbau bei einigen Tierarten bereits erreicht.

#### **2.2.4 Biogas: Perspektive für Betriebe des ökologischen Landbaus**

Die Erzeugung von Biogas aus Biomasse im landwirtschaftlichen Kreislauf kann für Betriebe des ökologischen Landbaus eine attraktive Option darstellen. Den Besonderheiten des ökologischen Landbaus und dem Anspruch einer nachhaltigen und kreislauforientierten Wirtschaftsweise kann die Biogaserzeugung in verschiedener Hinsicht entgegen kommen. Von besonderer Bedeutung dabei sind:

- Die Erzeugung erneuerbarer Energie im eigenen Betrieb
- Die Optimierung von Nährstoffkreisläufen
- Die Steigerung der Wertschöpfung aus Zwischenfrüchten, Klee gras und Reststoffen
- Die Verbesserung der betrieblichen Umweltleistungen

##### **2.2.4.1 Energieerzeugung**

Eine der Grundideen des ökologischen Landbaus ist die Erzeugung von Lebensmitteln mit möglichst geringer Zufuhr von Betriebsmitteln. Dahinter steht

zum einen der ökologische Gedanke einer konsequenten Kreislaufwirtschaft, zum anderen aber auch das Leitbild einer eigenständigen bäuerlichen Landwirtschaft, die ihre Produktionsgrundlagen weitestgehend selbst gestaltet. Daher streben zahlreiche Betriebsleiter an, die benötigte Energie im innerbetrieblichen Kreislauf selbst zu erzeugen statt sie aus fossilen Quellen oder nuklearer Erzeugung zuzukaufen. Zugleich sind ökologischen Landwirtschaftsbetrieben vergleichsweise häufig handwerkliche Betriebe zur Lebensmittelverarbeitung oder andere nicht-landwirtschaftliche Einrichtungen mit erheblichem Strom- und/oder Wärmebedarf an- oder eingegliedert.

Mit der Biogaserzeugung steht eine praxisreife und skalierbare Technologie zur Verfügung, die eine effiziente Energieerzeugung mit flexiblen Einsatzstoffen auf einzelbetrieblicher Ebene ermöglicht.

#### **2.2.4.2 Nährstoffkreislauf**

Die im ökologischen Landbausystem praktizierte Ernährung der Pflanzen durch Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in Kreislaufwirtschaft stellt vor allem mit niedrigem Tierbesatz oder viehlos wirtschaftenden Ökolandwirte sowie Betriebe auf leichten Böden langfristig vor die Herausforderung, die Nährstoffversorgung der Böden im Einklang mit dem Bedarf der Nutzpflanzen zu erreichen. Vorwiegend Stickstoff, aber zunehmend auch Phosphor, sind vor allem bei reinem Marktfruchtbau nicht immer zum Zeitpunkt des Bedarfs ausreichend im Boden pflanzenverfügbar. Dies kann bei viehlos ökologisch bewirtschafteten Betrieben langfristig zu Ertragsrückgängen führen (Kuhnert et al. 2013).

Hierfür sehen die Autoren dieser Studie mehrere Ursachen:

- Nährstoffexporte beim Verkauf pflanzlicher Produkte verringern die Rückführung von organischem Material und Nährstoffen auf die Flächen im Vergleich zu Systemen mit Tierhaltung.
- Der im System ökologischer Ackerbau vorgesehene Anbau überjähriger oder mehrjähriger Leguminosen zur Bodenverbesserung und Stickstofffixierung bindet produktive Ackerflächen. Er wird daher bei fehlender inner- oder überbetrieblicher Verwertungsmöglichkeit des Aufwuchses als Futtermittel nur im eingeschränkten Umfang betrieben. Werden zudem Klee oder Luzerne durch Körnerleguminosen ersetzt, die als Marktfrüchte genutzt werden, sinken Humus- und Nährstoffwirkung des Leguminosenanteils in der Fruchtfolge stark ab.

- Werden Leguminosen und Zwischenfrüchte nicht abgeerntet sondern gemulcht, sinkt die Wuchleistung und Nährstoffwirkung im Vergleich zu beernteten Beständen (Möller et al. 2006).
- Die Mineralisierung der im Klee gras enthaltenen Nährstoffe erfolgt nur teilweise zeitgleich mit dem Bedarf der Folgefrucht. Insbesondere im Herbst gemulchter Aufwuchs wird zu erheblichen Anteilen umgesetzt, bevor die Folgefrucht die Nährstoffe aufnehmen kann. Damit steigt die Gefahr von Nährstoffverlusten aus dem System (Möller et al. 2006).
- Betriebe ohne Tierhaltung verfügen meist über keine zeitlich und räumlich flexibel einsetzbaren Wirtschaftsdünger. Der Zukauf von Düngemitteln ist systembedingt stark eingeschränkt. Die verfügbaren zulässigen Handelsdünger sind teuer und werden daher vor allem im Gemüsebau benutzt.

Über die Ernte bisher gemulchter Gründüngungskulturen für die Biogasnutzung erhöht sich deren Fruchtfolgeleistung, da das hierfür entscheidende Wurzelwachstum und die Stickstofffixierungsleistung ansteigen. Über einen stärkeren Fruchtfolgeanteil genutzter Blattleguminosen und anderer Zwischenfrüchte bleibt ein größerer Anteil der angebauten Biomasse dem Betriebskreislauf erhalten. Dadurch verbessern sich Nährstoff- und Humussituation. Zudem steigert die Biomassenutzung die Flexibilität bei der Gestaltung von Fruchtfolge- und Anbauverfahren (z.B. Zweikulturnutzungssysteme, Zwischenfrüchte, flexible Erntezeiträume, Mischanbau, Erweiterung des Pflanzenspektrums). Die Nutzung des Aufwuchses als Biogassubstrat ermöglicht auch die bedarfsgerechte Ausbringung der Nährstoffe über das Gärgut zum Zeitpunkt idealer Pflanzenverfügbarkeit.

Wegen der Möglichkeit der Nährstoff- und Humusrückführung über das Gärgut eignet sich das Biogassystem besser zur Integration in ökologische Landbausysteme als andere Bioenergiesysteme wie beispielsweise die Verbrennung von Biomasse oder zentralisierte Nutzungssysteme.

#### **2.2.4.3 Wertschöpfung**

Stellt bei viehlosen Betrieben die Nährstoff- und Humuswirkung von Klee gras und Zwischenfrüchten den einzigen Nutzen dieser Fruchtfolgeglieder dar, so ist durch die Nutzung der Aufwüchse als Biogassubstrat eine zusätzliche Wertschöpfung möglich. Dies stärkt den Anbau dieser ackerbaulich vorteilhaften Früchte, da ihre Anbauwürdigkeit deutlich steigt (vgl. Kapitel 3).

Ökologische Betriebe mit Tierhaltung können - ebenso wie ihre konventionellen Berufskollegen - mit der Biogaserzeugung Reststoffe aus der Tierhaltung (Mist/Gülle) veredeln und deren Ausbringung durch die Verringerung des Trockenmassegehalts bei der Fermentation vereinfachen ohne deren Düngewirkung zu beeinträchtigen (vgl. Kapitel 3).

Wie Praxiserhebungen zeigen, bewirkt die beschriebene Nährstoffwirkung des Biogassystems für den ökologischen landwirtschaftlichen Betrieb eine Erhöhung der Erträge in der Fruchtfolge, die ohne Biogaserzeugung nur zu wesentlich höheren Kosten erzielt werden können (Anspach et al. 2011b), siehe dazu auch Kapitel 8.

#### **2.2.4.4 Umweltleistungen**

Der positive Einfluss der Biogaserzeugung auf die Flächenerträge kann auch ohne Berücksichtigung der Energieerzeugung sowohl die produktbezogenen Umweltbelastungen im Gesamtsystem als auch den Flächenbedarf des Gesamtsystems verringern oder zumindest stabil halten. Vor allem in viehlosen Systemen können durch die Abfuhr des Klee gras-Aufwuchses gegenüber dem Mulchsystem Nährstoffemissionen und auch Lachgasemissionen verringert werden. Wird die Erzeugung des zusätzlichen Produktes „Energie“ berücksichtigt, ergibt sich vor allem bei Reststoff-basierten Systemen eine erhebliche Steigerung der Umweltleistungen.

Mit zunehmendem Fokus der Diskussion auf die Klimawirkung der Landwirtschaft stellt das Argument der Emissionsvermeidung durch Biogas aus Gülle für die ökologische Tierhaltung ein besonders gewichtiges Argument dar, um den Anspruch auf eine besonders nachhaltige Wirtschaftsweise zu erfüllen.

Nicht abschließend geklärt ist die langfristige Wirkung der Biogaserzeugung im Ökolandbausystem auf die Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und der Humusdynamik im Boden (vgl. Kapitel 3.3.2). Wegen der zentralen Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für den ökologischen Ackerbau sind Erkenntnisse zu dieser Fragestellung unverzichtbar für die Beurteilung der Wirkungen von Biogas auf Betriebsebene.

Eine vertiefende Darstellung der Umweltleistungen und Nachhaltigkeitsfragen ist Kapitel 9 zu entnehmen.

### **2.2.5 Unterschiede zur Biogaserzeugung in der konventionellen Landwirtschaft**

Biogaserzeugung im ökologischen Landbau, die die oben genannten BioBiogas-Kriterien erfüllt, unterscheidet sich vor allem durch die Substratauswahl und die hohe Bedeutung für das landwirtschaftliche Produktionssystem von der praxisüblichen Biogaserzeugung im Kontext des konventionellen Landbaus. Zudem stellen einige bei BioBiogasanlagen typische Substratkonstellationen (hohe Strickstofffrachten, Variabilität der Substrate, lignozellulosereiche Substrate, langfaserige Substrate) besondere Herausforderungen an die Verfahrens- und Anlagentechnik (vgl. Kapitel 6).

Soweit die Reststoffnutzung - darunter neben Mist und Gülle vor allem Zwischenfrüchte – im Fokus der Substratbeschaffung für BioBiogasanlagen steht, benötigt die Substraterzeugung keine zusätzlichen Flächen. Auf vieharmen/viehlosen Betrieben gilt dies auch für die Nutzung von Klee gras, soweit keine alternative Futternutzung in Frage kommt. In Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus werden Futterleguminosen regelmäßig als Hauptfrüchte zur Nährstoffbindung in der Fruchtfolge kultiviert. Durch die beschriebenen Ertragswirkungen in der Fruchtfolge kann Biogaserzeugung durch ökologische Intensivierung sogar eine Steigerung der Lebensmittelerzeugung bei gleicher Anbaufläche bewirken (vgl. Kapitel 3.3).

Ökologischer Ackerbau wird stets in weiten und vielseitigen Fruchtfolgen betrieben. Dies wird einerseits von der EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 und den Verbandsrichtlinien vorgeschrieben, ist aber andererseits auch systembedingt, da bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und synthetische Düngung nur mit einem Fruchtwechsel stabile Erträge erzielt werden. Auch wenn Energiepflanzen zum Einsatz kommen, erfolgt im ökologischen Landbau die Erzeugung immer in der Fruchtfolge.

Werden Pflanzen ausschließlich oder hauptsächlich zum Zweck der Substraterzeugung angebaut, stehen die dafür benötigten Flächen der Lebensmittelerzeugung nicht mehr zur Verfügung. Aufgrund des im Ökolandbau niedrigeren Ertragsniveaus liegt der Biogasertrag je Flächeneinheit unter dem der konventionellen Anbauweise. Durch die größere Ertragswirksamkeit von Fruchtfolgewirkungen im Ökolandbau relativiert sich allerdings die Flächenkonkurrenz in der Fruchtfolge: Energiepflanzen, die zur Ertragsbildung auf hohe Bodengüte, eine vorteilhafte Fruchtfolgestellung und hohe Nährstoffzufuhr angewiesen sind (z.B. Mais, Weizen), beeinträchtigen die Lebens- und Futtermittelerzeugung

weitaus stärker als Kulturen, die selbst einen hohen Vorfruchtwert besitzen (z.B. Leguminosen) oder auf wenig fruchtbaren Böden Erträge ermöglichen.

Die Wechselwirkungen von Biogaserzeugung und Pflanzenbau sind im ökologischen Landbau erheblich stärker ausgeprägt als in der konventionellen Variante. Der ökonomische Wert des Gärrests ist hoch, da vergleichbare Nährstoffmengen in der Regel – wenn überhaupt - nur mit erheblich höheren Kosten systemkonform beschafft werden können. Zugleich wirken sich Verfahrensänderungen (z.B. Ernten statt Mulchen) und Veränderungen in der Fruchtfolge durch Substraterzeugung (z.B. Zwischen- oder Zweifruktanbau, Klee gras, aber auch GPS oder Mais) stärker auf die Erträge der Kulturpflanzen aus. Durch den Verzicht auf chemische Korrekturmaßnahmen und synthetische Dünger im Ökolandbau zeigen klassische ackerbauliche Maßnahmen eine deutlichere Wirkung.

## **2.2.6 Herausforderungen ökologischer Biogaserzeugung**

### ***2.2.6.1 Verfahrenstechnik und Prozessführung***

Die im konventionellen Landbau verbreiteten Einsatzstoffe Mais und Gülle zeichnen sich unter anderem durch eine verfahrenstechnisch relativ problemlose Umsetzung zu Biogas aus. Aus der bevorzugten Nutzung von Reststoffen in BioBiogasanlagen ergibt sich, dass hier die Anlagen- und Verfahrenstechnik den vorhandenen Substraten angepasst gewählt werden muss. Unter den genutzten Stoffen sind häufig faserreiche Substrate mit hohen Anteilen an Lignozellulose (z.B. Stroh, Mist, Gras, Klee gras) sowie Biomassen, die eine hohe Stickstoffbelastung des Biogasprozesses hervorrufen (z.B. Klee gras). Vor allem bei höheren Anteilen an der Gesamtration stellen diese Substrate erhöhte Anforderungen an die verwendete Technik und die Prozessführung. Dies betrifft insbesondere die Technik des Substrateintrags, Rühr- und Pumpetechnik sowie die Störstoffabscheidung. Auch bei der Prozessführung ist eine wesentlich engere Überwachung nötig, da bereits geringe Abweichungen der Parameter den Prozess stark beeinträchtigen können.

### ***2.2.6.2 Flächensicherung***

Zur Substratbeschaffung werden - vor allem bei Konzentration auf Reststoffe - weitaus höhere Gesamt-Anbauflächen benötigt als bei konventionellen Biogasanlagen. Wird z.B. Klee gras als stickstofflieferndes Fruchtfolgeglied auf rund

25 % der Anbaufläche eines Biobetriebs kultiviert (bei einem Substratbedarf der Biogasanlage von über 0,5 Hektar je Kilowattstunde elektrischer Leistung), so müssen für eine klee-grasbasierte Anlage je Kilowattstunde elektrischer Leistung mehr als zwei Hektar ökologische Ackerfläche anteilig zur Verfügung stehen. Da zugleich nur ein Teil der Flächen einer Region ökologisch bewirtschaftet wird, stellt vor allem für größere Anlagen die Transportentfernung der Substrate eine Herausforderung dar. Dies ist einer der Hauptgründe, weshalb im ökologischen Landbau in der Regel kleinere Biogasanlagen betrieben werden. Größere BioBiogasprojekte können nur von sehr großen landwirtschaftlichen Betrieben (v.a. in den östlichen Bundesländern) oder in Regionen mit hohen Anteilen ökologisch bewirtschafteter Flächen (z.B. Bayern, Wendland) umgesetzt werden (Vgl. Kapitel 7). Bei bisherigen Biogasanlagen, die von Biolandwirten betrieben werden, steigt auch aus diesem Grund mit Zunahme der Anlagengröße der durchschnittliche Anteil an Substraten aus konventioneller Erzeugung deutlich an.

### **2.2.6.3 Kommunikation**

Ein Verkaufsargument für ökologische Lebensmittel ist ihre besonders umweltschonende und nachhaltige Erzeugung. Daher steht der Ökolandbau in besonderem Maße in der Verpflichtung, seine Aktivitäten an diesen Anforderungen zu messen. Vor dem Hintergrund einer derzeit überwiegend kritischen öffentlichen Diskussion um Biogaserzeugung stellt sich die Herausforderung, die Sinnhaftigkeit und Nachhaltigkeit der Biogaserzeugung im System Ökolandbau überzeugend darzustellen. In Bezug auf die öffentliche Wahrnehmung sind der Flächenbedarf, die Substratwahl bzw. Landnutzungsfrage und die Frage nach der Effizienz Aspekte, die in der Ausrichtung und Kommunikation von BioBiogasprojekten adressiert werden müssen. Im fachlichen Diskurs bestehen zudem Fragen zur Qualität des Gärguts als Dünger und seine langfristige Auswirkung auf die Bodenfruchtbarkeit sowie zu den agrarstrukturellen Wirkungen der Biogaserzeugung.

### 3 Systemanalyse

(Verantwortlich: Universität Kassel)

Die im Folgenden erarbeiteten Informationen sollen helfen, die Auswirkungen von BioBiogasanlagen besser einschätzen zu können und ein differenziertes Bild von BioBiogasanlagen sowie typischen konventionellen Biogasanlagen zu erlangen.

Konventionelle Anlagenkonzepte sind nicht ohne weiteres auf die Bedingungen in Öko-Betrieben übertragbar. Die systembedingten Grenzen auf Seiten der einsetzbaren Rohstoffe erfordern angepasste Konzepte. Allerdings versprechen Biogasanlagen gerade im „System Ökolandbau“ besondere ökonomische, aber auch ökologische Vorteile, vor allem in vieharmen oder viehlosen Betrieben.

Eine isolierte Betrachtung nur der Biogasanlage - wie für konventionelle Konzepte üblich - wird den Eindruck erwecken, dass Biogasanlagen im Ökolandbau kaum wirtschaftlich zu betreiben seien. Da die Biogas- und Gärrestnutzung mit vielfältigen Wirkungen im Gesamtsystem Ökolandbau verbunden ist, muss zu ihrer Bewertung eine umfassendere, gesamtbetriebliche Sichtweise erfolgen. Eine fundierte, an den Stoff- und Energieströmen orientierte ökonomische Bewertung des Gesamtsystems erleichtert die Entscheidungsfindung in Öko-Betrieben, bei Biogasherstellern, Forschern und Politikern.

Kategorien, die zur Beschreibung der Systemwirkungen im Folgenden herangezogen werden, sind beispielsweise:

- produktive Verwertung (regional oder betrieblich) überschüssigen Klee-grases / Luzernegrases,
- Nutzung von Zwischenfrüchten und Untersaaten,
- Ertragssteigerungen bei Marktfrüchten (Stichwort „ökologische Intensivierung“),
- Wirkungen auf die Produktqualität bei Marktfrüchten (z.B. Proteingehalte bei Weizen, Futterqualität bei Grünland),
- Konkurrenzsituation zur Lebensmittelproduktion (Stichwort „Landnutzungs-konkurrenz“),
- Förderung der Biodiversität (Fruchtfolge, regionale Landnutzung),
- Veränderungen des Humusgehaltes des Bodens,
- Veränderung des Stickstoffhaushaltes.

Die Systemanalyse verfolgt in erster Linie das Ziel, mittels einer formalisierten Vorgehensweise die Interaktionen zwischen zuvor identifizierten Subsystemen mittels Kausaldiagrammen oder auch funktionalen Blockdiagrammen verbal, graphisch und soweit sinnvoll mathematisch zu beschreiben. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die vielfältigen Wechselwirkungen im interdisziplinären Projektverbund zu identifizieren und in der Analyse angemessen zu berücksichtigen.

### **3.1 Einführung und Methode der Systemanalyse**

Die Integration der Biogaserzeugung in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb geht mit vielfältigen Wirkungen auf verschiedenste Bereiche des Systems einher. Die isolierte Betrachtung einer Biogasanlage ohne Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen des Ökolandbaus ließe viele Aspekte und Wirkungen insbesondere der innerbetrieblichen Stoff- und Energieströme (aber auch der Interaktionen mit der außerbetrieblichen Umwelt des Ökobetriebs) unberücksichtigt. Gerade im Ökolandbau scheint die Integration einer Biogasanlage aber vielfältige ökologische (z.B. Beikrauteffekte), systemrelevante (z.B. Nährstoffeffizienz) und ökonomische (z.B. Ertrags- und Qualitätseffekte) Vorteile zu versprechen. Dies gilt im Besonderen für vieharme oder viehlose Betriebe, die über eine sehr geringe oder gar keine Stickstoff-Rückführung aus betriebseigenen tierischen Wirtschaftsdüngern verfügen. Die Gärrestnutzung kann hier beispielsweise zu einer bedarfsgerechten und besser an die pflanzenbaulichen Gegebenheiten angepassten Versorgung mit dem im Ökolandbau limitierten Stickstoff führen. Dabei können über die Systemgrenzen des einzelnen Ökobetriebs hinausgehende Kooperationen die Potenziale der Reststoffnutzung sowie der optimierten Nährstoffverteilung besser ausschöpfen.

Vor diesem Hintergrund stellt die Biogaserzeugung im Ökolandbau nicht lediglich eine weitere Form der Bereitstellung erneuerbarer Energien dar, sondern hat überdies das Potenzial, durch eine Optimierung des Zusammenspiels der Subsysteme eines ökologischen Betriebsorganismus eine „ökologische Intensivierung“ zu erzielen (Anspach et al. 2011c).

Da keine direkte Übertragung konventioneller Biogaskonzepte auf die Bedingungen im Ökolandbau möglich ist, verfolgt die hier durchgeführte Systemanalyse von Ökobetrieben ohne und mit Biogaserzeugung das Ziel, die Systemwirkungen zunächst qualitativ mittels Kausaldiagrammen formal zu identifizieren, um im Hinblick auf Kapitel 8.2 (Ökonomische Analyse) eine an den Stoff- und

Energieströmen orientierte ökonomische und damit quantitative Bewertung des Gesamtsystems zu ermöglichen.

Die Systemtheorie stellt ein hilfreiches Werkzeug zur strukturierten Darstellung komplexer und fachübergreifender Zusammenhänge dar. Sie ermöglicht es, eine Vielzahl von Kausalzusammenhängen sowie deren Vernetzung untereinander logisch zu veranschaulichen.

Berg & Kuhlmann (1993) sowie Bossel (2004) definieren ein System als eine Einheit, die sich durch ihre Systemelemente und deren Beziehungen untereinander und zu ihrer Umwelt charakterisieren lässt. Die Grenzen eines Systems werden dort definiert, wo die Kopplung zur Umgebung sehr viel schwächer ist als die Binnenkopplung im System. Nach Behrens (Behrens 2008) kann ein einzelbetriebliches, landwirtschaftliches Unternehmenssystem als eine selbstständig agierende Einheit betrachtet werden. Als Subsystem eines landwirtschaftlichen Unternehmenssystems kann das landwirtschaftliche Produktionssystem definiert werden. Betriebszweige wie Ackerbau, Milchviehhaltung oder eine integrierte Biogasanlage sowie Produktionsverfahren stellen weitere Subsysteme des landwirtschaftlichen Produktionssystems dar. Zu den Systemelementen gehören die Systemparameter, die über den Zeitraum der Beobachtung des Systems konstant bleiben (z.B. Gebäudeausstattung) sowie Systemzustandsgrößen, die als Speichergrößen sämtliche Veränderungen innerhalb des Systems abbilden (z.B. Biomasseerträge). Da die vorgesehene Systemanalyse insbesondere die innerbetrieblichen Effekte der Integration einer Biogasanlage in ein landwirtschaftliches Betriebssystem abbilden soll, sind gerade die möglichen Veränderungen in den Systemzustandsgrößen von größtem Interesse. Umgeben ist das landwirtschaftliche Unternehmenssystem von der Systemumwelt, die sowohl über kontrollierbare Inputs (z.B. Betriebsmittel) als auch über unkontrollierbare Einflüsse (z.B. politische Rahmenbedingungen) auf das Unternehmenssystem einwirkt. Umgekehrt gibt das Unternehmenssystem bestimmte Outputs an die Systemumwelt ab und beeinflusst letztere dadurch

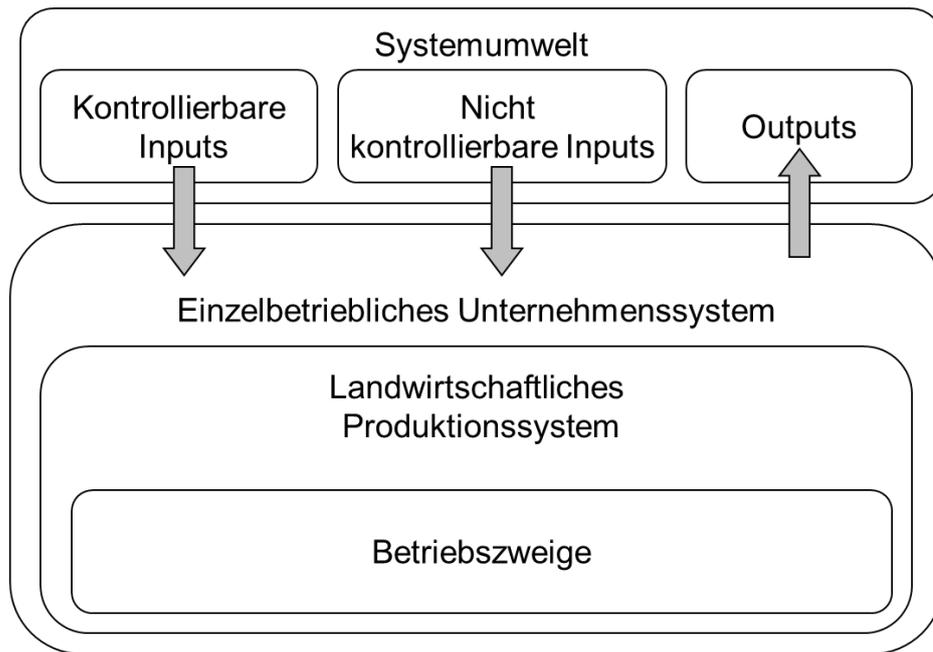


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung eines einzelbetrieblichen Unternehmenssystems mit Subsystemen und Systemumwelt (modifiziert nach Behrens 2008)

Auf eine mathematische Formulierung systemtheoretischer Ansätze, wie sie in der entsprechenden Literatur weiter verfolgt wird, wird verzichtet, da eine qualitative Erfassung systemrelevanter Wirkungen für eine ökonomische Bewertung der hier zugrunde gelegten Fragestellungen als zielführender erachtet wird.

## 3.2 Abbildung der Systeminteraktionen von Ökobetrieben ohne und mit Viehhaltung bzw. Biogaserzeugung

### 3.2.1 Ökologische Betriebssysteme

Ökologische Betriebssysteme können charakterisiert werden durch möglichst geschlossene Stoffkreisläufe in einem vielseitig strukturierten Betriebsorganismus. Fruchtbarkeit und Produktivität sind Ergebnisse eines Systems, das sich die natürlichen Selbstregulationsmechanismen zunutze macht (Kempkens 2007). Grundlage des Betriebssystems ist eine abwechslungsreiche Fruchtfolge aus Marktfrüchten und schwachzehrenden bzw. bodenverbessernden Kulturen wie z.B. Leguminosen, die die Bodenfruchtbarkeit als Ausgleich zu den zehrenden Kulturen erhalten und steigern sollen (Watson et al. 2002). Der Klee gras-Anbau dient in erster Linie der Stickstoff-(N<sub>2</sub>-)Fixierung sowie der Unkrautkontrolle und als Gründüngung oder zur Tierernährung. Da der N-Einsatz

aus externen Quellen limitiert ist, sind ökologische Betriebssysteme auf ein optimales Stickstoffmanagement angewiesen (Berry et al. 2002)<sup>2</sup>. Herkömmliche und kreislauforientierte Ökobetriebssysteme verfügen über eine integrierte Tierhaltung (z.B. Milchvieh, Mutterkuh, Schweine- oder Hühnerhaltung) (Zander et al. 2008). Hierüber können Grünlandbestände, die zur Sommerweide und/oder der Winterfutterwerbung genutzt werden, sowie Zwischenfrüchte verwertet werden. Die pflanzlichen Aufwüchse und Überschüsse, die der Tierhaltung zufließen, können nach dem Verdauungsprozess als aufgewertete, räumlich und zeitlich flexible Düngemittel einen bedarfsgerechten Nährstoffkreislauf unterstützen. Neben den klassischen pflanzenbaulichen und tierischen Betriebszweigen umfassen die vielseitigen Betriebsstrukturen vieler Ökobetriebe auch die Verarbeitung von selbst erzeugten Produkten (Hofkäserei, Hofbäckerei), sowie Direktvermarktung (Hofladen) und die Energieerzeugung (Zander et al. 2008). Diese Tatsache ist im Hinblick auf die noch stärkere Verankerung der Biogaswirtschaft mit allen Betriebsteilen von Bedeutung (Stichwort „Wärmenutzung“).

Ausgehend von klassischen ökologischen Betriebssystemen wurden im ersten Schritt der Systemanalyse zunächst systematische (qualitative) Analysen für vier verschiedene ökologische Modellbetriebe in graphischer Form durchgeführt:

- i.) **Ökobetrieb ohne Biogas, viehhaltend**
- ii.) **Ökobetrieb mit Biogas, viehhaltend**
- iii.) **Ökobetrieb ohne Biogas, viehlos** sowie
- iv.) **Ökobetrieb mit Biogas, viehlos.**

Hierbei wurden zunächst die Interaktionen der Subsysteme (Stoff- und Energieströme) identifiziert und die Unterschiede mit und ohne Biogaserzeugung festgehalten. Anschließend erfolgte die Identifizierung der monetär wirksamen innerbetrieblichen Interaktionen und Wirkungen einer Integration der Biogaserzeugung, die auch die Output-Größen des gesamten Betriebssystems beeinflussen können.

---

<sup>2</sup>Die hier vorgenommenen Betrachtungen der Systemwirkungen richten sich insbesondere an den veränderten Stickstoff-Prozessen aus, da die weiteren Pflanzennährstoffe (P, K, Mg, Ca, etc.) keine ernährungsrelevanten Veränderungsprozesse bei der Vergärung durchlaufen (vgl. hierzu z.B. (Schaaf, 2002)

### 3.2.2 Ökobetrieb ohne Biogas, viehhaltend

Das System Ökobetrieb ohne Biogas, viehhaltend, wurde als System mit vier Subsystemen, Ackerbau, Viehhaltung, Grünland und hofeigener Verarbeitung definiert. Im Subsystem Ackerbau wurde zwischen drei weiteren Subsystemen unterschieden: Marktfruchtbau, Klee gras/Zwischenfrüchte und Futterbau (Getreide). Es wurde eine übliche Fruchtfolge mit einem Wechsel von Stark- und Schwachzehrern und einem zweijährigen Klee grasanbau zu Beginn der Fruchtfolge unterstellt. Die Düngung erfolgt über die natürliche  $N_2$ -Fixierung der Leguminosen sowie über die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, die vorwiegend auf Ackerkulturen ausgebracht werden und damit eine indirekte Nährstofffracht vom Grünland zum Ackerbau beinhalten. Wie aus Abbildung 10 hervorgeht, finden insbesondere zwischen der Viehhaltung und dem Ackerbau bzw. dem Grünland verschiedene Interaktionen in Form von Stoffströmen statt. Grünland und Ackerbau stellen unterschiedliche Futtermittel bereit und erhalten Wirtschaftsdünger. Die hofeigene Verarbeitung erhält Erzeugnisse aus Viehhaltung und Ackerbau und stellt organische Reststoffe aus der Produktion als Düngemittel zur Verfügung. Externe Inputs bestehen zum einen aus kontrollierbaren Inputs wie z.B. Betriebsmitteln wie Saatgut, betriebsfremde Futter- und Düngemittel sowie Produktionsmittel für die Verarbeitung. Unkontrollierbare Inputs fließen als Kosten für die Produktionsfaktoren (Boden, Arbeit, Kapital), Marktpreise, agrarpolitische Rahmenbedingungen oder auch die klimatischen Verhältnisse in das System ein. Auf der Output-Seite können aus allen vier Subsystemen landwirtschaftliche Produkte das Betriebssystem verlassen (einschließlich des Stickstoff-Exports). Im Gegenzug können sowohl ökonomische Leistungen (z.B. Einzahlungen aus Marktfruchtverkäufen) als auch ökologische Leistungen (z.B. extensive Grünlandbewirtschaftung) erzielt werden. Als Systemverluste sind beispielsweise Nährstoffverluste durch Nitratauswaschung oder Denitrifikation möglich.

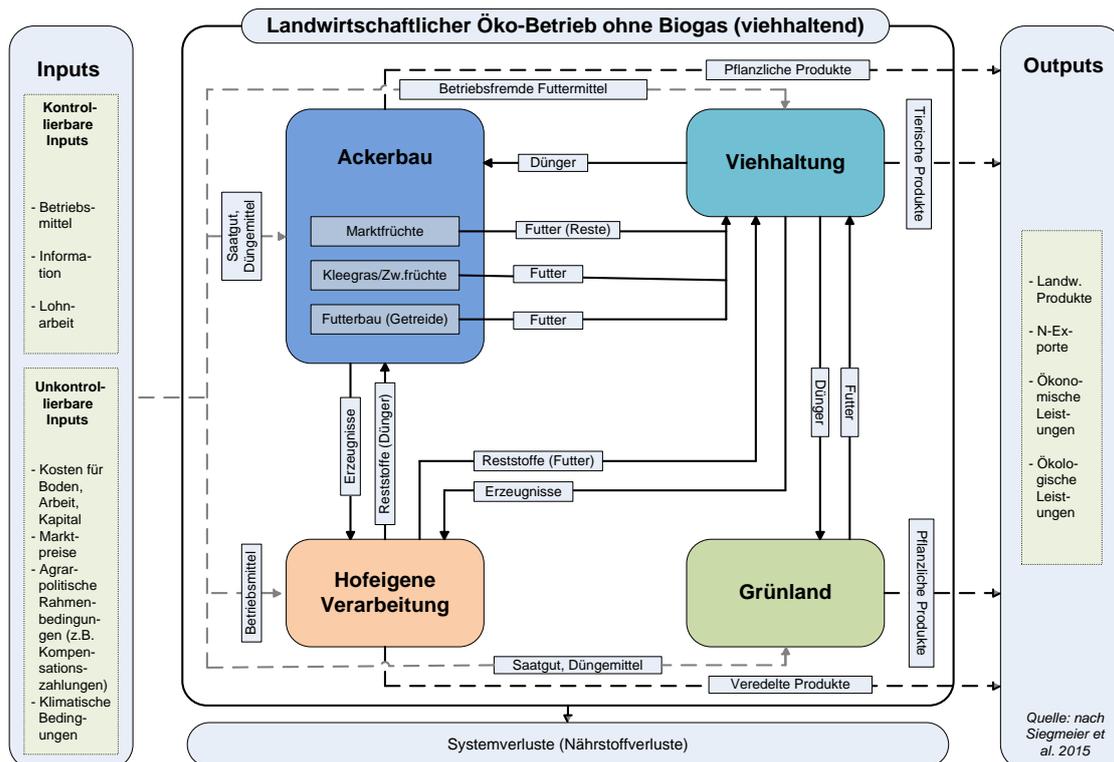


Abbildung 2: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs ohne Biogas (Quelle: nach Siegmeier et al. 2015).

### 3.2.3 Ökobetrieb mit Biogas, viehhaltend

Die Integration einer Biogasanlage als fünftes Subsystem verändert die Stoff- und Energiestromdynamik in signifikanter Art und Weise im System *Ökobetrieb mit Biogas, viehhaltend*, im Vergleich zum oben beschriebenen System. Die Biogasanlage fungiert zunächst als Verwerter der anfallenden Reststoffströme aus allen Betriebszweigen, bevor das Gärgut allen relevanten Betriebszweigen als Düngemittel, das neben den tierischen nun auch pflanzliche Bestandteile und Reststoffe enthält, zur Verfügung steht (Abbildung 3). Neben möglichen Veränderungen des Anbauprogramms zur Substraterzeugung im Subsystem Ackerbau werden die Unterschiede zum biogaslosen System insbesondere an den fixen Einkünften über das EEG (EEG 2012; EEG 2014) sowie in der möglichen Einfuhr betriebsfremder Substrate (und damit auch N) als kontrollierbare Inputs deutlich. Sowohl als neue Output-Größe, aber auch für innerbetriebliche Prozesse und den Energiebedarf von Gebäuden stehen nun zudem Strom und Wärme zur Verfügung.

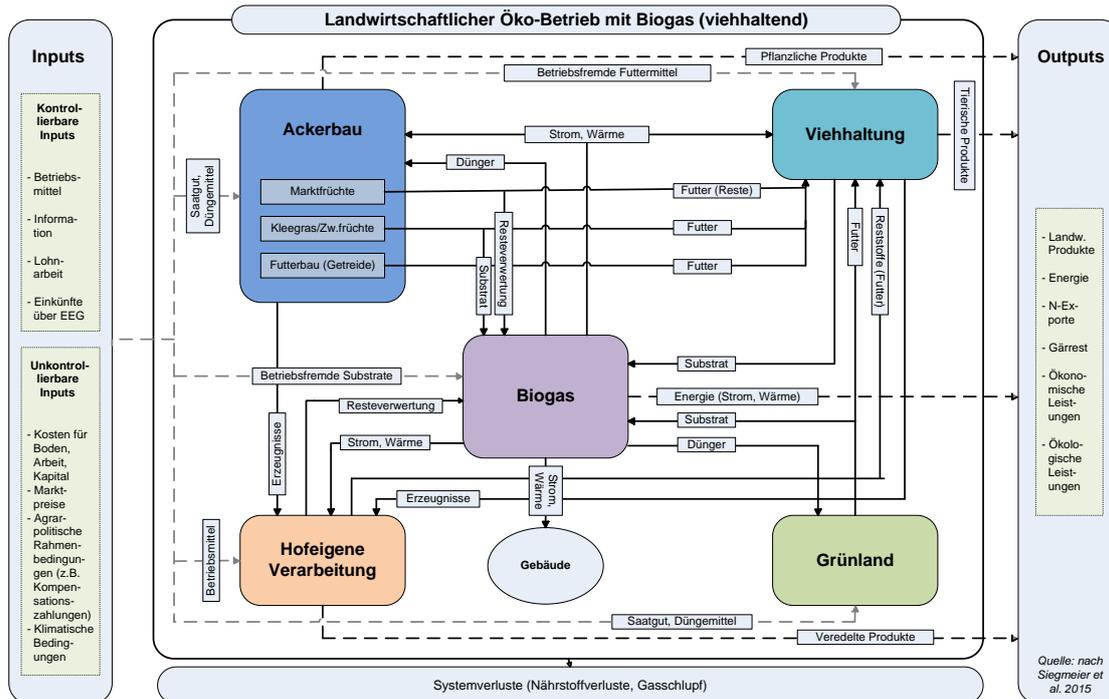


Abbildung 3: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogas (Quelle: nach Siegmeyer et al. 2015).

### 3.2.4 Ökobetrieb ohne Biogas, viehlos

Das System *Ökobetrieb ohne Biogas, viehlos*, wurde im Unterschied zum viehhaltenden Betrieb als System mit drei Subsystemen (Ackerbau, Grünland und hofeigene Verarbeitung) definiert. Dies verringert die Komplexität des Systems merklich, wie in Abbildung 4 veranschaulicht wird. Innerhalb des Subsystems Ackerbau fällt der Futterbau (Getreide) weg, während Zwischenfrüchte und Klee/Gras keine weitere tierische Verwertung durchlaufen und im Subsystem verbleiben. Durch die Maßnahme des Mulchens stehen sie als immobile Gründünger dem Ackerbau zur Verfügung. Auch der aufwändigere Zwischenschritt der Abfuhr des Grünguts mit anschließender Kompostierung ist denkbar. Nährstoffimporte wie der Zukauf von Futtermitteln entfallen ebenso im Vergleich zum viehhaltenden System wie der Verkauf verarbeiteter oder unverarbeiteter tierischer Produkte.

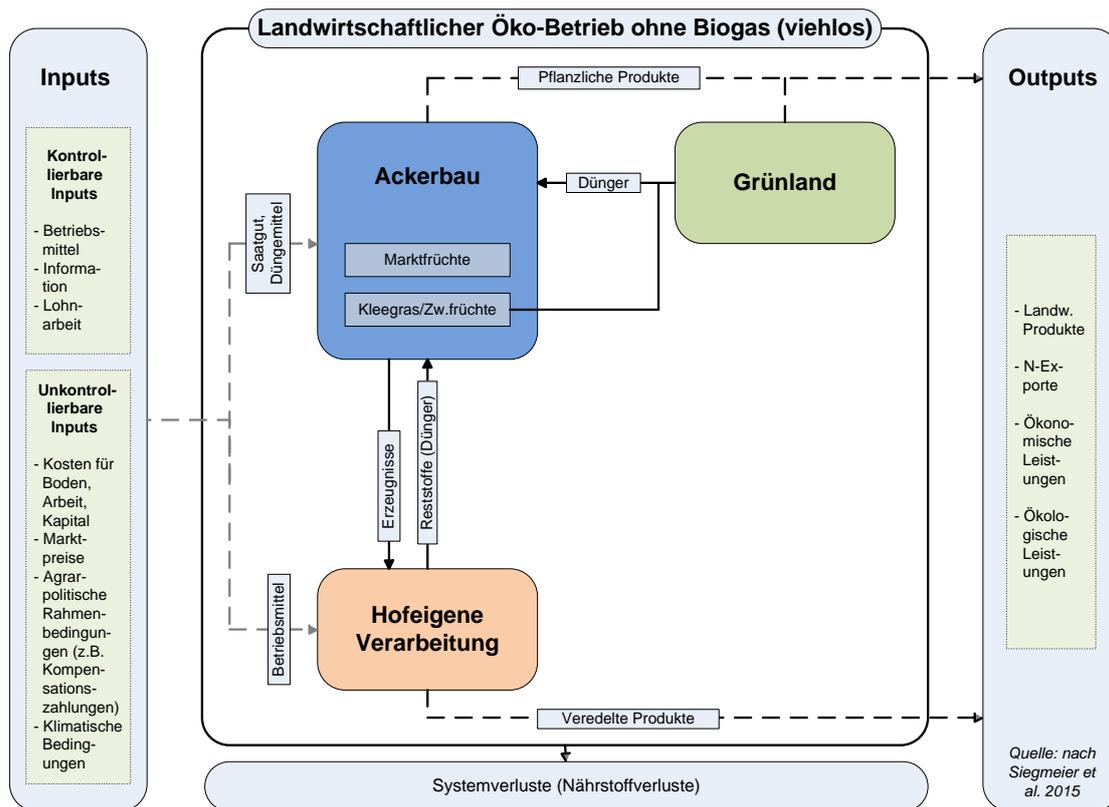


Abbildung 4: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs ohne Biogas (Quelle: nach Siegmeier et al. 2015).

### 3.2.5 Ökobetrieb mit Biogas, viehlos

Die Integration einer Biogasanlage als viertes Subsystem verändert auch im System *Ökobetrieb mit Biogas, viehlos*, die Stoff- und Energiestromdynamik deutlich im Vergleich zum System ohne Biogaserzeugung. Neben der Strom- und Wärmebereitstellung und den damit verbundenen neuen intrasystemaren Interaktionen sowie veränderten Input- und Output-Größen zeigen sich die Wirkungen auch im viehlosen System insbesondere an den veränderten Stoffströmen. Auch hier fungiert die Biogasanlage als Verwerter der anfallenden Reststoffströme aus den anderen Betriebszweigen (Abbildung 5). Die Bereitstellung des flüssigen Gärguts als flexibel einsetzbares Düngemittel hat hier aber noch eine größere Bedeutung als bei der Integration der Biogaserzeugung in einen viehhaltenden Betrieb, da in vieh- und biogaslosen Betrieben überhaupt keine betriebseigenen mobilen flüssigen Düngemittel verfügbar sind (als mobiler fester Dünger würden theoretisch Erntereste oder Überschusskleegras als Pflanzenkomposte zur Verfügung stehen). Damit wird insbesondere auch die N-Mobilität im viehlosen Betrieb stark positiv beeinflusst, sodass eine bedarfsgerechte, räumlich und zeitlich angepasste organische Düngung von Kulturen möglich wird.

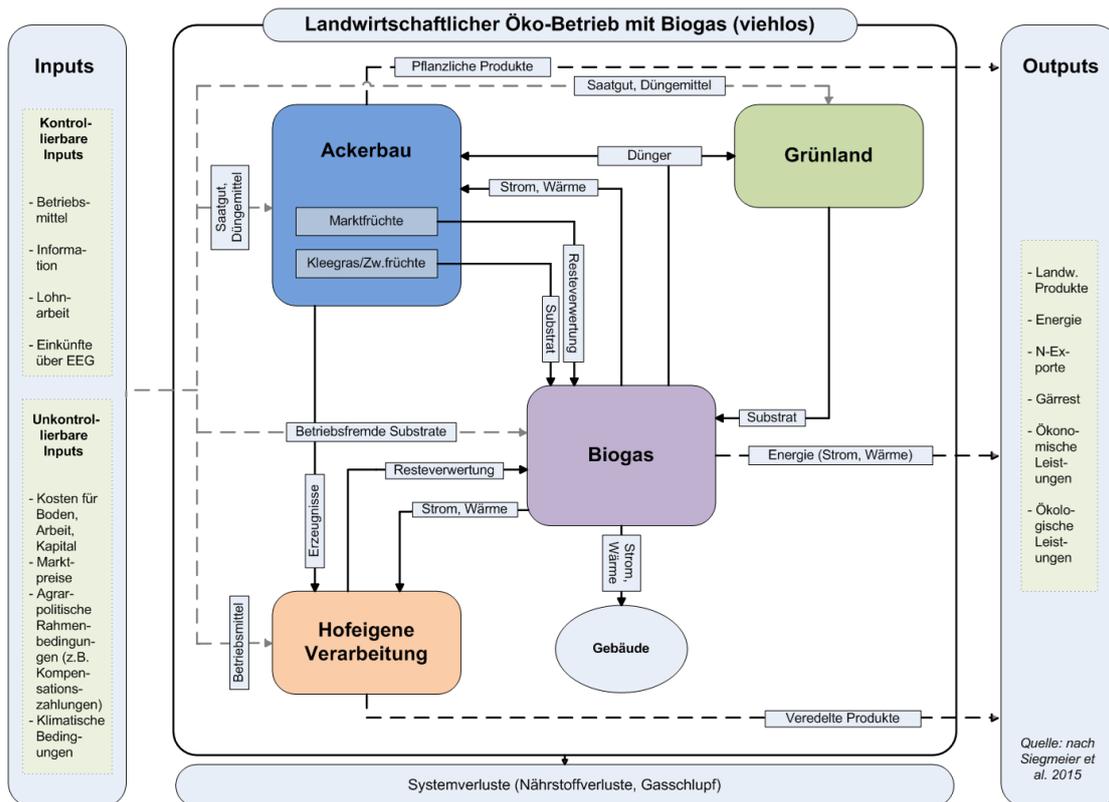


Abbildung 5: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogas (Quelle: nach Siegmeier et al. 2015).

### 3.2.6 Fazit der Abbildung der Systeminteraktionen

Entscheidend für die weiteren Betrachtungen der Integration einer Biogasanlage ist die Frage, welche oben abgebildeten veränderten subsystemaren Interaktionen als mögliche ökonomisch wirksame, innerbetriebliche Effekte abgebildet werden können. Mit der Vergärung der Reststoffe des landwirtschaftlichen Betriebs steht beispielsweise ein hochverdauliches, flexibel einsetzbares Düngemittel zur Verfügung (z.B. (Möller & Müller 2012)). Dies lässt insbesondere Auswirkungen auf Biomasseerträge und Qualität der Ernteprodukte, aber auch auf Pflanzengesundheit sowie die allgemeine Stickstoff-Effizienz im Hinblick auf die Reststoffverwertung und Vergärung des Wirtschaftsdüngers vermuten. Die ökonomisch wirksamen intersystemaren Effekte der Integration der Biogaserzeugung (Strom- und Wärmeverkauf, Vergütung) sind hinreichend bekannt und werden daher im Folgenden nicht näher analysiert (vgl. hierzu Kapitel 8, Ökonomische Analyse). Mit dem Ziel, eine über die herkömmliche wirtschaftliche Bewertung hinausgehende umfassende Bewertung aller für die betriebswirtschaftliche Analyse der Biogaserzeugung im Ökobetrieb wichtigen Aspekte mit einzubeziehen, sollen daher im folgenden Kapitel die intrasystemaren oder innerbetrieblichen Interaktionen als Systemwirkungen qualitativ identifiziert und beschrieben werden. Dies stellt die Grundlage für den Versuch dar,

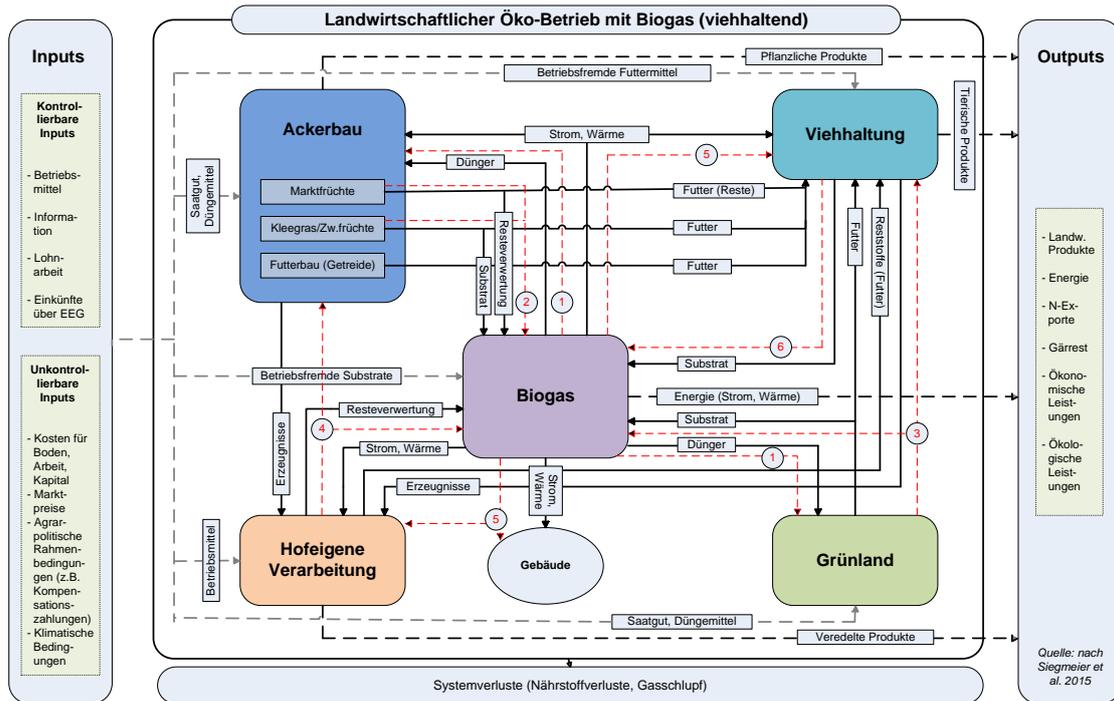
die qualitativ beschriebenen Effekte auch als ökonomisch wirksame innerbetriebliche Effekte zu quantifizieren und monetär zu bewerten.

### 3.3 Qualitative Beschreibung der Systemwirkungen und Quantifizierung der ökonomisch wirksamen innerbetrieblichen Effekte einer integrierten Biogasanlage

Im folgenden Unterkapitel sollen diejenigen subsystemaren Interaktionen beschrieben und quantifiziert werden, die als mögliche ökonomisch wirksame, innerbetriebliche Effekte bewertet werden können. Es lassen sich sechs verschiedene Kategorien identifizieren, die meist mehrfache innerbetriebliche Effekte mit teilweise direkt oder indirekt marktwirksamem, monetärem Zusatznutzen (rot markiert) aufzeigen (Tabelle 2 und Abbildung 6: viehhaltender Betrieb mit Biogaserzeugung; Abbildung 7: viehloser Betrieb mit Biogaserzeugung).

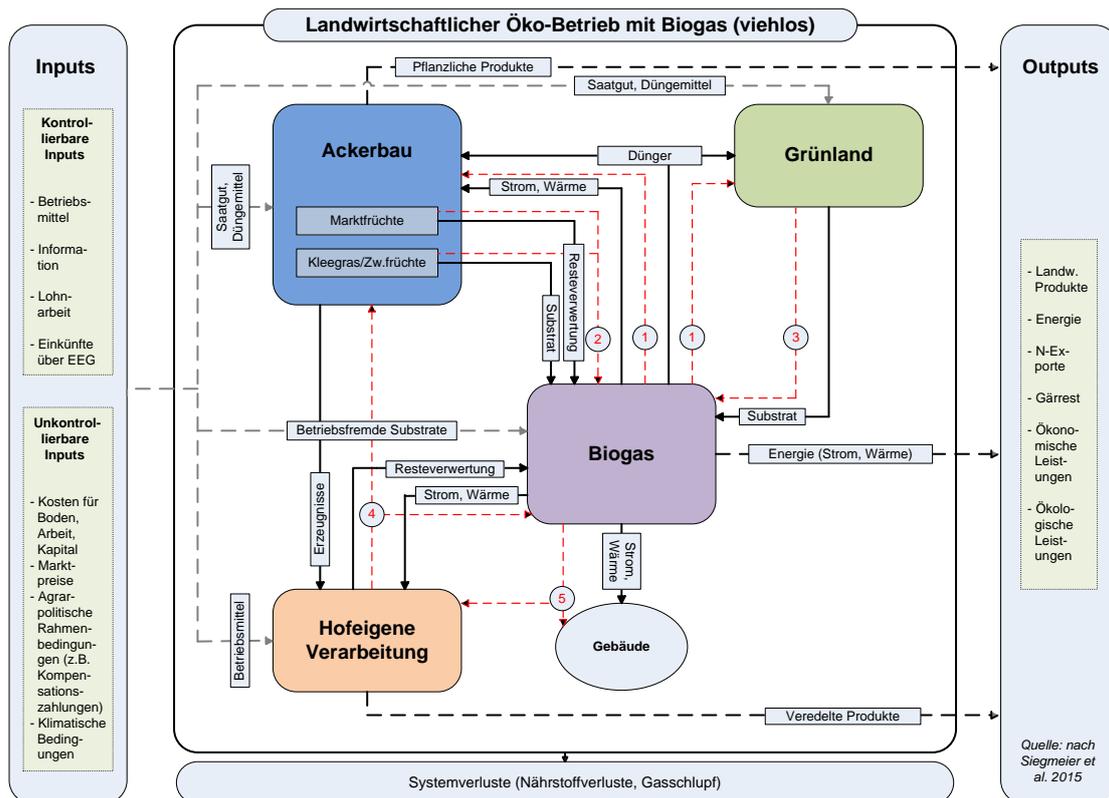
*Tabelle 2: Wirkungskategorien und Systemwirkungen bei viehhaltenden und viehlosen Betrieben mit Biogaserzeugung*

<b>Kategorie</b>	<b>Innerbetriebliche Effekte (Wirkungspfade)</b>
1. Abgabe des Gärguts der Biogasanlage an die Betriebszweige Ackerbau und Grünland	N-Effizienz, Ertrags- und Qualitätseffekte, Humuseffekte, phytosanitäre Effekte (Pflanzengesundheit, Unkraut)
2. Nutzung von ackerbaulich erzeugten Energie-Substraten sowie Überschussprodukten (Zwischenfrüchte, Klee gras) zur Biogaserzeugung	Nutzung von Reststoffen, Biologische N-Fixierung, Fruchtfolgeeffekte (Pflanzengesundheit, Änderung des Anbauspektrums),
3. Verwertung von Grünlandaufwüchsen und Reststoffen bzw. Überschüssen der Grünlandwirtschaft	Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion, Nutzungskonkurrenzen Bioenergieerzeugung vs. Futternutzung bzw. Futtermittelverkauf
4. Verwertung von Reststoffen aus der hofeigenen Verarbeitung	Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion
5. Innerbetriebliche Nutzung überschüssiger BHKW-Wärme in Betriebs- und Wohngebäuden, Tierhaltung und/oder Verarbeitung	Kosteneinsparungen durch Abwärmenutzung
6. Steigerung der N-Effizienz bei alternativer Wirtschaftsdüngerlagerung	Reduzierte N-Verluste
7. Deckung des Eigenstrombedarfs	Stromkostensenkung, Unabhängigkeit von Energieversorger und Marktpreisen, Nachhaltigkeit



- 1 = N-Effizienz, Ertrags- und Qualitätseffekte, Humuseffekte, phytosanitäre Effekte (Pflanzengesundheit, Unkraut)
- 2 = Nutzung von Reststoffen, Biologische N-Fixierung, Fruchtfolgeeffekte (Pflanzengesundheit, Änderung des Anbauspektrums), Nutzungskonkurrenzen Substrat- vs. Lebens- oder Futtermittelproduktion
- 3 = Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion, Nutzungskonkurrenzen Bioenergieerzeugung vs. Futternutzung bzw. Futterverkauf
- 4 = Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion
- 5 = Kosteneinsparungen durch Abwärmenutzung
- 6 = Reduzierte N-Verluste

Abbildung 6: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehhaltenden landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogaserzeugung einschließlich monetär wirksamer innerbetrieblicher Effekte (rot) (Quelle: nach Siegmeier et al. 2015).



- 1 = N-Effizienz, Ertrags- und Qualitätseffekte, Humuseffekte, phytosanitäre Effekte (Pflanzengesundheit, Unkraut)
- 2 = Nutzung von Reststoffen, Biologische N-Fixierung, Fruchtfolgeeffekte (Pflanzengesundheit, Änderung des Anbauspektrums), Nutzungskonkurrenzen Substrat- vs. Lebensmittelproduktion
- 3 = Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion, Nutzungskonkurrenzen Bioenergieerzeugung vs. Futtermittelverkauf
- 4 = Nutzung von Reststoffen, Einfluss auf Humusreproduktion
- 5 = Kosteneinsparungen durch Abwärmenutzung

Abbildung 7: Abbildung der systemaren Interaktionen eines viehlosen landwirtschaftlichen Ökobetriebs mit Biogaserzeugung einschließlich monetär wirksamer innerbetrieblicher Effekte (rot) (Quelle: nach Siegmeier et al. 2015).

Anhand der nummerierten Wirkungspfade werden – ausgehend von ihrer Nummerierung in und – die Systemwirkungen beschrieben und quantifiziert. Da die Integration der Biogaserzeugung insbesondere N-Effizienzsteigerungen erwarten lässt und die effizientere N-Nutzung verschiedene Wirkungspfade betrifft, wird diese Thematik als übergeordneter Punkt (Kap. 3.3.1) der Beschreibung der Systemwirkungen in ihrer Gesamtheit (Kap. 3.3.2) vorangestellt. Eine Auflistung sämtlicher potenziell monetär wirksamer Effekte und – soweit möglich – deren Quantifizierung erfolgt abschließend in Tabelle 4.

### 3.3.1 Steigerung der N-Effizienz im ökologischen Betriebssystem

Die Vergärung der Reststoffströme des landwirtschaftlichen Produktionssystems in der Biogasanlage werten die Reststoffe zu einem schnell wirksamen und flexibel einsetzbaren organischen Düngemittel auf (Möller & Müller 2012). Pflanzliche Rückstände, Zwischenfrüchte und überschüssiges Klee gras lassen sich nun als mobile Nährstoffträger bedarfsgerecht zu ausgewählten Kulturen in der Fruchtfolge einsetzen. Die betriebseigene Versorgung mit mobilen N-Düngern wurde z.B. in einem gesamten viehhaltenden Betriebssystem durch eine Vergärung von Rindergülle und zusätzlichen Ernteresten nach Möller et al. (2008a) um bis zu 54 % im Vergleich zur Ausbringung unvergorener Gülle gesteigert<sup>3</sup>. Zudem findet eine Verschiebung hin zu einem leichter verdaulichen N-Dünger mit einem höheren Ammonium-Anteil der N-Fraktion je nach Quelle zwischen 10 % und bis zu 60 % (Möller et al. 2014; Möller et al. 2006) und einer höheren N-Verwertbarkeit (z.B. (Lukehurst et al. 2010) bzw. N-Aufnahme der Feldfrüchte um bis zu 23 % (Möller et al., 2008a; Stinner et al., 2008) statt.

Die Vergärung von Klee gras anstelle des Mulchens und die bedarfsgerechte Ausbringung des Gärguts können in viehlos wirtschaftenden Betrieben außerdem zu einer Steigerung des N-Angebots in der Fruchtfolge von bis zu 20 % führen (Stinner et al. 2008). Es konnten durch die Anwendung anaerob vergorener Biogasgülle im Frühjahr zudem um bis zu 25 % erhöhte  $N_{\min}$ -Gehalte (0-90 cm Tiefe) festgestellt werden (Möller et al. 2008a). Weiterhin ist eine Steigerung der N-Fixierungsleistung von bis zu 25 % festzustellen, wenn der Aufwuchs des Klee grasses abgefahren wird und nicht an Ort und Stelle auf dem Acker verbleibt (z.B. (Möller et al. 2008a). (vgl. detaillierte Ausführungen Punkt 2 dieses Kapitels).

Die pH- und Ammonium-Gehalte von Biogasgärresten liegen in der Regel über den entsprechenden Gehalten von tierischen Güllen. Zwar begünstigt dies die  $NH_3$ -Verluste von Gärresten bei Lagerung und insbesondere Ausbringung, die deutlich niedrigeren Trockensubstanzanteile bei gleicher Viskosität führen aber zu einer wesentlich besseren Infiltration der Biogasgülle und damit insgesamt

---

<sup>3</sup> Es werden hier und im Folgenden zumeist die Varianten „unvergorene Rindergülle“ mit „vergorener Rindergülle inklusive Ernteresten“ verglichen. Bei der Variante „unvergorene Gülle“ wird als Güllezusatz lediglich das als Einstreu benötigte Stroh berücksichtigt, alle anderen Ernterückstände und Zwischenfrüchte werden direkt auf dem Feld eingearbeitet. Bei der „vergorenen Rindergülle inklusive Ernteresten“ werden alle Ernterückstände und Zwischenfrüchte gemeinsam mit der Rindergülle vergoren, lediglich das als Einstreu benötigte Stroh geht zunächst als Einstreu in die Tierhaltung, wird aber zusammen mit dem Wirtschaftsdünger letztlich doch der Vergärung zugeführt. Der Vergleichsmaßstab wurde deswegen so gewählt, da es beim Vergleich viehhaltender Betriebe ohne und mit Biogas nicht lediglich um die Auswirkungen des Unterschieds geht, ob die Gülle vergoren ist oder nicht, sondern insbesondere auch darum, dass die Integration einer Biogasanlage eine Änderung des Systems bewirkt und damit auch die Erntereste verwertbar und nicht lediglich eingearbeitet werden.

niedrigeren (Gericke et al. 2007) oder unveränderten NH<sub>3</sub>-Verlusten (Wulf et al. 2002) bei der Ausbringung als bei tierischen Güllen. Gericke et al. (2007) haben die prozentualen Verluste am Gesamt-N-Gehalt bei Ausbringversuchen mit unvergorener Gülle im Vergleich zu vergorener Rindergülle inklusive pflanzlichen Substraten bzw. bei alleiniger Vergärung pflanzlicher Substrate untersucht. Während bei unvergorener Rindergülle ca. 60 h nach Ausbringung die Gesamt-N-Verluste bei etwa 21 % lagen, bewegten sich die Verluste vergorener Rindergülle inklusive pflanzlichen Substraten bzw. bei Monovergärung pflanzlicher Substrate bei etwa 18 bzw. 13 %. Allerdings hängen NH<sub>3</sub>-Verluste bei und nach der Ausbringung stark von angepassten Ausbringungsmethoden ab, sodass eine Verlustreduktion nur dann zu erreichen ist, wenn die vergorene Gülle direkt nach der Ausbringung eingearbeitet wird (Möller et al. 2008a). Nach Amon et al. (Amon et al. 2006a) kann es bei der Ausbringung von Biogasgülle aufgrund des höheren pH-Werts auch zu erhöhten NH<sub>3</sub>-Verlusten (+ 18 %) im Vergleich zu unvergorener Gülle kommen. Andere Quellen verweisen darauf, dass die NH<sub>3</sub>-Lagerverluste bei unvergorener Gülle wesentlich höher liegen, als bei vergorener Gülle (41 g NH<sub>3</sub> m<sup>-3</sup> im Vergleich zu 9,9 g NH<sub>3</sub> m<sup>-3</sup>), die Ausbringverluste aus o.g. Gründen aber höher bei der vergorenen Gülle ausfallen, und daher eine ausgeglichene NH<sub>3</sub>-Emissionsbilanz von vergorener und unvergorener Gülle vorliegt (Amon et al. 2006b; Möller 2009).

Relevant für die spätere monetäre Bewertung der N-Verfügbarkeit sind die Unterschiede der Gesamt-N-Verluste von unvergorenen und vergorenen Wirtschaftsdüngern bzw. Biogassubstraten. Zu diesem Zweck werden Standardwerte von Lager-, -Stall und Ausbringverlusten herangezogen (Tabelle 3).

*Tabelle 3: Anrechenbare gasförmige N-Verluste aus Wirtschaftsdüngern und Biogasgärresten (% des Gesamt-Stickstoffgehalts)*

	<b>Rindergülle</b>	<b>Rinderfestmist</b>	<b>Biogasgülle</b>
Stall- und Lagerverluste	15%	30%	5%*
Ausbringverluste	15-17,6%	10-14,3%	14,3%-20%
<b>Gesamt-N-Verluste</b>	<b>30 – 32,6%</b>	<b>40 – 44,3%</b>	<b>19,3% - 25%</b>

Quellen: (Düngeverordnung 2006); (KTBL (Hrsg.) 2010); (Keymer 2012); M. Wendland, Diepolder, und Capriel 2012

\*Wert gilt für N aus nicht tierischen Wirtschaftsdüngern

Da die Angaben aus Tabelle 3 zu den Lagerverlusten der Biogasgülle lediglich für nicht-tierische Wirtschaftsdünger (also vergorene Substrate) gelten, sind bei Biogasgülle mit einem Anteil an vergorenen tierischen Exkrementen ggf. zusätzlich Stallverluste vor der Einbringung in den Fermenter zu berücksichtigen. Stallverluste werden in der Literatur allerdings nur in Kombination mit Lagerverlusten angegeben. Insbesondere bei Rindergüllen ist die Lagerzeit in der Regel

wesentlich länger als die Verweilzeit im Stall, sodass die anteiligen Stallverluste auf max. 5% des ausgeschiedenen Gesamt-N geschätzt werden. Zusammenfassend bedeuten diese Ergebnisse für die Bewertung der Verfügbarkeit von Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern bzw. Biogasgülle: Bei ähnlichen gasförmigen Ausbringungsverlusten, aber niedrigeren Stall- und Lagerverlusten steht letztlich bei Biogasgülle ein größerer N-Anteil für pflanzenbauliche Düngemaßnahmen zur Verfügung.

Schnitt und Abfuhr von Zwischenfrüchten und Klee gras kann dazu beitragen, bodenbürtige  $N_2O$ -Emissionen zu reduzieren. In einem ökologischen viehlosen Fruchtfolgesystem führten beispielsweise Abfuhr, Vergärung und Rückführung der Gärreste zu einer Reduktion von  $N_2O$ -Emissionen um 38 % im Vergleich zu Mulchen und Einarbeiten der Erntereste (Möller & Stinner 2009). Der Einsatz flüssigen Düngesubstrats (tierische Gülle, Biogasgülle) gegenüber festen Wirtschaftsdüngern (Stallmist) führt nach Möller & Stinner (2009) zu einer besseren Synchronisierung des Boden-N-Angebots und des Pflanzen-N-Bedarfs. Bezüglich des Potenzials für die Auswaschung von Nitraten konnten allerdings keine Unterschiede zwischen vergorenen und unvergorenen Gülle festgestellt werden (Möller et al. 2008b; Möller & Stinner 2009; Svoboda et al. 2013).

#### **Fazit zum Thema N-Effizienz:**

Die aufgeführten Systemeffekte führen zu einer insgesamt höheren Stickstoff-Effizienz im Betrieb, die gerade im System Ökolandbau, in dem Stickstoff als knappe Ressource anzusehen ist, als besonders wichtig einzustufen ist. Entscheidend für die Effizienzsteigerung ist insbesondere die bessere Allokation der organischen Düngung, da Erntereste und Zwischenfrüchte zeitlich und räumlich angepasst einsetzbar sind, ein verbessertes N-Angebot aufgrund geringerer gasförmiger Verluste bei der Lagerung sowie die verbesserte Aufnahme des Stickstoffs durch die Pflanzen aufgrund der höheren  $NH_4$ -Anteile an der N-Fraktion. Insbesondere für viehlose Betriebe kann mit erhöhten Stickstoffmengen im System aufgrund der Abfuhr von legumen Zwischenfrüchten und einer damit verbundenen höheren  $N_2$ -Fixierungsleistung kalkuliert werden.

### 3.3.2 Beschreibung der weiteren Systemwirkungen

#### 3.3.2.1 Abgabe des Gärguts der Biogasanlage an die Betriebszweige Ackerbau und Grünland

**Ertragswirkungen:** Die bessere Stickstoffverfügbarkeit kann zu höheren Biomasse- und Erntefruchtenerträgen beispielsweise von N-intensiven Marktfrüchten führen (Möller et al. 2008a; Stinner et al. 2008). Die gemessenen Ertragssteigerungen liegen hier für nicht-legume verkäufliche Erträge von Marktfrüchten (z.B. Weizen) bei bis zu 15 %, für gesteigerte Gesamtbiomasseerträge bei bis zu 13 %. Grundlage der Messungen ist der Vergleich zwischen unvergorener Rindergülle mit vergorener Gülle inklusive Ernteresten. Grünlanderträge konnten bei dieser Versuchsanstellung tendenziell bis zu 5 % gesteigert werden (die Ergebnisse sind allerdings statistisch nicht signifikant und werden daher auch nicht bei der monetären Bewertung berücksichtigt). Damit kann die Integration der Biogaserzeugung dazu beitragen, die monetären Erträge des Gesamtbetriebs positiv zu beeinflussen. Eine Vielzahl von BioBiogasanlagenbetreibern und damit Experten ökologischer Biogassysteme beobachten zudem Ertragsdepressionen in viehlosen ökologischen Ackerbausystemen ohne Wirtschaftsdünger- und Biogasgülleeinsatz und führen gleichbleibende Erträge in viehlosen ökologischen Biogassystemen auf den Einsatz des Gärguts zurück (Kroll-Fiedler & Schumacher 2013).

**Qualitätseffekte:** Die Ausbringung eines vergorenen und hochverdaulichen Düngers (Biogasgärgut) kann zu einer höheren Stickstoffaufnahme der Feldfrüchte führen und damit den Proteingehalt der Marktfrucht erhöhen. Hier konnten beispielsweise Steigerungen des N-Gehalts der Feldfrüchte von knapp 7 % im Durchschnitt über alle nicht-legumen Marktfrüchte gemessen werden, im Einzelfall lagen diese Steigerungen z.B. bei Winterweizen bei bis zu 8 %, bei Sommerweizen sogar bei bis zu 16 % (Möller et al. 2008a; Stinner et al. 2008). Dies führt zu einer qualitativen Aufwertung beispielsweise von Getreide und wird am Markt entsprechend der geforderten Qualitätskriterien höher vergütet.

**Humuseffekte (Ackerbau):** Die Effekte der anaeroben Vergärung auf die Humuswirtschaft eines ökologisch wirtschaftenden Betriebs sind differenziert zu betrachten. Bei der Fermentation von Güllen und pflanzlichen Substraten findet im Prozess der Biogaserzeugung ein Abbau von Kohlenstoffverbindungen statt. Je nach Versuchsanstellung variieren die Wirkungen, die dieser Abbau von Kohlenstoff auf die Boden-C-Versorgung bzw. die Humusbilanz haben. Beim

Vergleich der C-Versorgung zwischen unvergorener Gülle und Gülle, die zusammen mit Ernteresten vergoren wird, ist eine verminderte C-Versorgung der Ackerflächen durch die vergorene Biogasgülle um 35 - 40 % festzustellen (Möller 2009; Möller et al. 2008a). Werden reine Rindergüllen (unvergoren, vergoren) miteinander verglichen, sind praktisch keine Unterschiede festzustellen, da durch die Vergärung einerseits nur eine geringfügige Reduktion der Versorgung mit organischer Trockenmasse und Kohlenstoff festzustellen ist und andererseits potenziell höhere oberirdische Erträge bei Düngung mit vergorenen Güllen auch höhere Erträge der Wurzelmasse bedingen, die dann wiederum zusätzlichen Kohlenstoff im Boden hinterlassen (vgl. dazu (Möller 2003)). Gegenüber Festmist weist vergorene Rindergülle gar ein Plus von 22 % C-Versorgung auf. Dies hängt u.a. damit zusammen, dass durch die teilweise Kompostierung des Festmists bei der Lagerung bedeutende Mengen Kohlenstoff verloren gehen.

Bei Untersuchungen ist durch die Vergärung von Klee gras, Zwischenfrüchten und Ernteresten bei viehlosen Betrieben im Vergleich zum Verbleib der Pflanzenreste auf dem Feld eine reduzierte C-Versorgung von bis zu 58 % aufgetreten (Stinner et al. 2008). Daher würde der Abbau von Kohlenstoff bei der anaeroben Vergärung von Wirtschaftsdüngern und pflanzlichen Energiesubstraten und Reststoffen anhand dieser Ergebnisse zunächst vermuten lassen, dass die Vergärung negative Auswirkungen auf die Humusbilanz haben könnte und längerfristig die Bodenfruchtbarkeit und damit die Ertragsfähigkeit des Bodens negativ beeinflusst werden. Für den Einsatz reiner vergorener Rindergülle kann dies nach den oben aufgeführten Ergebnissen aber nicht bestätigt werden, da nur geringe Unterschiede in der C-Versorgung festzustellen sind (-4 %). Trotz der relativen großen Reduktion der C-Versorgung weist eine zusätzliche Vergärung von Zwischenfrüchten und Ernteresten allerdings immer noch eine jährliche C-Versorgung von ca. 2 t ha<sup>-1</sup> auf. Um die Boden-C-Gehalte nachhaltig aufrechtzuerhalten, sind nach Angaben mehrerer Quellen allerdings C-Nachlieferungen zwischen 1,5 und 1,9 t ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup> bereits ausreichend (Parton & Rasmussen 1994; Paustian et al. 1992). Anders als bei den Ergebnissen zur C-Versorgung deuten Untersuchungsergebnisse bezüglich Humussalden darauf hin, dass – je nachdem ob Erntereste mitvergoren werden oder nicht – für die Humusbilanz (kg Humus-C ha<sup>-1</sup>) weder stark positive noch stark negative Humussalden zu erwarten sind (Stinner et al. 2008). Denn beim Einsatz von Gärprodukten sind Humus-Versorgungsraten<sup>4</sup> von 370 % und mehr möglich (Möller 2009), was wiederum darauf hindeutet, dass durch die höhere Ertragsfähigkeit mit Gärrest-Düngung auch über die Wurzelmasse ein mehr an C-Rückständen zu erwarten ist. Der Abbau leicht zersetzbarer Kohlenstoffverbindungen während des Vergärungsprozesses könnte zudem den Abbau schwer

---

<sup>4</sup> Humus-Versorgungsrate: Verhältnis von zugeführten organischen Bodenbestandteilen zum Abbau von organischen Bodenbestandteilen durch fruchtbarkeitsabbauende Kulturen.

zersetzbarer Huminstoffe im Boden verhindern (und somit den Humusgehalt stabil halten), da bei einer starken Zuführung leicht zersetzbarer organischer Substanz die Mikroorganismen des Bodenlebens in der Lage sind, auch die schwer zersetzbaren Huminstoffe abzubauen (Möller 2003).

**Phyosanitäre Effekte:** Die Vergärung von Wirtschaftsdüngern und pflanzlichen Substraten führt dazu, dass im Substrat befindliche Unkrautsamen von wenig bis teilweise stark in ihrer Keimfähigkeit eingeschränkt werden (bis zu 100 %), sodass nach Ausbringung des Gärsubstrats ein deutlich erniedrigter Unkrautbesatz in den Kulturen zu erwarten ist (Allan et al. 2003; Engeli et al. 1993; Šarapatka et al. 1993; Westerman et al. 2012b; Westerman et al. 2012a). Diese Tendenzen wurden so auch bereits aus der landwirtschaftlichen Praxis (Anspach et al. 2011c; Lazarus & Rudstrom 2007). Dies kann zur Reduktion von Kosten für mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen führen. Allerdings kann durch die erhöhte N-Lieferung auch die Entwicklung bestimmter Unkräuter begünstigt werden oder etwa bei der Getreideproduktion verstärktes Lagern durch Fuß- und Halmkrankheiten auftreten (z.B. Möller et al. 2008a, nicht quantifiziert). Daher sind unter Umständen Fruchtfolgeumstellungen zugunsten N-intensiverer Kulturen zu erwägen. Auch diese Fruchtfolgeumstellungen können einen positiven Effekt auf die monetären Gesamterträge des Ökobetriebs haben.

#### **Fazit zum Thema Humusbilanz:**

Die Auswertung der relevanten Literatur zeigt, dass durch die Integration der Vergärung mittel- und langfristig wohl keine negativen Auswirkungen auf die Boden-C-Versorgung und den Humusgehalt des Bodens zu erwarten sind, da wegen der erhöhten N-Effizienz des Einsatzes der Gärprodukte eine Steigerung auch des unterirdischen Wurzelwachstums und der Wurzelausscheidungen – und damit des C-Angebots – zu erwarten sind (Möller, 2003), die die Verluste im Fermentationsprozess kompensieren oder gar übertreffen können. Damit kann gerade in viehlosen Ökobetrieben ein Verlust der Bodenfruchtbarkeit vermieden bzw. möglicherweise leichte Fruchtbarkeitssteigerungen erzielt werden. Experten ökologischer Biogassysteme führen gleichbleibende Humusgehalte in diesem Kontext zudem auf den hohen Anteil von Klee gras in der Fruchtfolge, das auch als Substrat in der Biogasanlage genutzt wird, zurück (Kroll-Fiedler, C. 2013).

### **3.3.2.2 Nutzung von ackerbaulich erzeugten Energie-Substraten sowie Überschussprodukten (Zwischenfrüchte, Klee gras) zur Biogaserzeugung**

**Nutzung von Reststoffen:** Der Einsatz ansonsten ungenutzter Reststoff-Ressourcen wie Ackerzwischenfrüchte und Klee gras in der Biogaserzeugung erhöht die Wertschöpfung im gesamten Betriebssystem, insbesondere in viehlosen Betriebssystemen. Die Nährstoffe, die ansonsten auf dem Acker verbleiben oder (bei viehhaltenden Betrieben) der Tierfütterung zugeführt würden, gehen dem Betrieb nicht verloren, da sie – in aufgewerteter Form – dem Betriebskreislauf wieder zur Verfügung stehen. Eine monetäre Quantifizierung kann beispielsweise über das Methanogenesepotenzial der Reststoffe erfolgen. Hier müssen dann aber auch die zusätzlichen Bereitstellungskosten berücksichtigt werden. Außerdem stellt die Nutzung von Reststoffen zur Energieerzeugung keine direkte Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung dar.

**Biologische N-Fixierung:** Die Abfuhr des Schnittguts von legumen Zwischenfrucht- und Gesundungsfruchtbeständen (z.B. Klee gras) kann zu einer Steigerung der N-Fixierungsleistung der Leguminosen führen. Mulchen verringerte die N-Fixierungsleistung, die nach Angaben von Möller (2009) bis zu 550 kg N ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup> liegen kann, um bis zu 25 % im Vergleich zur Ernte und Abfuhr des Aufwuchses (Möller 2009; Stinner et al. 2008). Eine bessere N-Fixierung kann insbesondere dann erfolgen, wenn ein Teil der Erntereste des Stroh auf der Fläche verbleiben und eingearbeitet werden, was eine bessere Bindung des freien Stickstoffs ermöglichen kann.

**Phyosanitäre Effekte und Fruchtfolgeeffekte:** Die Integration von Zwischenfrüchten und Energie-Substraten in eine Fruchtfolge bei Einführung der Biogaserzeugung auf einem Betrieb führt zur Auflockerung der Fruchtfolge und kann daher einen positiven Einfluss auf die Pflanzengesundheit der Marktfrüchte haben (Krupinsky et al. 2002). Das erhöhte N-Angebot in der Fruchtfolge kann allerdings auch Ertragsminderungseffekte bewirken, wenn z.B. Lagern bei Getreide auftritt (Möller et al. 2008a; Stinner et al. 2008). Um dies zu vermeiden, ist ggf. die Änderung der Fruchtfolge zugunsten N-intensiver Kulturen, die das erhöhte N-Angebot der Biogasgülle besser verwerten können, zu erwägen (Möller et al. 2008a). Dies kann zu einer insgesamt rentableren Marktfruchterzeugung beitragen und über gesteigerte Erträge oder Qualitäten Mehreinnahmen mit sich bringen. Verifizierbare Ergebnisse zum Einfluss von z.B. Getreidekrankheiten auf Wachstum und Nährstoffhaushalt in Abhängigkeit der N-Verfügbarkeit in ökologischen Betriebssystemen sind bisher wenig bekannt. Der Krankheitsdruck für Blattkrankheiten ist allerdings besonders bei intensiverer

N-Düngung höher als in extensiveren Betriebssystemen anzusehen (Van Bruggen 1995) keine Quantifizierung).

**Nutzungskonkurrenzen Substrat- vs. Lebens- oder Futtermittelproduktion:** Zwischen der Nutzung des Ackerlands zur Substraterzeugung oder für die Lebens- oder Futtermittelproduktion können Konkurrenzbeziehungen bestehen. Dies hängt von der Veredelungsleistung der Früchte in der jeweiligen Verwertungsrichtung ab. Hier sind Opportunitätskosten zu berücksichtigen, die in der weiteren ökonomischen Bewertung innerhalb dieses Projekts auch in die monetäre Systembewertung integriert werden.

### ***3.3.2.3 Verwertung von Grünlandaufwüchsen und Reststoffen bzw. Überschüssen der Grünlandwirtschaft in der Tierhaltung, der Biogasanlage oder im Futterverkauf***

**Nutzung von Reststoffen (vgl. auch Kapitel 3.3.2.2.):** Der Einsatz von Reststoffen wie z.B. extensivierter oder überschüssiger Grünlandbiomasse kann im Gegensatz zu Mulchen oder Kompostierung dieser Grünlandflächen ebenfalls die Wertschöpfung im gesamten Betriebssystem erhöhen. Der Umfang des Einsatzes stärker lignifizierter Grünlandbiomasse ist hierbei stets zu berücksichtigen, da diese in herkömmlichen Biogassystemen aufgrund der geringen Verdaulichkeit nur sehr begrenzt in wirtschaftlichem Rahmen eingesetzt werden kann.

**Einfluss auf Humusproduktion (Grünland):** Die Rückführung der vom Grünland in Form von Futter (Heu, Silage) kommenden Stoffströme als Biogasgülle anstelle des unvergorenen Wirtschaftsdünger kann auf Grünland zu einer reduzierten Versorgung mit organischer TM führen (-16 %), aber auch zu einer Steigerung der Boden-C-Versorgung (+35 %) (Möller 2009). Ein Abbau der Humusfraktion ist auf dem Grünland allerdings generell weit weniger wahrscheinlich als etwa auf Ackerland, wo die wesentlich intensivere Bodenbearbeitung den Kohlenstoff- und Humusabbau weit stärker beeinflusst.

**Nutzungskonkurrenzen Bioenergieerzeugung vs. Futternutzung bzw. Futterverkauf:** Zwischen der Nutzung des Grünaufwuchses in der Bioenergieerzeugung oder als Futtermittel bzw. dem Futterverkauf können insbesondere bei viehlosen Betrieben monetäre Konkurrenzbeziehungen bestehen. Dies hängt von der Veredelungsleistung des Aufwuchses in der jeweiligen Verwertungs-

richtung ab. Hier sind Opportunitätskosten zu berücksichtigen, die in der weiteren ökonomischen Bewertung innerhalb dieses Projekts auch in die monetäre Systembewertung integriert werden.

#### **3.3.2.4 Verwertung von Reststoffen aus der hofeigenen Verarbeitung**

**Nutzung von Reststoffen (vgl. auch Kapitel 3.3.2.2 und 3.3.2.3):** Die Vergärung von Reststoffen aus der Hofeigenen Verarbeitung (z.B. Molke einer Käseerei) führt zu einer wertschöpfenden Verwendung von Reststoffen, die ggf. höher sein kann als lediglich bei Entsorgung flüssiger Reste oder Kompostierung fester Reststoffe im Betriebssystem.

**Einfluss auf Humusreproduktion (vgl. auch Kapitel 3.3.2.1 und 3.3.2.3):** Auch hier ist wegen des veränderten Abbaus von C-Verbindungen bei der Vergärung von Reststoffen aus der Hofeigenen Verarbeitung im Vergleich zur direkten Ausbringung oder Kompostierung ein Einfluss auf die Humusreproduktion denkbar, aber unwahrscheinlich (vgl. Tabelle 4).

#### **3.3.2.5 Innerbetriebliche Nutzung überschüssiger BHKW-Wärme in Betriebs- und Wohngebäuden, Tierhaltung und/oder Verarbeitung**

**Kosteneinsparung durch Abwärmenutzung:** Monetär direkt messbare Auswirkungen ergeben sich aus der Nutzung der BHKW-Abwärme für innerbetriebliche Produktionsprozesse (Tierhaltung, Verarbeitung) bzw. Betriebs- und Wohngebäude (Wärmeverkäufe werden nicht als innerbetriebliche Effekte, sondern als Marktleistung definiert und daher an anderer Stelle monetär bewertet). Es entstehen Kosteneinsparungen für ersetzte Wärme aus betriebsfremden Quellen, korrigiert um die Kosten zusätzlicher technischer Anforderungen.

#### **3.3.2.6 Steigerung der N-Effizienz bei alternativer Wirtschaftsdüngerlagerung**

**Reduzierte N-Verluste:** Die Einrichtung von abgedeckten Lagermöglichkeiten bzw. die direkte Einleitung der tierischen Ausscheidungen in den Fermenter der Biogasanlage können zu einer erheblichen Reduktion von N-Lagerverlusten (in

Form der NH<sub>3</sub>-Ausgasung) führen (Amon et al. 2006b; Möller et al. 2008a). Allerdings können sich diese Verluste bei der Ausbringung der Gülle aufgrund höherer Ausgasungsverluste der Biogasgülle wieder ausgleichen.

### **3.3.3 Zusammenfassende Übersicht der quantifizierten Systemwirkungen**

Wie aus der graphischen Beschreibung der systemrelevanten Effekte hervorgegangen ist, lassen sich die Systemeffekte insbesondere auf die Vergärung tierischer und pflanzlicher Substrate und damit das veränderte Stoffstrom- und Nährstoffmanagement zurückführen. Tabelle 4 listet abschließend und zusammenfassend die oben identifizierten Systemwirkungen detailliert auf.

Tabelle 4: Identifizierte Kategorien und Systemwirkungen mit Quantifizierung und Quellenangabe

Kategorie	Systemwirkung	Quantifizierung des Effekts	Quellen
<b>Ertrag</b>	Ertragssteigerungen Biomasse	± 0 % bis + 13 %	Stinner et al. 2008; Möller et al. 2008a
	Ertragssteigerungen Marktfrüchte	+ 4 % bis + 13 %	Möller et al. 2008a, Stinner et al. 2008
<b>Qualität</b>	Proteingehaltsteigerung bei Feldfrüchten	+ 5 % bis + 16 %	Stinner et al. 2008, Möller et al. 2008a
<b>Beikräuter</b>	Reduktion der Keimfähigkeit von Beikrautsamen durch Vergärung	+ 1 % bis + 100%	Šarapatka et al. 1993, Westerman 2012a, Westerman 2012b, Allen et al., 1993, u.a.
	Zunahme des Beikrautbesatzes wg. besserer N-Verfügbarkeit	Nicht quantifiziert	Möller et al. 2008a
<b>Phytophanitäre Effekte</b>	Lagern bzw. Ertragsdepression durch zu hohe N-Gaben	Nicht quantifiziert	Stinner et al. 2008, Möller et al. 2008a
	Fruchtfolgeumstellung zugunsten N-intensiver Kulturen empfohlen	Nicht quantifiziert	Möller et al. 2008a
<b>Stickstoffhaushalt und N-Effizienz</b>	Gesteig. N-Bereitst. in der Fruchtfolge durch Vergärung (inkl. Reststoffen)	+ 20 kg N/ha	Stinner et al. 2008a
	Gesteig. Anteil von N-Düngern in der Fruchtfolge durch Vergärung (inkl. Reststoffen)	+ 54 %	Möller et al. 2008a
	Gesteigerte N-Fixierung durch Abfuhr von Leguminosen	+ 14 % bis + 32 %	Möller 2009, Stinner et al. 2008
	Sinkende N-Fixierung bei Ernte einer Zwischenfrucht (Leg./Nicht-Leg.)	- 17 %	Möller, 2009
	Gesteigerte N-Fixierung über die Fruchtfolge hinweg durch Ernte von Leguminosen	+ 14 %	Möller, 2009

Tabelle 4 (Forstsetzung): Identifizierte Kategorien und Systemwirkungen mit Quantifizierung und Quellenangabe

Kategorie	Systemwirkung	Quantifizierung des Effekts	Quellen
<b>Stickstoff- haushalt und N-Effizienz (Fortsetzung)</b>	Reduzierte N-Verluste (Stall und Lagerung)	- 8 bis - 80%	Amon et al. 2006, Möller et al. 2008a, LfL 2009, LfL 2012, Wiedemann 2006
	Reduzierte bodenbürtige N-Verluste	- 38 %	Möller & Stinner 2009
	N-Auswaschung bei Vergärung von Gülle und Zw.-Frucht	keine Effekte	Svoboda et al. 2013, Möller & Stinner 2009, Möller et al. 2008b
	höhere Verfügbarkeit von Ammonium-N	bis + 10 %	Amon et al. 2006, Stinner et al. 2008, Möller et al. 2008a
	höhere N-Aufnahme durch Feldfrüchte	+5% bis + 23% für	Stinner et al. 2008, Möller et al. 2008a
	Schwankende NH <sub>3</sub> -Verluste bei vergorener Gülle mit Substratvergärung bei Ausbringung	bis - 8 bis + 85 %	Wulf et al., 2002; Gericke et al., 2007; Möller, 2009
	Gleiche NH <sub>3</sub> -Verluste Rindergülle und vergorener Gülle	ca. +/- 0 %	Amon et al., 2006
<b>Organische Boden- bestandteile und Boden- verhältnisse</b>	Humusbilanzen (kg Humus-C ha <sup>-1</sup> )	-31 % bis +2 %	Stinner et al. 2008, Möller et al. 2008a, Möller 2009
	C-Versorgung	-58 % bis +4 %	Möller 2009

### 3.4 Bewertung und Ausblick

Die Systemanalyse der Integration einer Biogasanlage in ökologische Betriebsmodelle ohne und mit Viehhaltung veranschaulicht die Vielzahl der subsystemaren Interaktionen auf stofflicher Ebene. Diese zeigen auf unterschiedlichen Wirkungspfaden oft quantitativ messbare Effekte auf. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Fokus der Systemwirkungen insbesondere auf den Effizienzsteigerungen des innerbetrieblichen N-Kreislaufs liegt.

Die Identifizierung und Quantifizierung der potenziell monetär wirksamen Effekte der integrierten Biogaserzeugung stellt den ersten Schritt dar, den monetären Zusatznutzen auf einzelbetrieblicher Ebene abbilden zu können. Dies soll in enger Abstimmung mit den Modellkalkulationen der unterschiedlichen Biogasanlagentypen des Kapitels 8 erfolgen. Erst eine gesamtbetriebliche Sichtweise und eine systemorientierte monetäre Bewertung der Biogaserzeugung auf Ökobetrieben stellen eine ganzheitliche Sichtweise aller ökonomisch relevanten Parameter dar und ergänzen in sinnvoller Weise die herkömmlichen, meist isoliert durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Biogasanlagen auf Ökobetrieben. Die monetäre systemische Bewertung ist daher das Ziel der weiterführenden Betrachtungen.

## 4 Potenzialermittlung

(Verantwortlich: FiBL und MEP (Unterauftrag))

### 4.1 Einführung

Im Rahmen des Gutachtens "Ökologischer Landbau und Biomasse" (2011) wurde eine erste, jedoch noch recht unspezifische, abschlägige Potenzialkalkulation erstellt (Anspach et al. 2011b). Darin wird für die Biogaserzeugung das energetische Potenzial des Ökolandbaus für 2008 mit 257 MW<sub>el</sub> und in Projektion auf 2020 mit 479 MW<sub>el</sub> beziffert.

Dieses bedeutende Potenzial soll in dieser Untersuchung weiter differenziert, quantifiziert und vor allem verifiziert werden. Zu den bisher kalkulierten Kategorien tierische Exkrememente, Stroh als Einstreu, landwirtschaftliche Reststoffe, Grünland, Klee gras gemenge, Zwischenfrüchte und Untersaaten sollen weitere mögliche Potenziale hinzugezogen werden, die im Rahmen des ökologischen Landbaus anfallen, in bisherigen Studien jedoch noch nicht systematisch erfasst wurden. Hierzu zählen Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung sowie Material aus der Landschaftspflege.

### 4.2 Methodisches Vorgehen

Um Flächenkonkurrenzen so gering wie möglich zu halten, wurden nur Substrate gewählt die keine oder nur geringe Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenzen haben. Dazu zählen tierische Exkrememente, bisher ungenutztes Grünland, Klee gras und Feld gras, Landschaftspflegematerial, ungenutzte Lebensmittelreste, sowie mögliche Zusatzerträge aus Zwischenfruchtanbau.

Klassische Nawaros werden aufgrund der zusätzlich benötigten Fläche nicht betrachtet (siehe auch Definition Kapitel 2.2.3). Bei den Lebensmittelresten werden nur solche aus ökologischer Produktion berücksichtigt. Zudem wird die aktuelle Nutzung der Reststoffe bedacht, da diese oft als Futtermittel einer höherwertigen Nutzung zugeführt werden. Andernfalls würde es zu einer Zunahme an Fläche für die Futtermittelerzeugung führen und damit zu einer indirekten Landnutzungsänderung.

Zur Bestimmung der jeweils anfallenden Substratmengen wurden Daten aus verschiedenen Quellen herangezogen. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst regional aufgeschlüsselte Daten zu erhalten. Verlässliche Datenquellen bestanden für landwirtschaftliche Betriebe auf Länderebene, für Landschaftspflegematerial waren nur Daten auf nationaler Ebene verfügbar, Daten für die Bundesländer konnten aber abgeschätzt werden. Lebensmittelreste konnten aufgrund der Datengrundlage nur national bestimmt werden. Als Betrachtungsrahmen ist jeweils ein Jahr gewählt.

Um das Biogaspotenzial bzw. die zu erwartende Menge an Biomethan zu ermitteln, wurden Standardzahlen aus KTBL und weiteren Quellen herangezogen („Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas“ (KTBL 2013), Datenbank Biogasausbeuten (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2013). Dazu wurden die jeweiligen Substrate einer Kategorie zugeordnet. Diese Zuordnung war für landwirtschaftliche Reststoffen leichter vorzunehmen als für Lebensmittel, es konnten aber durchweg schlüssige Kategorien gefunden werden.

Anhand von Faustzahlen zur Gasausbeute und des Energiegehalts von Methan (9,97 kWh/m<sup>3</sup> Methan) und des durchschnittlichen elektrischen Wirkungsgrads von Blockheizkraftwerken (BHKW) (37 %) (FNR 2012) wurde die Gesamtenergie und die elektrische Energiebereitstellung aus dem potenziell nutzbaren Substrat berechnet. Die bereitgestellte Wärme wurde aufgrund der Annahmen eines thermischen Wirkungsgrads von 40 % sowie der vorgegebenen externen Wärmenutzung von mindestens 35 % (EEG 2012) berechnet.

### **4.3 Landschaftspflegematerial**

Landschaftspflegematerial stellt für den Ökolandbau ein interessantes systemkonformes Substrat dar (siehe auch Kapitel 5.3.3 Wiesengras aus Landschaftspflege (extensiv)).

Die Biomasseverordnung (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit et al. 2001) regelt, welche Stoffe als Biomasse im EEG 2012 gelten. Dort ist unter Landschaftspflegematerial einschließlich Landschaftspflegewegras folgende Definition zu finden: „Als Landschaftspflegematerial gelten alle Materialien, die bei Maßnahmen anfallen, die vorrangig und überwiegend den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes dienen und nicht gezielt angebaut wurden. Marktfrüchte wie

Mais, Raps oder Getreide sowie Grünschnitt aus privaten oder öffentlichen Garten- und Parkpflege oder aus Straßenbegleitgrün, Grünschnitt von Flughafen-grünland und Abstandsflächen in Industrie- und Gewerbegebieten zählen nicht als Landschaftspflegematerial. Als Landschaftspflegegras gilt nur Grünschnitt von maximal zweischürigem Grünland.“ Diese Materialien wurden im EEG 2012 neben dem Nawaro-Bonus mit dem Landschaftspflegebonus vergütet.

In der Literatur werden unter anderem Grünschnitt aus privater und öffentlicher Garten- und Parkpflege, sowie Straßen- und Schienenbegleitgrün als weitere Quellen des Pflegebereichs genannt (vgl. Seyfert et al. 2011a). Da in diesem Material zum Teil eine erhöhte Schadstoffbelastung zu vermuten ist, muss es ähnlich wie Klärschlamm bewertet werden, der im Ökolandbau nicht zulässig ist. Die folgenden Betrachtungen beziehen deshalb nur Materialien ein, die in der Biomasseverordnung aufgeführt werden. Das Landschaftspflegematerial umfasst nach der Definition der EEG-Clearingstelle die folgenden Materialien (Gelhausen et al. 2011):

- gesetzlich geschützte Biotope
- besonders geschützte Natur- und Landschaftsbestandteile,
- Vertragsnaturschutzflächen, Flächen aus Agrarumwelt- oder vergleichbaren Förderprogrammen
- Flächen, auf denen die Bewirtschaftungsauflagen der o.a. Programme freiwillig eingehalten werden
- Flächen, auf denen seit Beginn des betreffenden Kalenderjahres keine mineralischen Dünger und keine chemischen Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden. Ein weiteres Indiz ist die maximal zweischürige Mahd.

Darüber hinaus kommen in Deutschland weitere Flächen außerhalb der herkömmlichen landwirtschaftlichen Nutzung als Potenzialflächen in Frage, z.B. Kompensationsflächen, Biotopverbundflächen sowie ökologische Vorrangflächen gemäß künftiger EU-Agrarpolitik, Gewässerrandstreifen an Gewässern der 2. oder 3. Ordnung, sowie Flächen, die aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht mehr in einer herkömmlichen landwirtschaftlichen Nutzung stehen.

Da es nur einige wenige Daten zum Landschaftspflegematerial gibt, und diese weit auseinander gehen, wurden Daten aus mehreren Quellen genauer betrachtet und eine konservative Schätzung vorgenommen.

Nach Schätzungen des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege (DVL) beläuft sich das tatsächlich nutzbare Potenzial der oben beschriebenen Flächen

auf 900.000 ha (Gelhausen et al. 2011). Das daraus errechnete Energiepotenzial bei einer Nutzung als Biogas beläuft sich laut DVL auf 12 PJ/a.

Laut Seyfert et al. (2011a) kann mit einem Erschließungsfaktor von 50 % der in der Landschaftspflege anfallenden Mengen gerechnet werden. Daraus folgt dem Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) zufolge ein Aufkommen von 3,3 Mio t FM Grünschnitt aus der Landschaftspflege. Verrechnet man dies mit dem mittleren Wert zur Biogasausbeute von Landschaftspflegegras in Höhe von 127,5 Nm<sup>3</sup>/t FM (85-170 Nm<sup>3</sup>/t FM, je nach Verholzungsgrad) nach KTBL (2010), so erhält man Folgendes:

$$3,3 \text{ Mio t FM} * 127,5 \text{ Nm}^3/\text{t FM} = 420,75 \text{ Mio Nm}^3 \text{ Biogas}$$

Unter Berücksichtigung eines Methangehaltes von 50 % (KTBL 2010) und dem Energiegehalt des Methans von 9,97 kWh/m<sup>3</sup> (FNR 2012) beläuft sich das Energiepotenzial auf 2,1 TWh/a bzw. 7,56 PJ/a.

$$420,75 \text{ Mio Nm}^3 * 0,5 * 9,97 \text{ kWh/Nm}^3 = 2,1 \text{ TWh}$$

Die Schätzungen gehen weit auseinander, für den weiteren Verlauf wird die eher konservative Schätzung aus den Zahlen des DBFZ weiter verfolgt, da hier explizit nur Grünschnitt genannt wird. Anderes Material, welches ggf. stärker verholzt ist, kann nur bedingt in landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt werden. Dazu sind oft angepasste Anlagen nötig, das Projekt MULLE (DVL e.V. 2014) "Mehr Landschaftspflegematerial in bestehende Biogasanlagen - Multiplikation von praxiserprobten Lösungsansätzen zur energetischen Verwertung ungenutzter Potenziale aus der Landschaftspflege" befasst sich näher mit der Vergärung dieser Materialien.

Zur Berechnung des Potenzials in den jeweiligen Bundesländern wurde unterstellt, dass die Landschaftspflegeflächen mit den gesamten Bodenflächen der jeweiligen Bundesländer korrelieren.

Tabelle 5 Verteilung der Landesfläche und damit des Landschaftspflegematerials (LPfM) auf die einzelnen Bundesländer, eigene Berechnung mit Daten des Statistischen Bundesamts(2012)

Stand 31.12.2012	Bodenfläche		Energiegehalt
	km <sup>2</sup>	%	GWh <sub>gesamt</sub>
Baden-Württemberg	35.751	10 %	210
Bayern	70.550	20 %	415
Brandenburg	29.486	8 %	173
Hessen	21.115	6 %	124
Mecklenburg-Vorpommern	23.210	6 %	136
Niedersachsen	47.614	13 %	280
Nordrhein-Westfalen	34.110	10 %	201
Rheinland-Pfalz	19.854	6 %	117
Saarland	2.570	1 %	15
Sachsen	18.420	5 %	108
Sachsen-Anhalt	20.451	6 %	120
Schleswig-Holstein	15.800	4 %	93
Thüringen	16.172	5 %	95
<b>Deutschland</b>	<b>357.169</b>	<b>100 %</b>	<b>2.100</b>

#### 4.4 Lebensmittelreststoffe

Die Nutzung von Reststoffen aus der Lebensmittelverarbeitung stellt eine attraktive Variante dar, um Energie ohne Flächenkonkurrenz zu erzeugen. Viele Reststoffe werden allerdings bereits anders verwertet, oft werden sie als Futtermittel einer höherwertigen Nutzung zugeführt. Demnach ist nur eine Betrachtung der „freien“ Reststoffe, also der bisher ungenutzten Reststoffe im Sinne dieser Potenzialabschätzung relevant. Im Folgenden sind diese freien Kapazitäten, die ohne Nutzungskonkurrenz in die Biogasnutzung umgeleitet werden können, als „umsteuerbar“ benannt.

Reststoffe aus der Verarbeitung von Lebensmitteln konventionellen Ursprungs sind für Biobetriebe schwierig zu nutzen, da ungewünschte Stoffe wie gentechnisch veränderte Organismen in das landwirtschaftliche System eingeführt werden könnten. Für Ökobetriebe ist daher primär die Menge an anfallenden Reststoffen aus der Bio-Lebensmittelproduktion relevant. Daher wird hier das energetische Potenzial aus Reststoffen aus der Bio-Lebensmittelverarbeitung betrachtet.

#### **4.4.1 Datengrundlage**

Die anfallenden Reststoffmengen sowie die umsteuerbaren Kapazitäten wurden 2012 ermittelt (Gaida et al. 2013). „Umsteuerbare“ Reststoffmengen sind in der Studie als solche definiert, die derzeit entsorgt werden bzw. einer thermischen Verwertung zugeführt werden oder die zur Verwertung exportiert werden.

Um die Menge der insgesamt vorliegenden Reststoffmengen aus der Lebensmittelproduktion zu bestimmen, wurde auf die Untersuchungen von Gaida u.a. (2013) zurückgegriffen, da es die derzeit aktuellste und detaillierteste Studie dieser Art ist. In der Studie wurde das Aufkommen biogener Reststoffe aus den wichtigsten Lebensmittelbranchen ermittelt. Der Begriff „biogene Reststoffe“ umfasst dabei ausschließlich pflanzliche oder tierische Reststoffe, die biologisch abbaubar sind. Die Studienergebnisse basieren auf Interviews mit Firmen und Branchenverbänden aus der Lebensmittelindustrie, auf darauf aufbauenden Hochrechnungen, sowie auf Reststofffaktoren (d. h. Faktoren, die das Verhältnis zwischen Produktionsmenge und Reststoffaufkommen beschreiben). Die in der Studie ermittelten Reststoffaufkommen sind daher nicht tatsächliche Werte, sondern Abschätzungen.

#### **4.4.2 Vorgehen**

Da im Rahmen der Potenzialanalyse vorwiegend Reststoffe aus der Biolebensmittel-Verarbeitung von Interesse sind, wurde für die jeweiligen Branchen eine Abschätzung des „Bio-Reststoffaufkommens“ anhand des Bio-Anteils an der jeweiligen Produktionsmenge in Deutschland durchgeführt. Der jeweilige Bio-Anteil ist jedoch teils gar nicht, oder oft nur in Bezug auf Umsatz oder Anbaufläche bekannt. Beide Zahlen können nicht problemlos auf die Produktionsmenge übertragen werden. Die entsprechenden Bioanteile der jeweiligen Lebensmittelproduktion wurden durch eine Expertenbefragung abgeschätzt (Beck, 2013).

#### **4.4.3 Potenzial aus Lebensmittelreststoffen**

Insgesamt beläuft sich das von Gaida u.a. (2013) ermittelte Reststoffaufkommen der verarbeitenden Lebensmittelindustrie auf etwa 14 Mio. t TS jährlich. Die nach Gaida u.a. (2013) ermittelten direkt „umsteuerbaren“ Kapazität an biogenen Reststoffen liegt bundesweit bei rund 500.000 t TS/a (Gaida et al.

2013). Zu nennen sind laut den Autoren vor allem biogene Reststoffe aus der Herstellung von Convenienceprodukten wie Würzmitteln, Soßen und Suppen, aber auch die Menge an anfallenden Stäuben bei der Vermahlung von Getreide sowie Reste der Wein- und Sektproduktion, wobei die Trubstoffe ein großes Potenzial haben. Daneben fallen noch Reststoffe aus der Futtermittelherstellung, der Brauereien, der Süßwarenherstellung sowie aus Brennereien und Mälzereien an.

Unter Berücksichtigung der Experteneinschätzung ergibt sich eine jährlich umsteuerbare Kapazität aus der Bioproduktion von rund 20.000 t TS aus der Verarbeitung von Biolebensmitteln (Tabelle 6), das meiste davon aus der Convenienceprodukt-Herstellung, sowie aus Stäuben der Getreidevermahlung.

Tabelle 6: Umsteuerbare Reststoffe in der Bioproduktion. Umsteuerbare Reststoffe nach Gaida u.a. (2013), prozentualer Bioanteil nach Expertenschätzung (Beck, 2013)<sup>a</sup> und Marktanteil (BÖLW - Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 2013)<sup>b</sup>

Bereiche	Umsteuerbare Reststoffe	Anteil Bioproduktion	Umsteuerbare Reststoffe aus der Bioproduktion	Methanertrag gesamt	Energiegehalt
Einheit	[t TS/a]	[%]	[t TS/a]	[Nm <sup>3</sup> ]	[GWh]
Convenience Produkte	100.000	6,0 <sup>a</sup>	6.000	2.131.414	21
Stäube (aus der Getreidevermahlung)	80.000	6,0 <sup>a</sup>	4.800	1.124.448	11
Wein- und Sektproduktion	80.000	5,5 <sup>a</sup>	4.400	524.959	5
Futtermittel	52.900	4,0 <sup>a</sup>	2.116	701.599	7
Brauereien	50.000	2,0 <sup>a</sup>	1.000	327.705	3
Süßwaren	40.000	3,9 <sup>b</sup>	1.560	301.959	3
Brennereien	15.000	3,9 <sup>b</sup>	585	211.712	2
Mälzereien	14.000	2,0 <sup>a</sup>	280	92.839	1
<b>Gesamt</b>	<b>431.900</b>		<b>20.741</b>	<b>5.416.635</b>	<b>53</b>

Insgesamt ergibt sich aus den Reststoffen der Biolebensmittelindustrie ein Methanertrag von über 5 Millionen Normkubikmetern und einem Energiegehalt von 54 GWh. Verglichen mit dem Potenzial aus der Landschaftspflege von 2.100 GWh<sub>gesamt</sub>, ist dieses Potenzial fast „vernachlässigbar“. Jedoch sollten Reststoffe der Lebensmittelverarbeitung einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden. Hier ist die Tierfütterung klar vor der Biogasnutzung zu bevorzugen, da

dies einen indirekten Beitrag zur Lebensmittelerzeugung beiträgt, zudem werden in diesem Verwertungszweig höhere Preise in der Reststoffverwertung erzielt. Stoffe die sich nicht für die Fütterung eignen, sollten bestehenden landwirtschaftlichen Biogasanlagen zugeführt werden. Je nach Größe des Produktionsbetriebes und dessen jährlich anfallenden Mengen an Reststoffen, könnte es sinnvoll sein, eine eigene kleine Biogasanlage zu betreiben, da im Produktionsprozess oft neben dem Strom auch die Wärme in sinnvoller Weise genutzt werden kann. Allerdings dürfte dies unter den aktuellen technischen sowie politischen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich sein.

## **4.5 Landwirtschaftliche Reststoffe**

Die Reststoffe aus der Landwirtschaft wurden nur für ökologische Betriebe erfasst, da es das Ziel sein sollte, eine vollständige Ökofütterung zu realisieren. Hier wurden aufgrund von Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenzen nur die folgenden pflanzlichen Materialien berücksichtigt: Aufwuchs von Dauergrünland, Flächenstilllegung, Gründüngung sowie Kleegrasanbau und Zwischenfruchtanbau. Zudem wurde die Menge an anfallendem Wirtschaftsdünger aus der ökologischen Haltung von Rindern, Schweinen, Schafen, Ziegen, Hühnern, Gänsen, Enten, Truthühnern und Einhufern berechnet.

### **4.5.1 Datengrundlage**

Als Datengrundlage wurde die Veröffentlichung „Betriebe mit ökologischem Landbau“ des Statistischen Bundesamtes aus der Agrarstrukturerhebung 2013 (Statistisches Bundesamt 2014b) genutzt. Diese repräsentative Stichprobenerhebung erfasst Betriebe mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von mehr als 5 Hektar, oder die einen gewissen Tierbestand erreichen (ab 10 Rinder oder Zuchtsauen, oder 50 Schweine, oder 20 Schafe/Ziegen, oder 1000 Stück Geflügel).

Zu der Kategorie „Ökologischer Landbau“ zählen Betriebe, die nach der EU-Ökoverordnung produzieren sowie kontrolliert und zertifiziert werden. Es wurden jeweils nur die in die ökologische Wirtschaftsweise einbezogene Fläche bzw. Tierzahl berücksichtigt (bei teilumgestellten Betrieben sowie bei Betrieben in der Umstellung relevant).

Eine Übersicht zur Fläche der pflanzlichen Produktion sowie der Tiere im ökologischen Landbau auf Länderebene befindet sich im Anhang (Tabelle 59).

#### 4.5.2 Vorgehen

**Menge an pflanzlichem Material:** Das Potenzial aus pflanzlichem Material beschränkt sich hier nur auf Material, welches nicht für die Tierernährung benötigt wird. Dafür wurden alle raufutterverzehrenden Tiere (Rinder, Schafe, Ziegen, Einhufer) in Großvieheinheiten umgerechnet und die zur Fütterung benötigte Grundfutterfläche (mit bundeslandspezifischem Faktor nach Statistischem Bundesamt (2013) vom Grünland und Klee gras anteilig abgezogen. Für die Frischmasseeerträge pro Hektar wurden Faustzahlen des KTBL (KTBL (Hrsg.) 2010) sowie des „Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas“ verwendet. Faustzahlen für die Frischmasseeerträge entsprechen den in Kapitel 8 unterstellten Daten.

**Wirtschaftsdüngeranfall:** Anhand von Tierart, der vorwiegenden Nutzungsform und der damit verbundenen Haltung (nach Experteneinschätzungen) konnten Standardwerte nach KTBL ermittelt werden. Die Tierzahlen im Ökolandbau in den einzelnen Bundesländern wurden in der Agrarstrukturhebung (Statistisches Bundesamt 2014b) nur nach Tierart angegeben. Um den Wirtschaftsdüngeranfall bestimmen zu können, sind allerdings genauere Untergliederungen nötig, da je nach Nutzung und damit einhergehender Haltungsform unterschiedlich viel Dung anfällt bzw. aufgefangen werden kann (bspw. bei Weidehaltung kann der Dung nicht weiter genutzt werden).

Für eine Einschätzung einer Verteilung der Nutzungsformen in den jeweiligen Tierarten wurden die bundesweiten Daten (AMI - Argarmarkt Informations-Gesellschaft mbH 2012) genutzt. Anhand der mit diesen Daten errechneten prozentualen Verteilung der Nutzungsform je Tierart sowie anhand von Faustzahlen verschiedener KTBL-Veröffentlichungen (KTBL (Hrsg.) 2005; KTBL (Hrsg.) 2010) wurde für die jeweilige Tierart ein spezifischer Faktor für den Dunganfall berechnet. Für Tiere, die teilweise oder ganz in Weidehaltung gehalten werden, wurde ein jeweils spezifischer Faktor nach Erfahrungswerten von verschiedenen Experten (pers. Gespräche FiBL, 2014) abgezogen. Somit wurde je Tierart ein Faktor gebildet, der dann zur weiteren Berechnung genutzt wurde.

#### 4.5.3 Potenzial aus den Reststoffen im Ökolandbau

Jährlich fallen Reststoffe im Ökolandbau von ca. 13 Mio. Tonnen Frischmasse an. Daraus könnten 8 TWh Energie generiert werden.

Der Bereich der pflanzlichen Reststoffe nimmt dabei mit ca. 6,5 TWh den größten Anteil ein, wobei hier die meiste Energie aus den Wiesen und Weiden generiert werden kann, gefolgt vom Kleeerasanbau (Abbildung 8). Hierbei sollte allerdings beachtet werden, dass es hier große Ertragsunterschiede geben kann, die hier nicht berücksichtigt werden konnten. Zudem sollten die Flächen aus Gründen des Tier- und Umweltschutzes nicht maximal genutzt, sondern daran angepasst werden.

Die hier ermittelten freien Flächen des Grünlands können im Moment durchaus noch weitere, nicht genauer quantifizierbare Nutzungen haben, wie den Verkauf von Heu an konventionelle Betriebe oder an Hobbytierhalter.

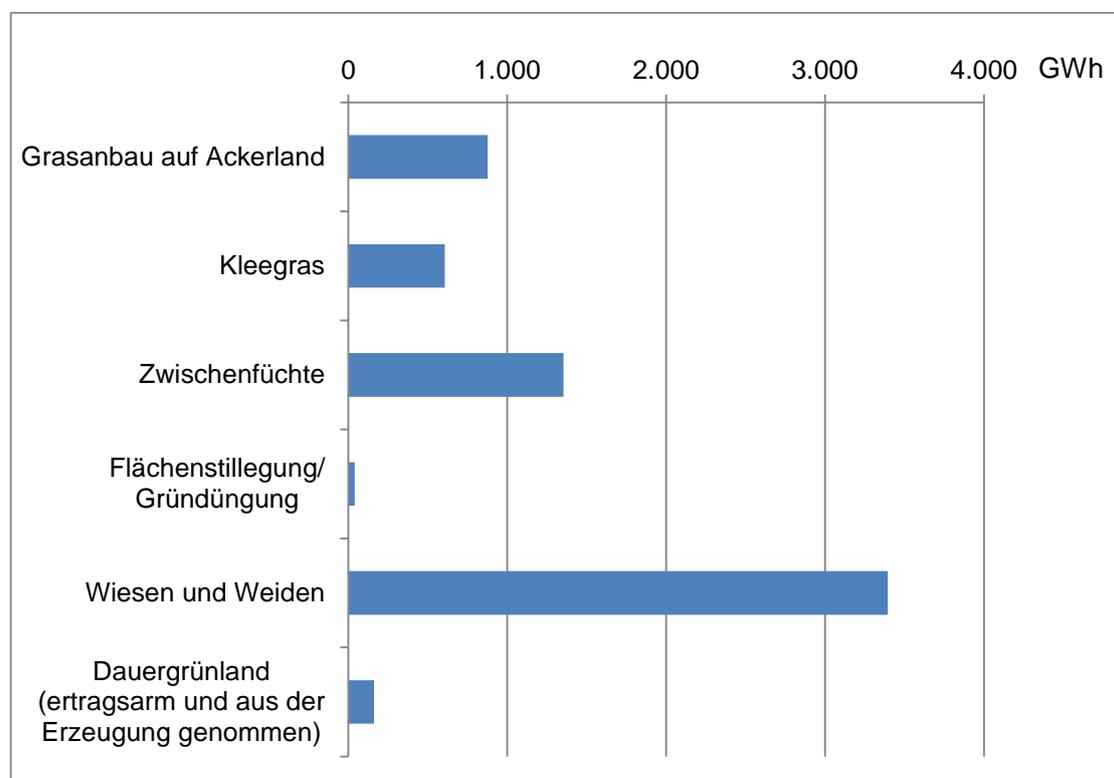


Abbildung 8: Jährliches Energiepotenzial aus pflanzlichen Reststoffen aus der Landwirtschaft nach Abzug der Flächen, die für die Bereitstellung der Futtermittel benötigt wird.

Die Nutzung der tierischen Reststoffe weist ein Potenzial von 1,5 TWh auf. Hier spielt die Rindergülle die größte Rolle, gefolgt vom Rinderfestmist. Erstaunlicherweise liegt viel Potenzial in der Nutzung des Mistes von Einhufern, meist Pferden (Abbildung 9).

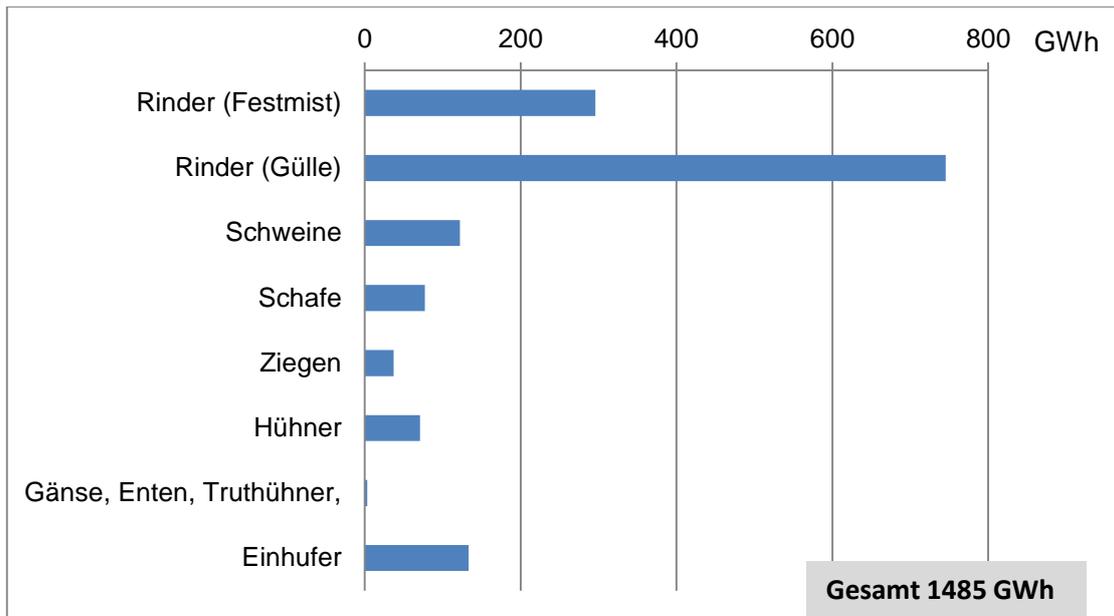


Abbildung 9: Energiegehalt der Substrate aus der ökologischen Tierhaltung nach Tierart für Deutschland pro Jahr in  $GWh_{gesamt}$

## 4.6 Gesamtpotenzial

Durch Aufsummierung der Energiepotenziale der einzelnen betrachteten Stoffe ergibt sich ein GESAMT-energiepotenzial von 10,07 TWh pro Jahr. Dies ist im Vergleich zur aktuellen Energiebereitstellung aus Erneuerbaren Energien von 313,9 TWh in 2012 (FNR 2012) mit 3,2 % ein geringer Anteil. Doch dieser Anteil kann ohne zusätzliche Flächeninanspruchnahme und mit positiven Nebenefekten, wie in Kapitel 3 beschrieben, genutzt werden.

Im Vergleich zu den Kategorien Lebensmittelreststoffe mit 0,05 TWh und Landschaftspflegematerial mit 2,10 TWh stellen die landwirtschaftlichen Reststoffe (7,92 TWh) den Bereich mit dem größtem Potenzial dar (Abbildung 10).

Im Folgenden werden die Reststoffe aus der Lebensmittelerzeugung nicht weiter berücksichtigt, da deren Potenzial im Gesamtkontext marginal ist und die Daten nicht auf regionaler Ebene betrachtet werden können.

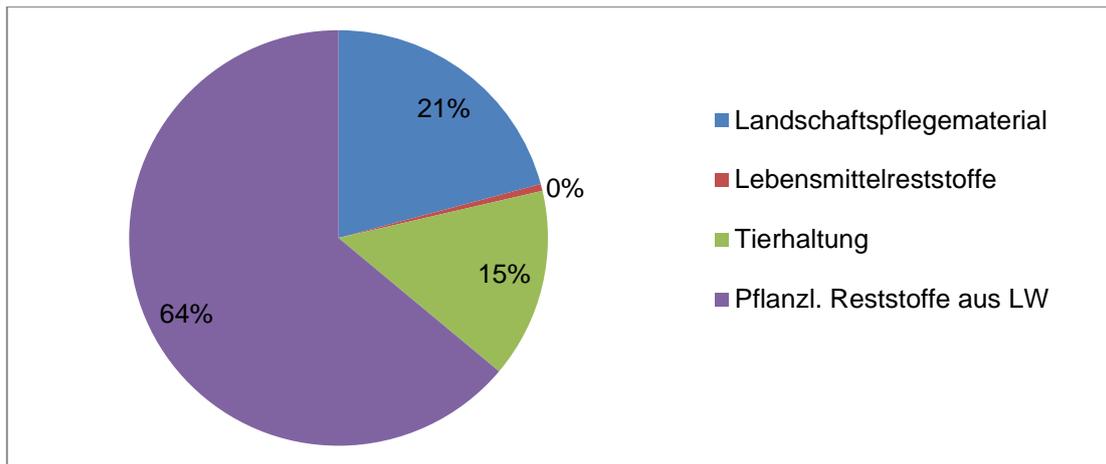


Abbildung 10: Übersicht über die Verteilung der Energiepotenziale aus allen berücksichtigten Quellen, angegeben in % von insgesamt 10,07 TWh<sub>gesamt</sub>

#### 4.6.1 Regionale Verteilung

Das Energiepotenzial aus Reststoffen der Landwirtschaft wurde basierend auf bundesländerspezifischen Daten berechnet. Zur Ergänzung wurde auch das Landschaftspflegematerial auf die Bundesländer bezogen berechnet. Die Daten zu Lebensmittelreststoffen konnten nicht auf Bundesländerebene differenziert werden. Aus der bundeslandspezifischen Betrachtung des Gesamtpotenzials ergibt sich das größte Potenzial in Bayern (über 2.000 GWh), gefolgt von Berlin-Brandenburg, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern (je ca. 1.000 GWh). Auch in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen (je ca. 900 GWh) und Hessen (über 700 GWh) besteht ein beachtliches Potenzial. Die weiteren Bundesländer verfügen bis auf das Saarland über ein Potenzial von 350-480 GWh. Im Saarland sind es ca. 100 GWh (Abbildung 11).

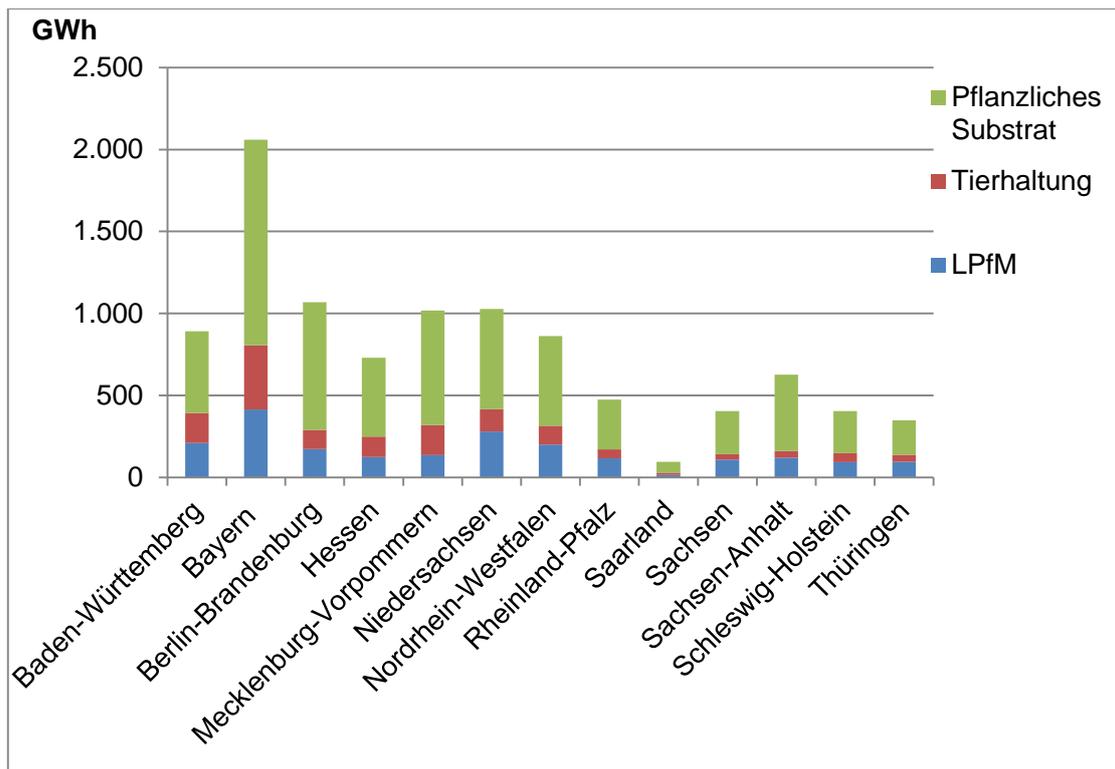


Abbildung 11: Regionale Verteilung des biologischen Potenzials in GWh pro Bundesland, aufgeteilt nach Substratherkunft (total 10,01 TWh<sub>gesamt</sub>)

#### 4.6.2 Umrechnung in Strom und Wärme

Für die Umrechnung in Strom und Wärme wird ein BHKW-Wirkungsgrad von 37 % elektrisch und 40 % thermisch angenommen sowie eine Abwärmenutzung von 35 %. Die elektrische Kilowattstunde (kWh<sub>el</sub>) ist die Einheit für elektrische Energie und die thermische Kilowattstunde (kWh<sub>th</sub>) die für Wärmeenergie. Somit ergeben sich aus allen hier berücksichtigten Quellen ein Strompotenzial von 3,704 TWh<sub>el</sub> und ein Wärmepotenzial von 1,402 TWh<sub>th</sub>.

Bei einem Strombedarf von 3.600 kWh pro Haushalt und Jahr (FNR 2012) könnten mit diesem Energiepotenzial über eine Million Haushalte mit Strom sowie mehr als 35.000 Einfamilienhäuser mit Wärme versorgt werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Potenzial an Strom und Wärme und der Anzahl an Haushalten (HH), die damit versorgt werden könnten

Bundesland	Strom- potenzial (GWh)	Anzahl HH - Strom	Wärme- potenzial (GWh)	Anzahl HH - Wärme
Baden- Württemberg	329	91.652	125	3.121
Bayern	762	211.661	288	7.208
Berlin- Brandenburg	395	109.847	150	3.741
Hessen	270	75.064	102	2.556
Mecklenburg- Vorpommern	377	104.609	142	3.562
Niedersachsen	380	105.552	144	3.594
Nordrhein- Westfalen	319	88.686	121	3.020
Rheinland- Pfalz	176	48.805	66	1.662
Saarland	35	9.754	13	332
Sachsen	150	41.604	57	1.417
Sachsen-Anhalt	232	64.384	88	2.193
Schleswig- Holstein	150	41.553	57	1.415
Thüringen	129	35.728	49	1.217
<b>Deutschland</b>	<b>3.704</b>	<b>1.028.897</b>	<b>1.402</b>	<b>35.038</b>

#### 4.6.3 Möglicher Anlagenzubau

Zur Verdeutlichung wird das biologische Potenzial in der Anzahl an möglichen Anlagen, die mit dem Substrat betrieben werden können, dargestellt. Als Anlagengrößen wurden die im Bericht im Folgenden verwendeten Leistungseinheiten von 75 kW<sub>el</sub>, 250 kW<sub>el</sub>, und 500 kW<sub>el</sub> genutzt. Sie stellen die Bandbreite der am häufigsten anzutreffenden Anlagengrößen im Biobereich dar. Insgesamt wäre in Deutschland ein Zubau von über 6.500 Biogasanlagen mit 75 kW<sub>el</sub> Leistung bzw. von knapp 1.000 Biogasanlagen mit 500 kW<sub>el</sub> mit dem gegebenen biologischen Potenzial möglich (Tabelle 8).

Tabelle 8: Übersicht über den möglichen Anlagenzubau in den Bundesländern für verschiedene Anlagengrößenklassen (bei jeweils 7.500 Volllaststunden)

Bundesland	mögliche Leistung (insg., kW <sub>el</sub> )	mögliche Anlagenzahl 75 kW <sub>el</sub>	mögliche Anlagenzahl 250 kW <sub>el</sub>	mögliche Anlagenzahl 500 kW <sub>el</sub>
Baden-Württemberg	43.993	587	176	88
Bayern	101.597	1.355	406	203
Berlin-Brandenburg	52.727	703	211	105
Hessen	36.031	480	144	72
Mecklenburg-Vorpommern	50.212	669	201	100
Niedersachsen	50.665	676	203	101
Nordrhein-Westfalen	42.569	568	170	85
Rheinland-Pfalz	23.426	312	94	47
Saarland	4.682	62	19	9
Sachsen	19.970	266	80	40
Sachsen-Anhalt	30.904	412	124	62
Schleswig-Holstein	19.945	266	80	40
Thüringen	17.149	229	69	34
<b>Summe</b>	<b>493.871</b>	<b>6.585</b>	<b>1.975</b>	<b>988</b>

Aus dem biologischen Potenzial ergibt sich, dass ein Ausbau von Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von knapp 500 MW<sub>el</sub> möglich wäre. Im BioBiogasmonitoring (Blumenstein et al. 2014) wurden 129 Biogasanlagen, mit einer Gesamtleistung von knapp 31 MW<sub>el</sub> erfasst. Dies entspricht einer Nutzung des biologischen Potenzials von etwa 6 %. Wobei viele der aktuell genutzten Einsatzstoffe nicht in die hier genutzte Definition von Reststoffen fällt, da auch (konventioneller) Mais und andere Energiepflanzen zum Einsatz kommen. Im Jahr 2011 hatte Maissilage einen Anteil von 14 % des Substratmixes (Siegmeier et al. 2013).

Im BioBiogasmonitoring wurde auch die Verteilung der Leistung aus Biogasanlagen auf die Bundesländer ermittelt (Blumenstein et al. 2014). Bayern ist demnach das Land mit der höchsten installierten elektrischen Leistung, gefolgt von Baden-Württemberg (Tabelle 9). Verglichen mit der potenziellen Leistung wird deutlich, dass die meisten Bundesländer noch ein erhebliches Poten-

zial haben. Nur in Sachsen und Baden-Württemberg wird schon ein beträchtlicher Anteil genutzt, hier könnte das biologische Reststoffpotenzial genutzt werden, um den Anbau von Energiepflanzen zu reduzieren.

*Tabelle 9: Vergleich der möglichen elektrischen Leistung ( $kW_{el}$ ) aus dem biologischen Potenzial mit der aktuell installierten Leistung aus BioBiogasanlagen (Blumenstein et al. 2014).*

<b>Bundesland</b>	<b>mögliche Leistung (<math>kW_{el}</math>)</b>	<b>installierte Leistung (<math>kW_{el}</math>)</b>
Baden-Württemberg	43.993	7.823
Bayern	101.597	9.054
Brandenburg	52.727	570
Hessen	36.031	1.939
Mecklenburg-Vorpommern	50.212	697
Niedersachsen	50.665	4.339
Nordrhein-Westfalen	42.569	668
Rheinland-Pfalz	23.426	40
Saarland	4.682	250
Sachsen	19.970	2.460
Schleswig-Holstein	19.945	1.362
Sachsen-Anhalt	30.904	0
Thüringen	17.149	1.511
<b>GESAMT</b>	<b>493.871</b>	<b>30.713</b>

#### 4.6.4 Wirtschaftlich mobilisierbares Potenzial

Bei den im vorherigen Kapitel ermittelten Potentialen um die Menge anfallenden Substrats. In der Praxis wird das theoretisch verfügbare Potential durch verschiedene weitere Einflüsse (wie Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit) eingeschränkt. Der Anteil an wirtschaftlich nutzbarem Substrat dürfte weitaus geringer sein. Hier gibt es keine genauen Zahlen, da dieser Anteil je nach Situation sehr unterschiedlich ist. In einer Fallstudie werden 30 % des biologischen Potenzials als wirtschaftlich mobilisierbar angesehen (Peters 2014). Doch die Rahmenbedingungen (insbesondere das EEG und die lokalen Standortbedingungen) bestimmen die Wirtschaftlichkeit in hohem Maße, so dass dieser Faktor nur ein grober Richtwert sein kann. Demnach wäre das wirtschaftlich mobilisierbare Potenzial etwa 3 TWh beziehungsweise 1.111 GWh Strom sowie 421 GWh Wärme. Mit dem wirtschaftlich mobilisierbarem Potenzial könnten Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 150  $MW_{el}$  betrieben werden.

## 4.7 Diskussion

Das ermittelte Potenzial beruht auf den derzeit aktuellsten Zahlen und ist mit einigen Unsicherheiten, wie die Qualität der Substrate und die wirtschaftliche Nutzbarkeit, behaftet. Doch es ist eine erste Näherung, um zu identifizieren, wie viel und in welchen Bundesländern Potenzial besteht. Zur genaueren Berechnung muss auf regionaler Ebene mit weiter ausdifferenzierten Daten(-erhebungen) kalkuliert werden.

Aus dem biologischen Potenzial ergibt sich, dass ein Ausbau von Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von knapp 500 MW<sub>el</sub> möglich wäre. Im TAB-Bericht (Meyer & Prierer 2012a) wurde durch eine erste überschlägige Rechnung von 257 MW<sub>el</sub> ausgegangen. Die Zahlen hier verdeutlichen, dass das biologische Potenzial, welches in Ställen, auf Äckern und Wiesen anfallen, deutlich höher ist. Welcher Anteil davon auch wirtschaftlich gesammelt und genutzt werden kann, hängt zu einem Großteil von den Rahmenbedingungen ab. Geht man hier von einem Anteil von 30 % aus, so könnten 150 MW<sub>el</sub> Leistung entstehen. Verglichen mit dem aktuellen Ausbau von 30 MW<sub>el</sub> besteht noch ein erhebliches Ausbaupotenzial. Zum einen für den Zubau von neuen Biogasanlagen, aber auch die Möglichkeit, in aktuellen Biogasanlagen die (konventionellen) Energiepflanzen durch Reststoffe zu ersetzen.

Auf der Grundlage der politisch gewollten Ausweitung des Ökologischen Landbaus würde auch die Ökofläche und damit die Menge an tierischen sowie pflanzlichen Stoffen erhöht werden. Zudem würden damit auch die Lebensmittelverarbeitung und die dabei anfallenden Reststoffe ansteigen, die dann an Ort und Stelle verwertet werden könnten.

Doch dieses Potenzial sollte mit Vorsicht gesehen und genutzt werden, da die Nutzung von Zwischenfrüchten sowie die Nutzung des gesamten anfallenden Materials negative Auswirkungen auf Flora und Fauna haben und zu ungewollten Nebeneffekten führen kann.

## 5 Spezifikation der Substrate

(Verantwortlich: FiBL und MEP (Unterauftrag; Mitarbeit: Universität Kassel))

In diesem Arbeitspaket werden zunächst Kenndaten zu den wichtigsten Substraten im ökologischen Landbau zusammengestellt. Vorhandene Literaturdaten werden durch systematisch erhobene Praxiserfahrungen ergänzt. Neben Eignung für und Leistung bei der Vergärung liegen Schwerpunkte der Zusammenstellung auf den technologischen und logistischen Anforderungen, der Verfügbarkeit, der Gärrestqualität sowie einer Abschätzung des ökonomischen Potenzials.

Aufgrund der unterschiedlichen Betriebsstrukturen ergeben sich typische Kombinationen der Substratzusammensetzung mit jeweils spezifischen Eigenschaften. Zusätzlich zur Beurteilung der einzelnen Substrate werden ausgewählte Substratkombinationen anhand der oben genannten Kriterien bewertet. Herausgearbeitet werden zudem die umweltrelevanten Eigenschaften der Substrate.

Der typische Substratmix für Biogasanlagen liegt im Ökolandbau verstärkt im Einsatz folgender Substrate:

- Klee gras
- Luzerne gras
- Grünland aufwuchs
- Zwischenfrüchte
- im Betrieb anfallende pflanzliche Nebenprodukte (z.B. Ausputzgetreide, Gemüseabputz)
- Gülle (vor allem Rindergülle)
- Stallmist
- sonstige im Betrieb anfallende Biomasse, die nicht zu Ernährungs- bzw. Futterzwecken dient
- Biomasse aus Landschaftspflegemaßnahmen

Im Vergleich zu konventionellen Biogasanlagen weist Mais, ebenso wie weitere ausschließlich zur Energieerzeugung kultivierte Pflanzen, bei Biogasanlagen im ökologischen Landbau eine geringere Relevanz auf. Da die Eigenschaften dieser Substrate zudem weitgehend bekannt sind, wird auf diese nicht näher eingegangen.

## 5.1 Bestimmungsgründe der Substratzusammensetzung

Bei der Zusammenstellung der Substrate einer Biogasanlage wird in der Regel zur Vereinfachung davon ausgegangen, dass die Biogaserzeugung der Substrate linear mit dem Anteil des Substrats an der Gesamtration ansteigt. Zusätzlich zu Einflüssen der Kofermentation auf die Vergärungsraten führen mehrere praxisrelevante Einflussfaktoren jedoch dazu, dass der Einsatz bestimmter Substrate in Praxisanlagen in der Regel bestimmte Anteile nicht über- oder unterschreitet. Die wesentlichen Begrenzungen der Substratanteile:

- Verfügbarkeit: Vor allem Einsatzstoffe die als Koppel-, Neben- oder Abfallprodukte anfallen sind häufig nur begrenzt verfügbar. Ihr Anfall hängt von der Erzeugung des Hauptproduktes ab und ist daher von der Biogasanlage nicht beeinflussbar.
- Transportwürdigkeit: Vor allem bei Substraten mit geringer Biogausbeute bezogen auf die Frischmasse ist die Vergärung nur bei geringen Transportkosten und –entfernungen möglich. Hierzu zählen vor allem wässrige Substrate wie z.B. Gülle, bei denen vor allem die Erzeugungsmenge auf dem eigenen oder benachbarten Betrieben relevant ist<sup>5</sup>. In geringerem Ausmaß ist auch bei Gras oder Klee gras ab Feld wegen des hohen Wassergehalts und bei Landschaftspflegematerial wegen des hohen Anteils an unvergärbare Lignocellulose die Transportwürdigkeit gegenüber Mais verringert.
- Vergütungsvoraussetzungen: Die Bedingungen für eine Stromvergütung gemäß EEG 2012 beeinflussen die Substratwahl über die ökonomische Vorzüglichkeit der Substrate erheblich. Zu den für BioBiogasanlagen derzeit relevanten Begrenzungen zählen:
  - Bei Biogasanlagen nach EEG 2009:
    - Landschaftspflegebonus bei >50 % Landschaftspflegematerial an der Frischmasse
    - Güllebonus bei >30 % Mist/Gülle an der Frischmasse
    - Nebenprodukte: Zusätzliche Auflagen (Umweltgutachter), geringere Vergütung, z.T. unzutreffende Standardwerte
    - Keine Mitvergärung von Bioabfällen
  - Bei Biogasanlagen nach EEG 2012:
    - Wärmenutzungspflicht entfällt bei > 60 % Mist/Gülle an der Frischmasse

---

<sup>5</sup> Bei Biogasanlagen gemäß EEG 2009 wurde die Transportwürdigkeit von Gülle durch die ökonomische Besserstellung von Anlagen mit mindestens 30 % Gülleanteil über den „Güllebonus“ stark erhöht.

- Sondervergütung für Gülle-Kleinanlagen (< 75 kW): Min. 80 % Gülle vorgeschrieben
- Bei Biogasanlagen nach EEG 2014:
  - Biogastarife wurden in der Regel deutlich reduziert, insbesondere:
    - Kein Nawaro Bonus mehr. Keine kostendeckende Vergütung bei Einsatz von Substraten, deren Erzeugung und Bereitstellung Kosten für die Biogasanlage verursacht (z.B.: Energiepflanzen)
    - Wegfall der bisherigen Bonusregelungen u.a. bei Einsatz von Gülle, Landschaftspflegematerial und bei KWK-Nutzung.
    - Sondervergütung für Gülle-Kleinanlagen (<75 kW): Ausschließlich Mist/Gülle zulässig, keine weiteren Reststoffe.
- Rechtliche Regelungen:
  - Pflicht zur Abdeckung des Gärrestlagers entfällt bei reiner Güllennutzung
  - Immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht bei Mitvergärung von Bioabfällen
  - Festlegung der Substratmengen und -arten in der Betriebsgenehmigung
  - Beschränkung des Einsatzes konventionell erzeugter Substrate für Biogasanlagen bei einigen Anbauverbänden des Ökolandbaus (siehe Kapitel 2.2.2)
- Verfahrenskosten und verfahrenstechnische Grenzen: Auch Substrate mit hoher Biogausausbeute können oft nur anteilig verwendet werden, da mit der vorhandenen Verfahrenstechnik und Prozessführung sonst technische Probleme oder Hemmungen bei der Biogasbildung erfolgen. So ist der Einsatz langfaseriger Substrate (z.B. Gras) durch steigende Störanfälligkeit und Abnutzung der beweglichen Anlagenteile mit Substratkontakt (Substrateintrag, Pumpwerke, Rührwerke) begrenzt, zudem führen hohe Anteile faserreicher Substrate zu einem höheren Bedarf an Prozessenergie durch stärkeren Einsatz der Pump- und Rührwerke. Energiereiche Substrate wie Getreide neigen bei zu hohen Anteilen zur Versauerung aus der hydrolytischen Stufe, der Einsatz stickstoffreicher Substrate (z.B. Klee gras) zu hohen Prozentsätzen kann zu Gärhemmungen durch Ammoniak führen. Ver-

fahrenstechnische Grenzen und mikrobiologische Herausforderungen können häufig durch Einsatz geeigneter Technik und/oder aufwändigerer Prozessführung überwunden werden. Dies bringt jedoch häufig steigende Kosten mit sich sowie teilweise eine anderweitige Einschränkung der Substratauswahl. Wie Praktiker berichten kann eine langsame Umstellung des Prozesses einen Anlagenbetrieb auch an den Grenzen der biologischen Verfahrenstechnik (z.B. Stickstoffgehalt, Hydrolyse) ermöglichen.

- Energiedichte: Substrate mit geringer Energiedichte profitieren von einem Anteil energiereicher Substrate, um die Dynamik des mikrobiellen Vergärungsprozesses zu erhalten.

Je geringer die Energiedichte der Substrate, desto höher ist zudem bei gleicher Verweilzeit der Bedarf an Fermentervolumen. Bei einem sehr hohen Anteil nicht vergärbare Substanz im Fermenter (z.B. Gülle mit niedrigem Wassergehalt, wasserreiche Nebenprodukte der Gemüseverarbeitung, hoher Anteil anorganischer Substanzen im Substrat) kann die Kofermentation ertragreicherer Substrate nötig sein, um im Winter die Fermenterbeheizung über die Abwärme aus der Biogasverstromung zu sichern.

- Lagerfähigkeit / Zeitliche Verfügbarkeit: Saisonal verfügbare Substrate – soweit eine ganzjährige Lagerung nicht sinnvoll ist – erfordern eine Anpassung der Fütterung je nach Verfügbarkeit und werden in der Jahresration nur einen begrenzten Anteil einnehmen können. So ist Frischgras nur im Sommer verfügbar, während z.B. Abfälle aus der Saftverarbeitung vorwiegend im Winterhalbjahr anfallen.

## 5.2 Substrateinsatz in Biogasanlagen im Ökolandbau

Biogasanlagen im Ökolandbau haben im Durchschnitt einen Anteil von 52 % Wirtschaftsdünger in ihrem Substratmix. (Abbildung 12). Maissilage spielt nur eine untergeordnete Rolle mit 14 %, allerdings steigt der Anteil mit zunehmender Anlagengröße. So beträgt der Gülle- und Mistanteil in Anlagen bis 75 kW über 70 %, bis zu einer Größe von 250 kW machen Gülle- und Mist noch über 40 % des Substratmixes aus. Bei Anlagen über 250 kW macht Maissilage ein Drittel des Substratmixes aus. Gerade größere Anlagen sind zur Anlagenauslastung auf Zukauf, auch zum Teil aus konventionellen Quellen bei Mais und Wirtschaftsdünger, angewiesen. Mit zunehmender Anlagengröße steigt allerdings auch der Klee grasanteil an der Gesamtration auf 22 %. (Siegmeier et al. 2013).

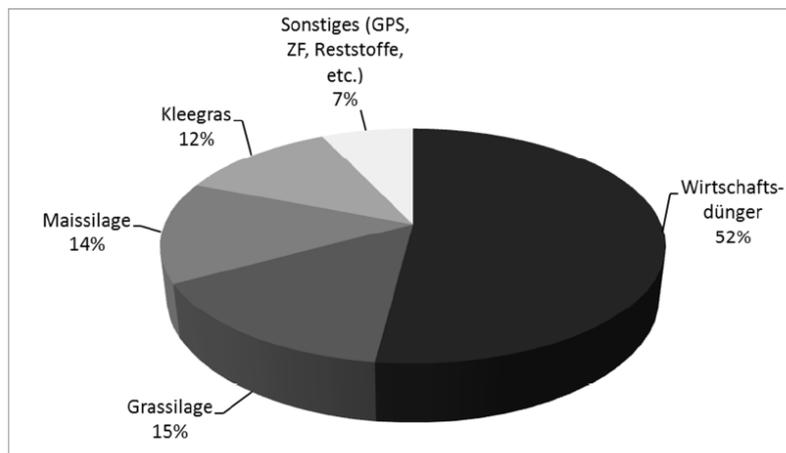


Abbildung 12: Substratmix im Durchschnitt aller BioBiogasanlagen in Deutschland. (Siegmeyer et al. 2013)

### 5.3 Kenndaten wichtiger Substrate

Im Folgenden werden die Eigenschaften einiger Substrate, die für systemgerechte Biogasanlagen im ökologischen Landbau eine wesentliche Rolle spielen, anhand von Substratsteckbriefen dargestellt. Neben der Eignung der Substrate für die Vergärung und den Leistungen bei der Vergärung liegen Schwerpunkte der Zusammenstellung auf den technologischen und logistischen Anforderungen, der Verfügbarkeit und der Gärrestqualität sowie auf umweltrelevanten Substrateigenschaften.

Für jedes der beschriebenen Substrate bzw. Substratgruppen erfolgt zudem eine qualitative Einschätzung einiger für den Einsatz in BioBiogasanlagen regelmäßig entscheidenden Parameter auf einer Werteskala von 1 bis 5. Die Bewertung gibt die vorherrschende Situation an, die sich betriebsindividuell im Einzelfall deutlich abweichend darstellen kann. Die Ergebnisse werden in Form von Netzdiagrammen dargestellt um die Herausforderungen und Vorteile der einzelnen Substrate zu visualisieren. Auf eine Gesamtbewertung oder ein Ranking wird verzichtet, da die Gewichtung der verschiedenen Parameter nicht nur betriebsindividuell stark abweichen kann, sondern auch innerhalb eines Betriebs die Nutzung von Substraten mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen vorteilhaft ist. Entscheidend ist z.B. nicht, dass sämtliche Substrate verfahrenstechnisch völlig problemlos sind, sondern dass z.B. faserreiche Substrate nicht in höheren Anteilen als die Anlagentechnik verarbeiten kann, eingesetzt werden. Für die gewählten Parameter gilt folgende Werteskala:

Tabelle 10: Erläuterung zu den Parametern und der jeweiligen Bewertung

Parameter	Bewertung "1" bedeutet	Bewertung "5" bedeutet
Verfügbarkeit	nur in Einzelfällen oder in geringen Mengen verfügbar	regelmäßig große Mengen verfügbar
Rohstoffkosten	hohe Kosten am Ort der Erzeugung oder des Anfalls (Bezug: Methanertrag)	kostenfrei oder geringe Kosten am Ort der Erzeugung oder des Anfalls (Bezug: Methanertrag)
Transportwürdigkeit	gering (hohe Transportkosten bezogen auf die Biogasausbeute - z.B. durch geringen Methanertrag je kg FM, durch zusätzliche Transportauflagen oder durch geringe Mengen)	hoch (geringe Transportkosten bezogen auf die Biogasausbeute - z.B. durch hohen Methanertrag je kg FM)
Biogasausbeute	sehr geringe Biogasausbeute (bezogen auf Frischmasse)	sehr hohe Biogasausbeute (bezogen auf Frischmasse)
Verfahrenstechnik	Der Einsatzstoff stellt bereits bei Einsatz in geringen Anteilen besondere Anforderungen an die Verfahrenstechnik (z.B. Substrataufschluss, separater Eintrag o.ä.)	Der Einsatzstoff stellt auch bei großem Anteil an der Fütterung keine besonderen Anforderungen an Verfahrenstechnik
Vergütung EEG 2009	ermöglicht nur geringe Vergütung in ct/kWh <sub>el</sub> . Gemäß EEG 2009 (z.B. Wegfall des Nawaro-Bonus)	ermöglicht sehr hohe Vergütung in ct/kWh <sub>el</sub> . Gemäß EEG 2009 (z.B. Güllebonus + Nawaro-Bonus, Güllekleinanlagen)
Rechtliche Regelungen	Bei Einsatz dieses Substrats gelten für an landwirtschaftl. BGA erhebliche zusätzliche rechtliche Anforderungen (z.B. Bioabfallverordnung, veterinärrechtliche Genehmigung)	Bei Einsatz dieses Substrats werden an landwirtschaftl. BGA keine zusätzlichen rechtlichen Anforderungen gestellt

### 5.3.1 Futterleguminosen und –gemenge (Klee gras, Luzernegras etc.)

Das Substrat, das wie kein anderes für die Besonderheiten der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau steht, ist die Silage von Futterleguminosen sowie von Futterleguminosen-Gras-Gemengen. Dabei wird vorrangig Rot- oder Weißklee im ein- bis zweijährigen Anbau genutzt. Futterleguminosen sind unabhängig von der Nutzungsrichtung ein unverzichtbarer Bestandteil der meisten Fruchtfolgen im ökologischen Ackerbau. Wegen des Verzichts auf synthetisch hergestellte Stickstoffdüngemittel stellen diese die wichtigste Quelle des Hauptnährstoffs Stickstoff in der Fruchtfolge dar, zudem sorgen sie für Humus-

erhalt und -aufbau. Vor allem in ackerbaulich orientierten Regionen mit geringem oder keinem Tierbesatz wird der Aufwuchs häufig nicht als Futtermittel genutzt sondern verbleibt gemulcht als Gründüngung auf den Flächen.

**Bedeutung für BioBiogas:** Bei fehlender alternativer Nutzung des Aufwuchses stellen Futterleguminosen und ihre Gemenge ein Biogassubstrat dar, das in großer Menge (ca. 15-30 % der Anbaufläche) verfügbar ist und ein erhebliches Potenzial zur Gasbildung aufweist. Je nach Berechnungsansatz werden Kosten und Energieaufwand für den Anbau dem Ackerbau zugerechnet, der damit gegenüber einer reinen Gründüngungsnutzung keine Zusatzkosten hat, aber über effizientere Nährstoffausnutzung einen erheblichen Zusatznutzen durch höhere Erträge erzielt.

Bei viehstarken Betrieben mit hohem Grundfutterbedarf werden die Futterleguminosen ökonomisch vorzüglicher und ackerbaulich gleichwertig über die Tierfütterung genutzt. In diesem Fall stehen für eine Biogaserzeugung häufig lediglich Übermengen und minderwertige Futterpartien in erheblich geringerem Ausmaß zur Verfügung.

**Verfügbarkeit:** In Ackerbauregionen mit geringer Viehdichte können Futterleguminosen in erheblichen Mengen verfügbar sein, soweit ökologisch bewirtschaftete Flächen vorhanden sind und eine Rückführung der Gärreste auf die Ursprungsflächen erfolgt. Für die dauerhafte Akquise von Substratlieferanten ist neben der Frage nach einer möglichen Vergütung vor allem der Gärrest als organischer Dünger von erheblicher Bedeutung.

**Herausforderungen:** Als Anbaufläche kommt nur der für Futterleguminosen in der Fruchtfolge benötigte Anteil von ca. 20-30 % der Flächen in Frage. Die durchschnittlichen Transportentfernungen sind daher bei vergleichbaren Substratmengen je Hektar um ein drei- bis fünffaches höher als bei Energiepflanzenanbau auf allen Flächen. Damit sind auf der Kostenseite neben den hohen Erntekosten mehrschüriger Früchte teilweise auch erhöhte Transportkosten zu berücksichtigen.

**Verfahrensführung:** Während geringe Klee grasanteile am Substratmix in einer Nawaro-Biogasanlage mit Standardkomponenten in der Regel problemlos verarbeitet werden können, treten mit zunehmendem Klee grasanteil verfahrenstechnische Schwierigkeiten durch den hohen Ligninanteil des Substrats und die langfaserige Struktur auf. Werden langsam laufende Rührwerke verwendet, die

Transportwege des Substrats in der Anlage kurz gehalten und bei Substrateintrag und Substratpumpen leistungsfähige, robuste Ausführungen verwendet, können hohe Klee grasanteile von bis zu ca. 70 % in regulären ein- oder zwei-stufigen Nawaro-Biogasanlagen vergoren werden. Es ist notwendig, bereits bei der Bereitung von Klee grassilage auf eine effektive Zerkleinerung zu achten (Häcksler). Eine weitergehende Substratzerkleinerung vor dem Eintrag oder ein zusätzlicher Substrataufschluss im Prozess kann die technische Verfahrensführung erleichtern. Vor allem ein gründlicher Substrataufschluss kann zusätzliche Lignuzelluloseanteile aufschließen und damit höhere Biogaserträge und einen intensiveren Vergärungsprozess ermöglichen. Alternative Anlagenkonzepte zielen darauf ab, möglichst wenig bewegliche Teile oder mechanische Hindernisse im Fermenter zu haben und setzen daher teilweise auf spezielle Rührmechanismen oder ersetzen Rührwerke und/oder Substratheizung im Fermenter durch externe Komponenten mit Substratzuführung über zusätzliche Pumpen und Rohrleitungen. Einzelne Anlagen erreichen so Anteile an Futterleguminosen von bis zu annähernd 100 %.

Bei sehr hohen Klee grasanteilen sind Hemmungen des biologischen Prozesses durch übermäßige Ammoniumgehalte möglich. Erfahrungsgemäß muss ab einer Ammoniumkonzentration von 3-3,5 g/l mit einer Hemmung der Biogasproduktion gerechnet werden. Die Bakterien können sich aber an höhere Ammoniumkonzentrationen adaptieren. Empfohlen werden eine langsame Gewöhnung der Fermenterbiologie durch allmähliche Steigerung der Klee grasanteile, intensive Beobachtung der Prozessbiologie und ggf. die Zugabe stickstoffarmer Kosubstrate. Der auch im Gärrest vorhandene Ammoniumgehalt erhöht die Neigung zur Emission von Stickstoff bei der Ausbringung. Nötig ist daher eine möglichst verlustreduzierende Lagerung und Ausbringung. Eine Abdeckung des Gärrestlagers verringert neben den Methanemissionen auch Ammoniakemissionen. Das Gärprodukt sollte bei der Ausbringung abgekühlt sein und je nach Rahmenbedingungen mit verlustmindernder Ausbringungstechnik (Schleppschläuche o.ä.), bei kühler Witterung und/oder in wachsende Bestände verteilt werden. Verfahrenstechnische Probleme mit den Anlagenkomponenten werden von Betreibern und Beratern in der Regel als bedeutsamer eingeschätzt als Hemmungen in der Prozessbiologie, bei sehr großen Unterschieden zwischen den Anlagen (laut Berichten im Rahmen des 2. Arbeitskreistreffens, 2013).

Substratkombinationen: Um eine intensive und stabile Vergärung der Futterleguminosen zu ermöglichen sollten Kosubstrate bevorzugt werden, die einen hohen Biogasertrag bei relativ schneller Methanisierung aufweisen. Wasserreiche Substrate erleichtern die mechanische Prozessführung (Pumpen, Rühren) erheblich und erleichtern das Ausperlen des gebildeten Methans. Flüssiggülle

stabilisiert zudem die mikrobiologischen Prozesse aufgrund seiner hohen Pufferkapazität und dem hohen Gehalt an Mineralien. Aus der Praxis wird von einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Substrats durch Zugabe von feinkörnigen Kosubstraten mit hohem Feinanteil berichtet. So scheint beispielsweise Getreideausputz mit hohem Staubanteil eine Art schmierende Wirkung im Substrat zu entfalten und damit Pump- und Rührprozesse zu erleichtern.

Stickstoffarme Substrate (z.B. Maissilage, Getreide) reduzieren die Ammoniumwerte im Substrat und beugen damit einer Stickstoffhemmung der Prozessbiologie vor.

Aufgrund der Verfügbarkeit auf den Betrieben werden Futterleguminosen häufig mit Festmist kombiniert. Für die Fermenterbiologie ist diese Kombination durchaus positiv, da die Stickstoffbelastung reduziert wird. Vor allem bei strohareichem Mist können jedoch die technischen Herausforderungen durch den hohen Fasergehalt und den Trockenmasseanteil weiter ansteigen, so dass die Zugabe von Wasser, Rezyklat oder ein zusätzlicher Substrataufschluss benötigt werden.

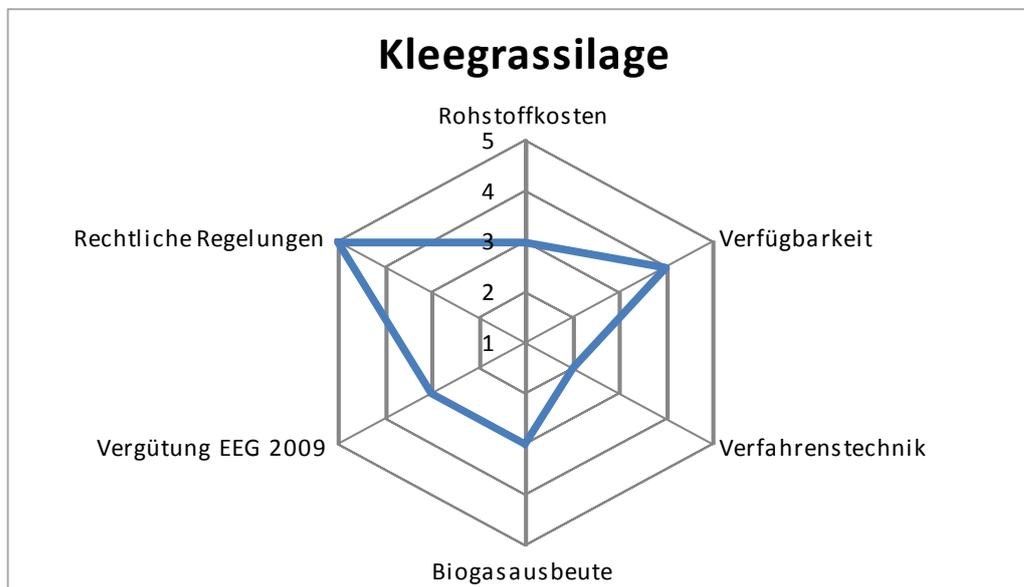


Abbildung 13: Substrateigenschaften Kleegrassilage (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.2 Wiesengras (intensiv)

Wiesengras aus intensiver Bewirtschaftung bei regelmäßiger Düngung und mehrmaliger Ernte entspricht weitgehend dem für die Futternutzung in der Milchviehhaltung auf Grünland kultivierten Futter. Da bei der Biogasnutzung vor allem der Massenertrag zählt, wird bei geringerer Bedeutung der Inhaltsstoffe die Schnitthäufigkeit bei der Energienutzung gegenüber der Erzeugung von Silagen zur Tierfütterung teilweise reduziert.

Bedeutung für BioBiogas: Ebenso wie Klee gras stellt die Biogasnutzung intensiv genutzter Wiesen eine Verwertungsalternative zur Viehfütterung dar, insbesondere zur Milchviehhaltung. Wo ökologische Milchviehhaltung regional zurückgeht oder betrieblich eingestellt wird, kann Biogas eine ökonomische Verwertungsalternative für frei werdende Flächen bieten. Wegen der abnehmenden Futterqualität der späteren Schnitte (i.d.R. dritter und vierter Schnitt eines Jahres) kann deren Verwertung in der Biogasanlage auch bei viehhaltenden Betrieben vorteilhaft sein. Die Beschränkung der Tierfütterung auf Silagen der hochwertigeren frühen Schnitte fördert Leistung und Gesundheit der Tiere und ermöglicht die Substratversorgung einer Biogasanlage mit Gülle oder Mist und Wiesengras als Kosubstrat.

In Grünland mit geringer bis mäßiger Viehdichte kann Wiesengras in erheblichen Mengen verfügbar sein, soweit ökologisch bewirtschaftete Flächen vorhanden sind und eine Rückführung der Gärreste auf die Ursprungsflächen erfolgt. Für die dauerhafte Akquise von Substratlieferanten ist neben der Frage nach einer möglichen Vergütung vor allem der Gärrest als organischer Dünger von erheblicher Bedeutung. Neben Grünlandflächen, die nach den Regeln des ökologischen Landbaus bewirtschaftet werden, kommen als Substrat auch Erntemengen weiterer Flächen in Frage, soweit diese keine mineralische Düngung und keine Pflanzenschutzmittel erhalten. Damit können Flächen aus Agrarumweltprogrammen - je nach Ausgestaltung der jeweils geltenden Restriktionen – als zusätzliche Substratgrundlage für BioBiogasanlagen genutzt werden.

Beschaffung: Wie bei Futterleguminosen ist bei Wiesengras der Ernte- und Transportaufwand ein wesentlicher Kostenfaktor. Je effizienter diese Verfahrensschritte erfolgen, desto attraktiver ist Wiesengras im Vergleich zu alternativen Substraten. Je nach Agrarstruktur und betrieblichen Voraussetzungen können Wiesenflächen verstreut und schlecht zugänglich gelegen sein, was die Beschaffungskosten erheblich erhöht.

Verfahrensführung: In technischer Hinsicht treffen die bei den Futterleguminosen ausgeführten Erläuterungen zu. Aufgrund des geringeren Stickstoffanteils sind jedoch biologische Hemmungen im Gärprozess nicht zu erwarten. Die Herausforderungen bei der Verfahrensführung beschränken sich daher auf die mechanische Belastung der Komponenten durch das faserreiche, verholzte Substrat mit hohem Trockenmasseanteil.

Substratkombinationen: Wie bei Futterleguminosen sind Kosubstrate mit hohem Biogasertag bei relativ schneller Methanisierung von Vorteil, daneben Substrate mit geringem Trockenmasseanteil und Substrate, die die mechanischen Eigenschaften der Biomasse im Fermenter verbessern. In Grünlandregionen bietet die Substratkombination mit Festmist – neben den im Abschnitt „Futterleguminosen“ genannten technischen Herausforderungen – den pflanzenbaulichen Vorteil, dass der Wirtschaftsdünger nach der Vergärung verflüssigt und daher vor allem auf Grünland einfacher auszubringen ist als unverarbeiteter Festmist.

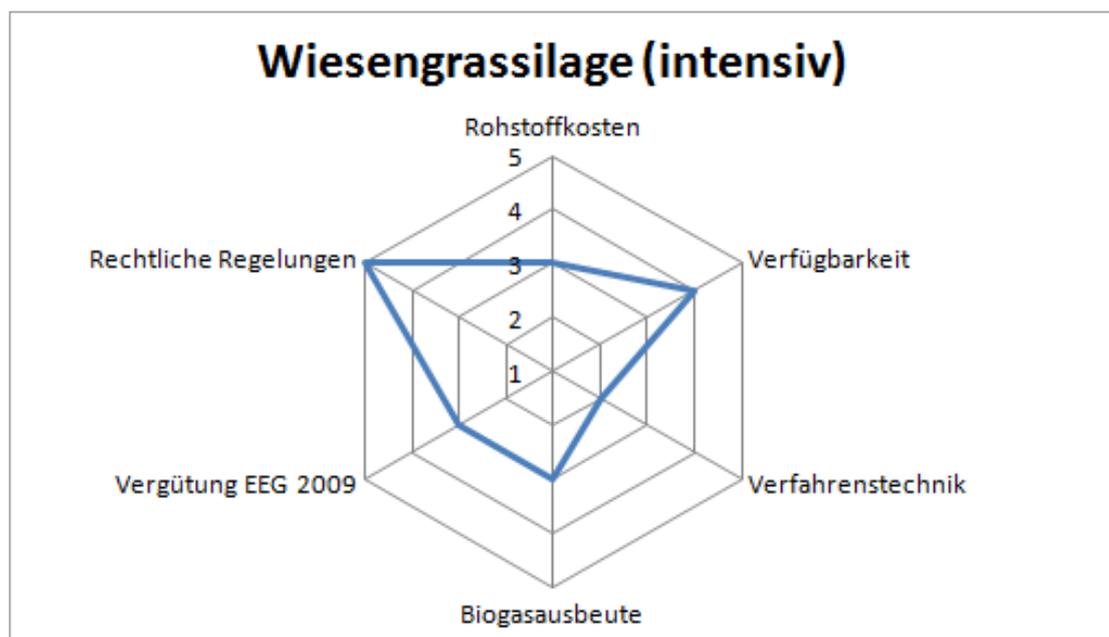


Abbildung 14: Substrateigenschaften Wiesengrassilage (intensiv); (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.3 Wiesengras aus Landschaftspflege (extensiv)

Gegenüber Gras von intensiv bewirtschafteten Wiesen zeichnet sich Ernte-Biomasse von extensiv genutzten Wiesen durch geringere Hektarerträge, eine

geringere Erntefrequenz (in der Regel einmal pro Jahr) und einen höheren Verholungsgrad bzw. Ligninanteil aus. Aufgrund des bislang ungenügenden Aufschlusses des Lignozelluloseanteils in Praxis-Biogasanlagen liegen die erzielten Gaserträge deutlich unter den Gasausbeuten von Grassilagen aus mehrschürigen, intensiv genutzten Grünlandflächen.

Bedeutung für BioBiogas: Konzeptionell bietet die Nutzung von Landschaftspflegegras in BioBiogasanlagen einige Vorteile und Synergien: Obwohl oft nicht im Rahmen des ökologischen Landbaus erzeugt, wird das Substrat in der Regel sowohl im Ökolandbau als auch bei Naturschutzverbänden und Verbrauchern als systemkonform für BioBiogaserzeugung angesehen soweit keine Schadstoffbelastung vorliegt (wie möglicherweise bei Straßenbegleitgrün). Während die an BioBiogasanlagen beteiligten Ökolandwirte im Rahmen der Richtlinien in der Regel großes Interesse an der Abnahme von Gärresten zur zusätzlichen Nährstoffversorgung ihrer Anbauflächen haben, ist in der Landschaftspflege oftmals der Nährstoffexport von den Flächen mit dem Erntegut erwünscht, so dass der Gärresttransfer auf die ökologischen Anbauflächen in beiderseitigem Interesse ist. Da Biomasse aus Landschaftspflegeflächen derzeit nicht oder nur sehr extensiv genutzt wird ergibt sich durch die Biogasnutzung keine oder kaum Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung.

Trotz einiger Projekte im Ökolandbau mit erheblicher Nutzung von Landschaftspflegematerial hat dieses Substrat jedoch nur geringe Bedeutung für die BioBiogaserzeugung. Als Gründe hierfür dürfen die technischen, logistischen und organisatorischen Herausforderungen bei der Vergärung des Materials gesehen werden. Einem erhöhten Kostenniveau auf Seiten der Anlagentechnik und -führung und einem gesteigerten Ausfallrisiko steht keine entsprechend erhöhte Vergütung gegenüber. Der zwischen 2009 und 2014 für den Einsatz von Landschaftspflegegras gezahlte Aufschlag von rund 2 Cent/kWh auf die EEG-Stromvergütung hat weder in der konventionellen noch in der ökologischen Biogaserzeugung zu einer wesentlichen Steigerung des Einsatzes von Landschaftspflegegras geführt.

Verfügbarkeit: In vielen Regionen ist Gras aus Landschaftspflege verfügbar. Häufig suchen die Pflegeverantwortlichen nach sinnvollen und kostengünstigen Wegen zur Entsorgung der Erntemengen. Da die ökonomische Transportwürdigkeit des Substrats wegen der geringen Biogasausbeute mäßig ist, sind größere Substratmengen allerdings nur in unmittelbarer Nähe von Großschutzgebieten mit hohem Wiesenanteil oder in weiteren Regionen mit hohem Anteil an Landschaftspflegeflächen zu erwarten. Einschränkend kommt dazu, dass für

einen vertretbaren Organisations- und Logistikaufwand die Flächen in der Hand eines oder weniger kooperationsbereiter Träger sein sollten.

Herausforderungen: Das für Gras aus intensiv geführten Wiesen gesagte gilt in erheblich verschärfter Form auch für Landschaftspflegegras. In herkömmlichen Biogasanlagen ist eine Substratzerkleinerung vor dem Eintrag notwendig, da sonst bereits bei geringen Substratanteilen technische Störungen durch die langen und widerstandsfähigen Fasern auftreten können. Bei höheren Anteilen an Landschaftspflegegras werden bevorzugt alternative Verfahren wie die Trockenfermentation in Garagenfermentern genutzt.

Auf rechtlicher Ebene ist die Abgrenzung der Herkunftsflächen genau zu beachten, da z.B. Erntegut von Straßenrändern und öffentlichen Grünflächen der Bioabfallverordnung unterliegt und daher bei Einsatz in Biogasanlagen erheblich erhöhte Anforderungen an Dokumentation und Anlagentechnik gestellt werden. Zudem ist die Ausbringung auf Anbauflächen eingeschränkt. Für BioBiogasanlagen kommt nur Material in Frage, das nicht der BioAbfallV unterliegt.

Substratkombinationen: Aus Sicht einer optimalen Vergärung sind bei klassischer Flüssigfermentation Kosubstrate mit einem geringen Trockenmasseanteil und/oder einer schnellen Methanisierung zu bevorzugen. Aus ökonomischer Sicht sollten bei vorwiegendem Einsatz von Landschaftspflegegras ausschließlich kostengünstige oder kostenfreie Kosubstrate zum Einsatz kommen. Die Nutzung hochwertiger Nawaro-Substrate (z.B.: Maissilage, Getreide o.ä.) wäre ökonomisch ungünstig, da solche Anlagen oft mit – für Nawaro-Substrate unnötig kostspieligen – sehr langen Verweilzeiten arbeiten oder die Fermentationsbedingungen und damit die Gasausbeuten suboptimal sind. Sinnvoll kann der Einsatz kostenpflichtiger Kosubstrate vor allem dann sein, wenn durch deren Eigenschaften die Methanisierung von Landschaftspflegegras in der Anlage verbessert oder überhaupt ermöglicht wird.

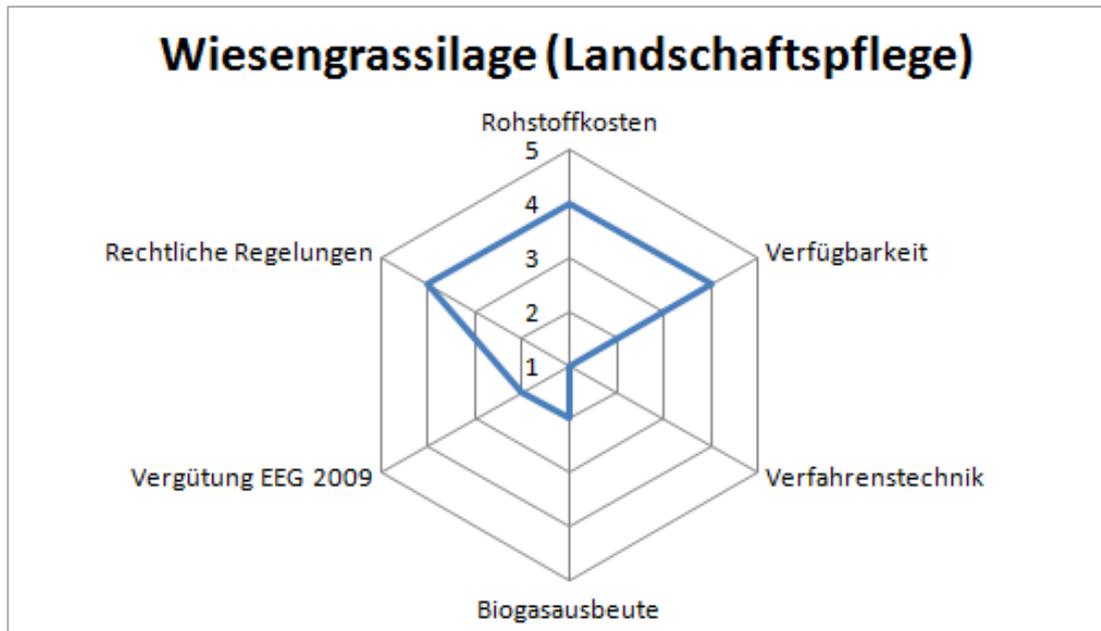


Abbildung 15: Substrateigenschaften Wiesengrassilage aus der Landschaftspflege (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

#### 5.3.4 Zwischenfrüchte

Die Gruppe der Zwischenfrüchte umfasst eine Vielzahl von Kulturarten die im gleichen Jahr wie die Hauptfrucht angebaut werden. Ihre Nutzung ermöglicht die zusätzliche Erzeugung von Biomasse ohne oder mit nur eingeschränkter Nutzungskonkurrenz zur Hauptfrucht. Zwischenfrüchte werden primär zur Bodenpflege und zur Nährstofffixierung kultiviert. Der Grünaufwuchs kann jedoch auch geerntet und (je nach Kulturart) als Viehfutter und/oder als Biogassubstrat genutzt werden.

Bedeutung für BioBiogas und Verfügbarkeit: Von ökologischen Landwirten wird der Zwischenfruchtanbau betriebsindividuell in sehr unterschiedlichem Ausmaß genutzt und gilt insgesamt im ökologischen wie auch im konventionellen Landbau als ausbaufähig. Vor allem für ackerbaulich orientierte Betriebe können Zwischenfrüchte frisch oder siliert als Kosubstrat eine Rolle spielen. Als Hauptsubstrat sind Zwischenfrüchte kaum geeignet aufgrund der vergleichsweise geringen Hektarerträge des Aufwuchses bei hohem Wassergehalt und da der Anbau meist nur auf einem Teil der Betriebsfläche erfolgt. In Fruchtfolgen mit ausgeprägtem Feldfutter- und/oder Energiepflanzenanbau können maximale Biomasseerträge erzielt werden, wenn die Einteilung in Haupt- und Zwischenfrucht aufgehoben wird. Diese sollten zugunsten der „Zweikulturnutzung“ mit zwei Kulturen, die in einem Jahr oder überjährig mit ähnlichen Ertrags-

wartungen angebaut werden – beispielsweise die Nutzung von Winterroggen/Triticale und Wintererbse im Mischanbau als Ganzpflanzensilage, gefolgt von spätem Anbau von Mais oder Hirse. Voraussetzung ist das Vorliegen entsprechender klimatischer und agronomischer Verhältnisse.

Herausforderungen: Vor allem bei den klassisch im frühen Vegetationsstadium geernteten Zwischenfrüchten erschwert der hohe Wassergehalt der Biomasse die Konservierung. Soweit kulturspezifisch möglich, kann das Material vor der Silierung angewelkt werden. Bei gleichzeitiger Ernte mit trockeneren Biomassechargen ist eine Mischsilierung von Zwischenfrüchten und anderen Silagen praktikabel, zumal die Zwischenfrucht in der Regel verhältnismäßig geringe Massen beisteuert. Eine effiziente Ernte und geringe Transportaufwendungen sind anzustreben, da dies bei hohem Wassergehalt und relativ geringem Biogaspotenzial entscheidend für die ökonomische und auch energetische Effizienz der Zwischenfruchtvergärung ist.

Substratmischungen: Zwischenfrüchte eignen sich als Kosubstrat, wo wenig verholzte Substrate mit hohem Wasseranteil erwünscht sind und ausreichendes Fermentervolumen vorhanden ist. In den praxisüblich mäßigen Substratanteilen ergänzen sie die meisten Substratmischungen vorteilhaft. Vor allem beim Einsatz höherer Anteile sind die spezifischen Eigenschaften der als Zwischenfrucht genutzten Kulturarten zu berücksichtigen.

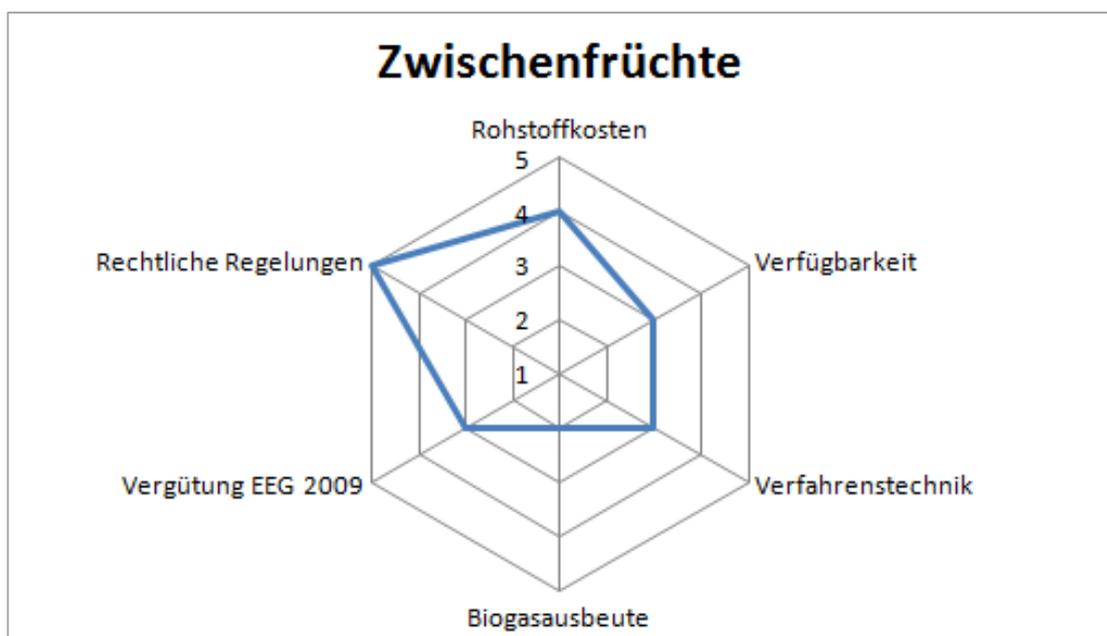


Abbildung 16: Substrateigenschaften Zwischenfrüchte (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.5 Festmist (Rind, Schwein, Geflügel)

Die Vergärung von Festmist – klassischer Einsatzstoff von BioBiogasanlagen – ermöglicht die Erzeugung von Energie aus einem Reststoff bei Erhaltung der Nährstoffkreisläufe, verringert die Methanemission des viehhaltenden Betriebes und vereinfacht die Ausbringung durch Umwandlung in einen halbflüssigen Zustand, der bei hoher Pflanzenverfügbarkeit mit herkömmlicher Gülletechnik appliziert werden kann.

Bedeutung für BioBiogas: Gemeinsam mit Gülle stellt Festmist auf viehhaltenden ökologischen Landwirtschaftsbetrieben oft die Basis für eine BioBiogaserzeugung dar. Erhebliche Biogaserträge, die fehlende Nutzungskonkurrenz und - vor allem bei Schweine- und Geflügelmist –die Geruchsreduzierung bei der Ausbringung von Gärrest gegenüber unvergorenem Material - machen Mist zu einem verbreiteten Einsatzstoff.

Verfügbarkeit: In Regionen mit hohem Verbreitungsgrad an ökologischer Tierhaltung auf Festmistbasis sind erhebliche Mengen verfügbar. Der im Vergleich zu Gülle niedrige Wassergehalt und höhere Biogasertrag lassen den Transport von Festmist über größere Entfernungen zu. Da auch in der ökologischen Landwirtschaft insbesondere in der Rinderhaltung festmistbasierte Haltungssysteme in der Minderheit sind, ergänzen häufig Kosubstrate die Mistnutzung in BioBiogasanlagen. Soweit sie aus landwirtschaftlicher Tierhaltung (kein Geflügel) stammen, können - analog zu den Vorgaben bei Zukauf von Wirtschaftsdünger - auch Festmistmengen aus konventioneller Erzeugung mit genutzt werden<sup>6</sup>. Dies kann das lokal verfügbare Substratpotenzial deutlich erhöhen. Bisher ist nicht abschließend geklärt, ob Gärrest von Biogasanlagen im Ökolandbau gemäß EU-Öko-Verordnung an konventionelle Landwirte abgegeben werden darf, wenn in der Biogasanlage Mist oder Gülle von Ökobetrieben verarbeitet wird. Bei Festmistzufuhr aus konventioneller Tierhaltung wird der Gärrest daher auf ökologisch bewirtschafteten Flächen ausgebracht. Die Regelungen zur Zufuhr betriebsfremder Düngemittel in der EU-Öko-Verordnung und in Verbandsrichtlinien schränken daher bei Einsatz von Mist und Gülle aus Ökotierhaltung die Menge konventioneller Substrate ein.

Rechtliche Einordnung: Der Einsatz von Festmist in Biogasanlagen ist genehmigungspflichtig gemäß VO (EU) Nr. 1069/2009. Während Mist aus der eigenen Tierhaltung in der Regel relativ problemlos eingesetzt werden darf, gelten

---

<sup>6</sup> Eine Ausnahme stellen hierbei Betriebe dar, die nach den Richtlinien des Demeter-Verbands wirtschaften. Diesen ist die Ausbringung von unbehandeltem Festmist aus bäuerlicher konventioneller Rinderhaltung erlaubt, jedoch nicht dessen Ausbringung nach Vergärung in der Biogasanlage.

verstärkte Auflagen bei der Vergärung von Mist aus betriebsfremden Beständen – vor allem dann, wenn mehrere Betriebe oder unterschiedliche Tierarten beteiligt sind. In diesem Fall können Auflagen, wie getrennte Fahrwege für Substrat und Gärrest und/oder eine Hygienisierung des Materials zusätzliche Aufwendungen für Anlagentechnik und Betrieb erforderlich machen.

Herausforderungen: Die Anforderungen von Mist an die Verfahrenstechnik gleichen denen anderer faserreicher Einsatzstoffe wie Futterleguminosen und Wiesengras. Vorteilhaft ist eine Zerkleinerung der Stroheinstreu. Vor allem bei frischem Mist ist der Aufschluss des stark lignifizierten Strohteils bei üblichen Verweilzeiten nur unvollständig möglich, so dass auf einen Teil des Ertrags verzichtet oder eine zusätzliche Aufbereitung des Substrats vorgenommen werden muss.

Substratmischungen: Günstig ist eine Mischung mit Gülle und/oder anderen faserarmen und feuchten Substraten.

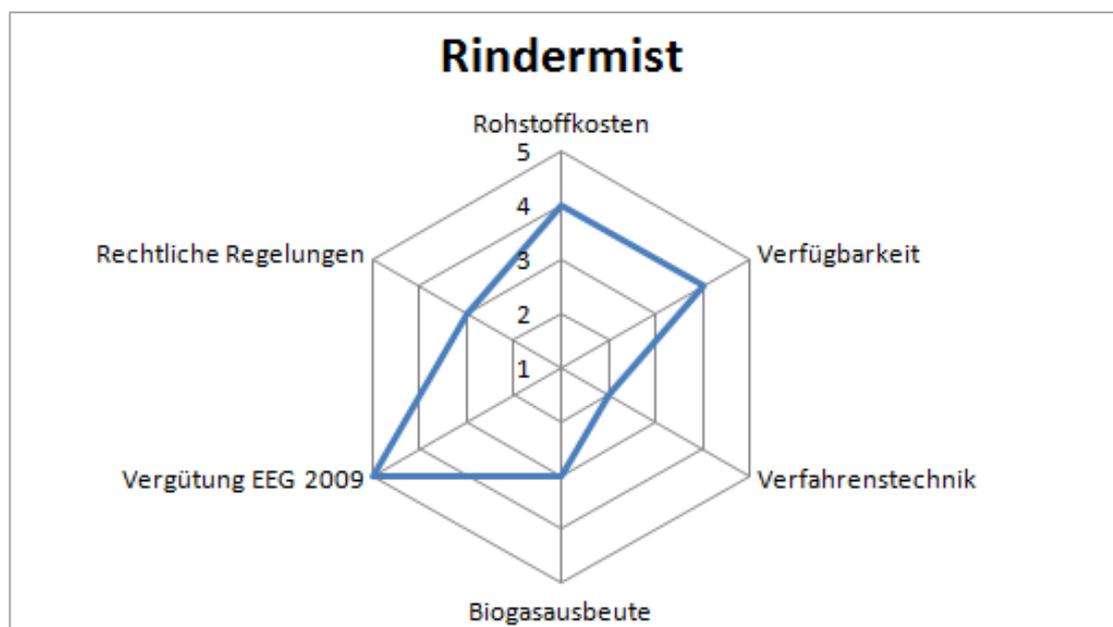


Abbildung 17: Substrateigenschaften Rindermist (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

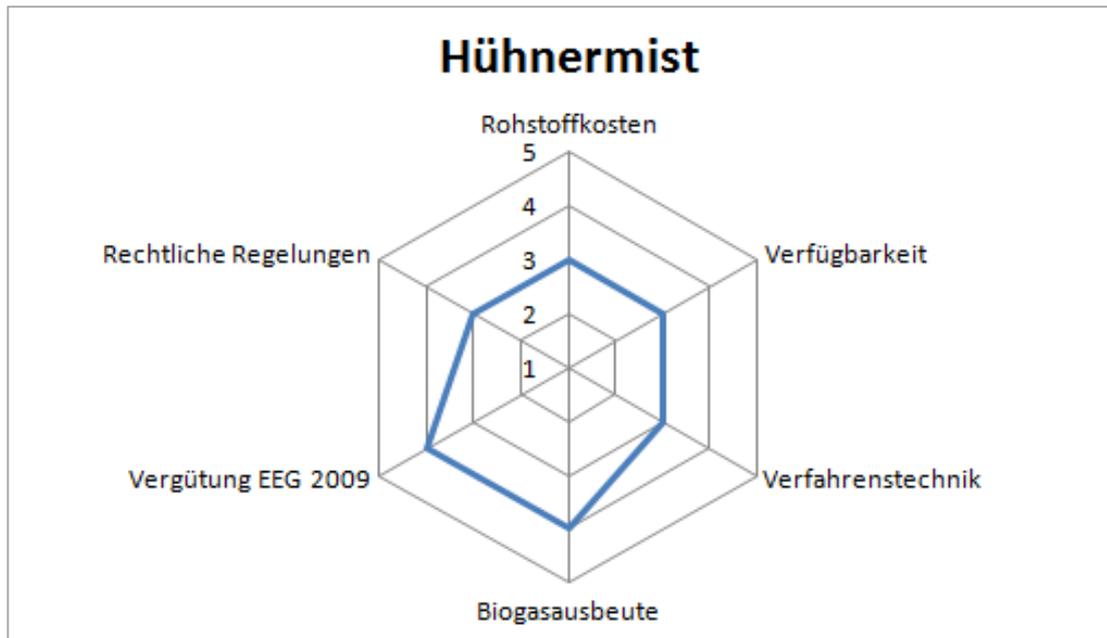


Abbildung 18: Substrateigenschaften Hühnermist (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.6 Gülle

Die Vergärung von Gülle ermöglicht die Erzeugung von Energie aus einem Reststoff bei Erhaltung der Nährstoffkreisläufe und verringert die Methanemission des viehhaltenden Betriebes.

Bedeutung für BioBiogas: Gemeinsam mit Festmist stellt Gülle auf viehhaltenden ökologischen Landwirtschaftsbetrieben oft die Basis für eine BioBiogaserzeugung dar. Die fehlende Nutzungskonkurrenz, ein positiver Einfluss auf die Gärprozesse auch bei problematischen Kosubstraten durch hohe Pufferkapazitäten und die bereits vorhandene Aktivität anaerober Mikroorganismen machen Gülle zu einem verbreiteten Einsatzstoff.

Verfügbarkeit: In Regionen mit hohem Verbreitungsgrad an ökologischer Milchviehhaltung sind oft erhebliche Mengen verfügbar. Wegen des hohen Wassergehalts und dem damit verbundenen niedrigen Biogasertrag der Frischmasse, ist die Vergärung jedoch nur auf dem anfallenden Betrieb oder in unmittelbarer Nähe effizient. Wie im Abschnitt „Festmist“ beschrieben, kann Gülle aus Ökobetrieben nur in Biogasanlagen eingesetzt werden, die keinen Gärrest an konventionell bewirtschaftete Betriebe abgeben.

Rechtliche Einordnung: Der Einsatz von Gülle in Biogasanlagen ist ebenso wie Festmist genehmigungspflichtig gemäß Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 und unterliegt den dort beschriebenen Auflagen.

Herausforderungen: Aufgrund des hohen Wassergehalts erfordert die Gülle großvolumige Fermenter und Gärrestlager. Aufgrund der Betriebsstrukturen im Ökolandbau wird Gülle in der Regel gemeinsam mit festen Nebenprodukten, Reststoffen und/oder Energiepflanzen vergoren. Gülle erhält daher in aller Regel die gleiche Verweilzeit im Fermenter wie die festen Einsatzstoffe mit wesentlich langsamerer Gasbildung. Dadurch ist bei einem erheblichen Anteil der Gülle im Fermenter die Gasbildung bereits abgeschlossen, dennoch belegt sie zusätzlichen Fermenterraum mit entsprechendem Investitionsbedarf.

Substratmischungen: Gülle stellt ein geeignetes Substrat dar, um die in BioBiogasanlagen häufigen Substratmischungen trockener, faserreicher und stark lignifizierter Biomassen zu ergänzen. Neben dem hohen Wassergehalt unterstützt die hohe Pufferkapazität von Gülle, ihre mikrobielle Aktivität und die schnelle Gasbildung den Gärprozess vor allem auch in der Mischung mit Substraten wie Gras, Klee gras oder Mist. Für Monovergärung als alleiniges Substrat ist Gülle im Ökolandbau weniger geeignet, da nur wenige tierhaltende Betriebe die Größe haben, um ausreichende Güllemengen für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb zu erzeugen. Zudem gilt auch für Gülle, dass die Vergärung von Substratmischungen meist problemloser verläuft als die Biogaserzeugung aus nur einem Substrat.

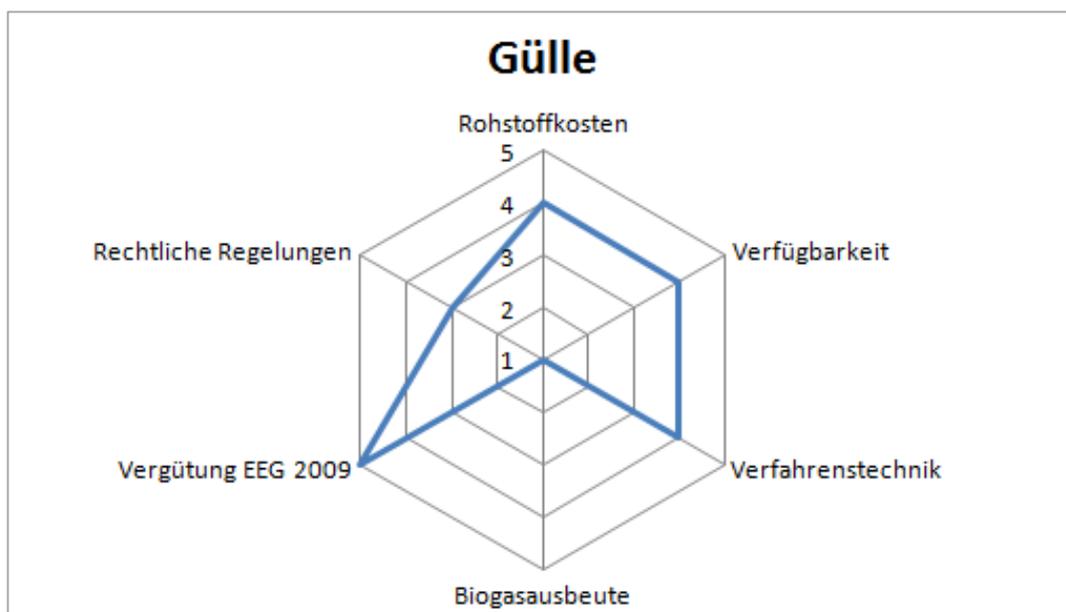


Abbildung 19 Substrateigenschaften von Gülle (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.7 Getreidenebenprodukte

Soweit aus ökologischer Erzeugung verfügbar, sind Getreidenebenprodukte wie Minderkorn, Getreideabfall, Getreideausputz, Spreu oder Getreidestaub eine willkommene Ergänzung im Substratmix von BioBiogasanlagen, die damit die Eigenschaften der Hauptsubstrate vorteilhaft ergänzen.

**Bedeutung für BioBiogas:** Der Einsatz von Getreidenebenprodukten in BioBiogasanlagen variiert stark je nach Verfügbarkeit des Substrats. Häufig werden geringe Anteile im Substratmix eingesetzt. Im Vordergrund steht dabei weniger die Biogasausbeute des Substrats selbst als vielmehr die Wirkungen auf den Gärprozess der gesamten Substratmischung. Positiv wirkt zum einen die schnelle Gasbildung aus den Kohlehydraten des Getreides. Vor allem von Substraten mit hohem Feinanteil wird zudem in der Praxis berichtet, dass diese die Gleitfähigkeit faserreicher Substrate erhöhen und damit die Belastung der Schnecken, Pumpen und Rührwerke verringern.

**Verfügbarkeit:** Getreideerzeuger im Ökolandbau verfügen häufiger als ihre konventionellen Kollegen über eigene Einrichtungen zur Lagerung und/oder Reinigung von Getreide. Auf diesen Betrieben stehen daher häufig in geringem Umfang Getreidenebenprodukte oder nicht marktfähige Getreidechargen zur Verfügung. Die Nutzung von Getreidenebenprodukten aus dem nachgelagerten Landhandel und der Lebensmittelindustrie ist dagegen nur dann möglich, wenn diese ausschließlich aus ökologischer Erzeugung stammen. Da für Nebenprodukte kein zusätzlicher Aufwand zur Trennung ökologischer und konventioneller Erzeugnisse betrieben wird, sind für BioBiogasanlagen nutzbare Substrate aus dem nachgelagerten Bereich meist nur von Betrieben erhältlich, die ausschließlich Ökoware verarbeiten.

**Rechtliche Einordnung:** Von hoher Relevanz ist die korrekte rechtliche Einordnung der jeweiligen Substrate. Während der aus unsortierten Getreidekornchargen in bestehenden Biogasanlagen erzeugte Strom die volle EEG-Vergütung (nach EEG 2012) einschließlich einsatzstoffbezogener Boni bzw. Vergütungen erhält steht aussortierten Getreidechargen ebenso wie Nebenprodukten der Reinigung (Getreideabfall, Getreideausputz, Staub) lediglich die geringere Grundvergütung zu. Zudem ist bei Nebenprodukten zu prüfen, ob diese als Abfall im Sinne der Bioabfallverordnung eingestuft werden. Die Vergärung von Getreidenebenprodukten als Bioabfälle in BioBiogasanlagen ist in der Regel nicht sinnvoll, da die damit verbundenen Auflagen bei Bau und Betrieb der

Biogasanlagen sowie die Restriktionen bei der Gärrestausbringung den Nutzen des Substrats meist weitaus übersteigen.

Herausforderungen: Voraussetzung für die grundsätzlich rasche Vergärung von Getreideprodukten ist, dass die Körner geschrotet oder zumindest gebrochen werden. Unverletzte Körner verlassen den Fermenter in der Regel unvergoren und lassen sich im Gärprodukt wiederfinden. Von der Futtermühle bis hin zur Mitverarbeitung der Körner in mechanischen Substrataufbereitungen steht eine Reihe von Optionen zur Verfügung.

Substratmischungen: In BioBiogasanlagen werden Getreidenebenprodukte ausschließlich in geringen Anteilen im niedrigen einstelligen Prozentbereich eingesetzt. Sinnvolle Kosubstrate sind Biomassen mit langsamer Gasbildung, die für den Aufbau einer aktiven Mikroorganismenbesiedlung auf schnell vergärbare Partner angewiesen sind. Bei entsprechender Vorbehandlung (Brechen) ist aber auch die Kombination mit schnell vergärbaren, wasserreichen Biomassen wie Gülle oder Molke von Vorteil, um eine höhere Intensität bei deren Gasbildung zu erreichen.

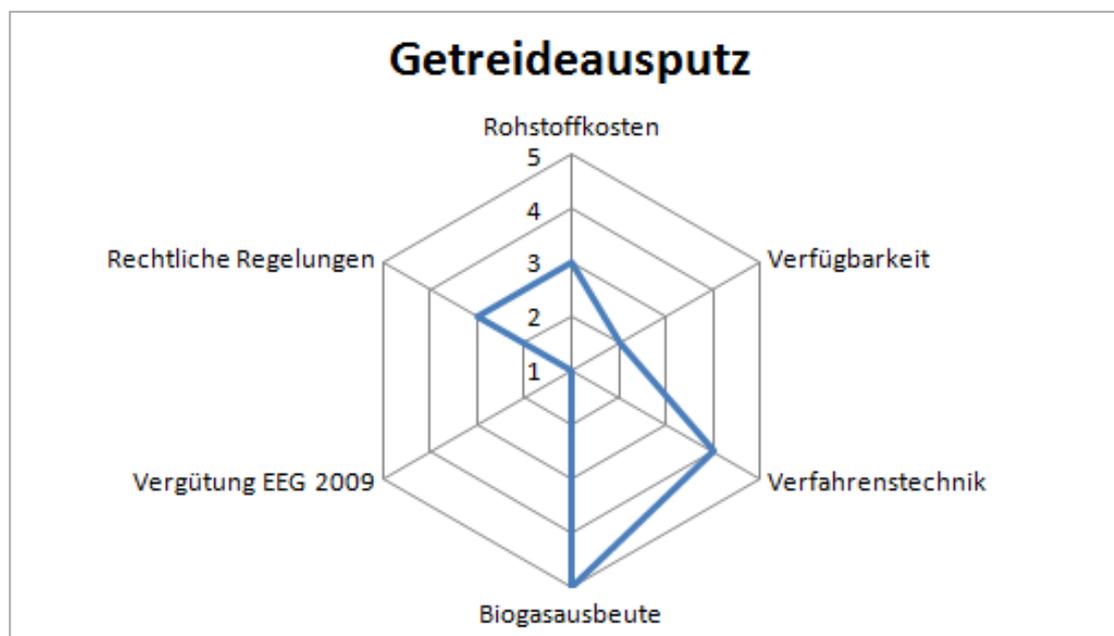


Abbildung 20: Substrateigenschaften von Getreideausputz (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.8 Reststoffe aus dem der Acker- und Gemüsebau

Vor allem auf Betrieben mit gemüsebaulichen Kulturen wachsen neben den vermarkteten Pflanzen(teilen) erhebliche Mengen an Pflanzenmaterial heran, die keinen Marktwert besitzen und daher nur innerbetrieblich verwertet werden können. Diese Substratgruppe umfasst ein breites Spektrum an Biomasse, unter anderem:

- Nicht verwertbare Pflanzenorgane von Marktfrüchten (z.B. Rübenblatt, Möhrenkraut)
- Nicht angemessen vermarktbar Erzeugnisse, z.B. bei Qualitätsmängeln oder Marktsättigung
- Bei der Aufbereitung anfallende Reste (z.B. Kohlblätter, aussortierte Kartoffeln)

Anfall und Verteilung in den Betrieben sind sehr unterschiedlich und können von Jahr zu Jahr erheblich schwanken.

Die grundsätzlich erwünschte Nutzung dieser ohnehin anfallenden Biomassen als Einsatzstoffe in BioBiogasanlagen ist differenziert zu prüfen. Je nach Art der Materialien und ihrer Herkunft unterscheiden sich sowohl ihre Verfahrenseigenschaften als auch die rechtliche und vergütungsbezogene Situation erheblich.

Bedeutung für BioBiogas: Während die Biogaserzeugung für ökologisch wirtschaftende Acker- und Gemüsebaubetriebe eine wesentliche Rolle spielen kann (bei der effizienten innerbetrieblichen Nutzung anfallender Reststoffe), wird die Bedeutung dieser Substrate für die Biogaserzeugung voraussichtlich auf den meisten Betrieben gering bleiben. In den meisten Fällen dürfte sich die Nutzung derartiger Reststoffe auf den saisonalen Einsatz eines geringen bis mäßigen Anteils beschränken. Ursachen hierfür sind der stark schwankende und nur mäßig planbare Anfall, teilweise geringe Biogasausbeuten bei hohen Wassergehalten, die bislang oftmals nicht vorgesehene Logistik und Lagerung sowie meist Nachteile bei der Vergütung und Hürden durch die rechtliche Einordnung und den Verwaltungsaufwand.

Verfügbarkeit: Reststoffe aus dem Acker- und Gemüsebau fallen in erheblichen Mengen vor allem in spezialisierten Betrieben an. Saisonal sind diese vor allem in Spätsommer und Herbst verfügbar. Eine Konservierung erfolgt in der Regel nicht. Während bereits geerntete Produktpartien (Ausschuss oder Überschuss-

ware) der Biogaserzeugung problemlos zur Verfügung stehen, ist die Verfügbarkeit von Pflanzen(teilen), die üblicherweise auf dem Feld verbleiben, oft nur bei erheblichen Erfassungs- und Transportaufwand gegeben.

Herausforderungen: Ein wesentliches Hemmnis des Einsatzes stellt die gegenüber Energiepflanzen und Mist oder Gülle abweichende rechtliche Einstufung dar. Insbesondere bezüglich der EEG-Vergütung und der Einstufung in Hinblick auf die Bioabfallverordnung fallen unterschiedliche Reststoffe aus der pflanzlichen Erzeugung in verschiedene Gruppen. Wegen der sehr unterschiedlichen Auswirkungen auf die Zulässigkeit des Einsatzes und der Stromvergütung, der juristisch komplexen Einschätzung und den erheblichen Folgen einer unzulässigen Nutzung als Substrat bis hin zum Verlust von Vergütungsbestandteilen für die gesamte Anlage und einer Gefährdung der Betriebsgenehmigung ist vor der Nutzung der Reststoffe die rechtliche Lage stets sorgfältig zu prüfen. So ist insbesondere der Einsatz von rein pflanzlichen Nebenprodukten für Bestandsanlagen gemäß EEG 2004 gar nicht, für gemäß EEG 2009 oder 2012 in Betrieb genommene Anlagen nur mit erhöhtem Verwaltungs-, Begutachtungs- und Dokumentationsaufwand möglich. Nebenprodukte aus der Gemüseverarbeitung dagegen sind bis einschließlich EEG 2012 ohnehin ausschließlich in Bioabfallanlagen zulässig. In aller Regel entfällt der Nawaro-Bonus für den Stromertrag, der dem vorschriftsmäßigen Einsatz pflanzlicher Nebenprodukte zugeordnet ist. Zudem werden die meisten Reststoffe aus dem Acker- und Gemüsebau als Bioabfall eingestuft. Beim Einsatz dieser Stoffe sind daher zusätzlich die Anforderungen der Bioabfallverordnung zu beachten mit zusätzlichem Dokumentationsaufwand und Einschränkungen bei der Ausbringung dieser Stoffe auf landwirtschaftlichen Flächen. Zusätzlich zu prüfen sind die jeweiligen Bestimmungen der ökologischen Anbauverbände in Bezug auf die Nutzung von Bioabfällen.

Die genannten Hemmnisse führen häufig auch deshalb dazu, dass entsprechende Stoffe direkt auf dem Feld verbleiben oder kompostiert werden, weil der zu erzielende Ertrag durch die Biogaserzeugung vergleichsweise gering ist. Gemüsenebenprodukte verfügen bei hohem Wassergehalt oft über nur geringes Biogaspotenzial, so dass der Ertrag häufig den zusätzlichen Aufwand für Erfassung, Transport und möglicherweise Lagerung und Konservierung nicht decken kann.

Verfahrensführung: Bei geringen Anteilen am Substratmix lassen sich pflanzliche Reststoffe aus dem Gemüsebau meist problemlos mit verarbeiten. Je nach Biomasseart kann es für die Verfahrenstechnik (z.B. bei langen, zähen Fasern)

oder für den Biogasertrag (z.B. bei ganzen Kartoffeln) notwendig sein, die Einsatzstoffe vor dem Eintrag oder im Gärprozess zusätzlich zu zerkleinern. Entsprechend dem untergeordneten Anteil am Gesamtsubstrat bietet sich dafür in Landwirtschaft oder Biogaserzeugung bereits vorhandene Technik an wie z.B. Häcksler, Schredder oder Zerkleinerer im Feststoffeintrag.

Substratkombinationen: Zu berücksichtigen ist der oft mäßige Biogasertrag der Reststoffe. Bei saisonal wechselnden Einsatzmengen in erheblichen Anteilen ist dies für eine konstante Energieerzeugung in der Gestaltung der Gesamtration zu berücksichtigen. Während dieses Zeitraums ist daher möglicherweise zum Ausgleich der Einsatz von Biomassen mit höherer Biogasausbeute (z.B. Maissilage, Getreideprodukte o.ä.) zu verstärken. Wie bei allen saisonal genutzten Einsatzstoffen sollte die Umstellung der Substratmischung allmählich erfolgen, um eine Beeinträchtigung der Fermenterbiologie zu vermeiden.

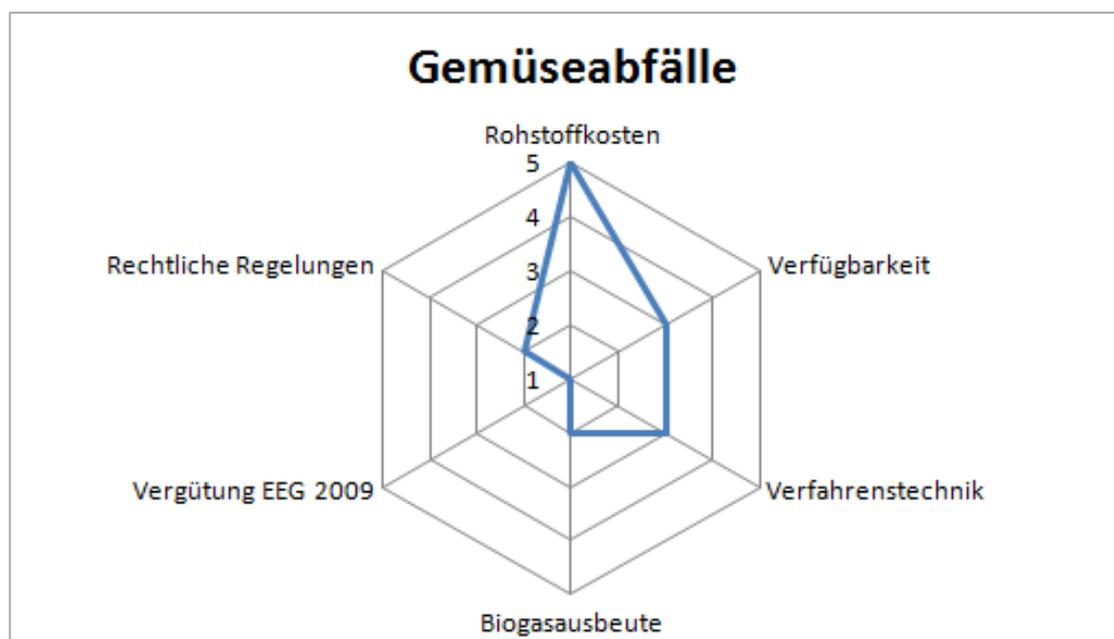


Abbildung 21: Substrateigenschaften von Gemüseabfällen (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.9 Stroh

Die Vergärung von Stroh in Biogasanlagen ist nach dem gegenwärtigen Stand der Technik in der Biogaserzeugung wenig verbreitet und in der Regel nur mit erheblichem Zusatzaufwand möglich. Unverzichtbar ist ein gründlicher Zellaufschluss der stark lignifizierten Biomasse. Zudem kann auch zerkleinertes Stroh durch seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften das Verfahren in

herkömmlichen Biogasfermentern - z.B. durch Aufschwimmen, Verklumpen, Vernetzen - erheblich beeinträchtigen.

Die ökologische Tierhaltung benötigt in Bezug auf seine Tierzahlen erheblich mehr Stroh als die konventionelle Tierhaltung. Sowohl die Öko-Verordnung und die Richtlinien der Anbauverbände als auch die wirtschaftliche Praxis sehen die Nutzung von Stroh bei allen Tierarten vor – von eingestreuten Liegeboxen bis hin zur einstreuintensiven Schweine- und Rinderhaltung auf Tiefstreu. Die hier genutzten Strohmenngen spielen als Festmist eine wesentliche Rolle in BioBiogasanlagen. Unvermishtes Stroh dagegen fällt als Reststoff nur in viehlosen Regionen oder in Gegenden mit sehr geringem Viehbestand an. Nach Deckung des oft auch in ackerbaulich geprägten Regionen vorhandenen Bedarfs an Einstreu z.B. für Mast- und Pferdebetriebe wäre auch in BioBiogasanlagen die Vergärung von Stroh eine mögliche Option. Da gerade in solchen Regionen systemangepasste BioBiogasanlagen einen Schwerpunkt auf Klee gras oder andere faserreiche Gemenge mit mäßiger Biogasausbeute als Einsatzstoff legen ist davon auszugehen, dass sowohl Trockensubstanzgehalte als auch Fasergehalte bereits hoch sind und die vorhandene Technik häufig in dieser Hinsicht bereits weitestgehend ausgelastet ist. Eine zusätzliche Belastung des Systems mit weiteren verfahrenstechnisch problematischen Einsatzstoffen wird aus betrieblicher Sicht nur dann sinnvoll sein, wenn erhebliche Vorteile für Biogaserzeugung und/oder den Ackerbau erwartet werden. Eine Pionierfunktion der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau bei der Strohvergärung ist daher nicht zu erwarten. Sollte die Aufbereitung und Vergärung von Stroh sich künftig in der konventionellen Biogaserzeugung bewähren, so ist der Einsatz von Stroh bei entsprechenden Voraussetzungen auch in BioBiogasanlagen denkbar. Von Vorteil könnte unter dieser Voraussetzung das sehr weite C:N-Verhältnis des Materials sein, das in Rationen mit hohem Leguminosenanteil den Ammoniumanteil senken und damit einer Stickstoffhemmung entgegenwirken könnte.

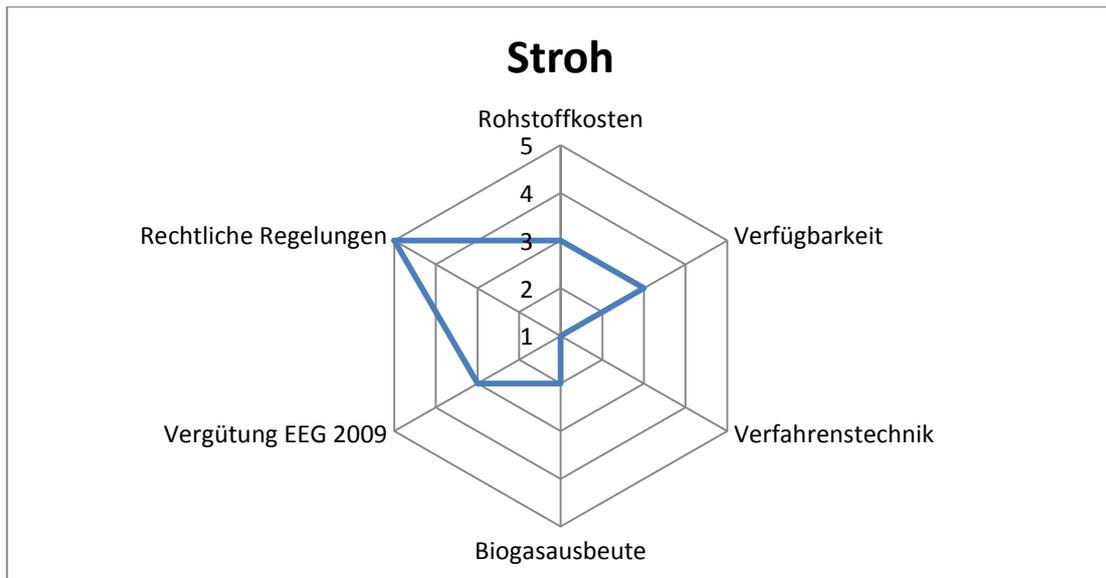


Abbildung 22: Substrateigenschaften von Gemüseabfällen (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.10 Futterreste

Vor allem in Betrieben mit Rauhfutterfressern (Rinder, Schafe, Ziegen, z.T. Schweine) fallen Futterreste an. Dabei handelt es sich vor allem um den Tieren vorgelegte, von diesen jedoch nicht aufgenommene Anteile der Futtermittel, insbesondere frische Grünmasse, Silagen und Heu. Im weiteren Sinne können Futterreste auch Teilchargen von Futtermitteln umfassen, die bei der Futtervorlage als ungeeignet für die Tierfütterung aussortiert wurden. Dazu gehören beispielsweise nacherwärmte, verschimmelte oder anderweitig verdorbene Silagen, Grünfutter mit ungenießbaren oder gesundheitsschädlichen Beimengungen (Giftpflanzen, Kot), aber auch verdorbenes Kraftfutter (z.B. durch Schimmel oder Feuchtigkeit). Auch überschüssige Reste von Futterchargen, die durch Zeitablauf verderben (z.B. bei zwischenzeitlichem Leerstand des Stalles), zählen in diese Gruppe.

Üblicherweise werden Futterreste durch Feldausbringung als Nährstoff- und Humusquellen für den Ackerbau genutzt. Eine zielgerichtete Nutzung entfällt jedoch in aller Regel wegen des ungleichmäßigen Anfalls und der je nach Material stark schwankenden Eigenschaften des Materials. Meist werden Futterreste lediglich dem vorhandenen Festmist zugegeben und bei Dünge- und Bodenfruchtbarkeitsmanagement nicht differenziert betrachtet. Dem gegenüber bietet die Nutzung von Futterresten zur Biogaserzeugung mehrere Vorteile:

- Die nutzbare Energie wird verwertet.
- Die Lagerung unbehandelter Futterreste bis zur Ausbringung entfällt. Dies verringert das Risiko hygienischer Verunreinigungen auf dem Betrieb (z.B. durch Schädner).
- Die enthaltenen Nährstoffe und humusbildenden Stoffe werden über den Gärrest effizient verwertbar und können bei Nährstoffbilanzen etc. berücksichtigt werden.
- Die Ausbringung erfolgt problemlos mit dem Gärrest

Bei der Verwertung von Futterresten als Energieträger in der Biogasanlage ist zudem denkbar, dass für die Tierfütterung ungeeignete Partien möglicherweise konsequenter als bisher aussortiert werden. Dies kann positive Auswirkungen haben auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Nutztiere.

Der Einfluss von Futterresten auf die Biogaserzeugung dagegen bleibt in der Regel begrenzt. Bei Futterresten in Höhe von ca. 2 % der Rinderration leisten diese bei einem Betrieb mit 200 Großvieheinheiten einen Beitrag in der Größenordnung von nur 30 t TM pro Jahr zur Substratversorgung. Gleichzeitig ist vor allem bei Raufutter wegen der geringen Substratqualität von einer relativ geringen Biogasausbeute auszugehen: Futterreste im Trog, die von den Tieren übrig gelassen wurden, enthalten in der Regel einen hohen Anteil holziger Fasern und sehr geringe Anteile leicht vergärbare Kohlenhydrate. Auch bei aus qualitätsgründen verworfenen Teilchargen ist die zu erwartende Biogasausbeute unterdurchschnittlich: Teilweise haben Gärung oder Veratmung bereits begonnen und das Biogaspotenzial reduziert. Zu beachten ist zudem, dass Futterreste mit hohen Anteilen an Fremdstoffen (z.B. Sand, Erde, Bänder) oder mit starkem Schimmelbefall auf Fermenterbiologie und/oder Verfahrenstechnik auch bei geringen Gesamtmengen negative Auswirkungen haben können. Entsprechend belastete Chargen sind daher auszusondern.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Futterreste innerbetrieblich in der Biogasanlage genutzt werden können soweit sie ohne erhebliche Schimmel- und Fremdstoffbelastung sind. Auf diesem Wege können sie meist ökologisch und ökonomisch sinnvoll verwertet werden. Zur Substratversorgung von Biogasanlagen im ökologischen Landbau werden Futterreste in der Regel nur einen untergeordneten Beitrag leisten, da der Anfall vor Ort meist nur wenige t TM pro Jahr ausmacht. Der Biogasertrag der Reste wird in der Regel leicht bis deutlich unter dem der jeweiligen Futtermittel liegen. Wegen hoher Schwankungsbreiten und der geringen Gesamtmasse werden Futterreste bei der Substratversorgung von Biogasanlagen meist nicht ertragswirksam berücksichtigt. Möglich ist die pauschale Berücksichtigung von Futtermittelresten mit dem Substratanteil

Festmist oder Gülle. Zu berücksichtigen ist dabei, dass Gülle mit Futterresten einen höheren Biogasertrag je m<sup>3</sup> aufweist als reine Gülle.

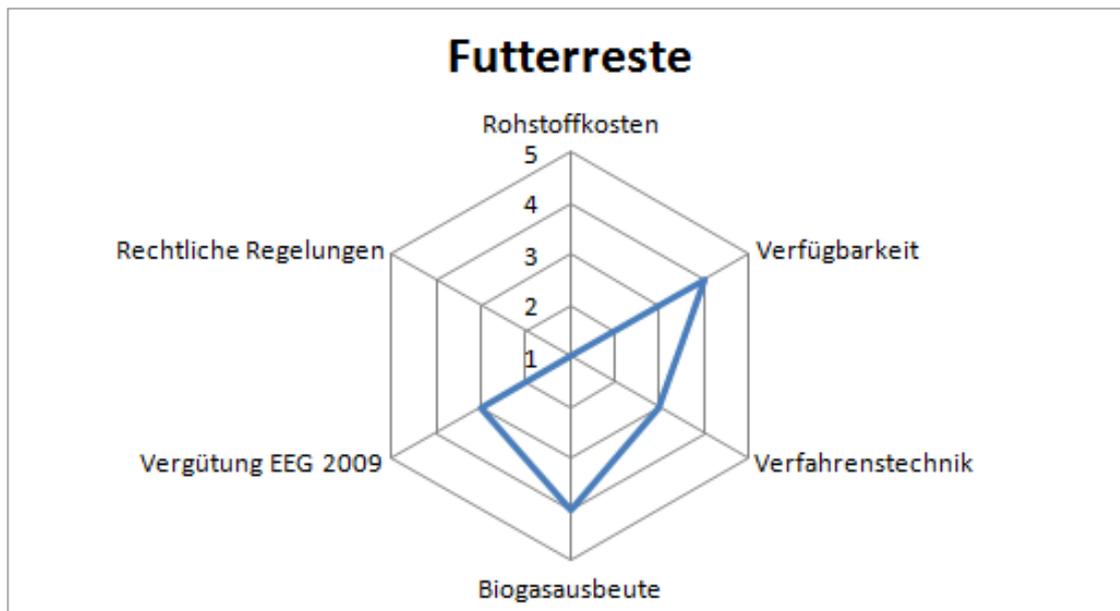


Abbildung 23: Substrateigenschaften Futterreste (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.11 Molke

Die bei der Milchverarbeitung anfallende Molke kann zur Biogaserzeugung genutzt werden. Bisher wurde Molke in Biomolkereien in der Regel als Kosubstrat gemeinsam mit nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen verwertet (z.B. Bakensholzer Meierei, Osterohrstedt). Aktuell wird auch die Monovergärung von Molke umgesetzt, z.B. von der Biokäserei Monte Ziego im Schwarzwald.

Im ökologischen Landbau überdurchschnittlich häufig anzutreffen sind landwirtschaftlich geführte Hofmolkereien oder kleinere gewerbliche Molkereien im landwirtschaftlichen Umfeld. Kleine Hofmolkereien verarbeiten meist rund 10.000 – 30.000 kg Milch pro Jahr. Typische Verarbeitungsmengen für größere Hofmolkereien liegen bei etwa 200.000 bis über eine Million kg Milch pro Jahr (Redelberger & Albrecht-Seidel 2006). Der Molkeanteil beträgt ca. 60-90 % des eingesetzten Rohstoffs (Gaida et al. 2013).

Wird die bei Verarbeitung von einer Million Liter Milch anfallende Molke zur Biogaserzeugung genutzt, kann damit eine elektrische Leistung in der Größen-

ordnung von 10 kW erzeugt werden. Da wirtschaftlich umsetzbare Biogasanlagen derzeit nur mit deutlich höherer Leistung umsetzbar sind wird der Molkeanfall von Hofmolkereien dieser Größenordnung bei Biogasanlage in der Regel lediglich als untergeordnetes Kosubstrat eingesetzt. Der Molkeanfall größerer Biomolkereien dagegen kann als Biogassubstrat durchaus auch mengenmäßig von Bedeutung sein. So betrieben einige Molkereien Standorte, an denen 50 Millionen und mehr Liter Biomilch verarbeitet werden (Andechser Meierei: 92 Mio. Liter (Andechser Natur 2014). Molkerei Söbbeke 50 Mio. Liter (Söbbeke 2014), Gläserne Meierei: über 100 Mio. Liter an zwei Standorten (Gläserne Molkerei GmbH 2014)). Beträgt der Molkeanfall ca. 80 % des Rohstoffs bei 5 % TM, so lässt sich mit der Molke von 50 Mio. Liter Milch eine Bemessungsleistung von immerhin rund 323 kW<sub>el</sub> erzielen (Berechnung: (KTBL 2013)).

Da die Transportwürdigkeit insbesondere von frischer Molke ähnlich niedrig ist wie die von Gülle kommt eine Vergärung in der Regel nur in unmittelbarer Nähe des Anfalls in Frage. Der Einsatz von Molke zur Biogaserzeugung kommt zudem aus wirtschaftlichen Erwägungen und aus Effizienz- und Ressourcenschutzgesichtspunkten meist nur in Frage, soweit keine Nachfrage nach höherwertigerer Nutzung als Futter- oder Lebensmittel besteht.

Molke gilt als Bioabfall im Sinne der Bioabfallverordnung. Biogasanlagen, die dieses Substrat einsetzen, unterliegen daher zusätzlichen Auflagen bezüglich der Analyse von Gärprodukten, der Hygienisierung und der Ausbringung der Gärreste als Düngemittel. Andererseits erhalten nach 1.8.2014 in Betrieb genommene Biogasanlagen, die zu über 90% Molke und andere Bioabfälle einsetzen, gemäß EEG 2014 eine erhöhte Einspeisevergütung (bei Inbetriebnahme 2014: 15,26 €/kWh) und zählen daher zu den wenigen Anlagenkonzepten im ökologischen Landbau, für die derzeit eine wirtschaftliche Umsetzung von Neuanlagen möglich ist.

Im Vergleich zu Tabellenwerten der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern haben Versuche im Pilotmaßstab um ca. 10% höhere Biogausbeuten sowie erheblich höhere Methangehalte (60 % statt 53,5 %) gezeigt (Weisser 2006). Sowohl im Pilotmaßstab als auch im Praxisbetrieb kann Molke in Monovergärung zur Biogaserzeugung genutzt werden.

Kombination mit weiteren Substraten: Die Biogaserzeugung aus Molke erfolgt vergleichsweise rasch, da sie neben Wasser vor allem die leicht vergärbaren Bestandteile Lactose und Molkenproteine enthält. Bezogen auf die Trockensubstanz sowie die organische Trockenmasse ist der Biogasertrag sehr hoch.

Die Nutzung von Molke als Kosubstrat kann daher erhebliche Vorteile bringen einerseits für Substratmischungen, bei denen eine Verringerung des Trockenmassegehalts erwünscht ist für eine Entlastung der Rührtechnik und eine Verbesserung der mikrobiologischen Prozesse. Andererseits kann Molke in gewissem Rahmen die Dynamik der Gaserzeugung in Kombination mit eher schwer vergärbaren Substraten erhöhen und bei mäßigem Einfluss auf die Raumbelastung ( $t \cdot oTS/m^3 \text{ Fermentervolumen} \cdot d$ ). Bei Anlagen, die neben Molke ausschließlich Gülle oder weitere flüssige Substrate füttern, kann auf einen Feststoffeintrag verzichtet werden. Zu beachten ist, dass Molke wegen des hohen Wassergehalts eine erhebliche Menge an Fermentervolumen benötigt, wenn es mit der gleichen Verweilzeit verarbeitet wird wie Substrate, die eine langsamere Gasbildung aufweisen (z.B. Mais, Gras, Festmist). Wird Molke als ein Substrat mit hohen Anteilen an der Gesamtfütterung genutzt, kann eine Kombination mit ebenfalls schnell vergärbaren Substraten sinnvoll sein, um die Verweilzeit im Fermenter und die Gasbildungsdauer der Substrate aufeinander abstimmen zu können. Ökonomisch vorteilhaft ist eine Kombination mit Substraten, die nicht der Pflicht zur gasdichten Abdeckung über 150 Tage unterliegen (gemäß EEG) – so kann die kostenintensive methandichte Lagerung dieses wasserreichen Substrats auf den Zeitraum beschränkt werden, in der tatsächlich eine Restgasbildung stattfindet.

Festzuhalten ist, dass Molke im Einzelfall eine interessante Option für die Biogaserzeugung im Ökolandbau sein kann. Notwendig ist hierfür aufgrund der geringen Transportwürdigkeit die Biogasverwertung in unmittelbarer Nähe des Anfalls entsprechender Mengen in Monovergärung oder als Kosubstrat. Zu prüfen ist, ob eine alternative Nutzung als Futter- oder Nahrungsmittel sinnvoll und ökonomisch vorteilhaft ist. Da Molke als Bioabfall zählt, gelten für Biogasanlagen bei der Nutzung zusätzliche Auflagen, aber unter Umständen auch eine vergleichsweise hohe Stromeinspeisevergütung für Neuanlagen gemäß EEG 2014.

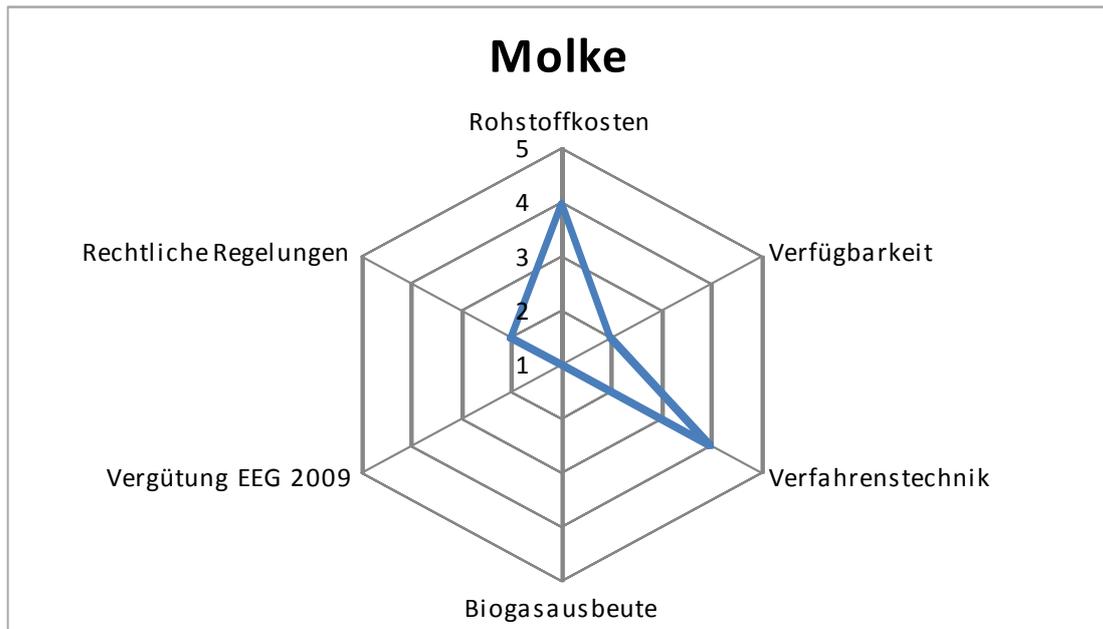


Abbildung 24: Substrateigenschaften von Molke (Netzdiagramm 1= nachteilig, 5 = vorteilhaft, Erläuterungen siehe Tabelle 10)

### 5.3.12 Übersicht über die Gaserträge der unterschiedlichen Substrate

Tabelle 11: Übersicht über die Gaserträge der aufgeführten Substrate

Substrat	Methanausbeute (Nm <sup>3</sup> /t oTS)			Quelle
	Min	Ø	max	
Futterleguminosen	275		432	
Kleegras	280	275	330	(Hartmann & Sticksel 2010; Neff 2007)
Klee-/Luzernesilage		292		(KTBL 2009)
Luzerne		432		(Hrbek et al. 2007)
Wiesengras (intensiv)	200		400	
Gras	200	310	400	(FNR 2013a; KTBL 2009)
Gras, Frisch		324		(KTBL 2015)
Wiesengras	291		341	(Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2013)
Grünschnitt		369		(FNR 2013a)
Landschaftspflegegras	100		200	(KTBL 2009)
Zwischenfrüchte	247		335	
Grünroggen		318		(KTBL 2009)
Hafer/Erbse/Wicke	280	305	339	(Neff 2007; Pehlken et al. 2014)
Weidelgras/Wicke		265		(Neff 2007)

Substrat	Methanausbeute (Nm <sup>3</sup> /t oTS)			Quelle
	Min	Ø	max	
W-Raps/Weidelgras		330		(Neff 2007)
Zwischenfrucht		335		(Hrbek et al. 2007)
Wintererbse		298		(Graß 2014)
Senf-Phacelia-Ge- menge		222		(Graß 2014)
<b>Festmist</b>	<b>130</b>		<b>360</b>	
Festmist Rind	130	250	330	(FNR 2013a)
Mist Geflügel	200	280	360	(FNR 2013a)
Schafmist		248		(Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2013)
Pferdemist		255		(KTBL 2015)
<b>Gülle</b>	<b>110</b>		<b>360</b>	
Gülle Rind	110	210	275	(FNR 2013a)
Gülle Schwein	180	250	360	(FNR 2013a)
<b>Getreidenebenpro- dukte</b>	<b>172</b>		<b>380</b>	
Getreidekorn		380		(FNR 2013a)
Getreide (Ausputz)		354		(KTBL 2015)
Getreidestaub		360		(KTBL 2015)
Getreideabfälle	351		375	(KTBL 2009; KTBL 2015)
<b>Reststoffe aus dem Acker- und Gemüse- bau</b>	<b>270</b>		<b>362</b>	
Gemüse (aussor- tirtes)	320		350	(Ministerium für Ländli- chen Raum und Verbrau- cherschutz Baden-Würt- temberg 2014)
Gemüseabputz	280		350	(Ministerium für Ländli- chen Raum und Verbrau- cherschutz Baden-Würt- temberg 2014)
Obstrestler		270		(KTBL 2015)
Kartoffelschlempe		362		(KTBL 2015)
<b>Stroh</b>	<b>189</b>		<b>208</b>	
Stroh		208		(KTBL 2009)
Triticalestroh		189		(Hrbek et al. 2007)
<b>Futterreste *</b>		<b>57</b>		
<b>Molke</b>	<b>396</b>		<b>411</b>	(KTBL 2015)
Labmolke einge- dickt		396		Eigene Berechnungen
Labmolke frisch		396		Eigene Berechnungen

Substrat	Methanausbeute (Nm <sup>3</sup> /t oTS)			Quelle
	Min	Ø	max	
Molke teilentzuckert trocken		411		Eigene Berechnungen
Sauermolke eingedickt		397		Eigene Berechnungen
Sauermolke frisch		397		Eigene Berechnungen

\* m<sup>3</sup> Biogas/t FM

## 5.4 Substratmischungen

Bisher nur ansatzweise erkannt sind die zusätzlichen positiven Wirkungen im Biogasprozess, die durch die kombinierte Fütterung verschiedener Substrate erreicht werden können. Berichtet wird von einer Stabilisierung der Prozessbiologie durch die Wirksamkeit einer breiten Vielfalt an Mikroorganismen im Fermenter durch Substratvielfalt. Zudem scheinen die Wechselwirkungen von Substraten je nach Kombination eine Beschleunigung des Abbaus und damit geringere Verweilzeiten zu ermöglichen.

Aufgrund der Vielzahl möglicher Kombinationen, der Vielschichtigkeit der sich überlagernden ökonomischen, technischen, rechtliche und mikrobiologischen Faktoren bei der Rationsgestaltung und gleichzeitig der Unsicherheit bezüglich positiver Synergien ist die praxisgerechte wissenschaftliche Ermittlung idealer Substratkombinationen beim derzeitigen Kenntnisstand nicht möglich.

Im Folgenden werden daher einige Rezepturen angegeben, die als passend für unterschiedliche Betriebsstrukturen des ökologischen Landbaus in Deutschland betrachtet werden können unter den herrschenden Bedingungen. Zu unterscheiden sind dabei vor allem viehlose Betriebe, Futterbaubetriebe mit Tierhaltung und Betriebe mit Weiterverarbeitung. Zudem spielt die Betriebsgröße eine wesentliche Rolle, vor allem bei der Versorgung mit Wirtschaftsdüngern.

Basis der Substratbeschaffung im viehlosen System sind ein- oder mehrjährige Leguminosen-Gras-Gemenge – in der Regel Klee gras, in trockeneren Regionen auch Luzernegras. Bei herkömmlichen Biogassystemen bleibt der Einsatz dieser langfaserigen und stickstoffreichen Substrate mit verhaltener Umsetzungsdynamik in der Praxis meist auf rund 50-70 % beschränkt. Als Ergänzung dienen je nach Verfügbarkeit stärkereiche, leicht vergärbare Silagen (z.B. Mais-silage) oder anfallende stärkereiche Substrate (Mindergetreide, Ausputz aus

Getreidereinigung oder –verarbeitung). Von feinkörnigen Getreideresten wird in der Praxis berichtet, dass die Kombination mit Klee gras im Substrateintrag vorteilhaft auf die Gleitfähigkeit des Substrats und die Funktionsfähigkeit des Stoffeintrags wirkt. Bei Zwischenfruchtanbau kann ein Anteil aus Zwischenfruchternte hinzu kommen. Auch in Ackerbauregionen verfügen Ökolandwirte häufig über geringe Anteile an Wiesenflächen, die dann eher extensiv bewirtschaftet werden und als zusätzliche Substratquelle dienen können. Zudem werden – soweit regional verfügbar – häufig zumindest geringe Anteile an Wirtschaftsdünger verwendet, auch als Unterstützung eines robusteren Gärprozesses.

#### Ration1: Viehloser Betrieb (mit Futter-Mist-Kooperation)

50 % Klee grassilage  
15 % Grassilage extensiv  
10 % Zwischenfrüchte  
20 % Maissilage  
5 % Rindermist

#### Ration 2: Futterbaubetrieb mit Milchviehhaltung und Milchverarbeitung

30 - 40 % Klee gras- und Grassilage (mindere Qualitäten)  
10 % Maissilage (mindere Qualitäten)  
25 % Rindermist  
20 - 30 % Rindergülle  
5 % Molke

#### Ration 3 Ackerbaubetrieb mit Schweinehaltung:

45 % Klee gras  
5 % Grassilage  
15 % Maissilage  
30 % Schweinemist  
5 % Getreideausputz

Bei der Gesamtbetrachtung der verfügbaren Substrate fällt auf, dass der überwiegende Teil dieser Substrate einige Gemeinsamkeiten aufweist:

- faserige Struktur
- hohe Gehalte an (Ligno)cellulose
- hohe Stickstoffgehalte

Diese Eigenschaften stellen für die Biogaserzeugung dann eine Herausforderung dar, wenn sie beim überwiegenden Teil der Substrate einer Anlage verstärkt auftreten. Für die Vergärung vorteilhaft ist die Kombination dieser Biomassen in der täglichen Ration mit Substraten, die relativ leicht vergärbar und eher kohlenhydrat- und zellulose- als stickstoffreich sind. Zudem sollten sie - soweit eine Substratvorbehandlung nicht erfolgt – eine für die Technik problemlos zu verarbeitende Struktur besitzen. Hierzu gehören unter anderem:

- Maissilage
- Getreide-Ganzpflanzensilagen
- Zuckerrüben
- Getreide(erzeugnisse)

Derartige Substrate fallen im typischen ökologischen Ackerbau- oder Futterbaubetrieb nicht ohne weiteres an, so dass ein besonderer Bedarf an Rohstoffen mit diesen Eigenschaften zur Ergänzungsfütterung besteht. Entsprechende Rohstoffe aus der Lebensmittelverarbeitung (z.B. Getreidenebenprodukte), sofern verfügbar, können hier auch bei vergleichbar geringerer Gesamtmenge eine wesentliche Rolle spielen. Unter dem Aspekt der Ausgleichsfütterung ist auch die Nutzung von Pflanzen zu sehen, die im Ökolandbau vorrangig zur Energieerzeugung angebaut wurden. Verträgt sich die vorwiegende Beschickung von BioBiogasanlagen mit Energiepflanzen weder mit der Idee noch mit den ertraglichen und ökonomischen Bedingungen des Ökolandbaus, so kann die gezielte Nutzung geeigneter Rohstoffpflanzen als Koferment eine stabile und effiziente Vergärung der überwiegend eingesetzten „anfallenden“ Biomassen ermöglichen. Zu untersuchen wäre eine ackerbauliche Bewertung möglicher Substrate mit zur Ausgleichsfütterung gewünschten Eigenschaften im Rahmen von Fruchtfolgebetrachtungen um den Nutzen des Biogassystems im System Ackerbau zu maximieren.

## 6 Technologische Aspekte von Biogasanlagen im Ökolandbau

(Verantwortlich: Ecofys Germany GmbH)

Seit den 1980er Jahren werden Biogasanlagen im Ökolandbau eingesetzt. Ökolandwirte gelten mit als Pioniere der Biogasanlagenentwicklung (neben anderen). Inzwischen hat die (insbesondere konventionelle) Biogasbranche durch die Novellierungen des EEG, speziell seit 2004, einen enormen Wachstumsschub erfahren. In Folge der Realisierung von tausenden von Anlagen (ca. 7.500 Stück, Ende 2012, (Fachverband Biogas 2013)), die inzwischen über viele Jahre Betriebserfahrung verfügen, ist die Technik von Biogasanlagen stark optimiert worden. Die Biogasanlagentechnologie kann inzwischen als auf dem „Stand der Technik“ befindlich angesehen werden.

Trotz der großen Erfahrung im Biogasanlagenbau und –betrieb bleibt es eine Herausforderung, die Anlagen auf die speziellen Bedingungen des Ökolandbaus optimal anzupassen. Aufgrund der unterschiedlichen eingesetzten Substrate im Vergleich zum konventionellen Betrieb muss auch die Biogastechnologie angepasst werden. Diese technische Anpassung resultiert insbesondere aus folgenden, für den Ökolandbau spezifischen, Bedingungen:

**Exkrement:** Im Ökolandbau stehen die Tiere vorwiegend auf Stroh bzw. sind Weidegänger. Im Vergleich zum konventionellen Landbau liegt dementsprechend die Gülle in wesentlich geringerem Umfang als dünnflüssige Gülle oder Jauche vor. Stroh besteht zu erheblichem Anteil aus Lignin, das in der Biogasanlage nicht zersetzt wird, sowie faserreichen Zelluloseanteilen, die zur optimalen Vergärung eine Vorbehandlung und/oder lange Verweilzeiten erfordern.

**Pflanzenmaterial:** Die im Ökolandbau vorwiegend eingesetzten Substrate (siehe auch Kapitel 0) haben tendenziell einen hohen Faser-, Lignin- und Zelluloseanteil.

**Größe:** Biogasanlagen im Ökolandbau sind im Durchschnitt kleiner als konventionelle Anlagen, hauptsächlich weil weniger Fläche eingesetzt werden. Dadurch gibt es eine hohe Motivation zur Realisierung von Gemeinschaftsanlagen (siehe Kapitel 7).

Teilweise werden in Biogasanlagen im Ökolandbau Substrate mit hohem Proteingehalt eingesetzt. Dieses resultiert tendenziell daraus, dass nicht wie in konventionelle Anlagen hohe Anteile von Nawraro bzw. Maissilage (mit hohem Stärke- aber geringem Proteinanteil) eingesetzt werden. Dadurch muss, im Vergleich zu konventionellen Anlagen, mit tendenziell höheren Stickstofffrachten umgegangen werden.

Insgesamt liegen im Ökolandbau Gärsubstrate vor, die durch einen höheren N-Gehalt sowie durch einen höheren Feststoff- bzw. Faseranteil charakterisiert werden können.

Prinzipiell werden die Biogasanlagen im Ökologischen Landbau nach ähnlichen Verfahren und mit ähnlichen Komponenten wie konventionelle Biogasanlagen ausgeführt. An dieser Stelle soll keine Wiederholung der Technologiebeschreibung konventioneller Biogasanlagen erfolgen. Dieses ist in anderen Studien bereits ausreichend publiziert worden z.B. in (FNR 2013b). In diesem Bericht wird, konventionelle Biogastechnologie voraussetzend, auf die speziellen Anforderungen von Biogasanlagen in Ökobetrieben eingegangen.

## **6.1 Robuste Technologie**

Die im Ökolandbau verwendeten Komponenten müssen auf den hohen Faser- und Feststoffgehalt der Substrate angepasst werden. Dieses muss sowohl bei der Konstruktion der Anlage als auch in der Auswahl der Komponenten berücksichtigt werden.

### **6.1.1 Konstruktive Maßnahmen**

Schon bei der Planung einer Biogasanlage werden die wesentlichen Entscheidungen getroffen, mit denen oft in der gesamten Betriebszeit der Anlage umzugehen ist. Der Erfolg des Projektes wird oft schon in der Planungsphase entschieden. Natürlich sollten die typischen Regeln erfolgreicher Konstruktion eingehalten werden. Zusätzlich sind aber die Bedingungen des Ökolandbaus zu beachten. Aufgrund der vielen ineinandergreifenden Konstruktionsmöglichkeiten und des begrenzten Rahmens dieses Berichtes können an dieser Stelle keine Konstruktionsanleitungen erfolgen, sondern nur andeutungsweise ein paar besonders kritische Aspekte dargestellt werden.

**Rohrleitungen.** Insbesondere aufgrund des faserreichen Materials sind Rohrleitungen mit ausreichend großem Durchmesser zu planen. Die Konstruktion der Rohrleitungen sollte möglichst wenig Richtungswechsel (Abknickungen) aufweisen und, wo diese notwendig sind, diese mit großen Radien ausgeführt werden.

**Entfernungen.** Die Entfernungen der Substrattransporte sollten möglichst gering sein (insbesondere für Pumpvorgänge).

**Sandaustrag.** Die eingesetzten Substrate haben tendenziell einen hohen Sand-, bzw. Steinanteil. Dieses ist beispielsweise bedingt, durch einen hohen Anteil an Weidegängern, bzw. Freilandhaltung bei der Viehhaltung und tendenziell höherem Sandanteil im Dung im Vergleich zur Gülle. Der Austrag ungewünschter Stoffe sollte konstruktiv eingeplant werden (siehe unten).

**Verschleißarm planen.** Wenn möglich, sollte darauf Rücksicht genommen werden, Verschleiß zu minimieren. Konstruktive Möglichkeiten sind:

- Gelände nutzen. Z.B. durch Errichtung der Substratzufuhr an einer Erhebung und Nutzung der Gravitation statt Pumpeneinsatz,
- Korrosive Stoffe entfernen (Sand, Steine aber auch Gase wie H<sub>2</sub>S),
- Hochwertige Materialien einsetzen,
- Wenn möglich, wenige rotierende Teile verwenden,
- Bei mechanischen Verschleißteilen eher langsame Bewegungsgeschwindigkeiten anstreben (z.B. bei Rührwerken).

Die Planung einer Biogasanlage sollte von einem in Biogas-Projekten im Ökolandbau erfahrenen Fachplaner erfolgen.

### **6.1.2 Auswahl der Komponenten**

Bei der Auswahl der Komponenten sollte auf Robustheit, hochwertige Materialien und erfahrene Hersteller geachtet werden. Im Prinzip sind im Ökolandbau ähnliche Maßstäbe wie für konventionelle Biogasanlagen-Komponente anzulegen. Allerdings sollte bei einigen besonders kritischen Komponenten besondere Aufmerksamkeit bei der Auswahl erfolgen.

**Substratvorbehandlung und -zufuhr.** Die Substratvorbehandlung und –zufuhr stellt wahrscheinlich die größte Herausforderung des Biogas-Anlagen-Betriebes dar. Diese Anlagenkomponente ist neben dem BHKW-Betrieb die störungsanfälligste und reparaturintensivste des gesamten Betriebes (siehe (FNR 2013a; Gemmecke 2009)). Gerade für die im Ökolandbau eingesetzten Substrate sollten diese gut desintegriert werden. Dieses ist notwendig, um die Gasausbeute zu erhöhen (Faser- und Zellstrukturen aufzubrechen) und um eine gute Pumpfähigkeit zu erhalten.

Es gibt am Markt eine große Vielzahl von Herstellern und Konstruktionen. An dieser Stelle kann keine eindeutige Empfehlung für bestimmte Produkte gegeben sondern nur darauf hingewiesen werden, auf die Auswahl der Substratzufuhr besonderen Wert zu legen.

**Rührwerke.** Wie auch bei konventionellen Biogasanlagen haben sich im Ökolandbau große, langsam rotierende Rührwerke bewährt. Tauchpropellerrührwerke werden zumeist nur im Gärrestlager oder zur Schwimmschichtvermeidung eingesetzt. Da Rührwerke mit den größten mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, die bei einer Biogasanlage vorkommen, sollte die Auswahl hochwertiger Komponenten eine Selbstverständlichkeit sein.

Zu beachten ist auch, dass die Qualität der Rührwerke stark mit den Betriebskosten einer Anlage korreliert. Das liegt zum einen daran, dass die Rührwerke den zweithöchsten Strombedarf der Biogasanlage haben (nach dem BHKW). Darum wird der Eigenstrombedarf einer Anlage maßgeblich von dem Einsatz der Rührwerke bestimmt. Zum anderen sind Rührwerke diejenigen Komponenten deren Ersatz sehr hohe Rückstellungen erfordert. Rührwerke müssen häufig ersetzt werden (ca. alle 4 - 6 Jahre) und sind teuer.

**Pumpen.** Pumpen unterliegen hohen Anforderungen an Verschleißfestigkeit und müssen regelmäßig ausgetauscht werden. In Biogasanlagen im Ökologischen Landbau haben sich Exzentrerschneckenpumpen (Trockenlauf vermeiden, langfaserige Stoffe können Probleme bereiten) und Drehkolbenpumpen bewährt. Es sollte darauf geachtet werden, dass Pumpen gut zugänglich sind und genügend Arbeitsraum um sie herum zur Verfügung steht.

**Heizungen.** Reaktorbeheizungen werden typischerweise in folgenden Ausführungen realisiert:

- Externe Beheizungen. Ein Teilstrom des Fermenterinhalt wird außerhalb des Behälters durch einen externen Wärmetauscher geleitet durch den auch das Motorkühlwasser gepumpt wird. Das erwärmte Gärmaterial wird wieder in den Fermenter gepumpt
- Heizschlangen aus Stahl- oder Kunststoffrohren, die im Fermenter verlegt und mit dem Motorkühlwasser beheizt werden.

Generell gilt für eine gute Konstruktion, dass bei Medien hoher Viskosität (wie im Ökolandbau üblich) kurze Pumpwege realisiert werden sollten um Energieverluste zu vermeiden (längere Pumpwege führen zu Druckverlusten und Energieverbrauch). Obwohl gut funktionierende technische Lösungsmöglichkeiten der externen Beheizung auf dem Markt vorhanden sind sprechen angestrebte kurze Pumpwege und Reduzierung der Verstopfungsgefahr gegen eine externe Beheizung der Substrate. Typischerweise werden Heizschlangen in den Fermenter verlegt. Bei hohem Eiweißgehalt der Substrate sprechen folgende Argumente für Kunststoffrohre. Der Wärmeübergang von Kunststoffrohren ist im Vergleich zu Metallrohren geringer. Dadurch müssen größere Oberflächen bereitgestellt werden (realisiert durch längere Heizschlangen), die an der Oberfläche eine geringere Temperatur aufweisen. Dadurch ist die Gefahr einer Denaturierung der Eiweiße (Umgangssprachlich deren „anbacken“ an die Heizschlangen) reduziert.

**Sandaustrag.** Im Ökologischen Landbau muss damit gerechnet werden, dass verhältnismäßig viel Sand in den Biogas-Prozess eingetragen wird. Dieses liegt teilweise an den Substraten (z.B. Klee gras, Dung) teilweise auch an der Tierhaltung (z.B. durch Weidegänger, Freilandhaltung). Technische Lösungen können zum einen an der Substratannahme erfolgen (Vermeidung oder Aussortierung stark sandhaltiger Materialien). Eine andere Maßnahme kann darin liegen den Fermenter mit einem Sandräumer auszustatten. Der Boden des Fermenters wird konisch geformt. D.h. in der Mitte des Fermenters ist der Boden tiefer als am Rand, so dass sich sedimentierende Teile in der Vertiefung sammeln (begünstigt durch eine, durch die Rührwerke verursachte, Tangentialbewegung der Flüssigkeit). Aus der Vertiefung des Fermenterbodens können die sedimentierten Teile abgesogen werden. Die Reaktoren können zusätzlich mit einem langsam rotierenden Wischer ausgestattet sein durch den die sedimentierenden Teile z.B. in die Mitte des Behälters geräumt werden.

**BHKW.** Aus der Erfahrung des Biogasbetriebes ist bekannt, dass das BHKW oft die stör anfälligste und wartungsintensivste Komponente ist. Der BHKW-Betrieb ist direkt mit den wichtigsten Einnahmen der Anlage verbunden und entscheidet oft über Erfolg oder Nichterfolg eines Projektes. Es gibt aber wenige Unterschiede im BHKW-Betrieb ökologischer zu konventionellen Biogasanlagen. Diese können sein:

- Biogasanlagen im Ökolandbau sind im Durchschnitt kleiner (niedrigere Leistung). Somit kommt öfter ein Zündstrahlmotor zum Einsatz (im Vergleich zu konventionellen Anlagen).
- Aufgrund höherer Proteingehalte könnte es zu erhöhten Schwefelwasserstoff- oder Ammoniak-Werten kommen (siehe auch nächstes Kapitel). Es sollten eine Kontrolle deren Gehalte im Biogas und bei Bedarf Lösungsmaßnahmen erfolgen. Prinzipiell lassen sich hohe  $H_2S$ -Gehalte wie auch bei konventionellen Anlagen technisch gut entfernen.

### 6.1.3 Reaktortypen und -systeme

Es gibt eine Vielzahl von Reaktorsystemen mit jeweils guten Argumenten für oder gegen die jeweiligen Verfahren (mehr Details sind (FNR 2013b) zu entnehmen). Aufgrund der unzähligen Möglichkeiten, verschiedener „Philosophien“ und basierend darauf, dass immer standortangepasste Systeme realisiert werden sollten werden in diesem Abschnitt keine eindeutige Empfehlungen ausgesprochen sondern nur „tendenziell gültige“ Zusammenhänge dargestellt.

**Reaktorform.** Aufgrund des hohen Eiweißgehaltes der Substrate ist die Gefahr der Schwimmschichtbildung gegeben. Manche Betreiber empfehlen tendenziell hohe Fermenter mit geringen Durchmessern um die Oberfläche klein zu halten und um durch geeignete Rührwerksgestaltung das Gärgut unter die Oberfläche rühren zu können.

**Mehrstufige Anlagen.** Mehrstufige Reaktorsysteme bieten Vorteile gegenüber einstufigen Prozessen. Es gibt deutlich weniger Kurzschluss-Strömungen und somit eine bessere Substratausnutzung sowie höhere Gasausbeuten. Durch Zufuhr von Substraten in die erste oder zweite Reaktorstufe kann das Material optimiert behandelt werden (unterschiedliche Verweilzeiten) und die Reaktorbelastung ausgeglichener gestaltet werden (da nicht das gesamte Material in

den gleichen Reaktor eingelassen wird). Nachteilig sind jedoch die höheren Investitionskosten für die Realisierung mehrerer Behälter. Dieses ist insbesondere bei kleinen Biogasanlagen ein großes Argument.

**Anlagen mit Hydrolysestufe.** Manche Hersteller setzen speziell für den Ökolandbau wegen der faserhaltigen Einsatzstoffe auf eine vorgeschaltete Hydrolysestufe. Diese wird beheizt und belüftet. In der Hydrolysestufe erfolgt die Umsetzung der Biogasprozessschritte bis zur Fettsäurebildung. Die Vorteile liegen möglicherweise in höheren Gaserträgen durch besseren Zellaufschluss der Substrate, in der optimierten Betriebsführung (die sich langsam vermehrenden methanbildenden Archaeen werden optimal mit Fettsäuren versorgt und leben nicht in Konkurrenz zu den Fettsäure produzierenden Bakterien) und in der Möglichkeit der Schwefelwasserstoffausfuhr aus der Hydrolysestufe. Als Nachteil kann die etwas sensiblere Prozessführung und die zusätzlichen Investitionskosten der Hydrolysestufe gesehen werden.

**Trockenfermentation:** Im Ökolandbau fallen vermehrt Einsatzstoffe in trockener Form an (z.B. Dung von auf Stroh stehenden Tieren). Somit wird, je nach lokalen Standortbedingungen, in einigen Fällen eine Trockenfermentationsanlage die beste Lösung darstellen. Trockenfermentationsanlagen sind inzwischen technisch gut ausgereift. Die Entwicklung wurde unter anderem von dem zwischenzeitlich innerhalb des EEG 2009 gewährten Trockenfermentationsbonus' stark vorangetrieben. Unter Trockenfermentationsanlagen werden in diesem Text Anlagen gemeint, deren Fermenterinhalt nicht pumpfähig und stichfest ist. Im Gegensatz zur Definition des EEG, welche auf die Einsatzstoffe abzielte. Insofern sind hier beispielsweise Garagen- oder Boxenverfahren gemeint und keine volldurchmischten Reaktoren. Die Vorteile dieser Verfahren liegen insbesondere darin, dass auch trockene Einsatzstoffe in hoher Menge eingegeben werden können und darin, dass im Fermenter keine (oder nur sehr wenige) beweglichen Teile vorhanden sind (wodurch der Verschleiß reduziert wird). Nachteilig ist der hohe Personalaufwand zum Befüllen und Entleeren der Reaktoren.

## 6.2 Biologische Prozessführung

In den im Ökolandbetrieb anfallenden Substraten ist mit höheren Eiweißgehalten als bei Substraten im konventionellen Landbau zu rechnen. Biochemisch ist deshalb mit einer hohen Ammoniakproduktion und evtl. höheren Schwefelwasserstoffgehalten umzugehen.

### 6.2.1 Schwefelwasserstoff

H<sub>2</sub>S ist akut toxisch (auch für Menschen!!) und wirkt im BHKW korrosiv. Eine vorsichtige Handhabung (z.B. bei Einstig in den Fermenter) und Entschwefelung muss selbstverständlich sein, ist im Ökolandbau aber nicht anders als bei Anlagen im konventionellen Landbau. Oft wird der Schwefel nicht von dem verwendeten Pflanzenmaterial eingebracht sondern kommt über die Gülle ins System. Dabei ist bezüglich des Schwefelgehalts kein systematischer Unterschied von konventioneller oder ökologischer Tierhaltung zu erkennen sondern es sind andere Einflussparameter entscheidend (z.B. Schwefelgehalt des Trinkwassers).

Es gibt eine Vielzahl verlässlicher Entschwefelungstechnologien (weitere Informationen sind (FNR 2013b) zu entnehmen) die je nach lokalen Standortbedingungen gewählt werden können. Stichpunktartig können die wichtigsten Entschwefelungstechnologien wie folgt zusammengefasst werden:

- Biologische Entschwefelung im Fermenter. Einblasen von Luft (unter 4 % des produzierten Biogasvolumenstroms) in den Fermenterkopf. Die am meisten verbreitete und günstigste Methode (bezüglich der Investitions- und auch der Betriebskosten), um etwa 200 ppm H<sub>2</sub>S-Gehalt im Biogas zu erreichen.
- Externe biologische Entschwefelung. Das produzierte Biogas wird in einem externen Reaktor (meist als Rieselkolonne ausgeführt) biologisch entschwefelt. Der H<sub>2</sub>S-Gehalt kann unter 100 ppm reduziert werden.
- Entschwefelung durch Waschen (z.B. mit Natronlauge). Für hohe Reinheit. Der H<sub>2</sub>S-Gehalt kann unter 100 ppm reduziert werden.
- Entschwefelung durch Zugabe von Chemikalien (z.B. Fe(OH)<sub>3</sub> oder andere Eisenverbindungen). Hohe Reinheit möglich, niedrige Investitionskosten aber hohe Betriebskosten.

- Katalytische-Oxidation an Aktivkohle (Imprägnierung mit Kaliumjodid oder Kaliumcarbonat). Hohe Reinheit möglich (bis zu 5 mg H<sub>2</sub>S / m<sup>3</sup> Biogas).

## 6.2.2 Stickstoff und Ammoniak

Im Ökolandbau werden gezielt Substrate (Leguminosen) angebaut, durch die Stickstoff in das System eingebracht wird. Zusätzlich ist der Proteingehalt der Biogas-Substrate oft höher als bei konventionellen Substraten. Es wird im Vergleich weniger Stärke (als z.B. bei Anlagen mit viel Maissilage als Einsatzstoff) und somit mehr Protein eingesetzt. Durch die Abbauprozesse in der Biogasanlage kann es bei Biogasanlagen im Ökolandbau zu erhöhten Ammonium/Ammoniakwerten kommen. Ammonium und Ammoniak stehen in einem Dissoziationsgleichgewicht, das durch den pH-Wert des Behälterinhaltes bestimmt wird. Ein hoher pH-Wert korreliert mit einem hohen Ammoniakgehalt. Ammoniak wirkt auf die Mikroorganismen toxisch und somit prozesshemmend. Laut dem „Leitfaden Biogas“ (FNR 2013a) liegt unter typischen Bedingungen ab ca. 3,5 g/l Ammoniumstickstoff (entspricht, je nach pH-Wert ca. 0,08 - 0,25 g/l freiem Ammoniak) eine deutliche Hemmung der Mikroorganismen vor.

Die Mikroorganismen können sich an erhöhte Ammoniakkonzentrationen adaptieren. Dieser Adaptions-Prozess kann jedoch jahrelang andauern. Experten sagen, dass bei nicht adaptierten Anlagen schon 2 – 3 g/l Ammoniumstickstoff problematisch sein können während bei adaptierter Biologie in etwa bei 4 – 5 g/l Ammonium die Anpassungsgrenze liegt<sup>7</sup>.

## 6.2.3 Technische Lösungsmöglichkeiten bei hohen Ammoniakgehalten

Die spezielle Herausforderung bezüglich Stickstoffgehalt der Biogasanlagen im Ökolandbau ist, dass trotz hoher N-Gehalte der Prozess stabil betrieben werden soll und gleichzeitig so viel wie möglich Stickstoff im Gärrest verbleiben soll (somit wenig N über die Gasphase ausgetragen wird).

---

<sup>7</sup> Persönliches Gespräch mit Dr. Jürgen Pröter, DBFZ, August 2013.

Im Folgenden werden ein paar mögliche technische Maßnahmen genannt (diese Auflistung ist aufgrund des begrenzten Rahmen dieses Berichtes nur exemplarisch).

**Mesophile Temperatur.** Durch hohe Temperaturen wird das Ammoniak aus der Gärflüssigkeit ausgetrieben. Es wirkt hemmend auf die Mikroorganismen und die Stickstoffemissionen der Anlagen werden erhöht. Eine thermophile Fahrweise ist bei hohen Stickstoffgehalten der Substrate, aufgrund der Stickstoffverluste durch Ammoniakemissionen, zumeist nicht empfehlenswert. Im Ökolandbau werden fast ausschließlich mesophile Biogasprozesse betrieben (eine Ausnahme bildet dabei eine vorgelagerte Hydrolyse).

**Ammoniak-Strippung.** Die Ammonium/Ammoniak-Gehalte können durch Strippung reduziert werden. [*Wikipedia: Strippung oder Stripping ist ein physikalisches Trennverfahren, bei dem Stoffe aus einer flüssigen Phase durch Desorptionsvorgänge (unter Ausnutzung des Henryschen Gesetzes) in die Gasphase überführt werden. Dazu wird die Flüssigphase im Gegenstromprinzip mit einem Gas in Kontakt gebracht*)]. Zumeist werden die Anlagen so konzipiert, dass die Strippung im Bypass erfolgt, das Ammoniak ausgewaschen wird und für den Gärrest erhalten bleibt (z.B. als Ammoniumsulfat).

**Anaerobe Ammonium-Oxidation, Anammox Verfahren.** Das Anammox Verfahren beruht auf der bakteriellen Umsetzung von Ammonium und Distickstoffoxid zu gasförmigen Stickstoff und Wasser. Nachteil: Durch N<sub>2</sub> Produktion verbleibt der Stickstoff nicht im System. Dieses in der Abwassertechnik zunehmend beachtete Verfahren hat sich in der Biogaspraxis nicht durchgesetzt.

Außer der mesophilen Betriebsweise des Prozesses werden die erwähnten technischen Komponentenlösungen jedoch selten in der Praxis angewandt. Dafür gibt es, je nach individueller Anlagenplanung, verschiedene Gründe:

- Ammoniak-Hemmung stellt kein Problem dar oder wird nicht als solches erkannt
- Technische Lösungen sind dem Anlagenbetreiber unbekannt
- Zusätzliche technische Komponenten sind mit höheren Investitionskosten verbunden, deren Rentabilität fraglich ist.

### 6.3 Erfahrungen der Ökolandwirte und technische Handlungsempfehlungen

In der Praxis berichten Anlagenbetreiber sowohl von guten als auch von schlechten Erfahrungen. Im Folgenden kann keine systematische, repräsentative Analyse der Gründe erfolgen (dieses würde ein speziell darauf abgestimmtes Projekt erfordern). In der Auswertung von Erfahrungen wird oft genannt, dass die **Zuverlässigkeit** der Anlage von entscheidender Bedeutung für den Projekterfolg ist. Läuft diese zuverlässig, sind die Betreiber mit der Entscheidung der Errichtung der Anlage zufrieden. Nehmen technische Probleme überhand, hat das immer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, die Anlagenverfügbarkeit, die notwendige Arbeitszeit für die Problemlösung und die Zufriedenheit insgesamt. Als Erfahrung können folgende **Handlungsempfehlungen** abgeleitet werden:

- 1) Es lohnt sich in robuste, zuverlässige Technologie zu investieren. Somit empfiehlt es sich eher höhere Investitionen zu tätigen als mit einer kostengünstigen Anlage, technische Probleme und viel Arbeitsaufwand zu haben.
- 2) Als weiteres Resultat aus unseren Befragungen ergibt sich eindeutig, dass Biogasanlagen speziell auf die Situation im Ökolandbau angepasst werden müssen; Standard Nawaro Biogasanlagen aus dem konventionellen Landbau sind nicht geeignet.
- 3) Jede Anlage muss individuell an die jeweiligen Begebenheiten vor Ort angepasst werden um unter den gegebenen Umständen zuverlässig betrieben werden zu können.

## 7 Realisierung von Gemeinschaftsanlagen

(Verantwortlich: Ecofys Germany GmbH - Renac (Unterauftrag), Mitarbeit: FiBL)

### 7.1 Einführung

Der Bau kleinerer Biogasanlagen (bis 100 kW<sub>el</sub>) ist mit verhältnismäßig hohen spezifischen Investitions- und Betriebskosten verbunden. Bei steigender Anlagengröße sinken die spezifischen Biogas-Erzeugungskosten degressiv.

Obwohl die genannten Aspekte gegen die Planung und den Bau kleinerer Biogasanlagen sprechen, erlaubt die Betriebsstruktur des Ökologischen Landbaus mit vergleichsweise kleinen Betrieben (Ø 57 ha) (Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) 2011) meist nur eine Planung kleiner Biogasanlagen. Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) 2011). Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen wird unter anderem von der Verfügbarkeit von Substraten und somit der Auslastung der Anlage bestimmt. Hierbei spielt nicht nur die Beschickungsmenge, sondern auch die Substratzusammensetzung eine wichtige Rolle (FNR 2013a).

Der Zusammenschluss mehrerer Öko-Landwirte innerhalb einer Region bietet daher eine Möglichkeit, trotz kleiner Betriebsgrößen eine größere Biogasanlage zu bauen, da die spezifischen Investitionskosten sinken. Gleichzeitig ist es einfacher, die kontinuierliche Auslastung einer Biogasanlage aufgrund der erhöhten Verfügbarkeit von Substraten zu gewährleisten und somit ihre Rentabilität sicherzustellen.

### 7.2 Methodik

Vor diesem Hintergrund wurden in Arbeitspaket 6 einzelne Beispielprojekte analysiert und Schlussfolgerungen für die notwendigen Rahmenbedingungen zur Implementierung von Biogas-Gemeinschaftsanlagen gezogen. Schwerpunkte lagen dabei auf:

- einer ausgewogenen und praktikablen Kosten-Nutzen-Verteilung bei Gemeinschaftsanlagen,

- den Möglichkeiten der logistischen Optimierung von Substrat- und Gärresttransport,
- den Betreiberstrukturen bei Gemeinschaftsanlagen, die für im ökologischen Landbau vorherrschende Betriebsstrukturen geeignet sind (insbesondere der Austauschbeziehung der jeweiligen Anteilseigner),
- der Identifizierung spezifischer Hemmnisse und Vorzüge für gemeinschaftliche BioBiogasanlagen (u.a. Synergieeffekte, Wirkungen im sozialen Bereich).

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde ein Fragebogen entwickelt, der auf oben genannte Schwerpunkte einging, und folgende Themen beinhaltete:

- betriebswirtschaftliche und technische Anlagendaten
- Betriebsstruktur und Struktur der Anteilseigner
- Substratmanagement (Menge, Herkunft, Logistik)
- Erträge (Strom, Wärme, Gärrest)
- Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Durchführung der Befragungen fand telefonisch und nach Terminabsprache mit den jeweiligen Landwirten in den Monaten 10-12 statt und umfasste die Dauer von durchschnittlich einer Stunde je Interview. Die Daten wurden vorwiegend über offene Fragen erfasst, die es dem Interviewer erlaubten, Informationen gezielt nachzufragen und auf die Kernthemen genauer einzugehen.

Befragt wurden fünf Betreiber von Gemeinschaftsanlagen im Ökolandbau mit Unterschieden in Anlagengröße (90kW - 350kW), Substratzusammensetzung (klee gras- od. wirtschaftsdüngerbasierend) und Betriebsstruktur (GmbH, GbR, GmbH&Co.KG).

### **7.3 Betriebsdaten**

Aufgrund der jeweils sehr unterschiedlichen Ausrichtung der befragten Betriebe erfolgt in vorliegendem Kapitel zunächst eine kurze Vorstellung der Biogasanlagen (Steckbrief, Tabelle 12), bevor sie in einer Zusammenfassung miteinander verglichen und ausgewertet werden.

- a. Bioenergie Schmiechen GmbH&Co.KG
- b. Biogas GbR Dietramszell
- c. Drewi Naturenergie GbR
- d. Bio-Kraft Wendelhof GbR
- e. Bioenergie Hallerndorf GmbH

Tabelle 12: Übersicht der Betriebsdaten befragter Gemeinschaftsanlagen

<b>a. Bioenergie Schmiechen GmbH&amp;Co.KG, Bayern</b>		
Anzahl der Anteilseigner	5 (+ ca. 15 weitere Lieferanten)	
Installierte Leistung	350 kW <sub>el</sub>	
Inbetriebnahme der Anlage	Dezember 2005	
Substrate	Biomasse pflanzlichen Ursprungs	70-80 % Klee gras
	Wirtschaftsdünger	20 % Mist
	Zugekaufte Substrate	10 % Mist

<b>b. Biogas GbR Dietramszell, Bayern</b>		
Anteilseigner	3	
Installierte Leistung	97 kW (37 kW <sub>el</sub> + 60 kW <sub>el</sub> Reserve)	
Inbetriebnahme der Anlage	Dezember 2006	
Substrate	Biomasse pflanzlichen Ursprungs	51 % (680 t/a)
	Wirtschaftsdünger	35 % (700 m <sup>3</sup> /a)
	Konventionell zugekaufte Substrate	14 % (Getreide/Mais)

<b>c. DreWi Naturenergie GbR, Bayern</b>		
Anteilseigner	2	
Installierte Leistung	250 kW	
Inbetriebnahme der Anlage	Oktober 2010	
Substrate	Biomasse pflanzlichen Ursprungs	70 % (5100 t/a)
	Wirtschaftsdünger	30 % (2400 m <sup>3</sup> /a)
	Konventionell zugekaufte Substrate	-

<b>d. Bio-Kraft Wendelhof GbR, Baden-Württemberg</b>	
Anteilseigner	2 (+ca. 10 Substratlieferanten)
Installierte Leistung	355 kW (155 kW <sub>el</sub> + 200 kW <sub>th</sub> )
Inbetriebnahme der Anlage	1995
Substrate Biomasse pflanzlichen Ursprungs Wirtschaftsdünger Konventionell zugekaufte Substrate	25 % (1.095 t/a)
	50 % (2.555 m <sup>3</sup> /a)
	~25 % Mais, in Zukunft ersetzt durch Klee-gras

<b>e. Bioenergie Hallerndorf GmbH, Bayern</b>	
Anteilseigner	4 Landwirte
	Naturstrom AG
Installierte Leistung	490 kW (250 kW <sub>el</sub> + 290 kW <sub>th</sub> )
Inbetriebnahme der Anlage	Dezember 2011
Substrate Biomasse pflanzlichen Ursprungs Wirtschaftsdünger Konventionell zugekaufte Substrate	58 % Klee-gras
	32 % Gülle
	10 % Mais

## 7.4 Ergebnisse

### 7.4.1 Standortwahl und Transportwege unter den Substratlieferanten

Generell spielen die Transportwege der Substrat-Zufuhr sowie der Gärrest-Abfuhr eine wichtige Rolle für die Energieeffizienz, die Emissionen und die Kosten einer Biogasanlage bzw. der jeweiligen Landwirte. Zudem sind Aspekte, wie Verkehr- und Lärmbelastung möglicher Anwohner durch lange Transportwege, ebenso wie die mögliche Verdichtung des Bodens durch häufige Befahrung landwirtschaftlicher Flächen zu beachten.

Die Wahl des Standorts ist jedoch zunächst abhängig von der Flächenverfügbarkeit bzw. dem (Pacht-/Miet-/Kauf-) Preis eines Grundstücks. Insbesondere der Betrieb einer Gemeinschaftsanlage kann durch eine verhältnismäßig hohe Anzahl an Transporten gekennzeichnet sein, die zwischen den jeweiligen Betrieben und der Biogasanlage zurückgelegt werden müssen, um Substrate anzuliefern bzw. Gärreste abzuholen. Auch die Länge der Transportwege kann somit einen Einfluss auf die Wahl des Standorts einer Gemeinschaftsanlage haben.

Vier der fünf untersuchten Biogasanlagen befinden sich auf einem der Betriebe der Anteilseigner. Grund hierfür war zumeist die preiswerte Flächenverfügbarkeit auf dem jeweiligen Betrieb des Anteilseigners sowie eine transportgünstige Lage zwischen den Substratlieferanten. Teilweise lag ein Anreiz auch darin, dort Biogas zu produzieren, wo ein überwiegender Anteil der Substrate anfällt.

Im Beispiel der *DreWi Naturenergie GbR* spielte das Substrat Gülle die ausschlaggebende Rolle. Veterinär- und Düngerechtliche Anforderungen (KrW-/AbfG 2012) regeln den Transport von Wirtschaftsdünger, der ein hohes Risiko in der Übertragung und Verschleppung von Krankheitserregern beinhalten kann. Um zwischen Betrieben transportiert werden zu können, müsste die Gülle gereinigt und hygienisiert werden (Wilken et al. 2009). Solche gesonderten Regelungen entfallen jedoch, wenn die Biogasanlage direkt dort steht, wo die Reststoffe der Tierhaltung entstehen.

Nur die Biogasanlage der *Bioenergie Hallerndorf GmbH* befindet sich auf einem Gewerbegrund. Der Vorteil des Baus einer Biogasanlage in einem Gewerbegebiet liegt darin, dass eine zusätzliche Versiegelung von (beispielsweise landwirtschaftlich genutzte) Flächen vermieden wird und zudem oft Wärmeabnehmer vorhanden sind. Selbst beim Bau einer Biogasanlage auf einem landwirtschaftlichen Betrieb muss eine gewisse Fläche versiegelt werden, die somit als landwirtschaftliche Fläche entfällt. (Bei der Versiegelung wird die Bodenoberfläche abgedichtet, wodurch natürliche Bodenfunktionen „als Bestandteil des Naturhaushalts, Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers, dauerhaft beeinträchtigt.“) (Wiggering et al. 2009). Ein weiterer Vorteil des Baus einer Biogasanlage innerhalb eines Industriegebiets liegt darin, umliegende Gewerbe direkt und relativ unkompliziert mit Abwärme versorgen zu können.

Somit konnte die Hallerndorfer Biogasanlage im Gewerbegebiet Schlammersdorf die Fläche einer Gewerbebrache recyceln und dadurch ihren Flächenbedarf decken.

#### **7.4.2 Gemeinschaft der Gemeinschaftsanlage**

Eine Gemeinschaft stellt im allgemeinen Sprachgebrauch einen Zusammenschluss mehrerer Personen mit gemeinsamen Interessen dar. Das BGB §242 definiert eine Gemeinschaft nach einem Recht, das mehreren zusteht (Köhler 2011).

Aus diesem Grund schließen sich auch Biolandwirte zu einer Gemeinschaft zusammen, um gemeinsam Rechte an einer Biogasanlage zu besitzen, und sich durch die Pflichten eines jeden abzusichern.

Die Zusammenschlüsse befragter Gemeinschaften bestanden aus zwei bis fünf Anteilseignern. Dabei handelte es sich entweder um familiäre Zusammenschlüsse, Interessensgemeinschaften benachbarter ökologischer Landwirte oder Kooperationen zwischen Stromanbietern und Anlagenbetreibern. Zwei der befragten Betriebe kooperierten zudem mit einer gewissen Anzahl an Biolandwirten in der Region zum Austausch von Substraten und Gärrest. Aus anderen Gemeinschaftsanlagen sind zudem Zusammenschlüsse von Landwirten, Privatpersonen und/oder öffentlichen/ privaten Institutionen (z.B. kommunalen/ lokalen Gemeinden) bekannt und auch für die Strukturen des ökologischen Landbaus vorstellbar (Fachverband Biogas, 2014). Größere Betreiberkollektive mit bis zu 40 Anteilseignern hingegen sind durch den relativ geringen Anteil an ökologisch bewirtschafteter Fläche in Deutschland (~6 %) im Vergleich zu konventionell geführten Betrieben nicht denkbar (FiBL & IFOAM 2013).

Bei der Gründung von Kooperationen mit Substratlieferanten streben Biogasanlagenbetreiber bevorzugt langfristige und zuverlässige Geschäftsbeziehungen an. So kann die Versorgung der Anlage mit ausreichend Substrat sichergestellt werden, und ein festgelegter Preis liefert Planungssicherheit. Gleichzeitig bedeuten solche Kooperationen auch eine gegenseitige Abhängigkeit.

In der Praxis sind Geschäftsbeziehungen auch meist komplexer und schwieriger umzusetzen. Die unterschiedlichsten Einflussfaktoren, wie Ernteerträge, schwankende Marktpreise, rechtliche Rahmenbedingungen, soziale Strukturen oder regionale Konkurrenz wirken sich auf etwaige Kooperationen aus.

Einer der Hauptgründe, sich zunächst zusammenzuschließen stellte laut der Umfragen die **Erhöhung und Vielfalt an Substraten** dar. Einzelne Betriebe seien zu klein, um ausreichend Substrate zum Betrieb einer eigenen Biogasanlage zu produzieren.

Insbesondere der Zusammenschluss viehloser und viehhaltender Betriebe liefert Anreize:

Viehlose Ökobetriebe steuern einer BGA Kleeerasernten und viehhaltende Betriebe wiederum den Wirtschaftsdünger bei. Durch die Mischung verschiedener

Substrate (Biomasse pflanzlichen und tierischen Ursprungs) ergibt sich zudem eine präferierte Substratzusammensetzung, zur Erzielung eines maximalen Methanertrags (Heiermann et al. 2009).

Sehr wichtig war allen Befragten der **Erhalt hochwertigen Düngers durch die Erzeugung von Gärrest**. Der ökologische Landbau verzichtet zwar auf die Nutzung industriellen Düngers (Nitrat-, Ammonium- und Harnstoffdünger sowie leicht lösliche Phosphordünger sind im ökologischen Landbau verboten), kann allerdings den ökologisch produzierten Gärrest als flexiblen Dünger einsetzen. Dieser Gärrest steht den Anteilseignern oder Lieferanten einer Biogasanlage meist günstig oder im Austausch zu Substratlieferungen zur Verfügung und kann so innerbetriebliche Nährstoffkreisläufe fördern.

Der **Austausch von Erfahrungswerten** und der Aspekt der **Arbeitsteilung** waren ebenfalls Anreize der Kooperationen. In dem Fall, dass Anteilseigner in unterschiedlichen Arbeitsbereichen spezialisiert sind, kann eine Zusammenarbeit zusätzlich zu positiven **Synergieeffekten** für den Betrieb der Anlage führen. Im Beispiel der *Bioenergie Hallerndorf GmbH* besteht der Vorteil in dem Erfahrungsaustausch zwischen dem Energieversorger Naturstrom als Innovationsträger und kaufmännischem Berater und den Landwirten als Spezialisten der Praxis.

Zwei der befragten Betreiber von BioBiogasanlagen gaben zudem die Schaffung eines zweiten Standbeins als Anreiz zum Betrieb einer Biogasanlage an.

### 7.4.3 Substrate

Die Betriebsgröße und -ausrichtung der jeweiligen Anteilseigner einer Gemeinschaftsanlage bestimmt die Substratmenge und –zusammensetzung zur Beschickung einer jeden Biogasanlage. So individuell wie die Betriebsstruktur aufgebaut ist, erfolgt bei den Befragten auch die Regelung der Lieferungen von Substraten. Hauptsächlich werden Gemeinschaftsanlagen von ihren Anteilseignern beliefert. Teilweise gibt es zudem Kooperationen von Gemeinschaftsbetrieben mit weiteren meist kleinen landwirtschaftlichen Betrieben oder Nebenerwerbsbetrieben in der Region.

Im Fall des Austauschs von Wirtschaftsdünger als Biogassubstrat gilt es die Düngeverordnungen zu beachten. Insbesondere betriebsfremde Wirtschafts-

dünger können weiteren Genehmigungen oder Abfall-, Veterinär- oder Düngerrechtlichen Verordnungen unterliegen. Bei der Einführung von Fremdgülle auf das Grundstück der Biogasanlage ist eine komplette räumliche Trennung von Anlagen, Tieren, Futtermitteln und Einstreu zu beachten. Ebenfalls müssen zum Transport der Gülle genutzte Fahrzeuge gereinigt und desinfiziert werden (Wilken et al. 2009).

Ein viehloser landwirtschaftlicher Betrieb liefert hauptsächlich Klee gras oder Gras an Gemeinschaftsanlagen. Ein viehhaltender Betrieb liefert eher Gülle oder Mist und einen geringen oder keinen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen.

Bei allen befragten Betrieben gibt es Absprachen unter den Anteilseignern oder mit den Lieferbetrieben bezüglich der Substratlieferung, -kosten und Austauschbeziehungen zwischen Klee gras und Gärrest.

Im Falle von zwei Gemeinschaftsanlagen ernten, häckseln und silieren die Anteilseigner oder Lieferanten die Nawaros selbst auf dem eigenen Betrieb und beliefern die BGA direkt. Vor Ort gibt es dann Möglichkeiten die Silage abgedeckt zu lagern, um der Emission von Treibhausgasen vorzubeugen.

Zwei weitere Gemeinschaftsanlagen bieten eine Art „Ernteservice“ an, d.h. die Gras- oder Klee grasflächen werden den BGA-Betreibern zur Verfügung gestellt. Teilweise führen dies Mitarbeiter der Gemeinschaftsanlage durch oder Lohnunternehmer werden beauftragt, auf den entsprechenden Betrieben die Nawaros zu ernten und zum Grundstück der Biogasanlage zu transportieren. Dort werden die Substrate dann siliert und gelagert. Üblicherweise erfolgt eine Entlohnung der Nawaro in € je t TM und/oder in Austausch zur Bereitstellung des Gärrests. Die Höhe der Entschädigung wird meist festgelegt, um die Kosten der Landwirte für den Anbau des Klee grasses zu decken. Des Weiteren beläuft sich die Absprache des Austauschs meist auf Grundlage der belieferten Menge von Klee gras, bzw. dem Nährstoffentzug des Klee grasses vom Boden. Der Gärrest steht den Lieferbetrieben meist durch kostenfreie Selbstabholung in Gärrestspeichern zur Verfügung oder wird über externe Speditionsbetriebe ausgefahren.

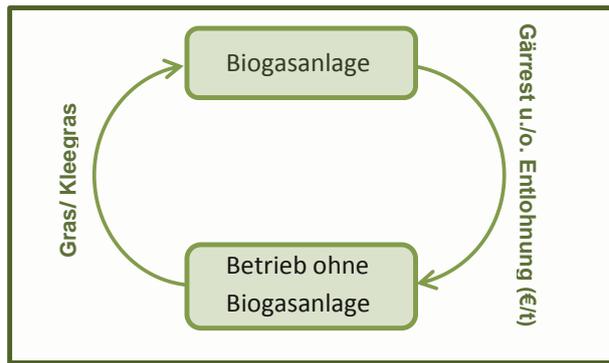


Abbildung 25: Austauschbeziehung Nawaro, eigene Darstellung

Die Substrate Gülle oder Mist werden als Reststoffe der ökologischen Tierhaltung den Gemeinschaftsbiogasanlagen meist kostenfrei zur Verfügung gestellt. Da der Mist einer der befragten Gemeinschaftsanlagen zum Teil aus konventioneller Landwirtschaft stammt und kein Austausch von Gärrest erfordert, wird dieser ebenso in € je t FM vergütet.

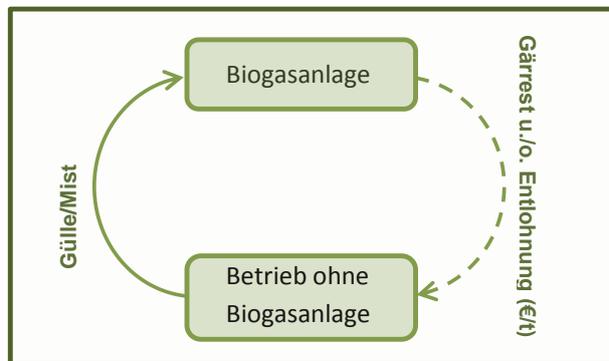


Abbildung 26: Austauschbeziehung Wirtschaftsdünger, eigene Darstellung

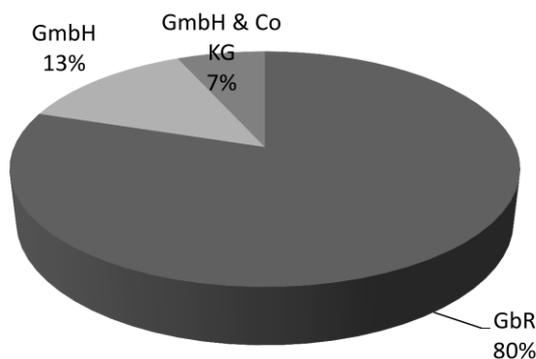
Weiterhin spielt in der Auswahl der Substratflächen die Länge der Transportwege eine wichtige Rolle. Unter anderem versucht so die *Bioenergie Hallern-dorf GmbH* hauptsächlich diejenigen Substrate einzusetzen, die in unmittelbarer Entfernung zur Biogasanlage gelegen sind.

#### 7.4.4 Betriebsform

Gemeinschaftsanlagen werden laut des BioBiogasmonitorings 2011 überwiegend in Form einer GbR betrieben, wie drei der befragten Betriebe auch.

Der Gesellschaftsvertrag einer GbR laut §705 BGB umfasst die Verpflichtung der Gesellschafter zur Erreichung eines gemeinsamen Ziels.

Da eine GbR keiner Registerpflicht bedarf, ist eine schnelle, unkomplizierte und kostengünstige Gründung möglich.



Quelle: SIEGMEIER/BLUMENSTEIN/MÖLLER, 2013, S.6.

Abbildung 27: Rechtsformen der Gemeinschaftsanlagen im Ökolandbau

Für befragte Anteilseigner, die diese Rechtsform wählten, lagen eben darin die Gründe zur Formierung einer GbR. Zusätzliche Argumente waren die Aufteilung der Haftung unter den Anteilseigner, den Möglichkeiten der Rechnungsstellung sowie steuerliche Rahmenbedingungen.

Da eine GbR nur für Kleingewerbe mit einem jährlichen Umsatz unter 250.000 € möglich ist, schließen sich größere Gemeinschaftsanlagen meist zu einer GmbH oder GmbH & Co.KG zusammen.

Bei der Gesellschaft mit beschränkter Haftung (§1ff. GmbHG), ist das Privatvermögen der Anteilseigner geschützt, wodurch ein relativ geringes Risiko besteht. Laut Angabe der Anlagenbetreiber, die eine GmbH führen, ist diese eine steuerrechtlich sinnvolle Betriebsform, die zudem ein „gleichberechtigtes und partnerschaftliches Verhältnis“ zwischen den Anteilseigner ermöglicht.

## 7.4.5 Erträge

Je nach Biogasanlagengröße und –leistung fallen die Biogasausbeuten und demzufolge die Strom- und Wärmemengen der Anlagen recht unterschiedlich aus.

Tabelle 13: Durchschnittliche Biogasausbeuten

	<b>Einheiten</b>	<b>Durchschnittswerte</b>	<b>Spannweiten</b>
Biogasausbeute	Nm <sup>3</sup> /a	~ 750.000	350.000 – 1.400.000
Methangehalte	%	~ 53	51 – 55
Strommenge	kWh <sub>e</sub> /a	1.520.000	300.000 – 2.800.000
Eigenstromverbrauch	%	~ 10,5	6 - 20

Wärmemenge	kWh <sub>th</sub> /a	~ 1.710.000	142.000 – 3.200.000
Eigenwärmebedarf	%	16	5 - 30
Wärmenutzung	%	69	40 - 100

Während die produzierte Strommenge befragter Biogasanlagen ausschließlich zur Einspeisung des Stromnetzes über das EEG genutzt wird, wird die Abwärme für vielfältige Zwecke eingesetzt: In einem Fall wird die Wärme an ein Nahwärmenetz der Region abgegeben, in anderen Fällen werden auf dem Betrieb befindliche Gebäude und Anlagen beheizt bzw. gekühlt: Wohnhäuser, Stallungen, technische Anlagen (z.B. Milchkühlung) Trocknungseinheiten (Getreide, Hackschnitzel etc.).

## 7.5 Fazit

Auf der Grundlage der Befragungen wurde deutlich, dass die Gestaltungsmöglichkeiten der Kooperationen zwischen mehreren Landwirten zum Betrieb einer Gemeinschaftsanlage vielfältig und meist individuell konzipiert sind.

Im Vergleich zu individuell betriebenen Biogasanlagen stehen die Planung und der Betrieb von Gemeinschaftsanlagen vor größeren organisatorischen, logistischen und kooperativen Herausforderungen. Jedoch stehen diesen Aspekten zahlreiche Vorteile gegenüber.

Die Hauptanreize für befragte Anteilseigner, sich zusammen zu schließen lagen in:

- der Erhöhung und Diversifikation an Substraten
- dem Erhalt hochwertigen Düngers durch die Erzeugung von Gärrest.
- dem Austausch von Erfahrungswerten
- dem Aspekt der Arbeitsteilung
- und positiven Synergieeffekten
- Sicherung der Anlagenauslastung

Bei dem Betrieb einer Gemeinschaftsanlage sollte der Standort der BGA überlegt gewählt werden und folgende Faktoren berücksichtigen: Monetäre Aspekte, Flächenverfügbarkeit sowie Transportwege, da die Distanz der Substrate zur Biogasanlage eine wichtige Rolle für die ökologische als auch ökonomische Effizienz der Anlage spielt.

Insbesondere können negative Argumente für den Betrieb einer BGA im ökologischen Landbau durch den Betrieb einer Gemeinschaftsanlage entkräftet werden.

Innerhalb eines Zusammenschlusses mehrerer Landwirte erhöht sich die Menge der zur Verfügung stehenden Fläche und somit der Substrate. Da in Bezug auf Klee gras/Gras mehrere Erntevorgänge eingeplant werden müssen, werden solche Aufgaben teilweise von der Gemeinschaftsanlage übernommen und tragen zur Kostendeckung der Zwischenfrüchte zur Stickstoffmehrung bei (KrW-/AbfG 2012).

## 8 Ökonomische Analyse

(Verantwortlich: Universität Kassel. Mitarbeit: Ecofys und RENAC (Unterauftrag))

Die ökonomische Analyse der Biogaserzeugung im Rahmen der ökologischen Landwirtschaft beleuchtet im folgenden Abschnitt des Berichts zwei Schwerpunkte:

- 1) Eine Investitionsentscheidung für oder gegen den Betrieb einer Biogasanlage wird von Unternehmern vorrangig auf Grundlage einer sorgfältigen, die Risiken berücksichtigenden Wirtschaftlichkeitsplanung gefällt. Daher sind an die Bedingungen auf Öko-Betrieben adaptierte Modellanlagen konzipiert und sachgerechte Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt worden, die unterschiedliche politische Rahmenbedingungen berücksichtigen.
- 2) Die Ergebnisse der Systemanalyse zeigen zudem, dass eine integrierte Biogaserzeugung vielfältige, auch monetär zu bewertende betriebliche Zusatzefekte aufweisen kann. Deshalb sind in Erweiterung der bestehenden bewährten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Biogasanlagen systematische Modellbetrachtungen vorgenommen worden, die das ökonomische Zusatzpotential im gesamtbetrieblichen Kontext aufzeigen sollen.

### 8.1 Wirtschaftlichkeitsanalyse von Biogasanlagen im Ökolandbau

Die Auslegung und Auswertung der Modellanlagen erfolgte zunächst auf der Grundlage der Rahmenbedingungen des EEG 2012. Zusätzlich wurde die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter den aktualisierten Voraussetzungen des EEG 2014 durchgeführt. Aufgrund der veränderten Vergütungsstruktur (insbesondere die Konzentration auf die Förderung von „Gülle-Kleinanlagen“) wurde eine veränderte Auslegung der Modellanlagen in Erwägung gezogen. Damit wäre jedoch die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Szenarien (EEG 2012 – EEG 2014) nicht mehr gegeben gewesen, weshalb die neuen Vergütungssätze des EEG 2014 auch auf die bereits ausgelegten Modellanlagen angewandt wurden. Da aber im gesamten Projektverlauf 75 kWel Anlagen in den Modellrechnungen berücksichtigt wurden, sind die auch im EEG 2014 interessantesten Anlagen in unserer Untersuchung enthalten.

### 8.1.1 Methodische Vorgehensweise

Die Modellrechnungen beruhen auf der **Annuitätsmethode** als dynamisches Modell der Investitionsrechnung und erfolgten nach VDI Standard 6025 (VDI 2012) zur Kalkulation von Investitionsgütern und Anlagen. Das Annuitätsverfahren gestattet es, einmalige Zahlungen (Investitionen) und laufende Ein- und Auszahlungsströme mit Hilfe des Annuitätsfaktors während des gesamten Betrachtungszeitraumes (20 Jahre) auf eine jährliche Kennzahl (Annuität) zusammenzufassen. Hierbei werden sowohl Inflation als auch Abzinsung von in der Zukunft liegenden Zahlungsströmen ausreichend berücksichtigt. Zur ökonomischen Beurteilung der Investitionsalternativen wurden die Kennzahlen des durchschnittlichen jährlichen Gewinnbeitrags (Annuität; € Jahr<sup>-1</sup>) sowie des Modifizierten Internen Zinsfußes (Gesamtkapitalrentabilität; %) dargestellt (vgl. (Mußhoff & Hirschauer 2010)). Überschreitet die Gesamt-Annuität 0 € Jahr<sup>-1</sup>, kann die Investition als rentabel betrachtet werden da die anvisierte Verzinsung erreicht wird. Reinvestitionen für kurzlebigere Anlagenbauteile (unter 20 Jahren) sowie Restwerte von Anlagenbauteilen wurden in den Berechnungen berücksichtigt. Der Modifizierte Interne Zinsfuß bildet die Anlagenrendite des Gesamtkapitals unter Berücksichtigung der Anlagenlaufzeit, den Investitionskosten und dem Kalkulationszinsfuß (Mischkalkulationszins aus Eigen- und Fremdkapitalverzinsung, anhängig vom Eigenkapital- oder Fremdkapitalanteil der Investition) ab. Wenn der Interne Zinsfuß den Kalkulationszinsfuß (hier: 6 %) übersteigt, kann die Investition als rentabel bezeichnet werden.

Im Rahmen einer **Sensitivitäts-** und **Break-Even-Analyse** ist zudem die Variation verschiedener Rahmenparameter der Anlagenkalkulationen durchgeführt worden. In einer Szenario-Rechnung erfolgten die Einbeziehung des Verkaufs von Biogasgülle sowie die Bewertung der Kosten von Rindergülle/Rinderfestmist für alle Anlagentypen. In einer Break-Even-Analyse wurden die Werte für verschiedene Parameter ceteris paribus (c.p.) variiert, um die maximal tolerierbaren bzw. notwendigen Parameterwerte, die sich am Break-Even-Point der Rentabilität (jährliche Annuität = 0 €) ergeben, zu ermitteln. (Beispiel: Der Anlagentyp *75 kW/pflanzenbasiert/ökologisch* hat bei einer jährlichen Annuität von -47.583 € Substratkosten von jährlich 67.598 €. Um den Break-Even-Point der Annuität zu erreichen, dürfen die jährlichen Substratkosten maximal 20.014 € (-70 %) bzw. 13 € t<sup>-1</sup> FM betragen). Konnte auch bei einem Wert von 0 € des Parameterwertes keine positive Wirtschaftlichkeit erreicht werden (Annuität > 0 € Jahr<sup>-1</sup>), wurde die Annuität beim Parameterwert = 0 € angegeben (Beispiel: Der Anlagentyp *75 kW/pflanzenbasiert/ökologisch* erzielt auch bei Senkung des Parameterwerts *Kosten der Arbeit* auf 0 € Jahr<sup>-1</sup> ein negatives Betriebsergebnis mit einer Annuität von -31.245 € Jahr<sup>-1</sup>).

## 8.1.2 Definition der betrachteten Anlagentypen

Mit dem Ziel, praxisrelevante Anlagengrößen abzubilden, wurden, abgeleitet aus den Ergebnissen des BioBiogas-Monitorings (Siegmeier et al. 2013), einschlägiger Literatur (z.B. (FNR 2013a; KTBL 2009) sowie dem Expertenaustausch im Rahmen des Projekts, 12 Modellanlagen konzipiert, die sich hinsichtlich ihrer installierten elektrischen Leistung (75, 250 und 500 kW<sub>el</sub>), ihrer Einsatzstoffe (pflanzen- vs. wirtschaftsdüngerbasierte Fütterung) sowie der Herkunft und Zusammensetzung des Substratmixes (ökologisch vs. konventionell) unterscheiden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Konfiguration der Modellanlagen nach Größe (kW<sub>el</sub>), Management (ökol./konv.) und Substratmix (tierisch/pflanzlich) (eigene Darstellung)

Instal- lierte elektri- sche Leistung (kW <sub>el</sub> )	Ma- nage- ment (ökol./ konv.)	Sub- strat-Ba- sis (%)	Spezifikation der Substrate und Substratan- teile
			(GS = Grassilage; KG = Kleegrassilage; GPS = Rog- gen-Ganzpflanzensilage; MS = Maissilage)
75	Ökol.	tierisch (80:20)	80% Rindergülle/-mist, 10 % GS, 10 % KG
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 40 % GS, 25 % KG, 15 % GPS
	Konv.	tierisch (80:20)	80% Rindergülle/-mist, 20 % MS
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 60 % MS, 20 % GS
250	Ökol.	tierisch (80:20)	80% Rindergülle/-mist, 10 % GS, 10 % KG
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 40 % GS, 25 % KG, 15 % GPS
	Konv.	tierisch (80:20)	80% Rindergülle/-mist, 20 % MS
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 60 % MS, 20 % GS
500	Ökol.	50:50	50% Rindergülle/-mist, 30 % GS, 20 % KG
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 40 % GS, 25 % KG, 15 % GPS
	Konv.	50:50	50% Rindergülle/-mist, 50 % MS
		pflanzlich (20:80)	20% Rindergülle/-mist, 60 % MS, 20 % GS

Alle Inputstoffe der jeweiligen Produktionsrichtung sind entweder zu 100 % ökologischer oder konventioneller Herkunft. Der Einsatz konventioneller Kosubstrate, der in der Praxis von BioBiogas-Anlagen noch anzutreffen ist, wurde im

Hinblick auf die zukünftigen Fütterungsstrategien von 100 % Öko-Inputstoffen (Bioland 2012; Naturland 2012) und dem Ziel, die Erzeugung von rein ökologisch produziertem Biogas als Vergleichsgrundlage darzustellen, in den Modellrechnungen nicht berücksichtigt. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Biogaspotenzialen der Einsatzstoffe unterschiedlicher Herkunft gemacht, Unterschiede bestehen aber bei den Substratkosten (s. Tabelle 16). Die sonst wirtschaftsdüngerbasierte Ration wurde im Fall der 500 kW<sub>el</sub>-Anlage mit einem Anteil von 50 % tierischer Substrate konzipiert, da die für die Bereitstellung von 80 % des Substrats benötigten Vieheinheiten übliche Maßstäbe im Ökolandbau weit übersteigen würden. Der Wirtschaftsdünger besteht in allen Anlagen zu 80 % aus Rindergülle und zu 20 % aus Rinderfestmist. Dies liegt der Annahme zugrunde, dass Rinder vorwiegend – in der Zwischenzeit auch im Ökobereich – im Laufstall gehalten werden (Gülleanfall), während die Nachzucht oft auf Festmist steht (Mistanfall).

Eine Übersicht über die technischen Parameter wie Wirkungsgrade des BHKW oder Volllaststunden der Modellanlagen wird in Tabelle 15 dargestellt. Die durchschnittlichen Verweilzeiten, Fermentervolumina oder Eigenstrombedarfe ergeben sich, zunächst unabhängig von der Anlagenausrichtung (ökol./konv.), aus der Art der Einsatzstoffe. In pflanzenbasierten Anlagen wird aufgrund des höheren Anteils von Lignozellulose im Substratmix grundsätzlich eine längere Verweilzeit als in wirtschaftsdüngerbasierten Anlagen vorausgesetzt. Diese erhöht sich weiter bei den ökologischen Anlagen im Vergleich zu den konventionell betriebenen, da bei den zugrunde gelegten Substrate (Gras-, Kleegrasslagen) eine langsamere Biomasseumsetzung stattfindet und damit die Verweilzeiten in der Anlage deutlich höher sind gegenüber bspw. Silomais.

Der Eigenstrombedarf ist für Anlagen mit höheren Anteilen pflanzlicher Substrate aufgrund der stromintensiven Vorbehandlung der Substrate und der höheren Viskosität im Reaktor (höherer TS-Gehalt) gegenüber den wirtschaftsdüngerbasierten Anlagen erhöht. Insbesondere für die ökologischen Anlagen (höherer Anteil schwer verdaulicher Substrate) ist ein Eigenstrombedarf von bis zu 11 % veranschlagt worden. Der Eigenwärmebedarf pflanzenbasierter Anlagentypen ist dagegen aufgrund des geringeren Wasseranteils und der höheren Bakterienaktivität pro m<sup>3</sup> Fermentervolumen im Vergleich zu güllebasierten Anlagen niedriger. Hier sind keine Unterschiede zwischen der Anlagenausrichtung (ökol./konv.) vorgenommen worden. Im EEG 2012 ist ein Gesamt-Wärmenutzungsgrad von mind. 60 % vorgegeben. Dieser wird bei den pflanzenbasierten Anlagen exakt eingehalten. Der Anteil an extern genutzter Wärme wurde durch Abzug des Eigenwärmebedarfs vom geforderten Gesamt-Wärmenutzungsgrad (60 %) abgezogen. Damit wurde ein möglichst gleicher Anteil an extern genutzter Wärme über alle Anlagen hinweg eingestellt (75 kW: 48 %; 250 kW: 50 %;

500 kW; 51 %). Da die wirtschaftsdüngerbasierten Anlagen bei höherem Eigenwärmebedarf aber die gleichen Anteile an Wärme verkaufen (da die Menge extern genutzter Wärmen nicht von den Einsatzstoffen abhängt), ergibt sich für diese Anlagentypen ein etwas höherer Gesamt-Wärmenutzungsgrad im Vergleich zu den pflanzenbasierten Anlagen.

Tabelle 15: Technische Parameter der Modellanlagen, gruppiert nach Anlagengröße (75, 250, 500 kW<sub>el</sub>), Substrateinsatz (ökol./konv.) und Substratmix (wirtschaftsdünger-/pflanzenbasiert) (eigene Darstellung)

Installierte elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	75		250		500	
		ökol.	konv.	ökol.	konv.	ökol.	konv.
Substrat-Herkunft							
Wirkungsgrade BHKW							
- elektrisch	%	37	37	38	38	38	38
- thermisch	%	40	40	40	40	40	40
Volllaststunden BHKW	h a <sup>-1</sup>	8.300	8.300	8.400	8.400	8.500	8.500
Betriebsstunden BHKW (Volllaststunden * 0,95)	h a <sup>-1</sup>	7.885	7.885	7.980	7.980	8.075	8.075
Transformationsverluste (Anteil an der Stromerzeugung)	%	1	1	1	1	1	1
Durchschnittliche Verweilzeiten							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	Tage	65	50	65	50	65	50
- pflanzenbasierte Ration	Tage	75	55	75	55	75	55
Fermentervolumen (netto)							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	m <sup>3</sup>	805	559	2.649	1.835	3.278	2.184
- pflanzenbasierte Ration	m <sup>3</sup>	400	263	1.318	863	2.662	1.588
Eigenstrombedarf (Anteil an der Stromerzeugung)							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	%	7	7	7	7	8	8
- pflanzenbasierte Ration	%	10	8	10	8	11	9
Wärmebedarf (Anteil an der Wärmeerzeugung)							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	%	25	25	23	23	20	20
- pflanzenbasierte Ration	%	12	12	10	10	9	9
Vorgeschriebene Wärmenutzung im EEG 2012	%	60	60	60	60	60	60
Wärmeverkauf	%	48	48	50	50	51	51
Genutzte Gesamt-Wärmenmenge							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	%	73	73	73	73	71	71
- pflanzenbasierte Ration	%	60	60	60	60	60	60

Eine Übersicht über die ökonomischen Parameter, die Eingang in die Modellberechnungen finden, gibt Tabelle 16. Der Arbeitszeitbedarf wurde abhängig

von Anlagengröße und Einsatzstoffen auf zwischen 2 und 4,5 h pro Tag festgelegt (höherer Zeitbedarf für pflanzenbasierte Anlagen). Die Entlohnung ist angelehnt an KTBL-Standard-Daten (KTBL (Hrsg.) 2010). Abhängig von der Menge des benötigten Eigenstroms (und damit vom Einkaufspreis) wird Prozessstrom entweder zugekauft (Ökostrom für Ökoanlagen, konv. Strommix für konv. Anlagentypen) oder selbst produzierter Strom verwendet. Abgesehen von den pflanzenbasierten Anlagentypen der Größe 75 kW<sub>el</sub> ist es für alle anderen Anlagentypen günstiger, Prozessstrom einzukaufen. Die Kosten für externen Prozessstrom richten sich nach der jährlichen Abnahmemenge (siehe Tabelle 16). Für Abnahmemengen unter 100.000 kWh/Jahr betragen die Bezugskosten beispielsweise 23,2 €ct/kWh, für Abnahmemengen über 100.000 kWh/Jahr beispielsweise 16 €ct/kWh (z.B. (Lichtblick 2014)). Im Vergleich zu den EEG-Vergütungssätzen lohnt es sich daher für die pflanzenbasierten Anlagentypen der Größe 75 kW<sub>el</sub> – auch unter Berücksichtigung der EEG-Umlage von 6,24 €ct/kWh bei Eigennutzung des Stroms) – den selbst produzierten Strom zu nutzen. Die Berechnung der Stromvergütung erfolgte sowohl auf Grundlage der Vergütungssätze des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2012 (EEG 2012) als auch alternativ des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2014 (EEG 2014). Die in Tabelle 16 aufgeführten Vergütungssätze sind Mischkalkulationen aus den verschiedenen Vergütungssätzen für unterschiedliche Leistungsklassen bzw. Einsatzstoffvergütungsklassen. Der Wärmeverkaufspreis wurde auf 3 €ct./kWh festgelegt. Es wurde unterstellt, dass die Menge des genutzten Eigenwärmebedarfs nicht anderweitig genutzt werden kann und daher die Eigenwärme nicht mit Opportunitätskosten belastet werden muss (kostenfreie Bereitstellung).

Tabelle 16: Ökonomische Parameter der Modellanlagen, gruppiert nach Anlagengröße (75, 250, 500 kW<sub>el</sub>), Substrateinsatz (ökol./konv.) und Substratmix (wirtschaftsdünger-/pflanzenbasiert) (eigene Darstellung)

Installierte elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	75		250		500	
		ökol.	konv	ökol.	konv	ökol.	konv
Substrat-Herkunft							
Arbeitszeitbedarf							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	h d <sup>-1</sup>	2	2	3	3	4	4
- pflanzenbasierte Ration	h d <sup>-1</sup>	2,5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5
Lohnansatz (brutto)	€ h <sup>-1</sup>	15	15	15	15	15	15
Kosten Prozessstrom	€ ct./kWh <sub>el</sub>	23,1 <sup>a</sup>	23,1 <sup>a</sup>	16	16	16	16
Stromvergütung EEG 2012 (gemittelte Vergütung)							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	€ ct./kWh <sub>el</sub>	25	25	20,5	20,4	19,3	19,2
- pflanzenbasierte Ration	€ ct./kWh <sub>el</sub>	20,4	20,4	19,7	19,7	19,6	19,1
Stromvergütung EEG 2014 (gemittelte Vergütung)							
- wirtschaftsdüngerbasierte Ration	€ ct./kWh <sub>el</sub>	23,73	23,73	13,03	13,03	12,4	12,4

<b>Installierte elektrische Leistung</b>	<b>kW<sub>el</sub></b>	<b>75</b>		<b>250</b>		<b>500</b>	
- pflanzenbasierte Ration	€ ct./kWh <sub>el</sub>	13,66	13,66	13,03	13,03	12,4	12,4
Verkaufspreis Wärme	€	3	3	3	3	3	3
Verkaufsanteil am Gesamt-Wärmepotenzial	ct./kWh <sub>therm</sub>	48	48	50	50	51	51
Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten	%						
- Bauliche Anlagen	Jahre	20	20	20	20	20	20
- Maschinen/Technik	Jahre	10	10	10	10	10	10
- BHKW	Jahre	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
Planung und Genehmigung	%	10	10	10	10	10	10
Kosten für Reparatur und Wartung	der Invest.						
- Bauliche Anlagen	%	1	1	1	1	1	1
- Maschinen/Technik	der Invest.	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
- BHKW	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kalkulationszinssatz	€ ct./kWh <sub>el</sub>	6	6	6	6	6	6
Substratkosten	%						
Rindergülle	€ t <sup>-1</sup> FM	0	0	0	0	0	0
Rinderfestmist	€ t <sup>-1</sup> FM	0	0	0	0	0	0
Grassilage ökol.	€ t <sup>-1</sup> FM	38	38	38	38	38	38
Grassilage konv.	€ t <sup>-1</sup> FM	32	32	32	32	32	32
Kleegrassilage ökol.	€ t <sup>-1</sup> FM	32	32	32	32	32	32
Ganzpflanzensilage ökol.	€ t <sup>-1</sup> FM	45	45	45	45	45	45
Maissilage konv.	€ t <sup>-1</sup> FM	-	32	-	32	-	32

<sup>a</sup>wirtschaftsdüngerbasierte Fütterung

<sup>b</sup>pflanzenbasierte Fütterung

Im Rahmen der Berechnungen nach VDI-Standard 6025 wurden Preissteigerungsraten für unterschiedliche Parameter auf der Grundlage von Angaben des Statistischen Bundesamtes integriert (Tabelle 17).

Tabelle 17: Preissteigerungsraten für Güter und Dienstleistungen  
(Hrsg.)o. A. 2013a)

Parameter	Teuerungsrate %
Investitionen	1,90 %
Reparaturen, Wartung und Instandhaltung	1,90 %
Hilfs- und Betriebsstoffe Zünd- und Schmieröl	8,10 %
Hilfs- und Betriebsstoffe Prozessenergie (Strom)	1,30 %
Substrate	1,90 %
Betriebsgebundene Auszahlungen - Arbeit	2,25 %
Sonstige Auszahlungen - Vers., Buchführung	1,90 %
Düngewert	2,35 %
Wärmeverkauf/-einkauf	4,00 %

### 8.1.3 Ergebnisse und Diskussion

#### 8.1.3.1 Investitionskosten

Ein Vergleich der Investitionskosten zeigt Unterschiede zwischen den Modellanlagen auf, die sowohl auf die Ausrichtung auf eine pflanzliche oder tierische Substratbasis als auch auf die ökologische bzw. konventionelle Wirtschaftsweise zurückzuführen sind (Abbildung 28 und Tabelle 18).

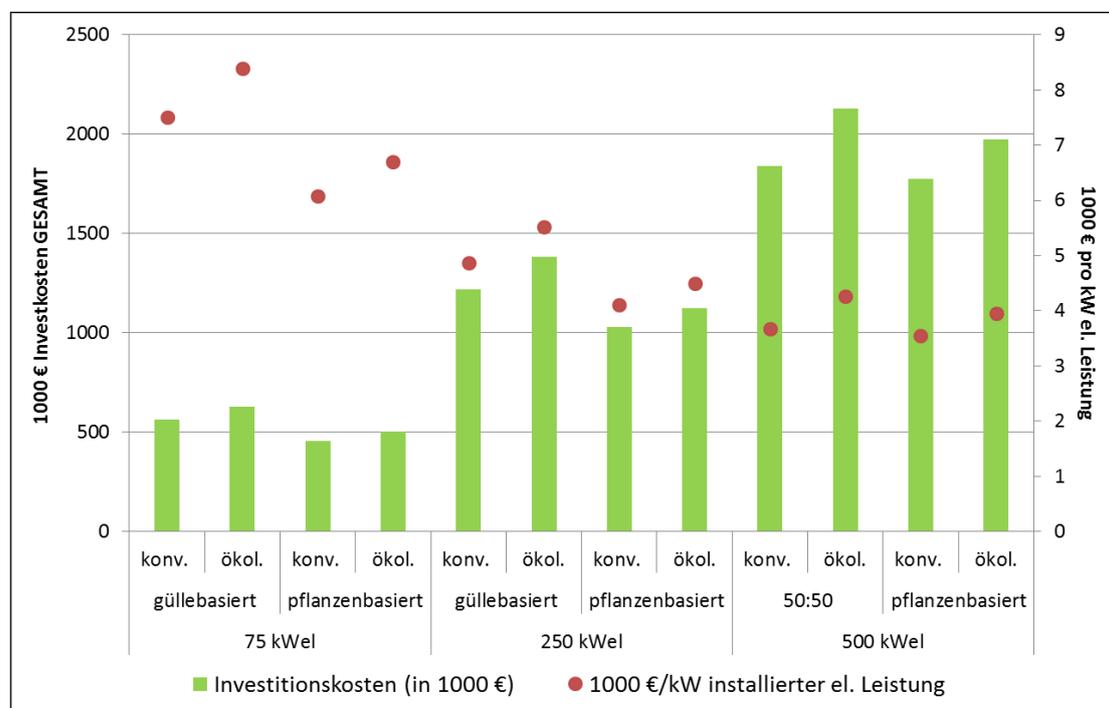


Abbildung 28: Investitionskosten der Modellanlagen (absolut und in € pro kW installierter elektrischer Leistung) (eigene Darstellung)

Tabelle 18: Aufschlüsselung der Investitionskosten der Modellanlagen nach Kostengruppen

Installierte elektrische Leistung (kW <sub>el</sub> )	75			
Substrateinsatz	Wirtschaftsdüngerb.		Pflanzenbasiert	
Substrat-Herkunft	Öko	Konv.	Öko	Konv.
Investitionskosten (€)				
Bauliches	296.277	242.272	174.366	140.388
Maschinen und Technik	171.237	164.388	176.907	168.880
BHKW	105.000	105.000	105.000	105.000
Planung und Genehmigung	57.251	51.166	45.627	41.427
Installierte elektrische Leistung (kW <sub>el</sub> )	250			
Substrateinsatz	Wirtschaftsdüngerb.		Pflanzenbasiert	
Substrat-Herkunft	Öko	Konv.	Öko	Konv.
Investitionskosten (€)				
Bauliches	726.140	591.424	479.469	408.076
Maschinen und Technik	341.747	327.091	355.087	339.115
BHKW	187.500	187.500	187.500	187.500
Planung und Genehmigung	125.539	110.601	102.206	93.469
Installierte elektrische Leistung (kW <sub>el</sub> )	500			
Substrateinsatz	50 / 50		Pflanzenbasiert	
Substrat-Herkunft	Öko	Konv.	Öko	Konv.
Investitionskosten (€)				
Bauliches	1.028.140	788.733	866.251	709.921
Maschinen und Technik	606.941	584.424	628.006	604.036
BHKW	300.000	300.000	300.000	300.000
Planung und Genehmigung	193.508	167.316	179.426	161.396

Die ermittelten Investitionskosten zeigen für Biogasanlagen im Ökolandbau im Mittel 12 % höhere Kosten als für konventionelle Anlagen. Dies ist insbesondere auf die in BioBiogasanlagen eingesetzten pflanzlichen Substrate zurückzuführen. Aufwüchse mit hohen Lignozellulose-Anteilen wie Kleegrass und Grünland benötigen aufgrund ihrer physikalischen Beschaffenheit aufwändigere Zerkleinerungsaggregate und Feststoff-Eintragssysteme (Kostenansatz von + 5 %) sowie stabilere Rührtechnik und Pumpaggregate (Kostenansatz von + 10 %). Wegen der geringeren Biogasausbeute sind die benötigten Frischmassevolumina sowie aufgrund der langsameren Biomasseumsetzung die Verweilzeiten in der Anlage deutlich höher gegenüber beispielsweise Silomais. Dies führt zu höheren Kosten für größere Substratlager, Fermenter und Gärrestlager.

Unabhängig vom konventionellen bzw. ökologischen Betrieb sind Unterschiede der Investitionskosten aufgrund der Art der Anlagenfütterung (tierisch/pflanzlich) zu berücksichtigen. Fermenter und Gärrestlager benötigen bei der pflanzenbasierten Fütterung kleinere Volumina bei gleicher Biogas-Leistung als bei der wirtschaftsdüngerbasierten Ration. Andererseits sind bei pflanzenbasierter

Fütterung erhöhte Kosten für das Substratlager, für Rührtechnik und Pumpstation (+ 10 %) sowie das Feststoffeintragssystem (+ 5 %) aufgrund der physikalischen Eigenschaften pflanzlicher gegenüber tierischer Substraten zu kalkulieren.

### **8.1.3.2 Wirtschaftliche Kennzahlen**

Die Ergebnisse der Modellkalkulationen zeigen, dass insbesondere die wirtschaftsdüngerbasierten Biogasanlagen in beiden vorgestellten Produktionssystemen (ökol./konv.) unter den Rahmenbedingungen des EEG 2012 wirtschaftlich betrieben werden können (Abbildung 29). Mit Ausnahme der 75 kW<sub>el</sub> Anlage können pflanzenbasierte Anlagen, die mit konventionell erzeugten Rohstoffen betrieben werden, wirtschaftlich sein, während der Substratinput ökologischer Substrate zu kostenintensiv ist, um die Anlagen rentabel betreiben zu können. Die Ergebnisse zeigen auf, dass konventionell betriebene Anlagen aufgrund der oben beschriebenen Kostenvorteile generell ein vorteilhafteres Betriebsergebnis als ökologisch basierte Anlagen erzielen. Unter den aktualisierten Rahmenbedingungen des EEG 2014 ist ein Betrieb neuer Biogasanlagen (ökol. **und** konv.) auf Basis landwirtschaftlicher Substrate derzeit nur bei den wirtschaftsdüngerbasierten Kleinanlagen („Gülle-Anlagen“) zu erwarten (Abbildung 30). Auch diese bewegen sich mit Annuitäten von -2.367 € (ökol.) und 11.759 € (konv.) an der Grenze der Wirtschaftlichkeit. Alle anderen Anlagentypen sind bei Neuerrichtung unter den hier getroffenen Annahmen wirtschaftlich nicht mehr interessant.

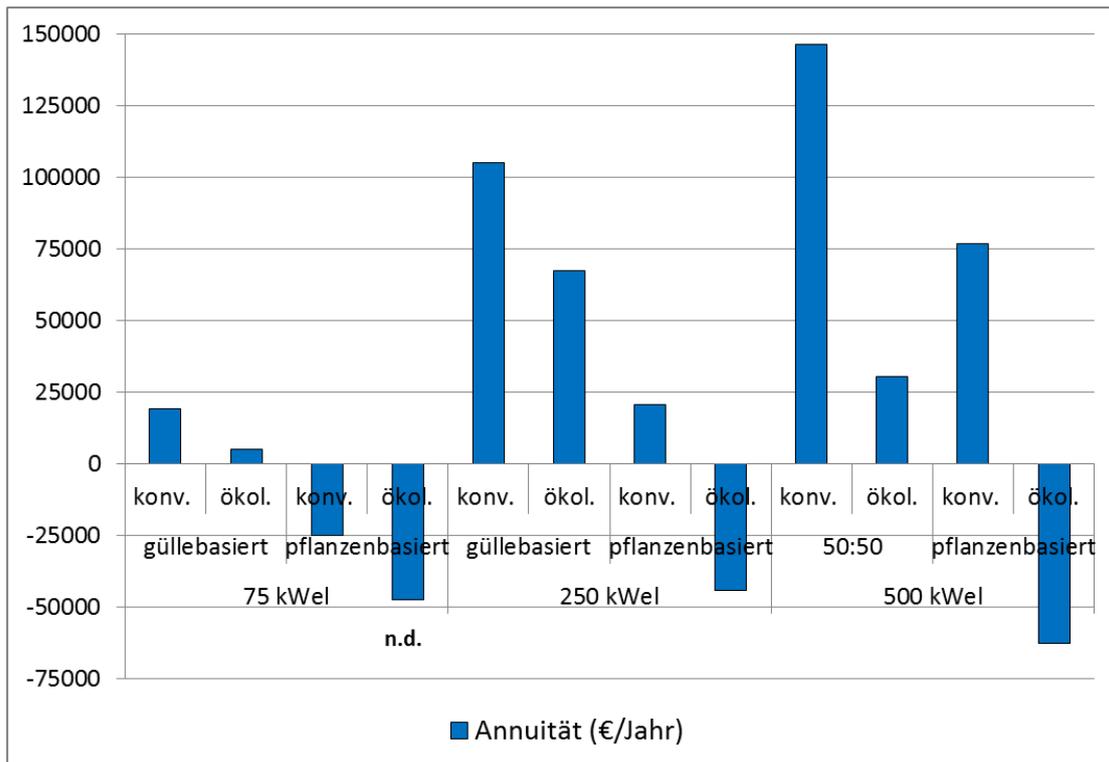


Abbildung 29: Wirtschaftliche Kennzahl der Annuität aller Modellanlagen auf Basis der Vergütungssätze des EEG 2012 (eigene Darstellung)

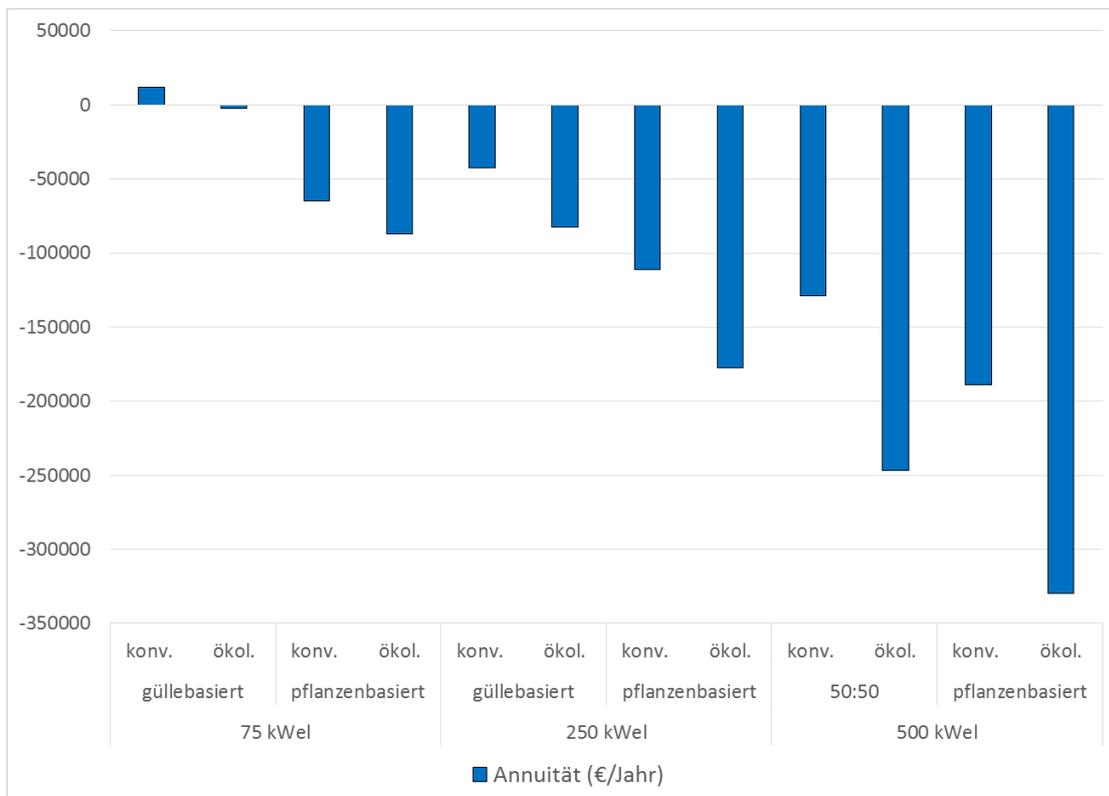


Abbildung 30: Wirtschaftliche Kennzahl der Annuität aller Modellanlagen auf Basis der Vergütungssätze des EEG 2014 (eigene Darstellung)

### 8.1.3.3 Zusammensetzung der Kosten und Einnahmen

Die Übersicht über die Zusammensetzung der Kosten für die Modellanlagen zeigt, dass die Substratkosten mit Ausnahme der 75 kW-Anlagen jeweils den größten Kostenblock mit teilweise bis zu 50 % der Jahreskosten ausmachen (Abbildung 31). Die Substratkosten sind jeweils höher für die ökologischen als für die konventionellen Anlagen. Managementkosten nehmen mit zunehmender Anlagengröße proportional ab, hier sind zwischen den Bewirtschaftungsarten keine Unterschiede festzustellen.

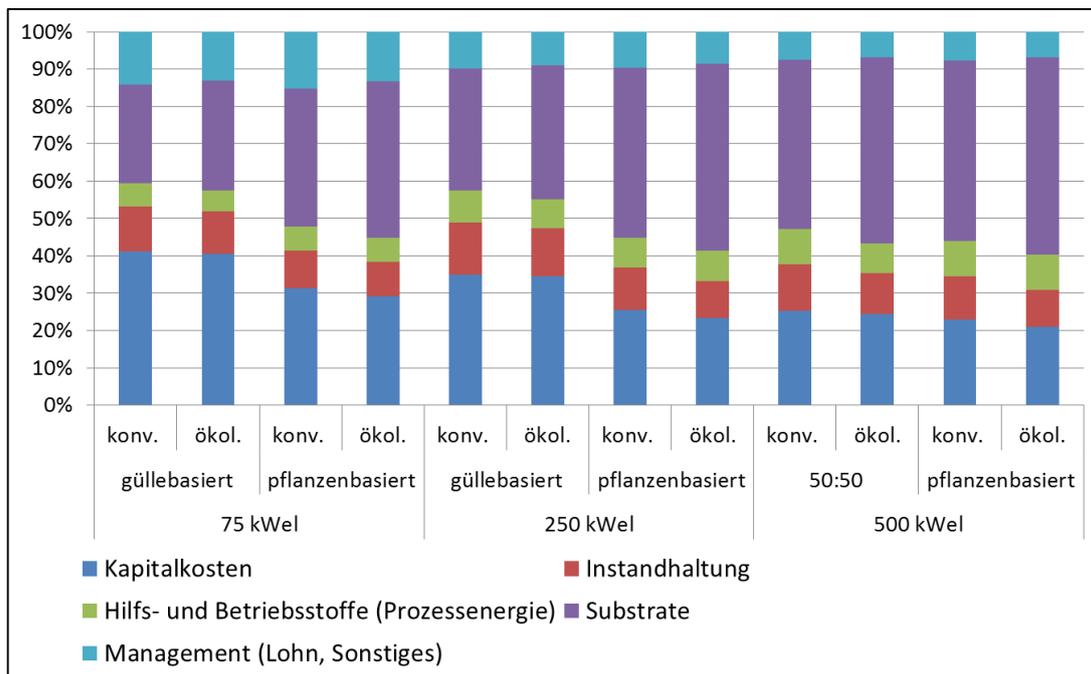


Abbildung 31: Kostenanteile aller Modellanlagen (eigene Darstellung)

Übersichten über die Zusammensetzung der Einnahmen abhängig von der jeweiligen Fassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes geben Abbildung 32 (EEG 2012) und Abbildung 33 (EEG 2014). Im EEG 2012 beziehen die 75 kW-„Gülle-Anlagen“ die gesamte Vergütung der elektrischen Energie aus der Grundvergütung (25 €ct./kWh). Alle anderen Anlagen beziehen etwa 60 % der Einnahmen aus der Grundvergütung und – abhängig von der Fütterung (pflanzenbasiert oder wirtschaftsdüngerbasiert) – ca. 30 % zu unterschiedlichen Anteilen aus den Einsatzstoff-Vergütungsklassen I und II. Im EEG 2014 gibt es aufgrund der Vereinheitlichung der Vergütungssätze auf einen Basissatz keine Unterteilungen der Einnahmenstruktur. Zusätzlich zur EEG-Vergütung erzielen alle Anlagen Einkünfte aus dem Wärmeverkauf. Bei dem hier angenommenen Wärmeverkauf von 50 % der Überschusswärme zeigt sich, dass bei den 75 kW-

„Gülle-Kleinanlagen“ ca. 8 % der Einnahmen aus dem Wärmeverkauf kommen, während es bei allen übrigen Anlagen zwischen 14 und 15 % sind.

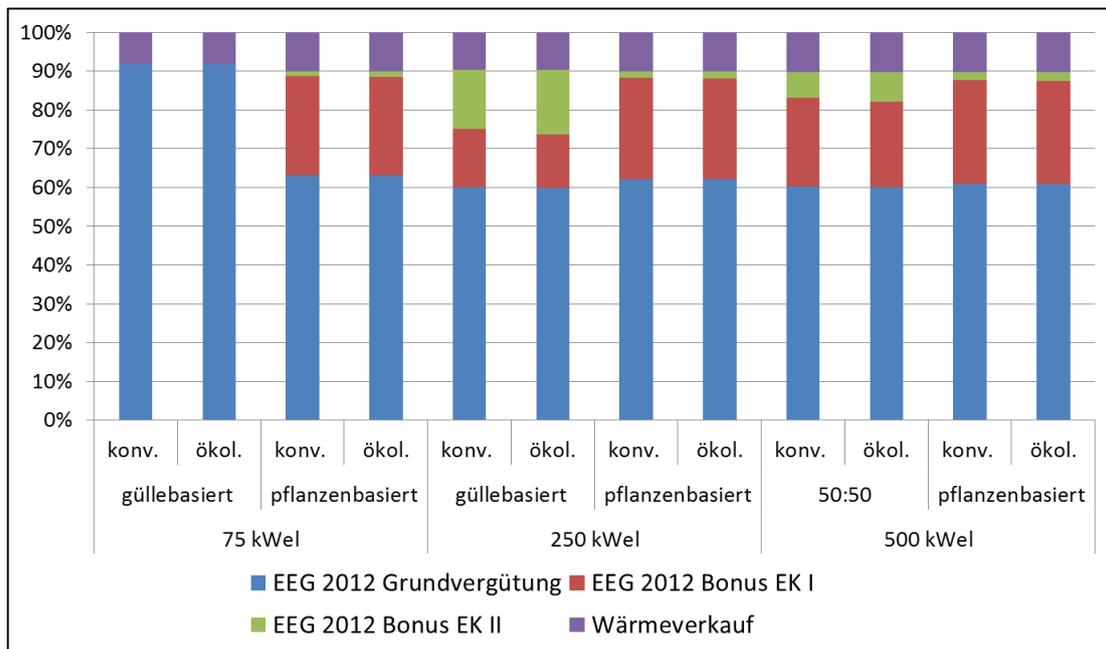


Abbildung 32: Zusammensetzung der Einnahmen aller Modellanlagen bei Vergütung durch das EEG 2012 (eigene Darstellung)

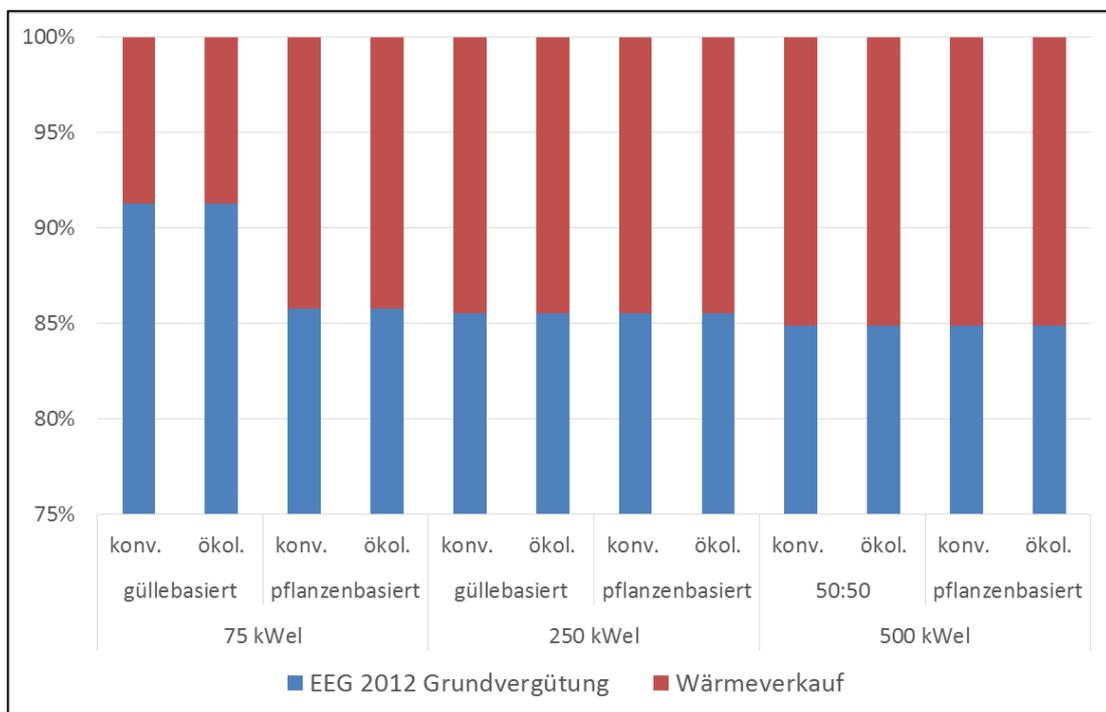


Abbildung 33: Zusammensetzung der Einnahmen aller Modellanlagen bei Vergütung durch das EEG 2014 (eigene Darstellung)

### 8.1.3.4 Stromgestehungskosten und Stromvergütung

Auch ein Vergleich der Stromgestehungskosten (fixe und variable Jahreskosten bezogen auf die jährlich erzeugte Strommenge) zeigt, dass die Biogasproduktion im ökologischen Betrieb 1 bis 4 €/kWh und damit 5 bis 15 % teurer ist als die Biogasproduktion mit konventionellen Substraten (Tabelle 19). Dies kann zum einen darauf zurückgeführt werden, dass die eingesetzten pflanzlichen Substrate bei geringeren Biogasausbeuten zumeist höhere Produktionskosten verursachen und damit – sowohl in der innerbetrieblichen Produktion als auch bei Zukauf – teurer sind. Dies macht sich insbesondere deshalb gravierend bemerkbar, da die Ausgaben für Biomasse etwa bei den pflanzenbasierten Anlagen bis zu 50 % der jährlichen Kosten ausmachen (Tabelle 19). Den größten Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb der Modellanlagen hat neben Substrat- und Investitionskosten insbesondere die Höhe der Stromvergütung. In Kapitel 8.1.4.2 (Break-Even-Analyse) erfolgt eine Analyse, welche Vergütung (entweder gesetzlich garantiert oder zukünftig auch am freien Markt) notwendig wäre, um für die verschiedenen Anlagentypen ein zumindest neutrales Betriebsergebnis (0 €/Jahr) zu erwirtschaften.

Tabelle 19: Vergleich der Gestehungskosten aller Anlagenmodelle (€/kWh-1) (eigene Darstellung)

Leistung (kW <sub>el</sub> )	Substrat-Basis	Gestehungskosten (ökol.)	Gestehungskosten (konv.)
75	tierisch	0,26	0,24
	pflanzlich	0,31	0,27
250	tierisch	0,19	0,18
	pflanzlich	0,24	0,21
500	50:50	0,21	0,19
	pflanzlich	0,23	0,20

### 8.1.4 Sensitivitätsanalyse

#### 8.1.4.1 Berücksichtigung des Düngewerts der Biogasgülle

Gerade auch im Hinblick auf die spätere systemische Bewertung von BioBiogasanlagen ist die Berücksichtigung des Düngewerts der Biogasgülle in den betriebswirtschaftlichen Berechnungen der Modellanlagen mit einzubeziehen. Im Sinne einer Szenariorechnung wurde daher der Verkauf der Biogasgülle (innerbetrieblich oder extern) für alle ökologisch bewirtschafteten Modellanlagen unterstellt. Zugrunde gelegt wurde der N-Gehalt der Biogasgülle nach Lagerverlusten (5 %) auf der Grundlage der eingangs eingeführten Inputstoffe der

Modellanlagen. Für die Bewertung des Stickstoffs im Ökolandbau lassen sich große Spielräume identifizieren, hier wurde ein mittlerer Wert von 2,50 € kg<sup>-1</sup> (z.B. (Redelberger 2004) angesetzt. Da in der weiteren Systembewertung der Ackerbau die Wirtschafts-düngemittel sowohl aus der Biogaserzeugung als auch aus der tierischen Erzeugung bezahlt, wurde zudem unterstellt, dass die Biogasanlage nun den Wirtschaftsdünger als Inputstoff auf der Grundlage des N-Gehalts (nach Stallverlusten) ebenfalls mit 2,50 € kg<sup>-1</sup> einkauft. Alle weiteren Pflanzennährstoffe in Wirtschaftsdünger und Biogasgülle wurden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Die Szenariorechnung zeigt, dass alle Anlagentypen vom Gülle-/Festmisteinkauf sowie dem Biogasgülleverkauf profitieren (Abbildung 34).

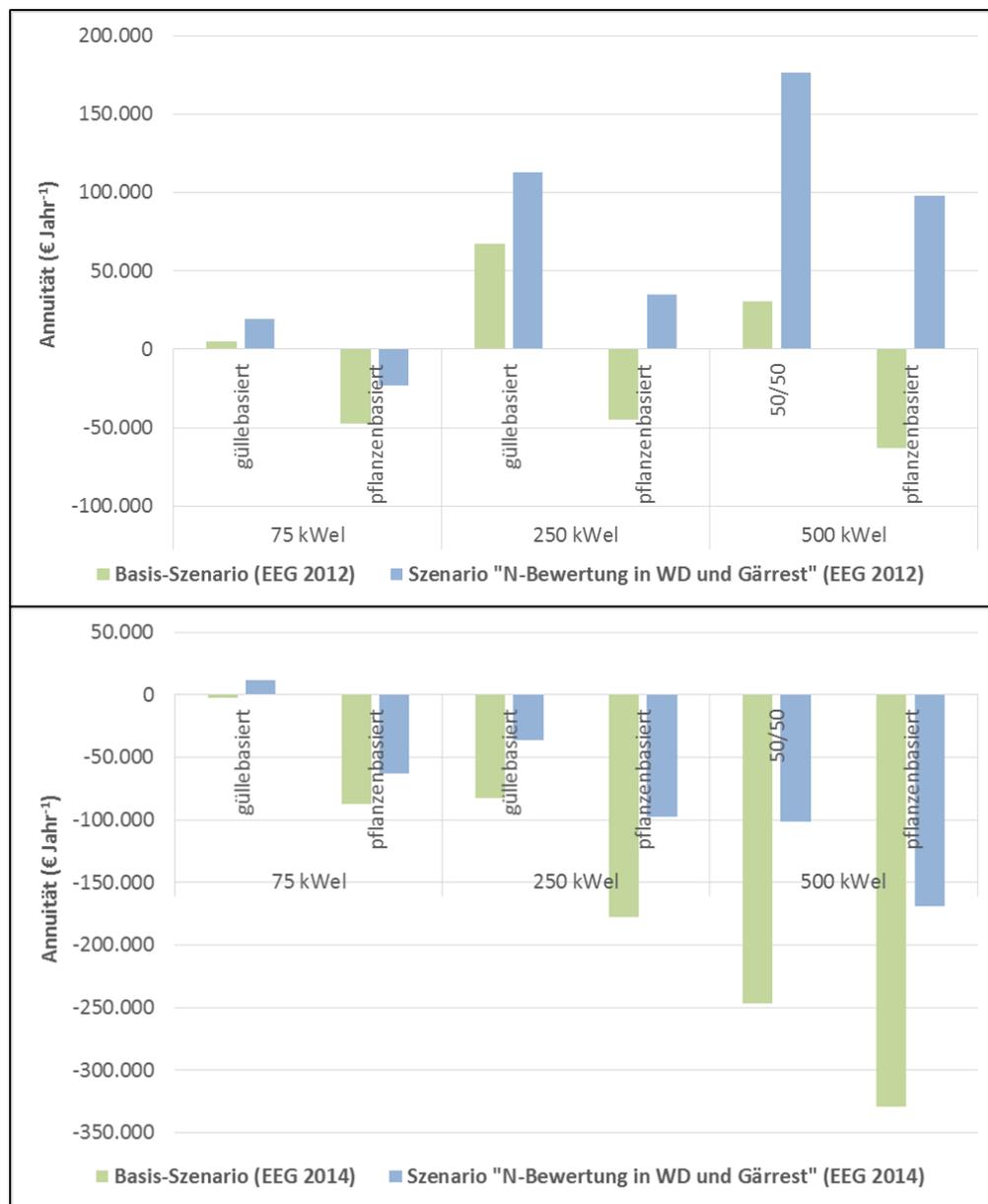


Abbildung 34: Einfluss der Bewertung des Einkaufs von Gülle-/Festmist (WD) und Biogasgülleverkauf auf die Wirtschaftlichkeit (Annuität; € Jahr<sup>1</sup>) der betrachteten ökologischen Modellanlagen vor dem Hintergrund der EEG-Novellen 2012 und 2014 (eigene Darstellung)

Im EEG 2012 sind unter diesen Voraussetzungen alle Anlagentypen mit Ausnahme des 75 kW pflanzenbasierten Anlagentyps wirtschaftlich zu betreiben, insbesondere auch die größeren pflanzenbasierten Anlagentypen. Auch im EEG 2014 führt dieses Szenario zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit aller Anlagentypen, lediglich die 75 kW güllebasierte Anlage ist jedoch absolut gesehen wirtschaftlich zu betreiben. Alle anderen Anlagentypen sind in diesem Modellrechnungen auf der Grundlage der aktuellen Vergütungssätze des EEG 2014 nicht wirtschaftlich. Insbesondere diejenigen Anlagentypen, die vermehrt pflanzliche Inputstoffe einsetzen, profitieren vom Verkauf der in Dünger umgewandelten Substrate. Dies ist damit begründet, dass für die pflanzenbasierten Anlagen kaum Zusatzkosten entstehen, da sie nur in geringem Maße Wirtschaftsdünger einsetzen und die pflanzlichen Substrate bereits als Inputstoffe bezahlt sind, nun aber der Output (Gärrest) vergütet wird.

#### 8.1.4.2 Break-Even-Analysen

Es wurden Break-Even-Analysen für die Input-Parameter *Investitionskosten*, *Substratkosten (pflanzliche Substrate)*, *Kapitalkosten* und *Kosten der Arbeit* sowie der *Stromvergütung* durchgeführt (Tabelle 21). Dabei wurden die maximal tolerierbare Erhöhung bzw. die notwendige Senkung der Parameter-Kosten am Break-Even-Point der Rentabilität (Annuität = 0 €) ermittelt. Liegen die jährlichen Parameter-Kosten dabei theoretisch unter 0 €, ist die Annuität beim Parameter-Kostenwert = 0 € angegeben.

Aufgrund der verbesserten Ausgangslage der Betriebsergebnisse (Annuität) der konventionell betriebenen Anlagentypen sind bei positivem ursprünglichen Betriebsergebnis größere Spielräume der Variation der Parameter als bei den ökologisch bewirtschafteten Biogasanlagen möglich sowie bei negativem ursprünglichen Betriebsergebnis geringere Abschläge vonnöten. Das gleiche gilt bei Zugrundelegung des EEG 2012 im Vergleich zum EEG 2014.

Den größten Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb der Modellanlagen hat neben Substrat- und Investitionskosten insbesondere die Höhe der **Stromvergütung**. Tabelle 20 zeigt auf, welche Vergütung (entweder gesetzlich garantiert oder zukünftig auch am freien Markt) notwendig wäre, um für die vorgestellten

Anlagentypen ein neutrales Betriebsergebnis (Breaks-Even-Point 0 € Jahr<sup>-1</sup>) zu erwirtschaften.

Tabelle 20: Vergleich der Vergütungssätze von EEG 2012 und EEG 2014 sowie der Break-Even-Vergütungssätze aller Anlagenmodelle (eigene Darstellung)

Leistung (kW <sub>el</sub> )	Substrat-Basis	Vergütung EEG 2012 (ökol./konv.) <sup>a</sup>	Vergütung EEG 2014 (ökol./konv.) <sup>a</sup>	Vergütung Break-Even (ökol.) <sup>a;b</sup>	Vergütung Break-Even (konv.) <sup>a;b</sup>
75	tierisch	25	23,73	24,1	22,2
	pflanzlich	20,4	13,66	28,5	25,1
250	tierisch	20,5	13,03	17,1	15,3
	pflanzlich	19,7	13,03	21,9	18,8
500	50:50	19,3	12,4	18,5	15,6
	pflanzlich	19,3	12,4	22,5	17,1

<sup>a</sup> Diese Durchschnittswerte (€ct. kWh<sup>-1</sup>) berücksichtigen die verschiedenen Vergütungen unterschiedlicher Leistungsklassen bzw. Bonusvergütungen

<sup>b</sup> Diese Durchschnittswerte (€ct. kWh<sup>-1</sup>) berücksichtigen die verschiedenen Vergütungen unterschiedlicher Leistungsklassen bzw. Bonusvergütungen den Verkauf von 50 % der erzeugten Wärmemenge zu 3 €ct. kWh<sup>-1</sup>.

Unter Berücksichtigung des EEG 2012 ist eine maximale Zunahme der **Investitionskosten** beim Anlagentyp 500 kW, 50/50 um 64 % möglich (ökologische Vergleichsanlage: 12 %), der Anlagentyp 75 kW, *pflanzenbasierte Fütterung* benötigt dagegen eine Senkung der Investitionskosten von - 42 % (ökologische Vergleichsanlage: - 72 %). Wird bei den Anlagenkalkulationen das EEG 2014 zugrunde gelegt, ist lediglich beim konventionellen Anlagentyp 75 kW, *güllebasiert* eine Steigerung der Investitionskosten von maximal 16 % tolerabel, bei allen anderen Anlagentypen wäre eine Senkung der Investitionskosten zwischen 3 % (75 kW, *güllebasiert, ökologisch*) und 94 % (500 kW, 50/50, *ökologisch*) notwendig. Alle pflanzenbasierten ökologischen Anlagentypen sowie der Anlagentyp 75 kW, *pflanzenbasiert, konventionell* erzielen selbst bei Senkung der Investitionskosten auf 0 € eine negative Annuität. Das heißt, dass selbst wenn die Anlage ohne Kosten für den Betreiber (z.B. 100 % Investitionszuschuss) errichtet wäre, kein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist.

Grundsätzlich wären die güllebasierten Anlagentypen besser in der Lage, höhere **Substratkosten** zu tragen, insbesondere auch, da der Anteil der pflanzlichen Inputstoffe am Substratmix 20 % nicht überschreitet und daher der Einfluss auf das wirtschaftliche Jahresendergebnis geringer ist. Die höchsten maximal tolerierbaren Werte sind beim Anlagentyp 250 kW, *güllebasiert* zu verzeichnen (ökologisch: 63 € t<sup>-1</sup> FM, konventionell: 75 € t<sup>-1</sup> FM; EEG 2012), die niedrigsten beim Anlagentyp 75 kW, *güllebasiert* (ökologisch: 13 € t<sup>-1</sup> FM, konventionell: 20 € t<sup>-1</sup> FM; EEG 2012). Selbst unter Berücksichtigung des EEG 2014 ist (bis auf den Anlagentyp 75 kW, *pflanzenbasiert*) durch die Senkung

der Substratkosten auf maximal  $9 \text{ € t}^{-1} \text{ FM}$  ( $250 \text{ kW}$ , *pflanzenbasiert, ökologisch*) der Break-Even-Point erreicht, bevor die Substratkosten den Parameterwert  $0 \text{ € t}^{-1} \text{ FM}$  erreichen. Dies verdeutlicht erneut, dass bei einem großen Anteil der Substratkosten an den Jahreskosten (vgl. Abbildung 31), die Kosten für Inputstoffe den wichtigsten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagenmodelle haben und mit der Stellschraube *Substratkosten* signifikante Änderungen der Wirtschaftlichkeit erreicht werden können.

Der Anlagentyp  $250 \text{ kW}$ , *güllebasiert, konventionell*, hätte erst bei **Kapitalkosten** (Kalkulationszinsfuß) von 18 % (oder einem Plus von 192 %) die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreicht (nach EEG 2012). Mit einem Kalkulationszinsfuß in dieser Höhe muss bei den derzeit relativ niedrigen Kosten für Fremdkapital selbst bei hohen Eigenkapitalansprüchen wohl kaum kalkuliert werden. Den meisten Spielraum bei den Ökoanlagen hat auch hier der Anlagentyp  $250 \text{ kW}$ , *güllebasiert* (Kalkulationszinsfuß: 13 % = Plus von 113 %). Bei Berücksichtigung des EEG 2014 sind reelle Spielräume der Kapitalkosten nur beim *güllebasierten Anlagentyp  $75 \text{ kW}$*  erkennbar. Für die konventionell betriebene Anlage wäre ein Kalkulationszinsfuß von 9 % gerade noch akzeptabel, für die ökologisch betriebene Modellanlage müssten die Kapitalkosten auf etwa 5 % sinken, um Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Alle anderen Anlagentypen wären nach den Berechnungen nach dem EEG 2014 selbst bei 0 % Kapitalkosten nicht rentabel.

Für einige der Anlagentypen wäre eine Steigerung der **Arbeitskosten**, die hier relativ niedrig mit  $15 \text{ € Akh}^{-1}$  brutto aus dem landwirtschaftlichen Bereich (z.B. KTBL 2014) übernommen und angesetzt wurden, möglich. Den meisten Spielraum für einen konventionellen Anlagentyp bietet sich hier unter Einbeziehung des EEG 2012 für die Anlage  $500 \text{ kW}$ ,  $50/50$ , mit einem maximalen Brutto-Stundenlohn von  $99 \text{ € h}^{-1}$  und für die Anlage  $250 \text{ kW}$ , *pflanzenbasiert*, mit einem maximalen Brutto-Stundenlohn von  $29 \text{ € h}^{-1}$  am unteren Ende des Spektrums. Für die ökologisch bewirtschafteten Anlagen ist die größtmögliche Steigerung des Brutto-Stundenlohns beim Anlagentyp  $250 \text{ kW}$ , *güllebasiert*, auf  $66 \text{ € h}^{-1}$  möglich, sowie mit der kleinsten Steigerung auf  $21 \text{ € h}^{-1}$  beim Anlagentyp  $75 \text{ kW}$ , *güllebasiert*. Alle *pflanzenbasierten Ökoanlagen* sowie die *konventionelle Anlage  $75 \text{ kW}$ , pflanzenbasiert*, sind auch bei  $0 \text{ €}$  Lohnkosten pro Jahr nicht wirtschaftlich zu betreiben. Bei Berücksichtigung des EEG 2014 sind auch bei den Kosten der Arbeit reelle Spielräume nur beim *güllebasierten Anlagentyp  $75 \text{ kW}$*  zu erkennen. Für die konventionell betriebene Anlage wäre ein maximaler Brutto-Stundenlohn von  $28 \text{ € h}^{-1}$  tolerierbar, für die ökologisch betriebene Modellanlage müsste der Brutto-Stundenlohn auf  $12 \text{ € h}^{-1}$  sinken, um die Wirtschaftlichkeit der Anlage sicherzustellen. Alle anderen Anlagentypen wären unter Zugrundelegung des EEG 2014 bei den Anlagenkalkulationen auch bei  $0 \text{ €}$  Arbeitskosten pro Jahr nicht rentabel.

Tabelle 21: Break-Even-Analyse der Modellanlagen für die Parameter Investitions-, Substrat-, Kapital- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Vergütungssätze der EEG-Novellen EEG 2012 und EEG 2014 (eigene Darstellung)

Parameter	Anlagengröße	Vorwiegender Anlageninput	Anlagenausrichtung	Ausgangswert (€)	EEG 2012				EEG 2014			
					Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)	Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)
Investitionskosten	75 kW	gülleb.	konv.	562.826	714.789	27			652.878	16		
			ökol.	629.765	673.849	7			610.872	-3		
		pflanzl.	konv.	455.695	259.746	-43						-5.018
			ökol.	501.900	140.532	-72						-22.119
	250 kW	gülleb.	konv.	1.216.616	2.068.247	70			875.963	-28		
			ökol.	1.380.925	1.933.295	40			704.272	-49		
		pflanzl.	konv.	1.028.161	1.192.666	16			154.224	-85		
			ökol.	1.124.261	775.740	-31						-34.486
	500 kW	50/50	konv.	1.840.472	3.018.374	64			809.808	-56		
			ökol.	2.128.590	2.384.020	12			127.715	-94		
		pflanzl.	konv.	1.775.353	2.378.972	34			266.303	-85		
			ökol.	1.973.683	1.460.525	-26						-83.002

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 21 (Fortsetzung): Break-Even-Analyse der Modellanlagen für die Parameter Investitions-, Substrat-, Kapital- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Vergütungssätze der EEG-Novellen EEG 2012 und EEG 2014 (eigene Darstellung)

Parameter	Anlagengröße	Vorwiegender Anlageninput	Anlagenausrichtung	Ausgangswert (€)	EEG 2012				EEG 2014			
					Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)	Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)
Substratkosten (pflanzliche Substrate)	75 kW	gülleb.	konv.	30.299	49.518	63	61		42.058	39	52	
			ökol.	36.714	41.812	14	46		34.347	-6	38	
		pflanzl.	konv.	53.455	28.397	-47	20					-11.034
			ökol.	67.598	20.014	-70	13					-19.527
	250 kW	gülleb.	konv.	99.475	204.561	106	76		56.941	-43	21	
			ökol.	120.631	187.839	56	63		38.131	-68	13	
		pflanzl.	konv.	175.492	196.229	12	43		64.082	-63	14	
			ökol.	222.031	177.283	-20	35		44.697	-80	9	
	500 kW	50/50	konv.	296.011	442.210	49	55		167.268	-43	21	
			ökol.	380.164	410.611	8	45		133.126	-65	14	
		pflanzl.	konv.	355.193	431.862	22	47		166.006	-53	18	
			ökol.	449.395	386.631	-14	37		119.896	-73	12	

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 21 (Fortsetzung): Break-Even-Analyse der Modellanlagen für die Parameter Investitions-, Substrat-, Kapital- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Vergütungssätze der EEG-Novellen EEG 2012 und EEG 2014 (eigene Darstellung)

Parameter	Anlagengröße	Vorwiegender Anlageninput	Anlagenausrichtung	Ausgangswert (€)	EEG 2012				EEG 2014			
					Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)	Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)
Kapitalkosten	75 kW	gülleb.	konv.	6	11	82			9	52		
			ökol.	6	7	20			5	-10		
		pflanzl.	konv.	6				-10.878				-50.309
			ökol.	6				-32.297				-71.838
	250 kW	gülleb.	konv.	6	18	192						-1.595
			ökol.	6	13	113						-36.264
		pflanzl.	konv.	6	9	55						-80.709
			ökol.	6				-12.425				-145.011
	500 kW	50/50	konv.	6	17	187						-72.237
			ökol.	6	8	38						-183.022
		pflanzl.	konv.	6	13	112						-137.579
			ökol.	6				-7.890				-247.625

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 21 (Fortsetzung): Break-Even-Analyse der Modellanlagen für die Parameter Investitions-, Substrat-, Kapital- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Vergütungssätze der EEG-Novellen EEG 2012 und EEG 2014 (eigene Darstellung)

Parameter	Anlagengröße	Vorwiegender Anlageninput	Anlagenausrichtung	Ausgangswert (€)	EEG 2012				EEG 2014			
					Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)	Break-Even-Wert (€)	Variation (%)	Break-Even-Kosten Substrate; Lohnansatz (€ t <sup>-1</sup> ; € h <sup>-1</sup> )	Annuität bei Parameterwert = 0 (€)
Kosten der Arbeit	75 kW	gülleb.	konv.	13.071	32.289	147	37		24.830	90	28	
			ökol.	13.071	18.169	39	21		10.704	-18	12	
		pflanzl.	konv.	16.338				-8.720				-48.151
			ökol.	16.338				-31.245				-70.786
	250 kW	gülleb.	konv.	19.606	124.693	536	95					-22.928
			ökol.	19.606	86.814	343	66					-62.893
		pflanzl.	konv.	22.874	43.611	91	29					-88.536
			ökol.	22.874				-21.873				-154.460
	500 kW	50/50	konv.	26.141	172.341	559	99					-102.602
			ökol.	26.141	56.589	116	32					-220.897
		pflanzl.	konv.	29.409	106.078	261	54					-159.778
			ökol.	29.409				-33.355				-300.090

### **8.1.4.3 Substratkosten und alternative Bewertungsansätze der Substratkostenermittlung**

Die obige Break-Even-Analyse des Parameters *Substratkosten* verdeutlicht dessen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen. Einige der hier vorgestellten ökologisch betriebenen Modellanlagen, die auf der Grundlage der hier eingegangenen Parameterwerte keine Wirtschaftlichkeit erreichen, sind dennoch in der Praxis in Deutschland vorzufinden. Dies ist u.a. auch auf den Einsatz konventioneller (Energie-)Substrate zurückzuführen, die bei höheren Biogasausbeuten niedrige Einkaufskosten im Vergleich zu ökologisch erzeugten Energiesubstraten verursachen. Im Hinblick auf die Umstellung auf 100 % Ökosubstraten einiger Bioverbände wird dies aber zukünftig keine Option mehr darstellen.

Beim Einsatz von Klee gras als Reststoff, der ansonsten ungenutzt auf dem Feld verbleiben würde (Mulch), ist eine veränderte Bewertung der Erzeugungskosten denkbar. Da das Klee gras in diesem Fall gemulcht wird, kann argumentiert werden, dass die Mulchkosten nicht der Biogasanlage als Substratkosten angerechnet werden können und die Kosten sich auf Bergungs-, Silierungs- und Lagerkosten beschränken. Nach KTBL-Standard-Daten und eigenen Berechnungen betragen die Mulchkosten bei einem Biomasse-Bruttoertrag von 27 t FM ha<sup>-1</sup> ca. 6,60 € t<sup>-1</sup>. Die hier angesetzten Kosten für Klee gras von 32 € t<sup>-1</sup> würden sich daher um 6,60 € t<sup>-1</sup> auf 25,40 € t<sup>-1</sup> reduzieren. Bei einem großen Klee gras-Anteil in der Anlagenfütterung kann dies eine nicht unerhebliche Kosteneinsparung bedeuten.

## **8.2 Monetäre Systembewertung einer integrierten BioBiogaserzeugung**

Wie die Ergebnisse der Systemanalyse (Kapitel 3) zeigen, ergeben sich bei der Integration der Biogaserzeugung in Ökobetriebe zahlreiche positive agronomische Effekte, die sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebs auswirken können. Daher sind in Erweiterung der wirtschaftlichen Betrachtungen von Biogasanlagen im Ökolandbau (Kapitel 8.1) betriebliche Zusatzeffekte modellhaft abgebildet und monetär bewertet worden. Sie sollen das ökonomische Potential im gesamtbetrieblichen Kontext der aus den Modellanlagen abgeleiteten Modellbetriebe aufzeigen.

## 8.2.1 Methodische Vorgehensweise

Die monetäre Abbildung innerbetrieblicher Systemeffekte einer integrierten Biogaserzeugung erfolgte in Verfahrensschritten:

- 1) Entwicklung von an die Modellanlagen angepassten Betriebsmodellen
- 2) Entwicklung eines Fruchtfolgemodells für die Modellbetriebe
- 3) Ableitung eines dynamischen, jahresbasierten Stickstoff-Modells zur Abbildung der N-Flüsse im Betrieb
- 4) Integration der Ertragsbestimmung abhängig vom Stickstoff-(Nmin-) Angebot
- 5) Betriebswirtschaftliche Bewertung der Systemeffekte

### 8.2.1.1 Entwicklung von an die Modellanlagen angepassten Betriebsmodellen

Die monetäre Bewertung innerbetrieblicher Effekte erfolgte auf Basis verschiedener ökologischer viehhaltender und viehloser landwirtschaftlicher Modell-Betriebssysteme. Ausgehend von den in Kapitel 8.1 vorgestellten Biogasanlagenmodellen im Ökolandbau mit unterschiedlichen Leistungsklassen (75, 250 und 500 kW<sub>el</sub>) und Inputmaterialien wurden 12 Betriebsmodelle (je sechs mit bzw. ohne Biogas) entwickelt, deren Größe (Hektar- u. Viehbesatz) anhand des Biomassebedarfs der Viehhaltung und/oder der Biogasanlage (Wirtschaftsdünger, Klee gras, Grünland, Roggen-GPS) abgeleitet wurden (Tabelle 22).

Tabelle 22: Charakterisierung der aus den Modell-Biogasanlagen abgeleiteten Modellbetriebe nach Tierhaltung und Fläche (eigene Darstellung)

Betriebs-typen mit Biogas-anlage	Einheit	75 kW, vieh-haltend	75 kW, vieh-los*	250 kW, vieh-haltend	250 kW, vieh-los*	500 kW, vieh-haltend	500 kW, vieh-los*
Milchkühe	Stück	185	(20)	607	(65)	470	(132)
Nachzucht	Stück	62	(7)	202	(22)	157	(44)
Summe Tierhal-tung	Tier-plätze* *	246	(26)	809	(87)	627	(176)
Summe Tierhal-tung	GV**	345	(37)	1133	(122)	877	(247)
Ackerbau Gesamt	ha	207	83	680	273	959	552

Betriebs- typen mit Biogas- anlage	Einheit	75 kW, vieh- haltend	75 kW, vieh- los*	250 kW, vieh- haltend	250 kW, vieh- los*	500 kW, vieh- haltend	500 kW, vieh- los*
-davon KG für Rinder	ha	37	0	122	0	94	0
-davon KG für BGA	ha	22	24	72	78	180	158
Grünland Gesamt	ha	130	39	426	130	552	263
-davon GL für Rinder	ha	107	0	350	0	281	0
-davon GL für BGA	ha	23	39	75	130	280	263

Da die Fütterung der Modellanlagen mit Wirtschaftsdünger aus der Rinderhaltung ausgelegt wurde, sind für die Modellbetriebe Milchviehsysteme mit Liegeboxenlaufstallhaltung unterstellt worden (Milchvieh inklusive Nachzucht). Der Viehbesatz richtet sich nach dem für die Biogasanlagen benötigten Wirtschaftsdünger und errechnet sich aus dem jährlichen Gülleanfall der Milchkühe von 18,56 t FM/Tierplatz sowie einem Festmistanfall von Trockenstehern und Nachzucht von 8 t FM/Tierplatz (KTBL (Hrsg.) 2010). Es wurde eine Remontierungsrate von 25 % unterstellt.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche der Modellbetriebe errechnet sich aus den Bedarfen der Tierhaltung sowie der Biogasanlage. Beispielsweise beträgt der hier zugrunde gelegte jährliche Raufutterbedarf einer Milchkuh nach KTBL (2015) rund 13,1 t Wiesen gras, 4,3 t Grassilage, 3,6 t Klee grassilage und 0,3 t Wiesenheu. Die Ackerfläche wurde aus dem Bedarf an Klee gras von Tierhaltung und Biogasanlage abgeleitet. Am Beispiel des viehhaltenden Betriebstyps *75 kW mit Biogasanlage* soll dies verdeutlicht werden: Der Flächenbedarf für Klee gras beträgt bei vorgegebenem Nettoertrag von 20,5 t FM 37 ha für die Viehhaltung und 22 ha für die Biogasanlage und damit rund 60 ha. Das zwei-jährige Klee gras benötigt daher 30 ha pro Jahr, damit ist die Größe der übrigen Fruchtfolgeglieder ebenfalls auf 30 ha festgelegt. Die Betriebstypen *ohne Bio-gas* mulchen das nicht benötigte Klee gras und belassen es auf der Fläche. Die Betriebe *mit Bio-gas* fahren es als Inputbiomasse für die Biogasanlage vom Feld ab. Damit verfügen alle Betriebstypen der gleichen Größenklasse jeweils über die gleiche Ackerfläche (siehe Abbildung 35). Um die Versorgung der Biogas-anlagen mit Roggen-Ganzpflanzensilage bei vorgegebenem Umfang der Fruchtfolgeglieder zu garantieren, wurde in der weiteren Modellierung festge-legt, dass ein Roggen-Ertrag von mind. 24,4 t/ha erreicht wird.

Auch der Grünlandanteil ergibt sich aus dem Bedarf an Grassilage von Tierhaltung und Biogasanlage. Die viehlosen Betriebe *mit Biogas* verfügen lediglich über die Grünlandflächen, die sie zur Fütterung ihrer Biogasanlage benötigen. Aufgrund der Vergleichbarkeit der Betriebe wurde davon ausgegangen, dass die viehlosen Betriebe *ohne Biogas* über die gleiche Menge Grünland verfügen, dieses aber verpachten, da sie für das Grünland keinerlei Verwendung haben. Der Grünlandanteil der Betriebe *mit Biogas* liegt jeweils über dem Anteil der Betriebe *ohne Biogas*, da die Biogasanlage zusätzlich Grassilage benötigt

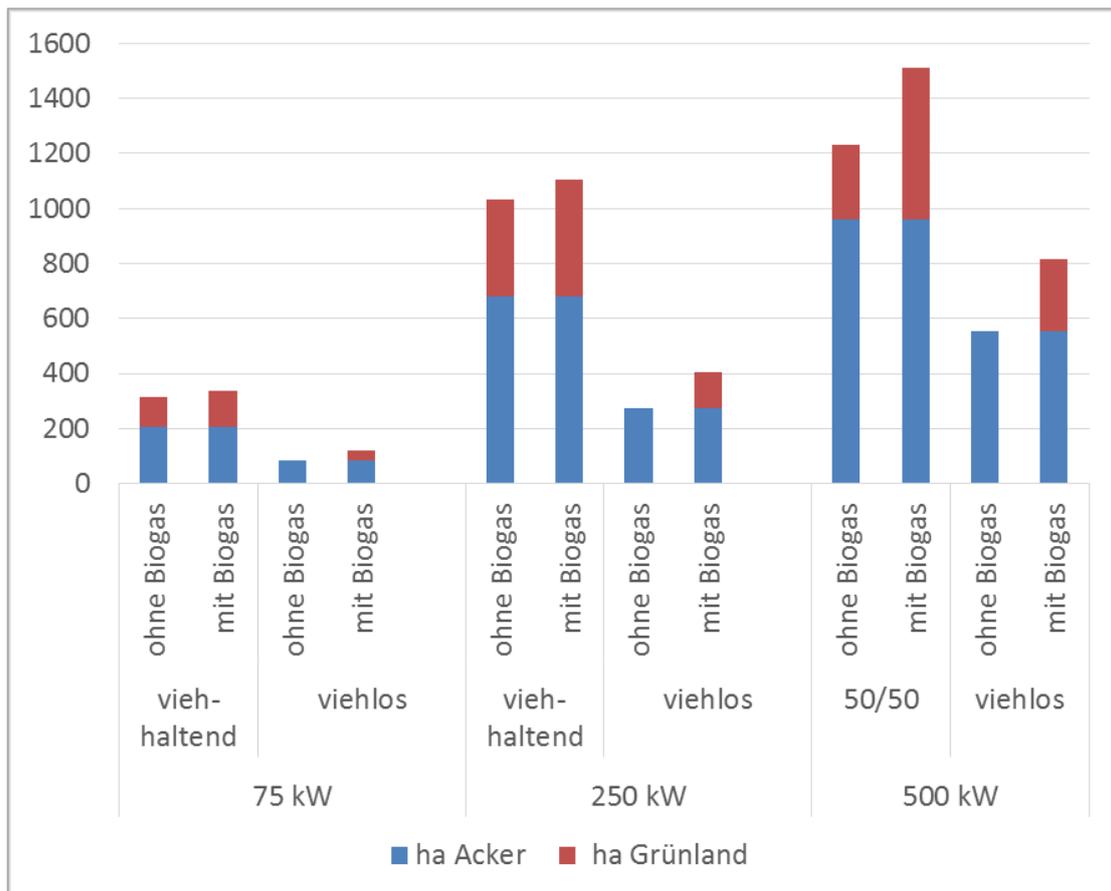


Abbildung 35: Landwirtschaftliche Nutzfläche (Ackerbau und Grünland) der aus den Modellanlagen abgeleiteten Modellbetriebe (eigene Darstellung)

Betriebsgrößen insbesondere der Betriebstypen 250 kW *viehhaltend* sowie 500 kW 50/50 sind in der Praxis des ökologischen Landbaus selten anzutreffen. Es kann daher unterstellt werden, dass es sich hierbei im rechtlichen Sinne um mehrere Betriebe handelt, die räumliche Nähe aufweisen und ihre Ressourcen für Tierhaltung und Biogaserzeugung bündeln (vgl. dazu auch Kapitel 7, Gemeinschaftsanlagen). Für die betriebswirtschaftliche Bewertung ist die rechtliche Ausrichtung von untergeordneter Bedeutung. Kostensteigerungen durch

weitere Hof-Feld-Entfernungen bei größeren Betriebstypen wurden aber in die Kalkulationen mit einbezogen (vgl. Kapitel 8.2.1.5).

### 8.2.1.2 Entwicklung eines Fruchtfolgenmodells für die Modellbetriebe

Für die Betriebsmodelle wurde eine siebenjährige Fruchtfolge unterstellt, die bestmöglich Nährstoffansprüche und Verträglichkeit der Folgefrüchte (Kolbe 2008) berücksichtigt. Sie umfasst bei jedem Betriebstyp 1./2. Klee gras, 3. Winterweizen, 4. Kartoffeln, 5. Winterroggen, 6. Ackerbohnen-/Erbsen-Gemenge und 7. Wintergerste (Tabelle 23). In der weiteren Bewertung ist zudem ein Szenario mit integriertem Zwischenfruchtanbau berücksichtigt worden. Die Stellung der Zwischenfrüchte in der Fruchtfolge geht ebenso aus Tabelle 23 hervor.

Tabelle 23: Beispielfruchtfolge mit Angaben zum Saat- und Erntezeitpunkt, der Vorruchteignung sowie der Stellung möglicher Zwischenfrüchte (ZF) (eigene Darstellung)

Fruchtfolge-jahr	Kultur	Saatzeitpunkt	Erntezeitpunkt	Vorruchteignung für Nachfolgekultur
1	Rotklee grasgemenge	Okt., 2. Hälfte		
2	Rotklee grasgemenge		Juli, 2. Hälfte	Sehr günstig, a
3	Winterweizen, (danach optional ZF Phacelia)	Okt., 2. Hälfte	August, 1. Hälfte	Sehr günstig, i;l
4	Kartoffeln	April, 1. Hälfte	Sept., 2. Hälfte	Günstig, b
5	Winterroggen bzw. Roggen- GPS, (danach optional ZF Senf)	Sept., 2. Hälfte	Aug./Juni 1. Hälfte	Günstig, c;h;i
6	Ackerbohnen-Erbsen-Ge- menge, (danach optional Sommer-ZF Leguminosen- Gemenge)	März, 1. Hälfte	Juli, 2. Hälfte	Günstig, b
7	Wintergerste	Sept., 2. Hälfte	Juli, 1. Hälfte	Sehr günstig, m

**Schlüssel zur Vorruchteignung nach Kolbe 2008:**

a: Vorsicht bei starker Trockenheit

b: Vegetationszeiten überschneiden sich

c: Förderung bestimmter Krankheiten und Schädlinge, geringe Selbstverträglichkeit

h: Zwischenfrucht als Untersaat zur Vorrucht möglich bzw. günstig

i: Zwischenfrucht als Stoppelsaat oder Winterzwischenfrucht möglich bzw. günstig

l: organische Düngung zur Nachfrucht günstig

m: Vorrucht als Deckfrucht gut geeignet

### 8.2.1.3 Ableitung eines dynamischen Stickstoff-Modells zur Abbildung der N-Flüsse im Betrieb

Das Betriebsmodell konzentriert sich auf die Auswirkungen einer veränderten betrieblichen N-Dynamik. Zur Abschätzung der Effekte auf die Marktfruchterträge ohne und mit integrierter Biogaserzeugung wurde ein jahresbasiertes, dynamisches N-Modell mit unterschiedlich schnell verfügbaren N-Pools entwickelt, das vereinfacht in Abbildung 36 dargestellt ist.

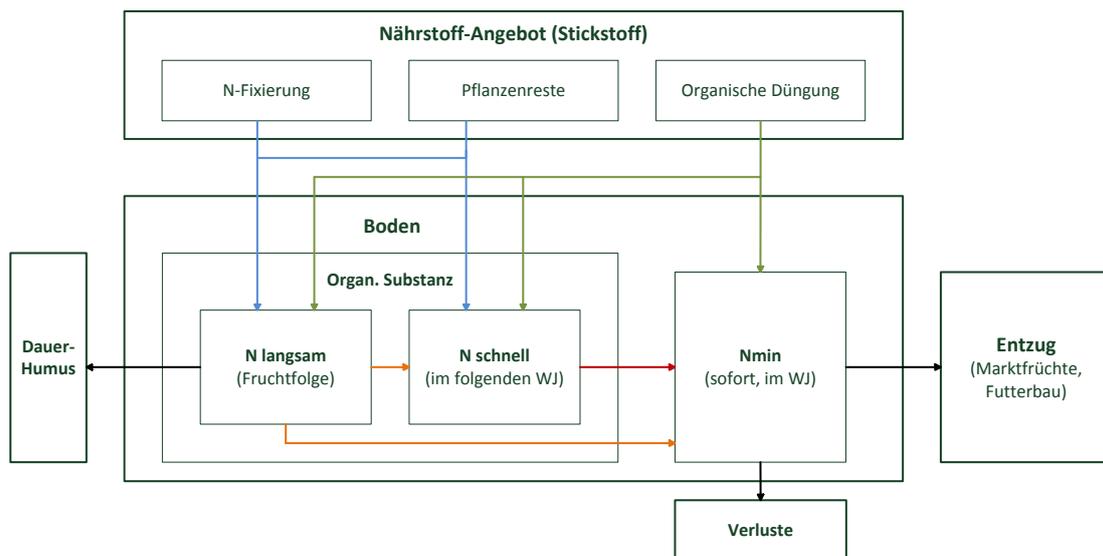


Abbildung 36: Schematische Darstellung der Stickstoffflüsse im Betriebsmodell (verändert nach (Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.) 2011) (WJ = Wirtschaftsjahr)

Grundlage der Nährstoffberechnungen ist die Bodenbilanz (Stein-Bachinger et al. 2004). Die Stickstoffentzüge durch Futterbau und Marktfrüchte wurden über die N-Gehalte in Haupt- und Nebenprodukten (N-Abfuhr) berücksichtigt (nach KTBL (2010; 2004; 2012)). Den N-Entzügen wurden die Stickstoffeinträge aus organischer Düngung, N in Ernteresten und aus Ernte- und Werbungsverlusten sowie aus der  $N_2$ -Fixierung der Leguminosen gegenübergestellt. Angelehnt an Wendland et al. (2012) wurden 10 %  $N_{min}$ -Auswaschungsverluste berücksichtigt. Um diese zu begrenzen, wurden maximale N-Gaben über Wirtschaftsdünger/Biogasgülle von  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  zugelassen. Dabei wurde stets die gesamtbetriebliche Ausbringungsmenge von  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$  nicht überschritten (durchschnittlich maximal  $85 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). N-Einträge über die Atmosphäre und symbiotische N-Bindung sowie Denitrifikationsverluste wurden vernachlässigt, da vereinfacht angenommen werden kann, dass sich diese ausgleichen (Stein-Bachinger et al. 2004).

Ein zusätzlicher Input erfolgt durch die N-Fixierung der Leguminosen in Grünland und Ackerbau. Je nach Kultur beträgt die Fixierleistung zwischen 30 und 37 kg N t<sup>-1</sup> Leguminosen-Trockenmasse (Stein-Bachinger et al. 2004). Nach Wendland et al. (2012) wurde ein Weißkleeanteil von 30 (bzw. 20 % im Alternativszenario mZF) und ein Leguminosenanteil von 70 % im Klee gras festgelegt. Abgeleitet aus den Ergebnissen von z.B. Möller (2009) und Schmidt (2003) wurde bei gemulchtem Klee gras ein Abschlag von 20 % der Fixierleistung im Vergleich zur Abfuhr der Klee grasbiomasse vorgenommen.

Die dynamische Zuteilung des N erfolgt über drei verschieden schnell wirksame N-Pools (nach Möller (1994); vgl. Abbildung 31 und Tabelle 24). Der Pool mit dem langsam verfügbaren N (*N langsam*) wird von N aus Stroh und Ernteresten der Marktfrüchte (100 % des N-Gehaltes), aus Ernteresten und Mulch der Leguminosen (70 %), sowie aus dem Festmist (44 %) und aus der Biogas-/Rindergülle (25 %) gespeist. Dieser Anteil des Stickstoffs wird im Modell zu gleichen Teilen über alle Jahre der Fruchtfolge als N<sub>min</sub> den Kulturen zur Verfügung gestellt. Der zweite N-Pool (*N schnell*) stellt leichter mineralisierbare Bestandteile der im Vorjahr ausgebrachten organischen Dünger (Biogas-/Rindergülle 25 %; Rinderfestmist 46 %) sowie 30 % des N-Gehalts der Erntereste/Mulch als N<sub>min</sub> zur Verfügung. Aus dem dritten N-Pool (*N<sub>min</sub>*) sind 50 % des Gesamt-N-Gehaltes der Biogas-/Rindergülle, 10 % des N-Gehalts aus Festmist und (bei Betrieben *ohne Biogas*) 20 % des N-Gehaltes aus dem Klee gras-Mulch als N<sub>min</sub> pflanzenverfügbar. Die beschriebene Vorgehensweise ermöglicht eine relativ einfache Zuteilung des verfügbaren Stickstoffs und macht damit die ungenaue Ertragsermittlung mittels prozentualen Aufschlägen auf Basis von Literaturdaten überflüssig.

Tabelle 24: Prozentuale Anrechnung (%) und Zuordnung des über organisches Material zugeführten Stickstoffs zu verschiedenen schnell wirksamen N-Pools (nach Möller (1994))

	Rinder- gülle / Biogas- gülle	Rinder- festmist	Legumi- nosen: Ernte- reste	Klee gras: Mulch	Stroh, sonstige Ernte- reste
<b>N<sub>min</sub>-Pool:</b> sofort verfügbar (im Wirtschaftsjahr, WJ)	50	10	0	20	0
<b>N schnell-Pool:</b> schnell verfügbar (im folg. WJ)	25	46	30	24	0
<b>N langsam-Pool:</b> langsam verfügbar, über Fruchtfolge hinweg	25	44	70	56	100

### 8.2.1.4 Integration der Ertragsbestimmung abhängig vom $N_{min}$ -Angebot

Abhängig vom oben beschriebenen, jährlichen  $N_{min}$ -Angebot ergeben sich modellhaft für die unterschiedlichen Szenarien (*ohne/mit Biogas, Betriebstypen und -größen*) die Erträge der Marktfrüchte. Die genaue Ermittlung der Ackerbauerträge basiert auf düngungsabhängigen Ertragsdaten (Wendland et al. 2012). Es wurde unterstellt, dass N der alleinige ertragslimitierende Faktor ist und alle weiteren Nährstoffe (insbesondere P und K) wegen der guten Durchwurzelungsleistung und Nährstoffmobilisierung des Kleegrases entweder in ausreichender Menge zur Verfügung stehen oder ggf. aufgedüngt werden müssten. Um bei sich veränderndem N-Angebot eine stufenlose Ertrags-schätzung gewährleisten zu können, wurden die düngungsabhängigen Ertragswerte anhand einer polynomischen Ertragsfunktion abgebildet. Zur Vermeidung unrealistischer Ertragswerte wurden für die Marktfruchtkulturen Maximalerträge definiert (Tabelle 25).

Tabelle 25: Bei der Ertragsbestimmung unterstellte Maximalerträge (t FM ha<sup>-1</sup>) (KTBL 2010)

Kultur	Maximalertrag (t FM ha <sup>-1</sup> brutto)	Maximalertrag (t FM ha <sup>-1</sup> netto)*
Rotklee-grasgemenge	72,0	61,2
Winterweizen	8,0	7,8
Kartoffeln	40,0	33
Winterroggen	6,5	6,4
Winterroggen-GPS	40,0	34
Ackerbohnen-Erbsen-Gemenge	4,75	4,4
Wintergerste	6,2	6,1
Grassilage	55,0	46,7
Wiesenheu	55,0	41,2
Wiesengras	55,0	52,2

\*Nach Abzug von Ernte- und Werbungsverlusten

Es wurde darüber hinaus festgelegt, dass die Ackerkulturen Klee-gras, Ackerbohnen-Erbsen-Gemenge, Leguminosen-Gemenge, Landsberger Gemenge und Roggen-GPS sowie die Erträge des Grünlands (Wiesengras, Wiesenheu, Grassilage) konstant bleiben. Dadurch ist im Modell eine gleich bleibende Versorgung von Tierhaltung und Biogasanlage gewährleistet. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass eine zusätzliche N-Versorgung bei Leguminosen nicht zu einer Ertragssteigerung führt, sondern eher zu einem Rückgang der N-Fixierungsleistung (Finck 1991). Bei der späteren modellhaften Verteilung des  $N_{min}$ -Angebots ist die N-Düngung des Grünlands daher immer angepasst an die Erreichung der Soll-Erträge.

Ausgehend vom jährlichen  $N_{\min}$ -Angebot wurde eine zur Ermittlung eines maximierten kalkulatorischen Betriebszweigergebnisses des Ackerbaus (nach DLG 2004) optimierte N-Verteilung auf Grünland und Ackerfrüchte anhand des Excel-basierten non-linear GRG-Solvers durchgeführt (vgl. Kapitel 8.2.1.5).

### **8.2.1.5 Betriebswirtschaftliche Vorgehensweise bei der monetären Systembewertung**

#### **Lineare Ertrags-Kosten-Funktion**

Sämtliche pflanzlichen (Marktfrüchte, Kleegrasanbau, Grünland, Zwischenfrüchte) und tierischen (Milchvieh, Nachzucht) Produktionsverfahren sind im Betriebsmodell als standardisierte Kostenrechnungen nach KTBL (2015) hinterlegt. Um den unterschiedlichen Größenverhältnissen der verschiedenen Modellanlagen- und -betriebe Rechnung zu tragen, wurden Unterschiede bei den zurückzulegenden Wegstrecken zu den Flächen (Feldentfernung) und Schlaggrößen berücksichtigt (Tabelle 26).

*Tabelle 26: Einfluss der Betriebsgröße auf die Festlegung von Feldentfernung und Schlaggröße (eigene Darstellung)*

<b>Betriebsgröße</b>	<b>Feldentfernung (km)</b>	<b>Schlaggröße (ha)</b>
75 kW	2	2
250 kW	6	5
500 kW	10	10

Aus den zugrunde gelegten Kostenstrukturen der Produktionsverfahren mit unterschiedlichen Feldentfernungen und Schlaggrößen wurden lineare Ertrags-Kostenfunktionen abgeleitet, die wiederum die anfallenden Kosten im Betriebsmodell abhängig von den variablen Erträgen linear und damit angepasst abbilden und in das Kalkulationsmodell einfließen lassen.

Zudem wurde eine stufenlose Anpassung der Arbeitserledigungskosten auf der Grundlage linearer Kostenfunktionen von variablen und fixen Maschinenkosten sowie Lohnkosten in Abhängigkeit des Marktfrucht-Ertrags integriert. Hierzu wurden die Werte der Arbeitserledigungskosten für drei unterschiedliche Ertragsniveaus sowie die drei Betriebsmodellgrößen anhand von Regressionsgeraden abgebildet. Anschließend wurde die Steigung der Regressionsgeraden in das Simulationsmodell zur Abbildung ertrags- und betriebsgrößenangepas-

ter Arbeiterledigungskosten eingefügt. Damit lassen sich mögliche Einsparungen der Arbeiterledigungskosten abhängig von der Häufigkeit von Bestandspflege- bzw. Unkrautbekämpfungsmaßnahmen abbilden.

### **Betriebswirtschaftliche Optimierung des Düngungsregimes**

Ziel der monetären Systembewertung ist die Abbildung der Wirtschaftlichkeit der von der Integration einer Biogasanlage berührten Betriebszweige *Ackerbau* und *Grünland* in den Betrieben *ohne* und *mit Biogas*. Um ein unter den gegebenen Voraussetzungen maximales betriebswirtschaftliche Ergebnis zu erzielen, müssen die anfallenden mobilen, organischen Düngemittel bestmöglich verteilt werden. Dies geschieht im Modell mit Hilfe des nicht-linearen GRG-Solvers (Excel). Der Solver errechnet in diesem Fall die zuzuführenden Düngermengen und deren Aufteilung auf Grünland und Marktfruchtkulturen unter Restriktionen wie z.B. maximale N-Gaben pro ha im Ackerbau oder gewünschte Standarderträge im Grünland. Der nicht-lineare Lösungsansatz wurde gewählt, da die Variable „*Menge des eingesetzten Düngers*“ über die Ertragsfunktion nicht-linear in mehr als der ersten Potenz verknüpft ist (vgl. Schwenk u. a. 2010). Da der GRG-Solver lediglich ein lokales und kein globales Optimum errechnet, ist jeweils zu prüfen, ob die maximal verfügbare Düngermenge auch eingesetzt wurde.

### **Wirtschaftlichkeitsvergleich der Modellbetriebe**

Sämtliche Produktionsverfahren der Modellbetriebe fließen auf Basis der Direkt- und Arbeiterledigungskostenfreien Leistung (DAkL) unter Berücksichtigung der Betriebsgröße, der Ertragswerte der Marktfrüchte sowie der veränderbaren Kosten für Bestands Pflegemaßnahmen in verschiedene **Betriebszweigabrechnungen** (Ackerbau, Grünland, Rinderhaltung) **nach DLG-Standard** (DLG 2004) ein. Damit lassen sich die Betriebszweige *ohne* und *mit Biogas* direkt vergleichen. Betriebswirtschaftliche Kenngröße ist das *Kalkulatorische Betriebszweigergebnis*, das neben Direkt- und Arbeiterledigungskosten sowie Markterlösen auch kalkulatorische Leistungen (z.B. Ansatz des Düngewerts) und Kosten (z.B. Pachtansatz) berücksichtigt. Sonstige Gemeinkosten werden angesichts der betriebsindividuellen Einflussfaktoren nicht eingerechnet.

Es wurde zudem die bei den viehlosen Betrieben auftretende **Flächenkonkurrenz** zwischen **Substrat- und Marktfruchtproduktion** in Form von **Opportu-**

**nitätskosten** berücksichtigt. Bei diesen Betrieben wird ein Teil des Brotroggens (Winterroggen) als Roggen-GPS innerbetrieblich verkauft. Je nach Zuteilung der mobilen Düngermengen erzielen beide Verfahren unterschiedliche hohe monetäre Erträge pro Hektar ( $\text{€ ha}^{-1}$ ). Die Differenz dieser Erträge wird dem Verfahren mit dem jeweils niedrigeren ökonomischen Ertrag zusätzlich als Opportunitätskosten berechnet, da die Frucht auch jeweils in der anderen Verwertungsrichtung vermarktet werden könnte. Für alle anderen pflanzlichen Erzeugnisse, die entweder als Inputmaterialien für die Biogasanlage oder anderweitig innerbetrieblich verwertet werden können, sind jeweils die gleichen innerbetrieblichen Verrechnungswerte anzusetzen bzw. angesetzt worden, so dass hier keine Opportunitätskosten (außer den grundsätzlich berücksichtigten Flächenkosten in Form eines Pachtansatzes) zu berücksichtigen sind.

Um die Abbildung der monetären **Interaktionen der einzelnen Betriebszweige** auch mit den Biogasanlagenmodellen zu ermöglichen, wurden sämtliche in Kapitel 8.1 betrachteten und nach VDI (2012) berechneten Anlagenmodelle zusätzlich nach DLG-Standard (2004) im Rahmen der Betriebszweigabrechnung kalkuliert. Damit kann nun der Austausch von Inputmaterialien für die Biogasanlagenmodelle (Wirtschaftsdünger, pflanzliche Substrate) sowie Biogasgärreste innerbetrieblich monetär bewertet werden. Die innerbetrieblichen Verrechnungswerte für Wirtschaftsdünger und Biogasgärrest wurden auf der Grundlage der Bewertung des darin enthaltenen Stickstoffs errechnet (bei  $2,50 \text{ € kg}^{-1} \text{ N}$ ). Die weiteren Makronährstoffe wurden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Aufgrund des gewählten Modellansatzes mit der sehr umfangreichen Datenbasis sämtlicher Produktionsverfahren sowie der Schaffung vergleichbarer innerbetrieblicher Wirkungsbeziehungen und Kosten-Leistungs-Relationen wurde auch bei den innerbetrieblichen Verrechnungswerten für pflanzliche Substrate auf Standard-Daten des KTBL (KTBL 2015) zurückgegriffen (Grassilage:  $38 \text{ € t}^{-1}$  (VDI),  $58 \text{ € t}^{-1}$  (BZA); Kleegrassilage:  $32 \text{ € t}^{-1}$  (VDI),  $50 \text{ € t}^{-1}$  (BZA); Roggen-GPS:  $45 \text{ € t}^{-1}$  (VDI),  $40 \text{ € t}^{-1}$  (BZA)). Damit unterscheiden sich die Erlöse bzw. Preise für Substrate, welche die landwirtschaftliche Produktion erzielen bzw. die Biogasanlagen bezahlen, von den in Kapitel 8.1 angesetzten Substratpreisen der Anlagenkalkulationen nach VDI (2012). Das *kalkulatorische Betriebszweigergebnis* als statischer Berechnungsansatz stellt sich im Vergleich zur Berechnung nach VDI (2012) aus monetärer Sicht stets besser dar, insbesondere da hier z.B. keine zukünftigen Preissteigerungen für Substrate berücksichtigt wurden. Maßgeblich für die betriebswirtschaftliche Bewertung der Modellanlagen sind allerdings die in Kapitel 8.1 vorgestellten Ergebnisse der Modellanlagen, die auf den dynamischen Investitionsrechenmethoden nach VDI (2012) beruhen und ein exakteres Bild der Anlagenökonomie zeichnen.

### 8.2.1.6 Festlegung der in der monetären Systembewertung berücksichtigten Parameter

Wie in Kapitel 3 (Systemanalyse) aufgezeigt, konnten Unterschiede insbesondere des Stickstoff-Haushaltes zwischen Betriebssystemen ohne bzw. mit Biogasanlage abgeleitet werden. Da bei der Vergärung hohe Anteile von Beikrautsamen abgetötet (z.B. (Westerman et al. 2012a) Westerman et al. 2012) und Bestands Pflegemaßnahmen reduziert werden können, wurden bei den Modellberechnungen je nach Produktionsverfahren um bis zu 50 % verringerte Arbeitserledigungskosten für Maßnahmen zur Bestandspflege berücksichtigt. Die in Tabelle 27 abgebildeten Werte fließen in die jeweiligen Betriebsmodelle *ohne* oder *mit Biogas* ein.

Tabelle 27: Eingangswerte der ausgewählten Modellparameter der Betriebsmodelle ohne und mit Biogas (%) (eigene Darstellung)

Parameter	Ohne Biogas	Mit Biogas
Stall-, Lager- und Ausbringverluste Wirtschaftsdünger-N	33 (Gülle); 44 (Festmist)	20
N-Verluste aus Mulch (Lachgas-Emissionen)	19,5	-
N-Fixierungsleistung Klee gras	+/- 0	+ 20
Arbeitserledigungskosten Bestandspflege	100	50 – 90

Zunächst nicht berücksichtigt wurden u.a. aufgrund der Komplexität des Untersuchungsgegenstandes sowie uneinheitlicher Aussagen in der wissenschaftlichen Literatur phytosanitäre Effekte einer erhöhten N-Verfügbarkeit sowie die Auswirkungen der anaeroben Vergärung von Biomasse auf den Gehalt der organischen Biomasse des Bodens. Dargestellt wurden zwei Szenarien, die sich hinsichtlich des Zwischenfruchtanbaus (ZF) und des Leguminosen-Anteils im Grünland unterscheiden (Szenario oZF: ohne ZF, 30 % Leg. im Grünland; Szenario mZF: mit ZF Phacelia, Senf, Leg.-Gemenge, 20 % Leg. im Grünland).

## 8.2.2 Ergebnisse der Simulation

### 8.2.2.1 Änderungen des Stickstoff-( $N_{min}$ )-Angebots

Mit der Integration einer Biogasanlage ergibt sich ein verändertes N-Angebot aus den zwei N-Quellen *Bodenvorrat* und *organische Flüssigdünger* (Wirtschaftsdünger/Biogasgülle) (Abbildung 37). Für viehhaltende Betriebe bleibt die Gesamtmenge an pflanzenverfügbarem  $N_{min}$  in Betrieben *mit* und *ohne Biogas*

etwa gleich. Allerdings findet eine Verschiebung statt hin zu einem erhöhten Anteil von mobil verfügbaren Düngemitteln (Biogasgülle), die bei den Marktfüchtern flexibel und bedarfsgerecht eingesetzt werden können. Auch bei den *viehlosen* Betrieben *mit Biogas* ist ein leichter Rückgang des Bodenvorrat-N festzustellen, die zusätzliche Verfügbarkeit von Flüssigdünger führt nun allerdings sogar zu einer Erhöhung der Gesamtmenge an pflanzenverfügbarem N pro ha und Jahr.

Betriebe *mit Biogas* weisen also insgesamt höhere N-Einträge, aber auch höhere N-Entzüge als Betriebe *ohne Biogas* auf. Die höhere N-Verfügbarkeit ergibt sich i.) aus der gesteigerten Fixierleistung des Klee-grases ohne Mulchen, ii.) aus der Nährstoffrückführung der Roggen-GPS (mittels Biogasgülle), die im Betrieb *ohne Biogas* den Betrieb als Brottroggen verlässt, iii.) über den Nährstofftransfer des zusätzlich für die Vergärung benötigten Grünlands als Biogasgülle auf den Acker, sowie iv.) den Luftstickstoffeintrag der Leguminosen dieses zusätzlich benötigten Grünlands (wird bei Betrieben *ohne Biogas* verpachtet). Aufgrund der höheren Erträge (vgl. Abbildung 38) zeigt sich bei den Betrieben *mit Biogas* allerdings auch ein erhöhter Nährstoffentzug.

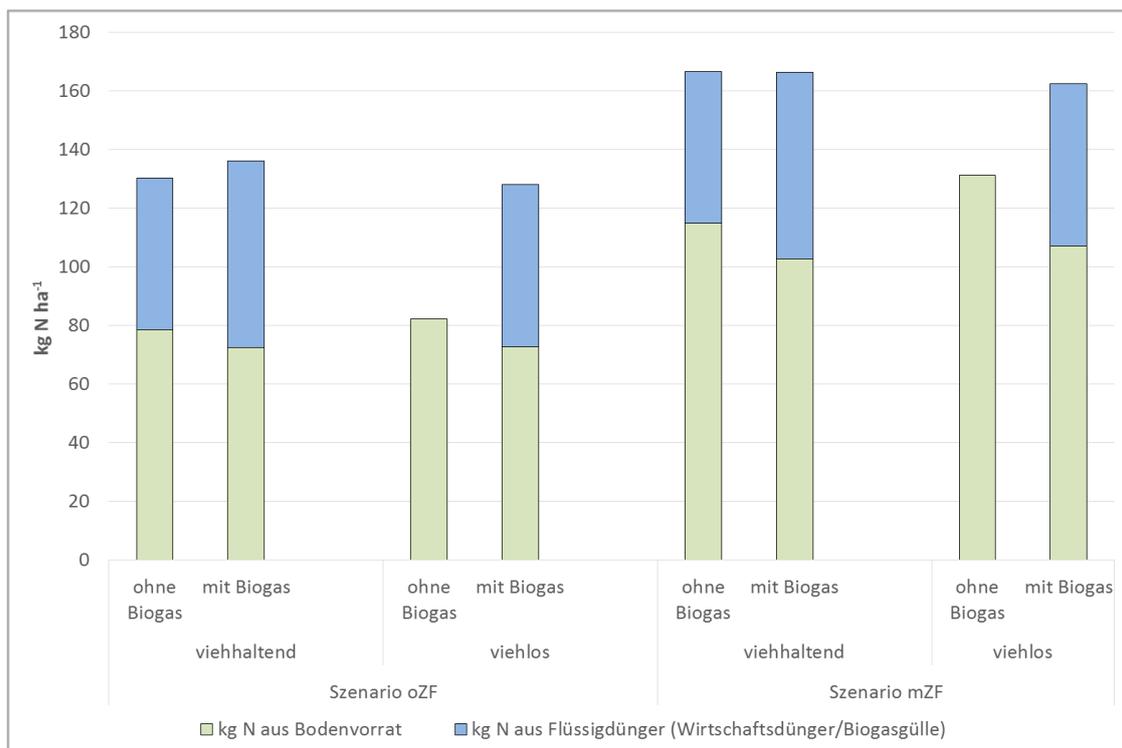


Abbildung 37: Änderungen des Nmin-Angebots aus Flüssigdünger (Wirtschaftsdünger/Biogasgülle) und Bodenvorrat (kg N ha<sup>-1</sup>) in Anhängigkeit des Betriebstyps (ohne/mit Biogas; viehhaltend/viehlos) und des Zwischenfruchtanbaus (oZF = ohne, mZF = mit), am Beispiel der Betriebsgröße 75 kW (eigene Darstellung).

### 8.2.2.2 Ertragseffekte

Im Falle des Szenarios *ohne Zwischenfruchtanbau (oZF)* zeigt sich bei den Betrieben ohne Biogas insgesamt eine verbesserte Ertragslage für viehhaltende Betriebe als für viehlose aufgrund der auch ohne integrierter Biogasanlage bereits bestehende Verfügbarkeit mobiler Düngemittel (Abbildung 38; am Beispiel *Betriebsgröße 250 kW*, für andere Betriebsgrößen sind die Ergebnisse nahezu identisch). Bei der Integration (auch legumer) Zwischenfrüchte in die Fruchtfolge im Szenario mit Zwischenfruchtanbau (*mZF*) steht den viehlosen Betrieben ohne Biogas mehr N aus dem Bodengrundvorrat zur Verfügung, daher gleichen sich die Erträge den viehhaltenden Betriebstypen eher an. Die verbesserte N-Effizienz (verminderte N-Verluste aus Mulch, Stall, Lager, ev. Ausbringung sowie erhöhte N-Fixierung) der Betriebe *mit Biogas* führt zu teilweise deutlichen Ertragssteigerungen fast aller Marktfrüchte. Ein sinkender Ertrag einzelner Früchte gegenüber den Betriebstypen ohne Biogas ist lediglich auf den Modellansatz der betriebswirtschaftlichen Optimierung zurückzuführen, der dafür sorgt, dass die Erträge zugunsten der Ertragssteigerung einer besonders gewinnbringenden Kultur (z.B. der Kartoffel) zurückgehen. Dies bedeutet nicht, dass entsprechende Ertragssteigerungen anderer Kulturen nicht möglich wären.

Insbesondere die viehlosen Betriebstypen profitieren von der integrierten Biogaserzeugung mit einer Stabilisierung bzw. Steigerung der Erträge. Die Kartoffel als rentabelste Marktfrucht bei entsprechenden Erträgen erzielt sowohl bei viehhaltenden als auch bei viehlosen Betrieben den eingangs definierten Maximalertrag (vgl. Tabelle 25).

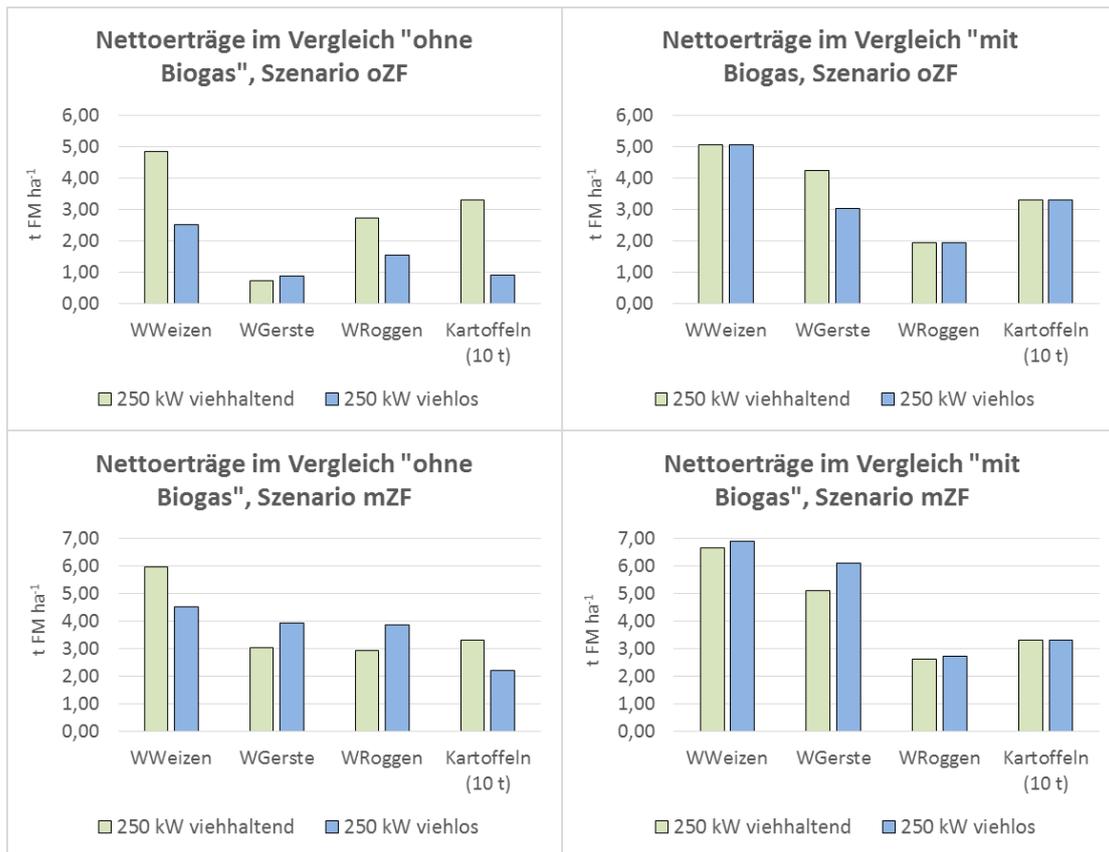


Abbildung 38: Nettoerträge ( $t FM ha^{-1}$ ) der Marktfrüchte Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Kartoffeln der viehhaltenden/viehlosen Betriebe ohne/mit Biogas am Beispiel der Betriebsgrößenklasse 250 kW, Szenarien oZF und mZF (eigene Darstellung)

Bei der Betrachtung der Ertragsbildung muss stets bedacht werden, dass im vorliegenden Modellansatz die Maximierung des wirtschaftlichen Ergebnisses im Vordergrund steht. Dies hat zur Folge, dass die mobilen Düngemittel entsprechend des Marktoutputs der Kulturfrüchte zugeteilt werden.

### 8.2.2.3 Absolute Einsparungen Arbeitserledigungskosten für Bestandspflege

Unter der Annahme einer 10 – 50 %igen Reduktion der Arbeitserledigungskosten für Bestandspflegearbeiten wie Striegeln, Hacken oder Häufeln können durch den im Hinblick auf die Abtötung von Unkrautsamen hygienisierenden Charakter des Vergärungsprozesses der Biogasanlage über die Fruchtfolge hinweg durchschnittlich bis zu 113 € pro Hektar und Jahr an Kosten eingespart

werden (Abbildung 39). Marktfrüchte mit hohem Pflegeaufwand (Winterweizen, Kartoffel) haben ein erhöhtes Einsparungspotenzial.

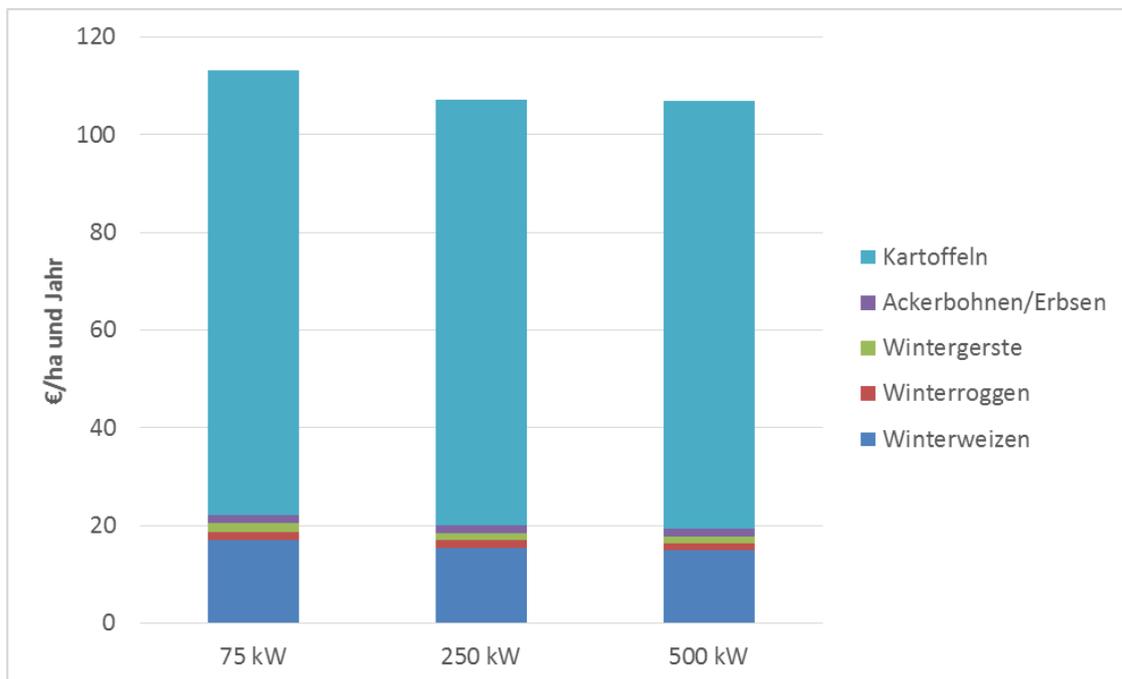


Abbildung 39: Einsparung von Arbeitserledigungskosten für Bestandspflege bei verminderter Häufigkeit von Unkrautbekämpfungsmaßnahmen für drei Betriebsgrößenklassen (€/ha und Jahr) (eigene Darstellung)

#### 8.2.2.4 Unterschiede Betriebszweigabrechnung Ackerbau ohne/mit Biogas

Die allgemeine Verbesserung der Ertragslage bei integrierter Biogaserzeugung spiegelt sich auch in betriebswirtschaftlicher Hinsicht wieder (). Bei viehhaltenden Betriebstypen sind die Unterschiede geringer, da bereits ohne Biogaserzeugung mobile Düngemittel zur Verfügung standen und gerade bei den besonders gewinnbringenden Kulturen hohe Erträge erzielt werden konnten. Im Szenario *mZF* sind hier die Unterschiede sogar noch geringer, da das allgemeine Verfügbarkeits-Niveau von Stickstoff aus dem Bodenvorrat erhöht ist. Der im Vergleich zu den anderen viehhaltenden Betriebstypen proportional geringere Viehbestand des Anlagentyps *500 kW, 50/50, viehhaltend* führt dazu, dass die Unterschiede *ohne Biogas* zu *mit Biogas* größer werden. Noch größer ist die Differenz zwischen Betrieben *mit* und *ohne Biogas* bei den viehlosen Betriebstypen. Insbesondere die viehlosen Betriebe des *oZF*-Szenarios, denen bei fehlendem Zwischenfruchtanbau zu wenig N aus dem Bodenvorrat zur Verfügung steht, profitieren von der integrierten Biogaserzeugung. Aber auch die

viehlosen Betriebstypen mit Zwischenfruchtanbau erzielen ein deutlich verbessertes kalkulatorisches Betriebszweiergebnis Ackerbau. Die negativen Ergebnisse der viehlosen Betriebe *ohne Biogas*, *oZF* zeigen zudem auf, dass ein viehloser Betriebstyp auch ohne Biogas in der Praxis nicht auf die Integration von Zwischenfrüchten verzichten kann.

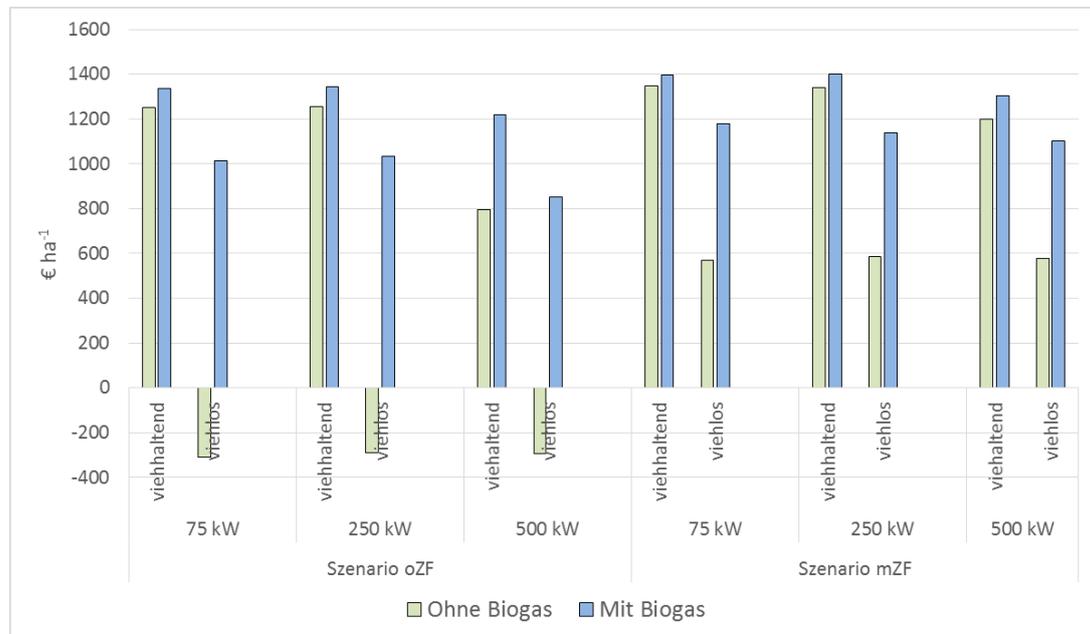


Abbildung 40: Kalkulatorische Betriebszweigergebnisse Ackerbau (€ ha<sup>-1</sup>) verschiedener Betriebsgrößen und -typen (viehhaltend/viehlos) ohne/mit Biogas und ohne/mit Zwischenfruchtanbau (Szenarien oZF/mZF) (eigene Darstellung)

### 8.2.2.5 Unterschiede Betriebszweigabrechnung Grünland ohne/mit Biogas

Die Produkte des Grünlands (Grassilage, Wiesen gras, Heu) werden an andere Betriebszweige eines Betriebs (wie z.B. die Betriebszweige *Rinderhaltung* oder *Biogasanlage*) innerbetrieblich verkauft. Da die Kosten der Erzeugung dieser Produkte zumeist höher sind als die innerbetrieblichen Verrechnungs- oder Verkaufswerte, stehen beim Betriebszweig Grünland meist negative kalkulatorische Betriebszweigergebnisse pro Hektar und Jahr zu Buche. Die Verpachtung von überschüssigem Grünland der Betriebe ohne Biogas sowie der proportional höhere Anteil von Wiesenheu als einziges Grünland-Produktionsverfahren mit einer positiven DAkL führen bei den Betriebstypen *oZF*, *75 kW*, *viehhaltend* zu leichten Überschüssen der Grünlandbewirtschaftung, während die übrigen viehhaltenden Betriebe *ohne Biogas* Verluste im Betriebszweig Grünland erwirtschaften. Die viehlosen Betriebstypen *ohne Biogas* verpachten das gesamte überschüssige (aber für die Betriebe *mit Biogas* benötigte) Grünland

und erzielen daher jeweils ein positives Ergebnis mit 150 € ha<sup>-1</sup>. Die Betriebs-  
typen *mit Biogas* erzielen durchweg niedrigere Betriebszweigergebnisse, da die  
eigene Nutzung des Grünlands (insbesondere Produktion der Grassilage) kos-  
tenintensiv ist. Zudem nehmen bei steigender Betriebsgröße die Feldentfernun-  
gen zu, und damit auch die anteiligen Transportkosten.

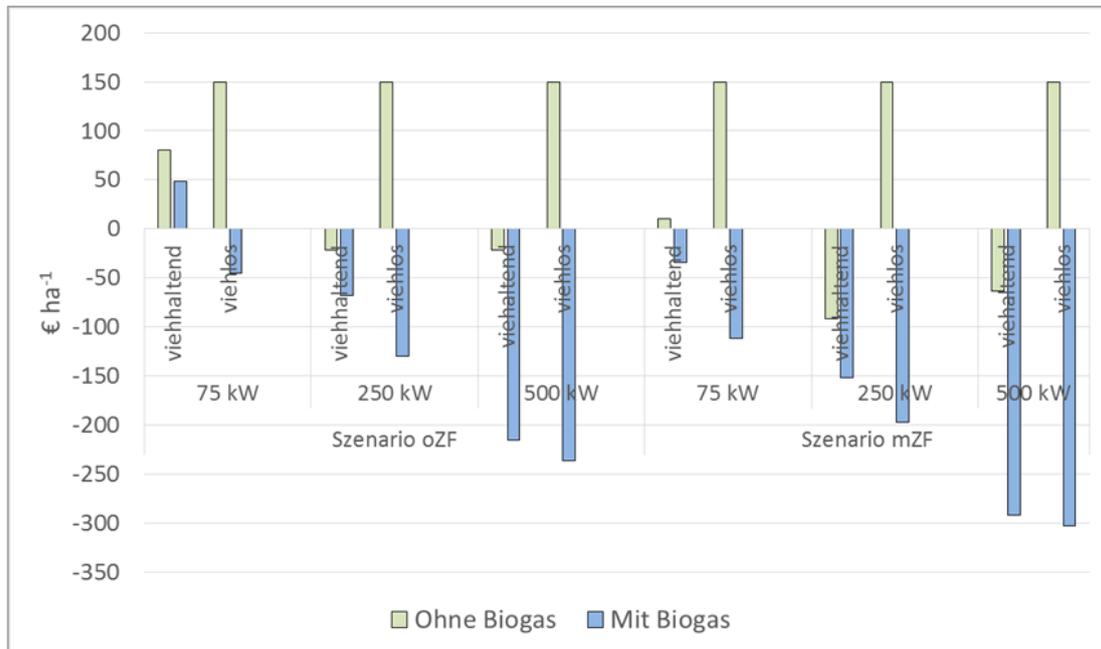


Abbildung 41: Kalkulatorische Betriebszweigergebnisse Grünland (€ ha<sup>-1</sup>) verschiedener Betriebsgrößen und -typen (viehhaltend/viehlos) ohne/mit Biogas und ohne/mit Zwischenfruchtanbau (Szenarien oZF/mZF) (eigene Darstellung)

### 8.2.2.6 Betriebszweigabrechnung Rinderhaltung

Das kalkulatorische Betriebszweigergebnis der Rinderhaltung ist unabhängig von der Integration einer Biogasanlage, da keine Veränderungen der Kosten für Futtermittel oder Leistungen aus dem Milch- oder Fleischverkauf entstehen. Das Betriebszweigergebnis unterscheidet sich daher lediglich in Abhängigkeit von der Größe des Betriebstyps (Abbildung 42). Anhängig vom Umfang der Rinderhaltung (vgl. Tabelle 22) fällt das Betriebszweigergebnis entsprechend positiv aus.

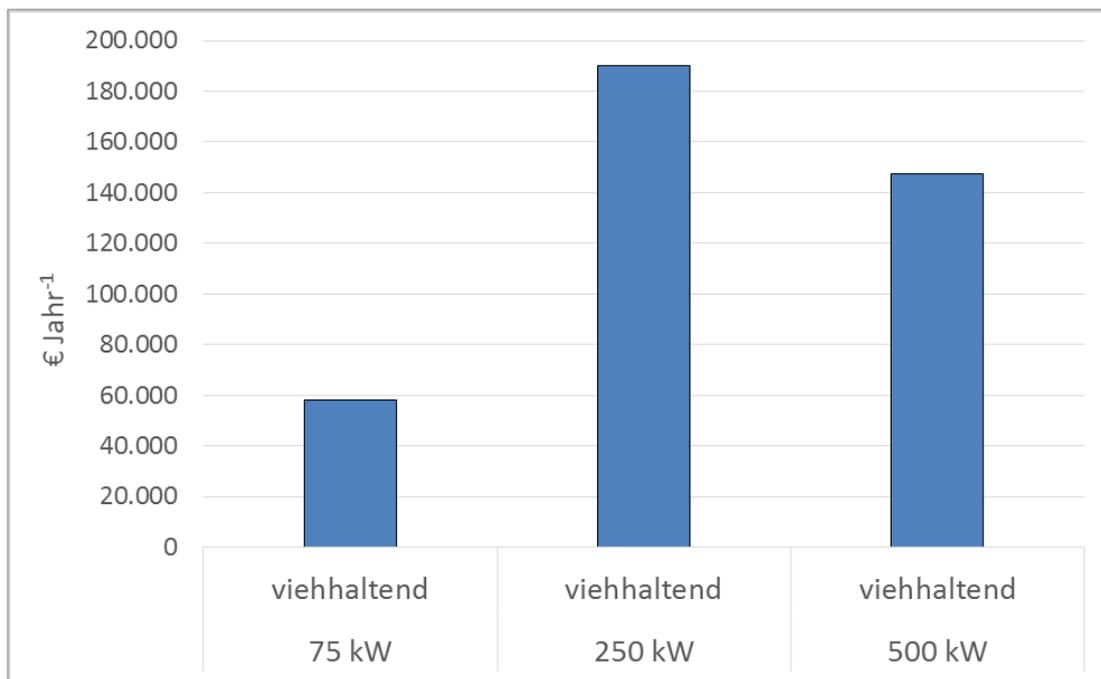


Abbildung 42: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis (€ Jahr<sup>-1</sup>) des Betriebszweigs Rinderhaltung für alle Betriebsgrößen (eigene Darstellung)

### 8.2.2.7 Wirtschaftlichkeit der Gesamtbetriebe ohne/mit Biogas und Kompensationspotenzial der integrierten Biogaserzeugung

Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebs setzt sich aus den Ergebnissen der Betriebszweige Ackerbau, Grünland und Rinderhaltung zusammen. Im Folgenden sind die kumulierten Betriebszweigergebnisse sowie deren Saldo im Vergleich der Betriebe *ohne* und *mit Biogas* in den Szenarien *oZF* und *mZF* dargestellt. Dabei zeigt sich, dass ohne Zwischenfruchtanbau (Abbildung 43) die Summe aller Betriebszweigergebnisse in allen Betriebsgrößenklassen *mit Biogas* gegenüber den Betrieben *ohne Biogas* erhöht ist. Trotz der teilweisen Verluste der Grünlandproduktion führen die Mehreinnahmen des Betriebszweigs Ackerbau insbesondere bei den viehlosen Betriebstypen zu deutlichen Steigerungen des Gesamtergebnisses.

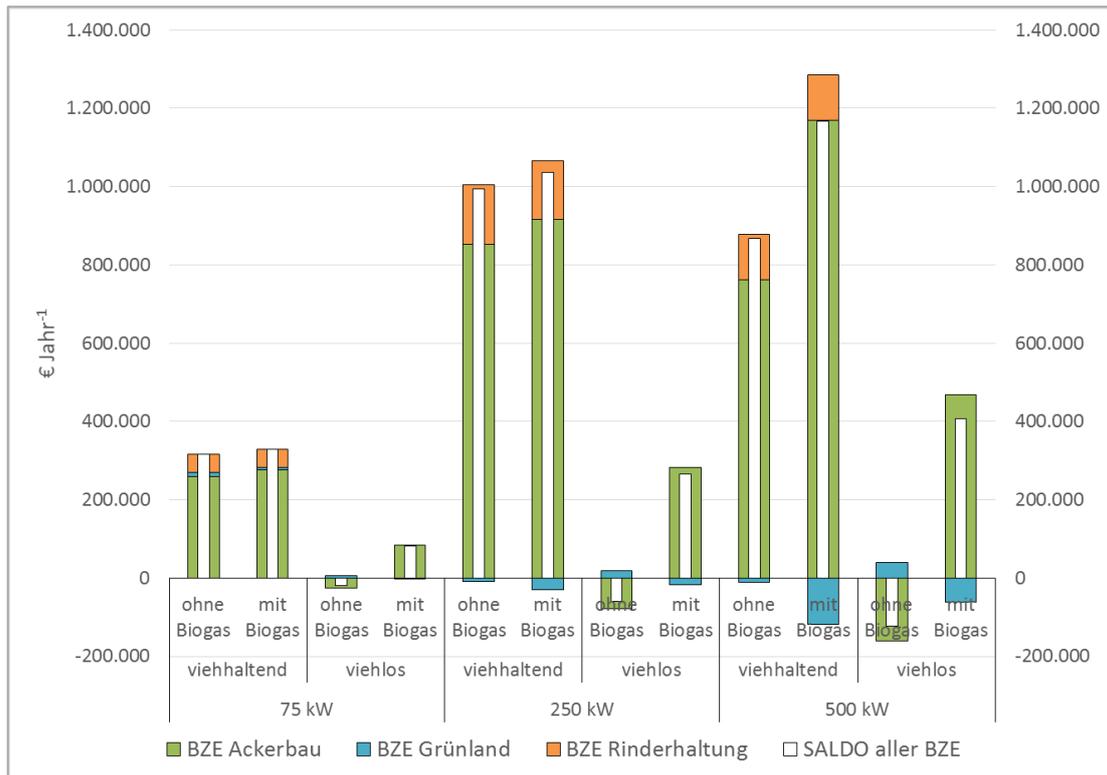


Abbildung 43: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Betriebszweige und Saldo aller Betriebszweigergebnisse des Gesamtbetriebs (€ Jahr<sup>-1</sup>), Szenario ohne Zwischenfruchtanbau (oZF) (eigene Darstellung)

Unter Berücksichtigung des Szenarios *mit Zwischenfruchtanbau* (Abbildung 44) ergibt sich ein ähnliches Bild mit entsprechenden Relationen zum Szenario *ohne Zwischenfruchtanbau*, allerdings auf einem etwas höheren Niveau. Lediglich für den Betriebstyp 500 kW, 50/50 lohnt sich eine integrierte Biogaserzeugung nicht. Dies liegt darin begründet, dass dieser Betriebstyp einen hohen Viehbesatz mit hohem Grünlandanteil aufweist und daher hohe Jahreskosten der Grünlandproduktion anfallen. Da im *mZF*-Szenario auch ohne Biogas das Ertragsniveau bereits relativ hoch ist, ist das Ertragssteigerungspotenzial geringer als im *oZF*-Szenario. Die zusätzlichen Erlöse *mit Biogas* aus dem Betriebszweig Ackerbau können die Zusatzkosten der Grünlandproduktion daher nicht kompensieren.

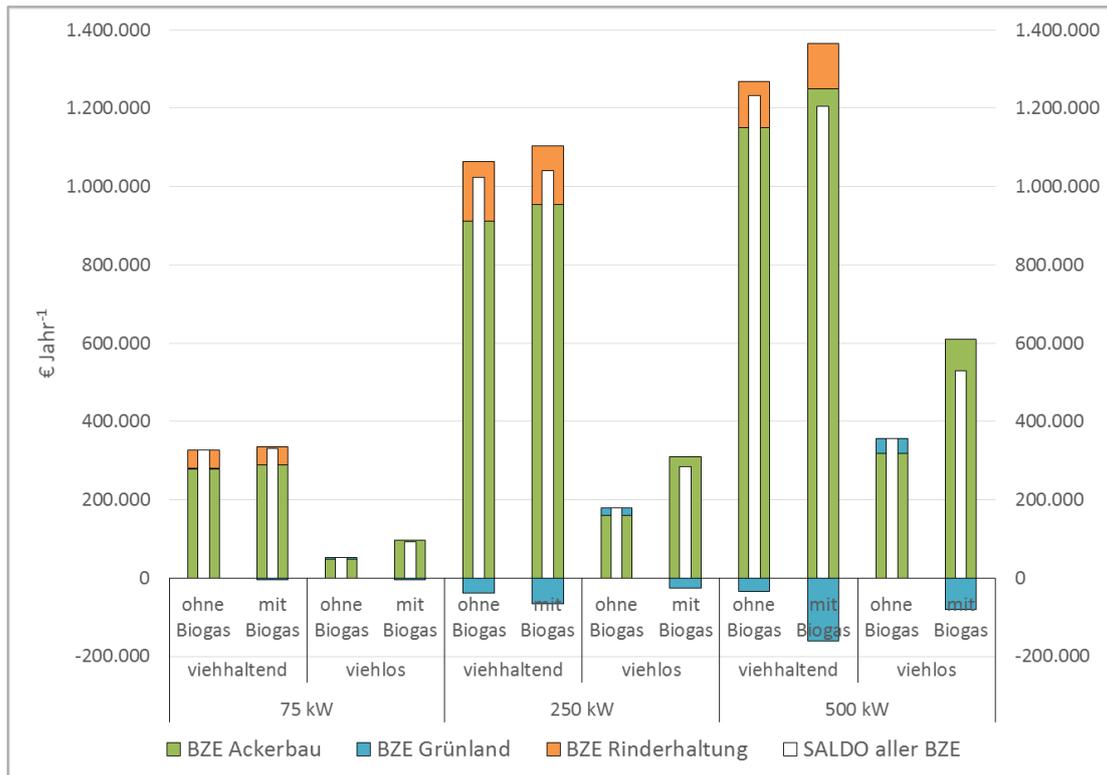


Abbildung 44: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis der Betriebszweige und Saldo aller Betriebszweigergebnisse des Gesamtbetriebs (€ Jahr<sup>-1</sup>), Szenario mit Zwischenfruchtanbau (mZF) (eigene Darstellung)

Die Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitsvergleichs der Betriebstypen *ohne* und *mit Biogas* zeigen die monetären Zusatzpotenziale auf, die durch die erhöhte Nährstoffeffizienz einer integrierten Biogaserzeugung erzielt werden können. Den systemaren und betriebswirtschaftlich quantifizierbaren Auswirkungen auf die restlichen Betriebszweige eines landwirtschaftlichen Betriebssystems steht die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage als neuer Betriebszweig gegenüber. Die Wirtschaftlichkeitsanalysen der vorgestellten Modellanlagen zeigen sowohl nach VDI (2012) (vgl. Kapitel 8.1.3) als auch nach DLG-Standard, dass ökologisch bewirtschaftete Biogasanlagen insbesondere unter den aktuellen Rahmenbedingungen des EEG 2014, aber auch unter denen des EEG 2012 oft nicht wirtschaftlich betrieben werden können (vgl. Abbildung 29, Abbildung 30 sowie Abbildung 45). Auch wenn ein wirtschaftlicher Betrieb von Biogasanlagen im Ökolandbau immer anzustreben ist, sind aufgrund der monetär messbaren, positiven Auswirkungen auf den Betriebszweig Ackerbau im Falle einer Investitionsentscheidung für oder gegen eine Biogasanlage möglicherweise größere Beurteilungsspielräume vorhanden.

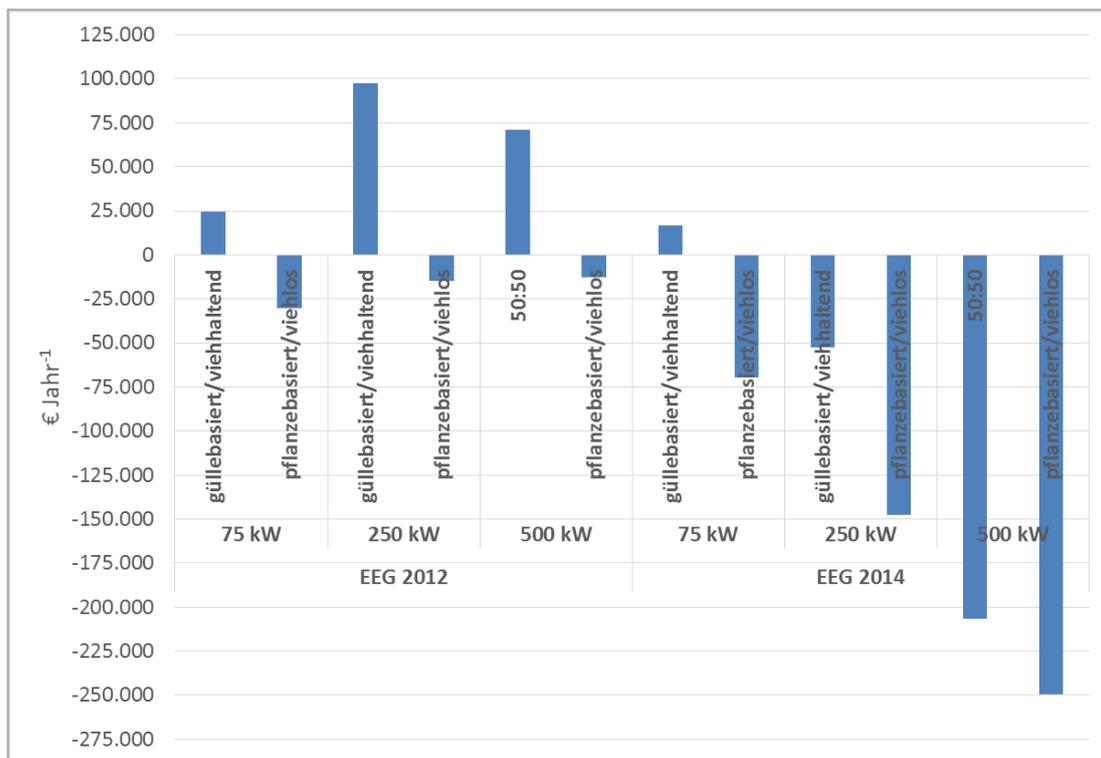


Abbildung 45: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis nach DLG-Standard (2004) der in Kapitel 8.1 vorgestellten Modellanlagen unter Berücksichtigung der in der Systembewertung angesetzten innerbetrieblichen Verrechnungspreise für Substrate (eigene Darstellung)

Um die kompensierenden Potenziale der systemrelevanten Auswirkungen in diesen Kontext zu stellen, wurden die Differenzen der Gesamtbetriebs-ergebnisse der jeweils entsprechenden Betriebstypen *ohne* und *mit Biogas* den Betriebszweigergebnissen der Modellanlagen gegenüber gestellt. Vor dem Hintergrund des EEG 2012 können gerade bei den viehlosen Betriebstypen *ohne Zwischenfruchtanbau* negative Betriebszweigergebnisse des Biogasanlagenbetriebs kompensiert und darüber hinaus ein positives Gesamtbetriebsergebnis erzielt werden, das in einigen Fällen auch das Unternehmerrisiko (abhängig von der persönlichen Einschätzung des Betriebsleiters) in geeignetem Maße berücksichtigt (Abbildung 46). Sogar vor dem Hintergrund des EEG 2014 sind positive Salden des Gesamtbetriebsergebnisses sowohl unter Berücksichtigung der sehr negativen Betriebszweigergebnisse der Biogasanlagen als auch der Mehrerträge der Betriebssysteme *mit Biogas* potenziell möglich.

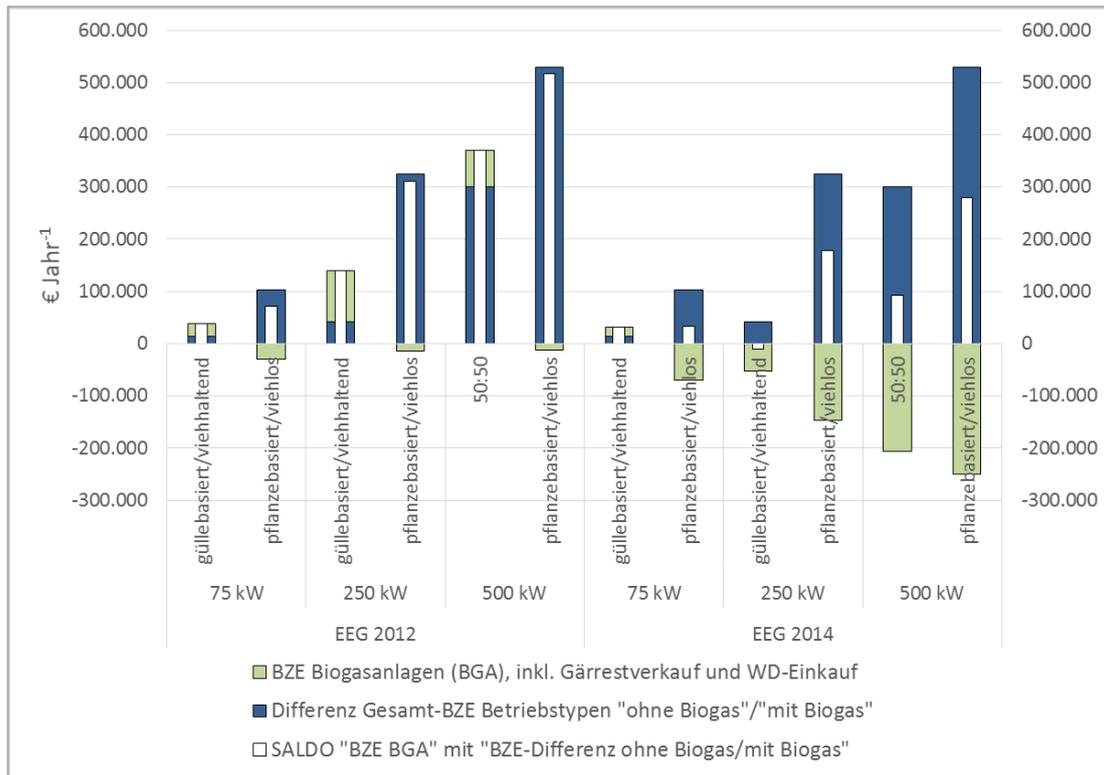


Abbildung 46: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis (BZE) aller Modellanlagen und Differenz der Gesamt-BZE alle Betriebstypen „ohne Biogas/mit Biogas“ sowie Saldo aus Anlagen-BZE und Differenz-BZE; Szenario oZF; (eigene Darstellung)

Da die Effizienzsteigerung durch die Integration von Biogas im Szenario *mit Zwischenfruchtanbau (mZF)* aufgrund des bereits ohne Biogaserzeugung höheren Nährstoff- und Ertragsniveaus geringer sind, ist eine Kompensation negativer Betriebszweigergebnisse der Biogasanlagen nur unter Berücksichtigung des EEG 2012 möglich (Abbildung 47). Wird das EEG 2014 den Anlagenkalkulationen zugrunde gelegt, reichen die Zusatzerträge nicht aus, um die negative Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen auszugleichen.

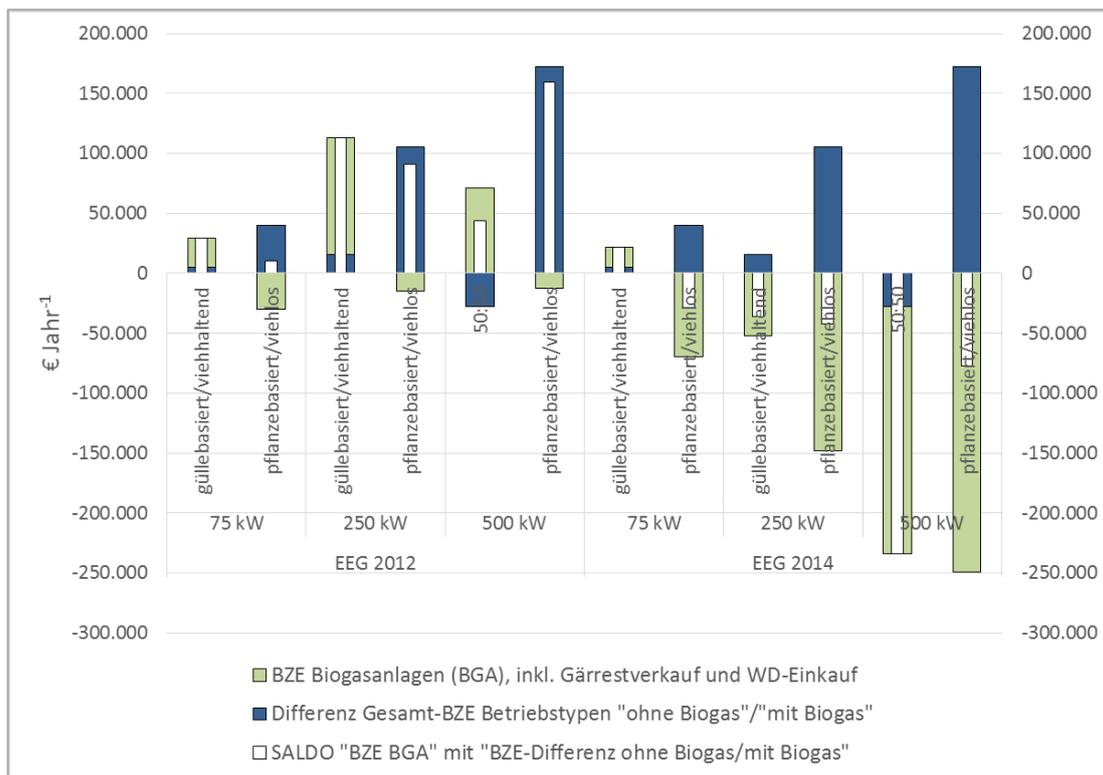


Abbildung 47: Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis (BZE) aller Modellanlagen und Differenz der Gesamt-BZE alle Betriebstypen „ohne Biogas/mit Biogas“ sowie Summe aus Anlagen-BZE und Differenz-BZE; Szenario mZF; (eigene Darstellung)

## 8.3 Zusammenfassung und Abschließende Beurteilung der Ökonomischen Analyse

### 8.3.1 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Der Wirtschaftlichkeitsanalyse der vorliegenden Anlagenmodelle mit dem Vergleich ökologisch und konventionell betriebener Biogasanlagen zeigt, dass konventionelle Anlagen v.a. aufgrund niedrigerer Kapital- sowie Rohstoffkosten im Vorteil sind. Zudem führt die aufgrund der niedrigeren geographischen Dichte von Biobetrieben geringere Verfügbarkeit ökologischer Substrate dazu, dass BioBiogasanlagen eher kleiner sind und Größenvorteile (economies of scale) weniger genutzt werden können. Unter den derzeitigen politischen Rahmenbedingungen (EEG 2014) sind weder im Bereich der ökologischen noch der konventionellen Biogasproduktion nennenswerte Neuinvestitionen zu erwarten. Ausnahmen stellen hier die Gülle-Kleinanlagen dar. Ein alternativer Bewertungsansatz von Substratkosten für Reststoffe (z.B. Klee gras abzüglich Mulchkosten, vgl. Kapitel 8.1.4.3) oder die Berücksichtigung des Verkaufswerts der

Biogasgülle (vgl. Kapitel 8.1.4.1) können zwar die Anlagenwirtschaftlichkeit verbessern. Hauptaugenmerk sollte aber insbesondere auf der Optimierung bestehender Biogasanlagen im Ökolandbau hinsichtlich der verbesserten Ausnutzung der innerbetrieblichen Potenziale unter Berücksichtigung der gesamtbetrieblichen Leistungssteigerungen liegen.

### 8.3.2 Monetäre Systembewertung

Die hier vorgestellte monetäre Quantifizierung der systemrelevanten Effekte bildet ein für Ökobetriebe mit integrierter Biogaserzeugung mögliches Potenzial von Effizienz- und Ertragssteigerungen natürlicher und monetärer Art ab. Dabei profitieren insbesondere viehlose Betriebe von der verbesserten N-Verfügbarkeit. Sind Betriebe allerdings bereits gut mit Nährstoffen (z.B. aus einer mit Zwischenfrüchten angelegten Fruchtfolge) versorgt, lohnt sich die Integration der Biogasanlage deutlich weniger. Die monetäre Berücksichtigung der Zusatzeffekte könnte zu einer Neubewertung der wirtschaftlichen Situation von Biogasanlagen im gesamtbetrieblichen Kontext führen und dazu beitragen, die Zusatzkosten einer ökologischen Biogasproduktion teilweise zu kompensieren.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Simulationen sind immer auch vor dem Hintergrund sich verändernder Rahmenbedingungen zu sehen. Daher können z.B. **veränderte N-Effizienzen** wie z.B. schwankende N-Verluste bei der Lagerung und Ausbringung von Biogasgülle, veränderte N-Fixierungsleistungen der Leguminosen oder schwankende N-Auswaschungsverluste zu veränderten Ergebnissen führen. Zudem setzt die hier vorgenommene Bewertung auf N als alleinigen ertragsbestimmenden Faktor voraus, dass alle anderen Faktoren optimal zur Verfügung stehen. Auch vernachlässigt der Modellansatz die genaue zeitliche Verfügbarkeit des N abhängig von Wasserhaushalt und Temperatur bzw. Ausbringzeitpunkt, dies würde allerdings den Modellansatz in seiner Komplexität weiter erhöhen. Ein landwirtschaftliches Unternehmenssystem hängt allerdings darüber hinaus sehr stark von der Umsetzung der durchgeführten Management-Maßnahmen sowie wenig zu beeinflussenden Umwelteinwirkungen ab. All diese angesprochenen Aspekte sollten bei der Bewertung der Belastbarkeit der hier vorgestellten Simulationsergebnisse stets berücksichtigt werden.

Weitere Faktoren mit betriebswirtschaftlich relevanten Auswirkungen, die im vorliegenden Modellansatz nicht berücksichtigt werden konnten, sind z.B. die Erhöhung des Proteingehalts im Getreide durch ein verbessertes N-Angebot, mögliche Änderungen der Fruchtfolge hin zu stärker N-affinen Kulturen sowie

potenzielle Ertragsabschläge durch eine N-Übersorgung und damit einhergehenden Ertragsdepressionen. Ein erhöhtes Angebot schnell pflanzenverfügbaren Stickstoffs kann zu einer **Erhöhung des Proteingehalts** z.B. im Weizenkorn führen. Da die Vergütung beim Weizenverkauf mit der Zunahme des Proteingehalts steigt, sind hier womöglich weitere Leistungssteigerungen in der betriebswirtschaftlichen Bewertung der Betriebe *mit Biogas* zu erwarten. Auch mögliche **Änderungen der Fruchtfolge** beispielsweise hin zu einer Ausweitung des Anbaus von N-liebenden Kulturen wie Winterweizen oder Kartoffeln kann zu einer weiteren Steigerung der ökonomischen Leistung des Betriebszweigs Ackerbau führen. Kulturen mit einem hohen N-Aufnahmevermögen und gleichzeitigem hohen Ertrags- und Gewinnpotenzial würden dann leistungsschwächere Kulturen mit geringeren Ertrags- und Gewinnpotenzialen verdrängen. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der Modellbetriebe wurde diese Option im vorliegenden Modellansatz nicht verfolgt. Darüber hinaus könnten Ertragsdepressionen aufgrund einer **N-Übersorgung** einzelner Kulturen und der damit einhergehenden erhöhten Anfälligkeit für Pflanzenkrankheiten oder Getreidelager zu betriebswirtschaftlich relevanten Leistungsminderungen führen, die hier nicht berücksichtigt wurden. Allerdings kann gerade einer potenziellen N-Übersorgung durch eine Veränderung der Fruchtfolge gegengesteuert werden.

## 9 Ökologische Analyse

(Verantwortlich Ecofys Germany GmbH, Mitarbeit von Universität Kassel, FiBL, MEP und RENAC)

Die Anzahl der Biogasanlagen (im Folgenden als BGA bezeichnet) ist in Deutschland seit Einführung des EEG enorm gestiegen. Nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) werden als Biogassubstrat auf einer Ackerfläche von circa einer Million Hektar angebaut. Parallel zu dieser Entwicklung findet eine öffentliche Debatte dazu statt, wie nachhaltig diese Entwicklung ist und wo die Grenzen der Nachhaltigkeit liegen. Die folgende *Ökologische Analyse* soll einen Beitrag zum besseren Verständnis dieser Debatte liefern.

In diesem Kapitel erfolgt eine ökologische Untersuchung von BGA im Ökolandbau. Im ersten Unterkapitel wird eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) bezüglich der Klimawirksamkeit von BGA in ökologischer sowie konventioneller Landwirtschaft durchgeführt. Im nachfolgenden Unterkapitel werden verschiedene Aspekte bezüglich Nachhaltigkeit dargestellt, wie zum Beispiel Bodenfruchtbarkeit, Humusbilanz, Nährstoffkreisläufe und Biodiversität.

### 9.1 Ökobilanzielle Untersuchung von Biogasanlagen im ökologischen und konventionellen Landbau (LCA)

#### 9.1.1 Vorbemerkungen

Das Ziel dieser ökobilanziellen Untersuchung ist es, die klimawirksamen Emissionen der Modell-BGA zu ermitteln, sie untereinander zu vergleichen sowie deren Vergleich mit den fossilen Energieträger die sie substituieren. Zudem werden die wesentlichen Einflussparameter auf die Ergebnisse der LCA identifiziert. Anschließend erfolgen Empfehlungen zur klimaschonenden Biogasproduktion.

Die zu untersuchende Wirkungskategorie dieser Ökobilanz ist der Klimawandel. Das heißt, es wird das Potenzial der klimawirksamen Treibhausgase abgebildet. Gase, die den anthropogenen Treibhauseffekt verstärken sind beispielsweise Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), und Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O, Lachgas). Die unterschiedliche Klimawirkung der genannten Gase wird durch

Umrechnung auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2,äq</sub>) berücksichtigt (Umrechnungsfaktoren werden in Kapitel 9.1.2 erläutert).

In der Ökobilanz wird angestrebt, sämtliche klimarelevanten Emissionen der einzelnen Prozesse zu bestimmen und aufzusummieren, die mit der Gewinnung von Energie aus den Biogasanlagen verbunden sind. Die Ergebnisse werden abschließend in CO<sub>2</sub> Äquivalenten pro Kilowattstunde elektrische Energie dargestellt um sie anschaulicher darstellen zu können.

Bei der Darstellung von BGA im ökologischen und konventionellen Betrieb ist zu beachten, dass aus Gründen der Vergleichbarkeit dieselben Randbedingungen angenommen wurden, bezüglich Typ und Bauweise der BGA, Substrateinsatz, Technologie, Wirkungsgrad, auskoppelbare Wärme usw. In der Praxis bestehen aber Unterschiede beim Betrieb von BGA im ökologischen und konventionellen Landbau. Als besonders umweltrelevanter Unterschied ist vor allem der unterschiedliche typische Substrateinsatz zu beachten. In der folgenden Tabelle werden die Einsatzstoffe in Biogasanlagen, differenziert nach Biogas im Ökolandbau und konventionelle Biogasanlagen, dargestellt.

Tabelle 28: Einsatzstoffe in Biogasanlagen im Ökolandbau und in konventionelle BGA

	BGA im Ökolandbau (Masse) (Siegmeier et al. 2013)	BGA in konventionel- len Betrieb (Masse) (DBFZ 2013)	BGA in konventio- nellen Betrieb (Energie) (DBFZ 2013)
<b>Exkrement</b>	<b>52 %</b>	<b>43,1 %</b>	<b>13,8 %</b>
<b>Pflanzenmaterial</b>	<b>41 %</b>	<b>52,8 %</b>	<b>81,5 %</b>
davon Grassilage	15 %	5,5 %	8,2 %
davon Maissilage	14 %	38,6 %	60,7 %
davon Klee gras	12 %		
davon GPS		3,8 %	5,8 %
<b>Sonstiges</b> (Reststoffe, Zwischen- früchte, GPS)	<b>7 %</b>		
<b>Bioabfall</b>		<b>3,8 %</b>	<b>4,2 %</b>
<b>Industrielle und land- wirtschaftliche Rest- stoff</b>		<b>0,3 %</b>	<b>0,6 %</b>

Wie im Folgenden dargestellt wird, werden die Ergebnisse der Ökobilanz deutlich vom Substrateinsatz dominiert. Somit sollte bei der Interpretation der Er-

gebnisse nicht nur auf die errechneten Werte sondern auch auf den typischerweise verwendeten Substratmix bzw. die Modellanlagen geachtet werden. Dieses gilt insbesondere bei dem Vergleich der Treibhausbilanzen von konventionellen Anlagen und Biogasanlagen im Ökolandbau.

## **9.1.2 Methodische Grundlagen der ökobilanziellen Bewertung**

Eine ökologische Bewertung von Produkten und Prozessen basiert auf der Ermittlung der relevanten Stoff- und Energieströme, die durch die Bereitstellung des Produktes bzw. der dazugehörigen Prozesse ausgelöst werden. Methodisch orientiert sich die ökobilanzielle Betrachtung an den Vorgaben für Ökobilanzen nach EN ISO 14040/44. In dieser Europäischen Norm werden die generellen Anforderungen an eine Ökobilanz definiert.

### **9.1.2.1 Ökobilanz nach EN ISO 14040/44**

Eine Ökobilanz setzt sich mit dem Lebenszyklus eines Produktes und deren verbundenen Umweltwirkungsaspekte auseinander und bezieht deren produktspezifischen potenziellen Umweltwirkungen mit ein. Dabei beinhaltet der Produktlebenszyklus auch andere Dienstleistungen, die von dem untersuchten System erbracht werden. Die Untersuchung erfolgt von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und die Anwendung bis zur Beseitigung; man spricht auch häufig „von der Wiege bis zur Bahre“ (engl. cradle to grave). Es gibt seit 1993 das Bestreben, die Prinzipien der Ökobilanz zur vereinheitlichen. Als Ergebnis resultiert die Standardisierung durch die ISO Norm EN ISO 14040/44.

Die Ökobilanz umfasst die Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmes, die Schlussbilanz, die Wirkungsabschätzung, und die Auswertung der Ergebnisse (ISO 2006).

In der EN ISO 14040/44 werden die generellen Anforderungen an jede LCA definiert. Im spezifischen Untersuchungsrahmen werden diese Anforderungen weiter definiert.

Ein weiteres relevantes Regelwerk auf Europäischer Ebene ist die - sehr allgemein gehaltene - Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie, RED). In dieser werden Nachhaltigkeitsanforderungen an Biomasse (bisher nur

für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe verbindlich festgelegt), unter anderem an Treibhausgasemissionen, festgelegt. Um die spezifischen Rahmenbedingungen zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus der Erneuerbare-Energie-Richtlinie im Europäischen Kontext weiter zu spezifizieren wurde die dazu gehörige Kommunikation (KOM 2010a) (im Folgenden mit COM abgekürzt) beschlossen. Darin wird eine verbindliche Methode zur Berechnung von Treibhausgasbilanzierungen definiert. In der Praxis hat sich ergeben, dass weitere Spezifikationen zu den Berechnungen sinnvoll sind. In den beiden Europäischen Projekten BioGrace und BioGrace II werden Regeln beschrieben, nach denen LCAs für Bioenergieprojekte berechnet werden sollen. Diese Regeln sind anzuwenden wenn Biokraftstoffe als nachhaltig zur Anrechnung auf die Kraftstoffquoten der Mitgliedsstaaten anerkannt werden sollen. Allerdings weisen die Empfehlungen beider BioGrace Projekte aus wissenschaftlicher Sicht einige Nachteile auf. Für die Berechnungen von LCAs für Biogasanlagen sind die Einschränkungen folgende: Die Regeln aus den ersten BioGrace Projekt sind speziell für Biokraftstoffe entwickelt worden, also bezüglich Biogas nur bei Biogasaufbereitung und Kraftstoffnutzung relevant. BioGrace II soll das Berechnungsspektrum auf Biogas und feste Biomasse ausdehnen. Die Regeln sollen für den Anwender möglichst pragmatisch nutzbar sein. Da dieser zumeist kein Experte für Ökobilanzierungen ist, mussten die Regelungen möglichst einfach gehalten werden, so dass diverse Vereinfachungen erfolgten. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es jedoch gerade notwendig, die Berechnungen der LCA spezifischer auf die jeweilige Untersuchung anzupassen.

Für dieses Projekt zur Untersuchung der Auswirkung von Biogasanlagen im Öko- und konventionellem Landbau auf Treibhausgasemissionen werden alle generellen Anforderungen der EN ISO 14040/44 berücksichtigt. Allerdings gibt es drei Unterschiede zu den Empfehlungen der BioGrace Projekte sowie den Empfehlungen der RED/COM. Diese betreffen folgende Aspekte:

- Gutschriften für Methan-Emissions-Vermeidung aufgrund der Behandlung von Gülle
- Gutschriften des Düngerwertes der Substrate
- Allokation der Treibhausgasemissionen auf Strom- und Wärmeproduktion

#### **9.1.2.2 Gutschrift für Methan-Emissions-Vermeidung aufgrund der Behandlung von Gülle**

Bei der Lagerung von tierischen Exkrementen in landwirtschaftlichen Betrieben entstehen hohe Mengen an Methanemissionen. Ein Effekt einer BGA ist, dass

das produzierte Methan nicht in die Umwelt gelangt, sondern in der BGA aufgefangen und im BHKW zu Strom- und Wärmeenergie verwertet wird. Die Vermeidung der Emissionen kann in der Ökobilanz als Gutschrift berücksichtigt werden. In dieser Studie wird dieses Emissionsvermeidungspotenzial berücksichtigt. Abweichend dazu erfolgt in dem BioGrace Projekt keine Gutschrift für die Güllebehandlung. Nach BioGrace sollten die Methanemissionen aus der Güllelagerung dem Agrarsektor zugeschrieben werden. Das heißt, die entsprechenden CO<sub>2</sub> Äquivalente müssten demnach den Tierprodukten zugeordnet werden, wie z.B. Fleisch, Milch, Eier und sollten nicht mit der Energieproduktion verrechnet werden. Die Tierprodukte sollten bei der Bilanzierung einer BGA außen vorbleiben.

An dieser Stelle kann die Diskussion nicht bis in alle wissenschaftlichen Tiefen dargestellt werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass durch den Betrieb einer BGA diese Methanemissionen tatsächlich vermindert werden. Deshalb werden in dieser Untersuchung die Effekte einer BGA auf klimawirksame Gase untersucht und vermiedene Emissionseinsparungen als Gutschrift verrechnet.

### **9.1.2.3 Gutschriften des Düngewertes der Substrate**

Bei der Herstellung von synthetischem Dünger werden Klimagasemissionen freigesetzt, hauptsächlich durch den (zumeist fossilen) Energiebedarf in der Produktion. Weil bei dem Nawaro-Anbau im konventionellen Landbau synthetischer Dünger eingesetzt wird, werden die damit verbundenen Klimagasemissionen dem Nawaro-Anbau zugerechnet. Der Gärrest aus der Biogasproduktion ist ein hoch wirksamer Dünger. Durch Gärrestnutzung kann synthetischer Dünger ersetzt werden. Der Effekt der Dünger-Substitution wird in dieser Ökobilanz in Form von Gutschriften (negative CO<sub>2</sub>-Äquivalente) berücksichtigt. Konkret wird angenommen, dass nur ein bestimmter Prozentsatz des synthetischen Düngers eingesetzt werden muss. Im ökologischen Landbau werden keine synthetischen Dünger eingesetzt. Dementsprechend werden der Düngung keine CO<sub>2</sub>-Emissionen, aber auch keine Gutschriften für die Düngewirkung des Gärrestes zugeordnet.

Zu der Berücksichtigung des Düngewertes werden in der EN ISO 14040/44 keine Angaben gemacht weil es sich um ein spezielles Biogasthema handelt. Methodologisch entspricht diese Berücksichtigung den Anforderungen an Ökobilanzen nach EN ISO 14040/44. Abweichend davon werden die Gärrestgutschriften nicht in den Berechnungen nach dem BioGrace Projekt berücksichtigt,

weil in diesem die Bilanzgrenzen der Untersuchung anders gesetzt werden als in der vorliegenden Studie. An dieser Stelle soll jedoch nicht detaillierter auf die wissenschaftlichen Hintergründe eingegangen werden.

#### **9.1.2.4 Allokation der Treibhausgasemissionen auf Strom- und Wärme- produktion**

In einer BGA mit BHKW Betrieb werden gleichzeitig elektrischer Strom und Wärme produziert. Ökobilanziell kann die methodologische Frage nach der Nutzwirkungen unterschiedlich beantwortet werden. Liegt der Hauptnutzen der Biogasproduktion in der Stromproduktion, können sämtliche Emission der Bilanzierung auf die Stromproduktion bezogen werden, um die Ergebnisse zu veranschaulichen. Die Wärmeenergie kann als Kuppelprodukt zur Substitution fossiler Energieträger genutzt werden. Dieser Zusatznutzen kann in der Ökobilanz in Form von CO<sub>2,äq</sub>-Gutschriften berücksichtigt werden. Andererseits können auch Strom- und Wärmeproduktion beide als Produktionsziel gesehen werden. In diesem Fall werden sämtliche CO<sub>2,äq</sub> Emissionen aufsummiert und anschließend auf die Zielprodukte Strom- und Wärmeenergie aufgeteilt (Allokation). Details zur Allokationsmethode sind im *Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über Nachhaltigkeitskriterien für die Nutzung fester und gasförmiger Biomasse bei Stromerzeugung, Heizung und Kühlung* in der EU Kommunikation (KOM 2010b) zu finden.

In dieser Untersuchung werden beide Vorgehensweisen dargestellt. In der Basisbilanzierung arbeiten die Autoren mit Wärmegutschriften. In Kapitel 9.1.6.2 wird die Allokation der CO<sub>2,äq</sub> Emissionen auf Strom und Wärme dargestellt. Die meisten in Deutschland diskutierten Ökobilanzierungen (z.B. vom IFEU Institut Heidelberg, DBFZ, Öko-Institut) arbeiten mit der Gutschriften-Methode. In der RED/COM und im BioGrace Projekt erfolgt die Allokation der Emissionen auf elektrische und thermische Energie (BIOGRACE 2013).

#### **9.1.2.5 Stromproduktion, Netto oder Brutto?**

Bruttostrombetrachtung: Aufgrund der deutschen Regulation im Rahmen des EEG wird, ökonomisch betrachtet, die gesamte von der Biogasanlage produzierte Strommenge in das Stromnetz eingespeist (Brutto-Stromeinspeisung). Rechnerisch wird der Strombedarf der Biogasanlage vom Stromnetz bezogen. In der THG Bilanzierung wird der Stromeigenbedarf mit den Klimagasemissionen des typischen deutschen Strommix berechnet.

Nettostrombetrachtung: Physikalisch gesehen wird der im BHKW generierte el. Strom teilweise von der Biogasanlage selber verwendet. Dementsprechend sollte der Stromeigenbedarf der Anlage vor der Einspeisung in das Stromnetz abgezogen werden (Nettostromeinspeisung).

Die Unterscheide und Relevanz dieser beiden Betrachtungsweisen wird in den folgenden Kapiteln (9.1.2.5) dargestellt. Im Basisszenario erfolgte eine Berechnung auf der Grundlage der Nettostromeinspeisung, in den Szenarien werden die Werte dargestellt, die sich bei der Berechnung der Brutto-Stromeinspeisung ergeben. Auch im BioGrace Projekt wird mit der Nettostromeinspeisung gerechnet.

#### **9.1.2.6 Landnutzungsveränderung (indirekt und direkt)**

**(Direkte) Landnutzungsänderungen (LUC, Land Use Change).** Erfolgen in einem landwirtschaftlichen Betrieb Landnutzungsänderungen (beispielsweise der Umbruch von Grünland in Ackerland) ist das zwangsläufig mit einer Änderung des Humusspeichers im Boden verbunden. Da ein wesentliches Ziel der Bioenergienutzung die Einsparung von Klimagasemissionen ist, sollte der Betrieb einer Biogasanlage nicht mit wesentlichem Humusabbau verbunden sein, da dieser immer mit der Freisetzung von Kohlendioxid verbunden ist. Wenn beispielsweise Grünland (hoher Humusgehalt im Boden) zu Ackerland (niedrigerer Humusgehalt im Boden) umgebrochen wird, werden dabei erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> frei gesetzt. Diese Klimagasemissionen können erst im langjährigen Biogasbetrieb (wenn überhaupt) wieder ausgeglichen werden (Laborde 2011). Das Umbrechen von Grünland zum Anbau von Nawaro ist in den ersten Jahren kontraproduktiv und sollte dementsprechend nicht erfolgen. In dieser Studie gehen wir davon aus, dass zum Betrieb der Biogasanlage keine Landnutzungsänderung erfolgt ist.

**(Indirekte) Landnutzungsänderungen (iLUC, indirect Land Use Change).** Der Effekt der indirekten Landnutzungsänderung und die Möglichkeiten deren Vermeidung ist ein komplexes Thema. Mögliche iLUC-Effekte von mit Nawaro betriebenen Biogasanlagen sollen anhand eines Beispiels erläutert werden. Es gibt, insbesondere in der konventionellen Landwirtschaft, einige Betriebe, in denen in Zeiten vor der Errichtung einer Biogasanlage Maissilage hauptsächlich als Viehfutter eingesetzt wurde. Durch den Nawaroeinsatz in die Biogasanlage steht weniger Maissilage als Viehfutter zur Verfügung. Die Tiere werden daraufhin vermehrt mit, zumeist importiertem, Soja gefüttert. Bei dem Bezug des Sojas als Viehfutter müssen keine Nachhaltigkeitskriterien erfüllt werden.

Soja wird insbesondere aus Südamerika eingeführt. In den Sojaanbauregionen wird oft Regenwald gerodet, um Anbauflächen zu generieren. Insofern befördert auch die Nawaro-Nutzung in Deutschland indirekt die Rodung von Regenwald. Bei einer wissenschaftlichen Bewertung der Thematik müssen sehr viele Themenkomplexe berücksichtigt werden. Beispielsweise: Muss in der zunehmend optimierten Viehhaltung sowieso auf stärker proteinhaltige Ernährung geachtet (also eher Soja als Mais verwendet) werden? Welche Einflussparameter gibt es noch? Für welche Betriebsformen gilt der Zusammenhang der iLUC Verursachung? Gibt es eindeutige Korrelationen zwischen Errichtung der Biogasanlagen und Umstellung der Tierernährung? Insgesamt zeigt die wissenschaftliche Forschung, dass es beim Anbau von Nawaro wahrscheinlich einen iLUC Effekt gibt, dieser sich aber nicht objektiv generalisieren und quantifizieren lässt (Laborde 2011).

iLUC Effekte werden im Rahmen dieser LCA nicht kalkuliert, da es bezüglich der Quantifizierung von iLUC keinen Konsens über die anzuwendende Methode gibt. Beispielsweise werden in verschiedenen Untersuchungen iLUC Faktoren zwischen 25 und 50 % recht willkürlich gesetzt. Diese Setzung erfolgt teilweise eher politisch als wissenschaftlich motiviert. Auch im BioGrace Projekt wird nicht mit iLUC Effekten kalkuliert. Hinzu kommt, dass die Berechnung von iLUC Faktoren in erster Linie eine Hilfestellung für politische Entscheidungen darstellt. So kann mittels iLUC Faktoren ein Eindruck gewonnen werden, welche Nawaro mehr oder weniger iLUC Effekte verursachen. Eine Einbeziehung von iLUC Faktoren in eine LCA ist sehr umstritten, da iLUC Faktoren nur modelliert sind und nicht den strengen Normen einer LCA entsprechen (Finkbeiner 2013).

### **9.1.3 Ziel der Untersuchung**

Das Ziel dieser Untersuchung ist, die gesamten THG Emissionen über die Lebenszeit von 12 Modell Biogasanlagen zu berechnen. Anschließend werden die Ergebnisse vergleichend dargestellt, bewertet und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

#### **9.1.3.1 Nutzen der Biogaserzeugung und Funktionelle Einheit**

Als den Hauptnutzen einer BGA wird im Rahmen dieser LCA die Generation von elektrischer und thermischer Energie unter möglichst geringen Emissionen, sowie die Vermeidung von Emissionen durch die Behandlung von Gülle und Mist angesehen.

Die Kilowattstunde (kWh) Energie ist somit die hier relevante funktionelle Einheit. Die elektrische Kilowattstunde ( $kWh_{el}$ ) ist die Einheit für elektrische Energie und die thermische Kilowattstunde ( $kWh_{th}$ ) die für Wärmeenergie. Die Stromproduktion ist der Hauptnutzen einer BGA und wird als Basisszenario gesetzt. Die mit der Energiegewinnung verknüpften Emissionen werden in Gramm  $CO_2$ -Äquivalente ( $g\ CO_{2\ddot{a}q}$ ) umgerechnet, aufaddiert und zur Veranschaulichung auf die funktionelle Einheit  $g\ CO_{2\ddot{a}q}/kWh_{el}$  bezogen.

### **9.1.3.2 Zeitraum**

Der betrachtete Zeitraum der Klimagasbilanzierung bezieht sich auf ein Jahr (365 Tage), falls nicht anders definiert. Die Laufzeit der Biogasanlage wird dabei mit 20 Jahren angesetzt. Die Annahmen zur Fruchtfolge werden so gesetzt, dass ausreichend Feldflächen zur Rotation zur Verfügung stehen und somit im Basisszenario nicht von längerfristigen Effekten ausgegangen wird (beispielsweise keine Humuszehrung durch Maisanbau erfolgt).

### **9.1.3.3 Zielgruppe**

Die Zielgruppe dieser Untersuchung sind Betreiber (öko)-landwirtschaftlicher Betriebe, Biogasanlagenhersteller und -planer, Wissenschaftler, politische Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit.

### **9.1.3.4 Vergleichssystem**

Als Vergleichssystem zur Stromerzeugung aus den Biogasanlagen wird die Stromproduktion fossiler Energieträger gegenübergestellt. Hierfür wird untersucht, welche fossilen Stromerzeuger durch Strom aus Biogas substituiert werden. Dementsprechend werden die korrelierenden Emissionen der fossilen Stromproduktion berechnet. Nach UBA werden durch Strom aus Biogas 2,8 % Braunkohle, 75,4 % Steinkohle und 21,9 % Erdgas substituiert (Memmler et al. 2013). Daraus ergibt sich ein substituiertes, fossiles Komparator von 823,7  $g\ CO_{2\ddot{a}q}/kWh_{el}$ . Zusätzlich wird der Vergleich zum durchschnittlichen deutschen Strommix dargestellt. Dieser betrug im Jahr 2012 601  $g\ CO_{2\ddot{a}q}/kWh_{el}$ . (das Jahr der Berechnung der LCA ist 2013).

Äquivalent wird das Vergleichssystem für Wärmeenergieerzeugung bestimmt. Der Substitutionsfaktor der Wärmebereitstellung aus den Biogasanlagen setzt

sich wie folgt zusammen: 59 % Öl, 36,4 % Erdgas und 4,6 % Steinkohle (Memmler et al. 2013). Daraus ergibt sich ein Vergleichswert von 311,9 g CO<sub>2äq</sub>/kWh<sub>th</sub>.

Zur Information sind zusätzlich zu den deutschen Werten in der Tabelle 29 unten noch die durchschnittlichen energetischen Komparatoren auf Europäischer Ebene dargestellt (KOM 2010a)

*Tabelle 29: Emissionsfaktoren für Strom- und Wärmeenergie nach (Memmler et al. 2013).*

<b>Energie</b>	<b>Einheit</b>	<b>(fossile) Klimagasemissionen</b>	<b>deutscher Energie Mix 2012</b>	<b>EU KOM (2013)<sup>8</sup></b>
Strommix	g CO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>el</sub>	823,7	601	662,4
Wärmemix	g CO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>th</sub>	311,9	-	277,2

### **9.1.3.5 Systemgrenzen**

In der Ökobilanz werden die Klimagasemissionen für folgende Prozessschritte aus dem Lebensweg des Produkts Energie aus Biogas berücksichtigt:

- Anbau der pflanzlichen Einsatzsubstrate (einschließlich Feldarbeiten, Transport der Ernte zum Standort der BGA, Vorketten der Düngemittel, des Pflanzenschutzmittels sowie der Saatgutherstellung)
- Lagerung und Behandlung der Substrate
- Biogasproduktion im Fermenter
- Umwandlung des Biogas zu elektrischer- und thermischer Energie im BHKW
- Lagerung und Ausbringung der Gärreste

Die Systemgrenze dieser Untersuchung ist die Biogasanlage. Das heißt, es wird nicht der ganze landwirtschaftliche Betrieb bilanziert, sondern es wird dargestellt, wie sich die Treibhausgasemissionen eines Betriebs mit der Errichtung und dem Betrieb einer BGA verändern.

<sup>8</sup> Als Vergleichswert auf EU Ebene werden die aktuellen Emissionsfaktoren der KOM(2013)XX verwendet welches eine aktualisierte Version der KOM(2010)11 ist.

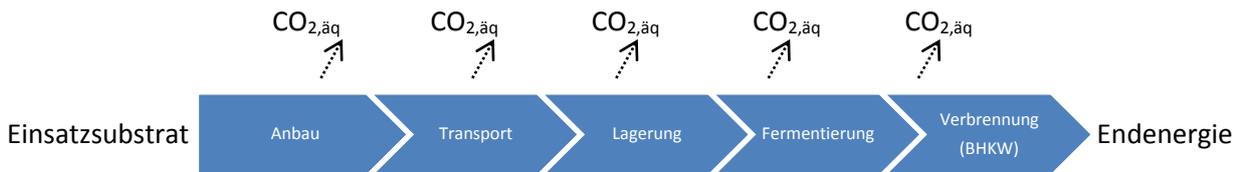


Abbildung 48: Graphische Darstellung der Addition der mit der Energieproduktion verbundenen Emissionen

### 9.1.3.6 Betrachtete Emissionen und Wirkungsabschätzung

Folgende Treibhausgasemissionen werden in der Ökobilanz berücksichtigt: Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Distickstoffmonoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ , Lachgas). Diese Treibhausgase sind unterschiedlich klimawirksam. Um die Wirkung der unterschiedlichen emittierten Treibhausgase einer BGA besser abschätzen zu können, werden sie entsprechend den IPCC<sup>9</sup> Berichten in  $\text{CO}_2$  Äquivalente ( $\text{CO}_{2\text{äq}}$ ) umgerechnet. Die Wirkungsabschätzungen sind in Tabelle 30 aufgelistet. Methan ist 25-mal klimawirksamer als  $\text{CO}_2$ , deshalb wird jede Tonne Methan mit dem Faktor 25 multipliziert um die entsprechenden  $\text{CO}_2$  Äquivalente zu erhalten. Distickstoffmonoxid wird als 298-mal klimawirksamer als  $\text{CO}_2$  betrachtet und dementsprechend multipliziert.

Tabelle 30: Treibhauspotenziale der betrachteten Gase

Gas		Treibhausgaspotenzial g $\text{CO}_{2\text{äq}}$ /g
Kohlendioxid	$\text{CO}_2$	1
Methan	$\text{CH}_4$	25
Stickstoffmonoxid	$\text{N}_2\text{O}$	298

Die Treibhausgaspotenziale unterscheiden sich etwas von denen in der RED<sup>10</sup> und sind den aktuell anerkannten Werten angepasst worden. Dieses Vorgehen wurde auch im *BioGrace* Projekt empfohlen:

[“... standard values contains the conversion factors that were used for calculating the default values in the Renewable Energy Directive (2009/28/EC) Annex V but for one exception: The Commission calculated its default values using global warming potentials of 25 for  $\text{CH}_4$  (methane) and 298 for  $\text{N}_2\text{O}$  (nitrous

<sup>9</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>10</sup> In der RED werden 23g  $\text{CO}_{2\text{äq}}$  für 1g  $\text{CH}_4$  und 296g  $\text{CO}_{2\text{äq}}$  für 1g  $\text{N}_2\text{O}$  angegeben.

oxide), whereas in Annex V part C the Commission prescribes that global warming potentials of 23 for CH<sub>4</sub> and 296 for N<sub>2</sub>O should be used for calculations."(BioGrace)]

### **9.1.3.7 Untersuchte BGA**

Es werden dieselben Modell-BGA analysiert, die zuvor im Kapitel 8 *Ökonomische Analyse* definiert wurden. Es werden 3 in der Praxis typischerweise vorkommenden Leistungsgrößen (75 kW<sub>el</sub>, 250 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub>,) definiert. Für die 75 kW<sub>el</sub>, und 250 kW<sub>el</sub> BGA wird jeweils eine wirtschaftsdünger-dominierende (im Folgenden abgekürzt mit „W“) und eine pflanzenmaterial-dominierende Anlage (Kürzel „N“) untersucht mit je einem 80/20 Mischungsverhältnis. Das Einsatzverhältnis, Wirtschaftsdünger zu Pflanzenmaterial bei den 500 kW<sub>el</sub> BGA ist je 50/50 (Kürzel „W“) und 20/80 (Kürzel „N“). Detaillierte Angaben zu Substratzusammensetzung sowie zu den zwölf Modell-BGA sind in Tabelle 31 dargestellt. Sechs dieser BGA werden unter ökologischen (Kürzel „ö“) und die anderen sechs unter konventionellen Bedingungen (Kürzel „k“) betrieben. Die eingesetzten Substrate sowie die Leistung der BGA sind so gewählt, dass jeweils eine vergleichbare *ökologische* BGA zu einer *konventionellen* BGA vertreten ist.

Tabelle 31: Spezifikationen der untersuchten Biogasanlagen

BGA-Modelle*	75kW,W,ö	75kW,N,ö	250kW,W,ö	250kW,N,ö	500kW,W,ö	500kW,N,ö	75kW,W,k	75kW,N,k	250kW,W,k	250kW,N,k	500kW,W,k	500kW,N,k
	ökologische Landwirtschaft						konventionelle Landwirtschaft					
<b>BHKW</b>												
Gas-Otto-Motortyp	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Leistung (kWel)	75	75	250	250	500	500	75	75	250	250	500	500
Elektrischer Wirkungsgrad BHKW		37%		38%		38%		37%		38%		38%
Thermischer Wirkungsgrad BHKW		40%		40%		40%		40%		40%		40%
Betriebsstunden pro Jahr		8300		8400		8500		8300		8400		8500
Volllaststunden pro Jahr (Betriebsstd. x 0,95)		7885		7980		8075		7885		7980		8075
Strom pro Jahr (MWhel)	591	591	1995	1995	4038	4037	591	592	1995	1995	4037	4038
Wärme pro Jahr (MWhth)	639	639	2100	2100	4250	4250	639	640	2100	2100	4250	4250
<b>Fermenter</b>												
Verhältnis Wirtschaftsdünger/Pflanzenmaterial (%)	80/20	20/80	80/20	20/80	50/50	20/80	80/20	20/80	80/20	20/80	50/50	20/80
Nassfermentation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gülle/Mist Verhältnis am Wirtschaftsdünger (%)		80/20		80/20		80/20		80/20		80/20		80/20
Eigenstrombedarf	7%	10%	7%	10%	8%	11%	7%	8%	7%	8%	8%	9%
Eigenwärmebedarf	25%	12%	23%	10%	20%	8%	25%	12%	23%	12%	20%	12%
<b>Sustrateinsatz (t FM/a)**</b>	4521	1945	14851	6390	18406	12931	4078	1745	13395	5729	15944	11595
Wirtschaftsdünger (t FM)												
<i>Rindergülle</i>	2894	311	9505	1022	7362	2069	2610	279	8573	917	6378	1855
<i>Rinderfestmist</i>	723	78	2376	256	1841	517	652	70	2143	229	1594	464
Pflanzliches Material (t FM)												
<i>Grassilage</i>	452	778	1485	2556	5522	5172	-	349	-	1146	-	2319
<i>Kleegrasssilage</i>	452	486	1485	1597	3681	3233	-	-	-	-	-	-
<i>GPS (Roggen)</i>	-	292	-	958	-	1940	-	-	-	-	-	-
<i>Maissilage</i>	-	-	-	-	-	-	816	1047	2679	3437	7972	6957

\*Beispielhaft: 75kW = 75 Kilowatt Anlage, W = Wirtschaftsdünger dominierend, N = NaWaRo dominierend, ö = ökologischer Anbau, k = konventioneller Anbau

### 9.1.3.8 Datenquellen

Die in der Ökobilanz verwendeten Daten wurden hauptsächlich aus den unten gelisteten Quellen bezogen. Zusätzlich werden vereinzelnde Quellen im Verlauf des Berichtes direkt angegeben.

Tabelle 32: Datenquellen

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (KTBL 2013)
GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) Datenbank (GEMIS 2013)
Umweltbundesamt (Icha 2013; Memmler et al. 2013; Wilke 2013)
JEC E3-database (LBST 2008)
BioGrace Projekt (BIOGRACE 2013)
Bilanzkoeffizienten Wirtschaftsdünger (Amon et al. 2006b; Clemens et al. 2006)
Bilanzkoeffizienten Humus (Hülsbergen 2011; Hülsbergen & Küstermann 2008; Körschens et al. 2004)

### 9.1.4 Sachbilanz

Innerhalb der Sachbilanz werden die für die Ökobilanz benötigten Daten aus diversen Quellen identifiziert und anschließend berechnet. Dabei wird der gesamte Produkt-Lebenszyklus in die einzelne Prozesse aufgegliedert und diesen Prozessen die entsprechenden CO<sub>2äq</sub>-Emissionen zugeordnet. Diese Prozesse wurden in der Systemabgrenzung (Kapitel 9.1.3.5) festgelegt. In jedem einzelnen Prozessschritt erfolgt eine Aufsummierung sämtlicher betrachteter Emissionen. Die folgende Grafik soll dieses Vorgehen veranschaulichen.

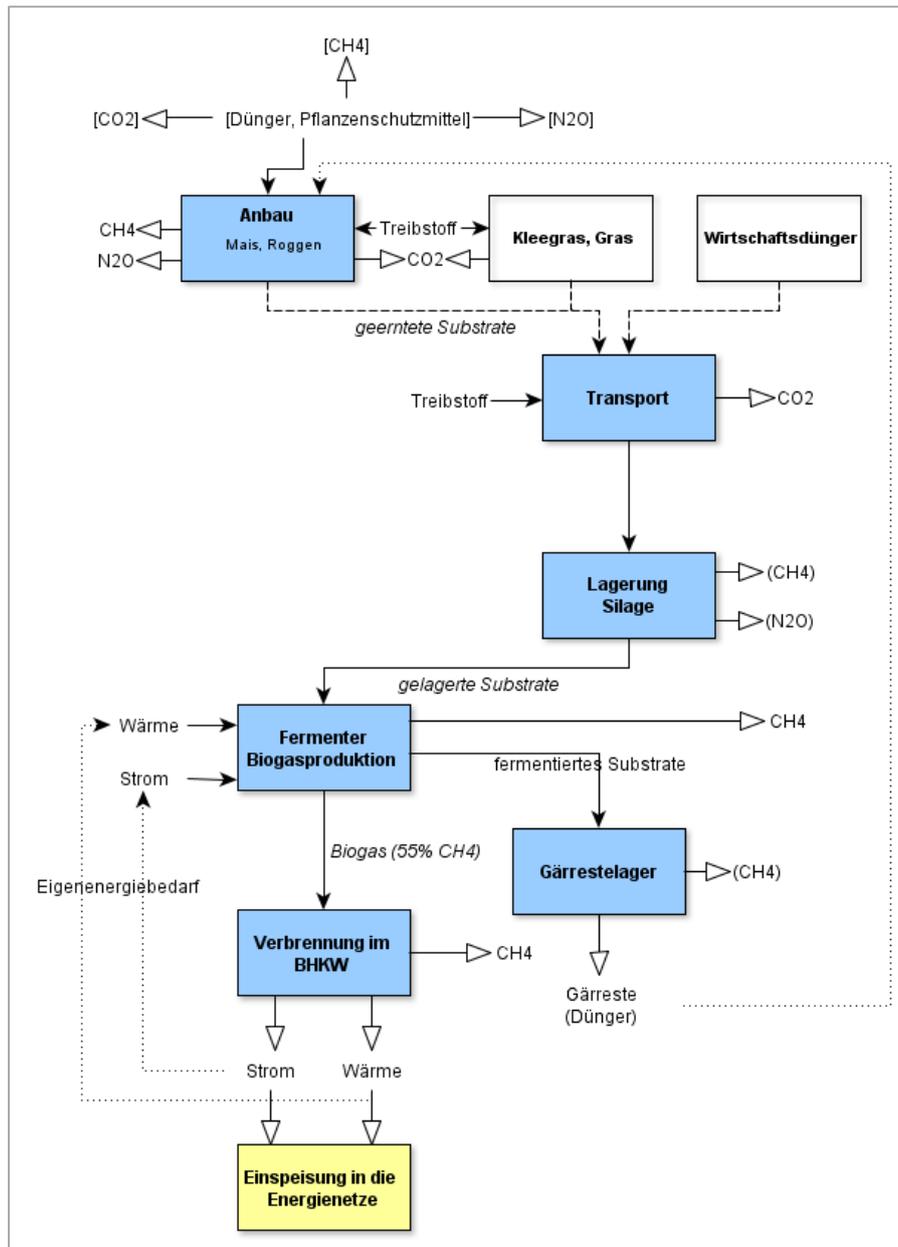


Abbildung 49: Einzelne Prozessschritte bei denen Klimagasemissionen in der LCA berücksichtigt wurden

Die Grafik stellt eine starke Vereinfachung der Berechnung dar. Beispielsweise stehen hinter dem Wert für den „Anbau“ der Biomasse weitere Werte für Saatgutherstellung, Dünger- und Pestizideinsatz (bei konventionellen Anlagen), Transportwege, Ackerbearbeitung und verschiedene mehr.

#### **9.1.4.1 Weitere Angaben zu einzelnen Prozessschritten bzw. Vorketten**

An dieser Stelle werden weitere Hintergrundinformationen zur Berechnung bereitgestellt.

#### **9.1.4.2 Eigenenergiebedarf**

Zum Betrieb der BGA wird Energie benötigt (Energieeigenbedarf).

Die **Wärme** zur Fermenter-Beheizung wird aus der BHKW-Abwärme ausgekoppelt und steht somit ohne zusätzliche Emissionen zur Verfügung. Bei der Wärmenutzung ist im Folgenden lediglich zu berücksichtigen, dass ein Teil der Wärme bereits für den Eigenwärmebedarf verwendet wurde und nicht für andere Zwecke genutzt werden kann.

Die elektrische Prozessenergie (**Strom-Eigenbedarf**) wird unter anderem für Pumpen, Ruhrwerke, den BHKW-Betrieb und die Steuerung der BGA benötigt. Diese Energie kann man auf zwei verschiedene Arten in der Ökobilanz berücksichtigen.

- 1) **Bruttostrombetrachtung:** Auf Grund der Struktur des EEGs, wird in der Regel die gesamte produzierte elektrische Energie in der BGA in das öffentliche Netz eingespeist und die für den eigenen Prozess benötigte elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz bezogen. In diesem Fall kann man in der Ökobilanz die gesamten Emissionen auf die gesamte (Brutto)-Stromproduktion beziehen. Das ist der Weg, den viele Ökobilanzen verfolgen. Hierbei wird als Emissionsfaktor zumeist der des typischen deutschen Strommix verwendet.
- 2) **Nettostrombetrachtung:** Bei der in das Netz eingespeisten elektrischen Energie und der aus dem Netz entnommenen elektrischen Energie des Stromeigenbedarfs handelt es sich physikalisch gesehen jeweils um Elektronenfluss der nicht sinnvoll nach Netto- oder Bruttobetrachtungen unterschieden werden kann. Daher scheint es aus wissenschaftlicher Sicht sinnvoller den Eigenstrombedarf der BGA rechnerisch durch die selbst produzierte elektrische Energie zu decken da es sich jeweils um denselben Elektronenfluss handelt. Konsequenterweise werden in der Nettostrombetrachtung die gesamten Emissionen auf die Nettostromproduktion bezogen (Nettostromproduktion = Bruttostromproduktion minus Stromeigenbedarf).

In dieser Studie wird die Nettostromproduktion betrachtet. Das heißt, der Stromeigenbedarf der BGA wird von der gesamten produzierten elektrischen Energie des BHKW abgezogen. In den Szenarien (9.1.7) wird der Unterschied zu einer Bruttostrombetrachtung dargestellt.

#### **9.1.4.3 Kraftstoffverbrauch**

Diesel wird für die Maschinen (Traktoren) eingesetzt und bei den einzelnen Prozessen wie Feldarbeiten, Transport und Silierung mit berücksichtigt. Für die Bereitstellung und Verbrennung des Diesels in einem Dieselmotor werden 271,4 g CO<sub>2,äq</sub>/kWh (75,5 g CO<sub>2,äq</sub>/MJ) angenommen.

#### **9.1.4.4 Substrate**

In der Tabelle 33 werden einige Parameter der Bereitstellung und Verwendung der verschiedenen Einsatzmaterialien tabellarisch dargestellt.

Die verwendeten Einsatzstoffe Kleegeras (-silage), Gras (-silage), Ganzpflanzensilage (GPS) Gerste, Maissilage und Wirtschaftsdünger (Gülle und Dung) wurden bereits ausführlich in anderen Kapiteln (siehe Kapitel 0 und 8) dargestellt. An dieser Stelle wird nur noch darauf hingewiesen, dass möglichst sämtliche mit der Biomasse-Bereitstellung verbundenen Klimagasemissionen in der LCA berücksichtigt wurden.

Tabelle 33: Basisdaten der Einsatzsubstrate ( (Hrsg.)o. A. 2013b):

Einsatzmaterial		Kleegras ökol.	Gras ökol.	Roggen (GPS) ökol.	Gras konv.	Mais konv.	Rinder- gülle	Rinder- festmist
Bruttoertrag	T FM/ha	26	23	26,4	25	50	-	-
Trockenmasse-Gehalt	%	30	35	35	35	35	8,5	25
Trockenmasse-Ertrag	t/ TM/ha	7,8	8,05	9,24	8,75	17,5	-	-
Ernte/Silageverluste	%	15%	15%	8%	15%	16%	-	-
Kalkammonsalpeter (27 % N), lose	kg/ha	0	0	0	620	400	-	-
PK-Dünger (12 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 24 % K <sub>2</sub> O); lose	kg/ha	0	0	0	400	500	-	-
KaKali-Dünger (60 % K <sub>2</sub> O); lose	kg/ha	0	0	0	180	0	-	-
Kohlensaurer Kalk (CaO)	kg/ha	0	0	0	0	1000	-	-
Rindergülle	m <sup>3</sup> /ha	0	40	1000	20	-	-	-
Herbizid	kg/ha	0	-	-	-	-	-	-
Gasausbeute	m <sup>3</sup> /t FM	156,6	189	206,1	189	216,1	25	90
Methangehalt	%	55	53	53	53	52	55	55

(KTBL, 2013)

### 9.1.4.5 Düngemittel

Emissionen, die bei der Produktion und Bereitstellung der eingesetzten Düngemittel entstehen, werden in den Berechnungen berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren aus Tabelle 34 werden für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 34: Emissionsfaktoren der eingesetzten Düngemittel (GEMIS 2013)

Düngertyp	g CO <sub>2</sub> /kg	g CH <sub>4</sub> /kg	g N <sub>2</sub> O/kg	g CO <sub>2,äq</sub> /kg
N-Dünger	2470,0	0,240	15,1000	6975,8
P-Dünger	692,0	0,02	0,0283	701,0
K-Dünger	479,0	0,02	0,0439	492,6
Ca-Dünger	192,0	0,00	0,0160	196,9

### 9.1.4.6 Substituierung der Düngemittel durch Gärrestverwendung

Diese Studie berücksichtigt die Düngewirkung der Gärreste, die wieder auf den Feldern ausgebracht werden indem berücksichtigt wird, dass durch Gärrestnutzung synthetischer Dünger substituiert werden kann. Die Düngersubstituierung betrifft eigentlich das Folgejahr wird aber in dieser Studie mitberücksichtigt weil im mehrjährigen Betrieb angenommen werden kann, dass in jedem typischen Jahr synthetischer Dünger durch Gärrest substituiert werden kann. Diese Substitution und somit Emissionseinsparung betrifft nur BGA im konventionellen Betrieb, da nur dort für die genutzte Biomasse synthetischer Dünger verwendet wird, welcher ohne Gärrestaubsbringung produziert werden müsste. Aus Tabelle 35 ist ersichtlich wie hoch die Düngereinsparungen (in Prozent der Substitution) im Folgejahr sind, differenziert nach N-, P-, K- und Ca-Dünger. Beispielsweise kann durch den Gärrest ca. 67 % des Stickstoffs wieder ausgebracht werden; 33 % des benötigten N werden durch synthetische Mineraldünger ergänzt.

Tabelle 35: Substitution des Düngers durch behandelten Wirtschaftsdünger (Möller et al. 2014)

Dünger-Typ	Nährstoff Rückführung / Substituierter Anteil	Notwendiger Düngeranteil der Standarddüngung
N-Dünger	67 %	33 %
P-Dünger	100 %	0 %
K-Dünger	100 %	0 %
Ca-Dünger	0 %	100 %

Im Ökolandbau wird davon ausgegangen, dass kein synthetischer Dünger verwendet wird, dementsprechend auch keine Emissionen für die Bereitstellung angerechnet werden. Wissenschaftlich einschränkend muss somit festgestellt werden, dass eine wesentliche Auswirkung (höhere Ernteerträge und bessere Erntequalität) der Düngewirkung im ökologischen Landbau durch die Gärreste nicht in der LCA berücksichtigt werden. Denn die Kategorien Ernteerträge und –qualität werden nicht in diese Ökobilanz untersucht und fließen nicht in die Berechnungen ein.

#### **9.1.4.7 Pflanzenschutzmittel**

In Tabelle 36 werden die Emissionsfaktoren der berücksichtigten Pflanzenschutzmittel aufgelistet.

*Tabelle 36: Emissionsfaktor des eingesetzten Pflanzenschutzmittels (LBST 2008)*

	gCO <sub>2</sub> /kg	gCH <sub>4</sub> /kg	gN <sub>2</sub> O/kg	gCO <sub>2,äq</sub> /kg
Pflanzenschutzmittel	9.886,5	25,53	1,6814	1.1025,7

#### **9.1.4.8 Silage- und Ernteverluste**

Während der Ernte und der Silierung der Biomasse treten Biomasse-Verluste auf. Ursachen sind unter anderem Restatmung, Vergärung und der Abfluss von Gäräften. Die Trockenmasseverluste während der Silierung sind abhängig von der Lagerdichte, der Temperatur und dem verwendeten Material. In der Literatur werden Verlustwerte zwischen 5 – 20 % angegeben. In dieser Untersuchung wird mit Ernte- und Silageverlusten zwischen 8 – 16 % der Trockenmasse gerechnet, abhängig von dem eingesetzten Material. Die Werte zu Silage- und Ernteverlusten sind in Tabelle 33 wiedergegeben.

#### **9.1.4.9 Transport**

Für den Transport des Einsatzmaterials wird angenommen, dass diese mit einem Traktor-Schlepper (90 kW) transportiert werden. Kenndaten hierfür wurden aus der GEMIS Datenbank entnommen (GEMIS 2013). Der Energieverbrauch beträgt 0,64 kWh/t.km (2.31MJ/t.km). Bei diesen Angaben wird eine Rückfahrt (leer) mit berücksichtigt.

*Tabelle 37: Emission beim Transport von einer Tonne Einsatzmaterial pro Kilometer mit einem Traktor-Schlepper (90 kW)*

g CO <sub>2</sub> /t.km	g CH <sub>4</sub> /t.km	g N <sub>2</sub> O/t.km	g CO <sub>2,äq</sub> /t.km
172,1	0,0008	0,00085	172,4

In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die durchschnittliche Transportentfernung vom Hof zum Feld bei den 75 kW Kleinanlagen zwei Kilometer, bei den 250 Kilowatt Anlagen sechs Kilometer, und bei den großen 500 KW Anlagen zehn Kilometer beträgt (Tabelle 38). Der Wirtschaftsdünger befindet sich auf dem Hof und kann ohne weiteren Transport in die Biogasanlage eingebracht werden.

*Tabelle 38: Durchschnittliche Transportentfernung bzw. Hof-Feld-Entfernung in Kilometern*

	75 kW	250 kW	500 kW
Wirtschaftsdünger (km)	0	0	0
Hof-Feld-Entfernung (km)	2	6	10

### 9.1.5 Berechnungen der anlagenbezogenen Klimagasemissionen

Basierend auf den zuvor vorgestellten Prinzipien werden im Folgenden die oben erläuterten Werte in die Berechnung der Modell-BGA einbezogen. Somit wird für den jeweiligen Modell-Biogasanlagentyp je Prozessschritt ein entsprechender Klimagasemissionswert ausgewiesen. Der Leser kann somit leichter nachvollziehen, welcher Prozess bei welchen Anlagen mit welchen Emissionen verbunden ist. Im Vergleich können somit auch Parameter mit hohem oder geringem Einfluss identifiziert werden.

In Tabelle 39 sind die mit dem Anbau und Transport der Substrate verbundenen Emissionen aufgelistet. Unterschiede ergeben sich hauptsächlich durch die Menge des dominierenden Einsatzmaterials Wirtschaftsdünger (hier abgekürzt mit W) oder Nawaro (hier abgekürzt mit N). Unterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Anbau ergeben sich durch den Menge des genutzten Düngers und Pestizideinsatzes. Die Substitution synthetischen Düngers durch Gärrestnutzung (im konventionellen Landbau) ist bereits in diesen Werten enthalten.

Tabelle 39: Emissionen aus Anbau und Transport

BGA	Anbau und Transport	
	t CO <sub>2,äq</sub> /a	G CO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>el</sub>
75kW,W,ö	8,2	14,8
75kW,N,ö	12,8	24,4
250kW,W,ö	36,6	20,9
250kW,N,ö	51,0	28,4
500kW,W,ö	113,3	29,7
500kW,N,ö	111,3	30,6
75kW,W,k	19,3	19,7
75kW,N,k	44,5	36,4
250kW,W,k	68,3	23,2
250kW,N,k	150,1	37,6
500kW,W,k	194,7	30,1
500kW,N,k	308,8	39,0

### 9.1.5.1 Diffuse Methanemissionen

Eine weitere Quelle für Klimagasemissionen entsteht durch (diffuse) Methanemissionen in der Biogasanlage. Diese treten auf der Silageplatte, in der Vorgrube, im Beschickungssystem, bei den Rohrleitungen, in der Verbindung von Reaktor und Speicherfolie, bei den Öffnungen der Behälter (Schaugläser, Rührwerksdurchführungen, Über- und Unterdrucksicherungen usw.) und am Gärrestlager auf.

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit der gastechnischen Vermessung und Quantifizierung dieser Methanemissionen auseinandersetzen (Liebetrau 2011) weil es messtechnisch sehr aufwendig ist gleichzeitig Volumenstrom und Gaskonzentration bei (diffusen) Emissionen einer Biogasanlage zu bestimmen. Aus den veröffentlichten Studien geht hervor, dass die Hauptemittenten einer BGA ein offenes Gärrestlager und das BHKW sind. Die anderen Emissionsquellen sind im Vergleich von untergeordneter Bedeutung. Aufgrund der bisher limitierten Anzahl gastechnisch vermessener Anlagen ist es schwierig, einen Wert für die Berechnung der Methanemissionen der Modellanlagen in dieser Studie auszuwählen.

Die Festlegung der Werte in den meisten Ökobilanzen basieren auf Schätzungen. Dabei liegen die geschätzten Methanemissionen zwischen „fast gasdicht“ bis hin zu „mehreren Prozent Methanemissionen“. In dieser Studie wurde zu-

grunde gelegt, dass die Gärrestlager gasdicht abgedeckt sind (Hauptemissionsquelle vermieden). Die verbleibenden, eher untergeordneten, Methanemissionsquellen setzen wir als 1 % von der Biogasproduktion an (Tabelle 40).

Tabelle 40: Emissionen aus BGA, Gärrestlager (abgedeckt), Lagerungs- und Silierprozessen

BGA	Allgemeine diffuse Methanemissionen	
	tCO <sub>2,äq</sub> /a	gCO <sub>2,äq</sub> /kWh
75kW,W,ö	27	50
75kW,N,ö	26	49
250kW,W,ö	89	49
250kW,N,ö	86	48
500kW,W,ö	176	49
500kW,N,ö	174	48
75kW,W,k	27	50
75kW,N,k	26	48
250kW,W,k	89	48
250kW,N,k	86	47
500kW,W,k	176	48
500kW,N,k	174	47

Zusätzlich werden noch 1 % Methanemissionen bei der BHKW-Nutzung angenommen (in Form von unvollständiger Verbrennung entweicht ca. 1 % Methan in die Umwelt).

Tabelle 41: Emissionen während der Biogasverbrennung (BHKW)

BGA	Emissionen im BHKW	
	tCO <sub>2,äq</sub> /a	gCO <sub>2,äq</sub> /kWh
75kW,W,ö	27	50
75kW,N,ö	26	49
250kW,W,ö	89	49
250kW,N,ö	86	48
500kW,W,ö	176	49
500kW,N,ö	174	48
75kW,W,k	27	50
75kW,N,k	26	48
250kW,W,k	89	48
250kW,N,k	86	47
500kW,W,k	176	48
500kW,N,k	174	47

### 9.1.5.2 Gutschriften (Äquivalenzprozesse der Gutschriften)

Wie zuvor erläutert ergeben sich durch den Betrieb der Biogasanlage, neben der Stromproduktion, weitere Auswirkungen auf die Klimabilanz, die in Form von Gutschriften berücksichtigt werden. Diese sind Gutschrift für die Substitution fossiler Wärmeenergieträger und vermiedene Methanemissionen aufgrund von Güllebehandlung in der Anlage.

### 9.1.5.3 Wärmenutzung

In der Biogasanlage wird durch den BHKW Betrieb neben der elektrischen Energie auch thermische Energie produziert. Diese kann verwendet werden, um andere fossile Wärmeträger zu substituieren. Beispielsweise kann die thermische Energie zur Beheizung von Gebäuden, Holz- oder Getreidetrocknung oder auch zur Melkstanddesinfektion verwendet werden. Typischerweise wird bei Biogasanlagen nicht die gesamte Wärmemenge zur Substitution fossiler Energien genutzt werden können. Wir gehen deshalb davon aus, dass bei den in diesem Projekt definierten Modellanlagen im Durchschnitt 50 % der auskuppelbaren Wärme genutzt werden (also Wärme aus dem BHKW minus Wärme-eigenbedarf; davon 50 %).

Wie in Kapitel 9.1.2 oben erwähnt, wird der Emissionsfaktor der substituierten Wärme mit 311,9 g CO<sub>2</sub> Äquivalenten pro kWh<sub>th</sub> angesetzt. Es ergeben sich die in Tabelle 42 gelisteten Gutschriften.

Tabelle 42: Eingesparte Emissionen durch 50 % externe Wärmeenergienutzung

BGA	Genutzte reg. Wärmeenergie	Eingesparte foss. Emission	Eingesparte foss. Emission
	MWh <sub>th</sub> /a	gCO <sub>2,äq</sub> /kWh	tCO <sub>2,äq</sub> /a
75kW,W,ö	320	-184	-100
75kW,N,ö	320	-187	-100
250kW,W,ö	1.050	-181	-327
250kW,N,ö	1.050	-182	-327
500kW,W,ö	2.125	-183	-663
500kW,N,ö	2.125	-184	-663
75kW,W,k	320	-182	-100
75kW,N,k	320	-183	-100
250kW,W,k	1.050	-178	-327
250kW,N,k	1.050	-178	-327

<b>BGA</b>	<b>Genutzte reg. Wärmeenergie</b>	<b>Eingesparte foss. Emission</b>	<b>Eingesparte foss. Emission</b>
500kW,W,k	2.125	-180	-663
500kW,N,k	2.125	-180	-663

#### 9.1.3.5.2. Vermiedene Methanemissionen aufgrund von Güllebehandlung

Eine für die Treibhausgasbilanzierung sehr wesentliche Funktion einer güllebetriebenen Biogasanlage ist die Vermeidung von Methanemissionen aus der Güllelagerung. Das resultiert daraus, dass bei der Lagerung von Gülle hohe Methanemissionen auftreten. Die Größenordnung dieser Emissionen ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig (TS Gehalt, Temperatur, Abdeckung, Geometrie des Lagers). In der Auswertung mehrerer Studien kommen die Autoren zu dem Schluss, dass man von einem durchschnittlichen Wert von 54,5 kg CO<sub>2</sub> Äquivalenten pro Tonne Rindergülle und 19,07 kg CO<sub>2</sub> Äquivalenten pro Tonne Rindermist ausgehen kann (siehe Tabelle 43). Der Effekt einer Biogasanlage ist, dass diese Methanemissionen nicht mehr in die Umwelt gelangen sondern im BHKW verbrannt werden und somit zum wesentlich weniger klimawirksamen CO<sub>2</sub> umgesetzt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die in der Biogasanlage behandelte Gülle nach dem Prozess nur noch unwesentliche Methanmengen produziert bzw. das Restgaspotenzial aus dem gasdicht abgedeckten Gärrestlager im BHKW genutzt wird.

*Tabelle 43: Klimagas-Emissionsvermeidung durch Behandlung von Wirtschaftsdünger (Amon et al. 2006a)*

<b>Rindergülle</b>	kgCO <sub>2,äq</sub> /t	-54,5
<b>Rindermist</b>	kgCO <sub>2,äq</sub> /t	-19,07

Die Auswirkung dieses Effektes auf die jeweiligen Modellanlagen sind in Tabelle 44 aufgelistet.

*Tabelle 44: Eingesparte Emissionen durch Behandlung des Wirtschaftsdüngers*

<b>BGA</b>	<b>Rinder- gülle</b>	<b>Rinder- mist</b>	<b>Gülle</b>	<b>Mist</b>	<b>Bezogen auf die Strom- produktion</b>
	t FM	t FM	t CO <sub>2,äq</sub> /a	t CO <sub>2,äq</sub> /a	g CO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>el</sub>
<b>75kW,W,ö</b>	2.894	723	-158	-14	-317
<b>75kW,N,ö</b>	311	78	-17	-1	-35
<b>250kW,W,ö</b>	9.505	2.376	-518	-45	-311

BGA	Rinder- gülle	Rinder- mist	Gülle	Mist	Bezogen auf die Strom- produktion
250kW,N,ö	1.022	256	-56	-5	-34
500kW,W,ö	7.362	1.841	-401	-35	-121
500kW,N,ö	2.069	517	-113	-10	-34
75kW,W,k	2.610	652	-142	-12	-283
75kW,N,k	279	70	-15	-1	-30
250kW,W,k	8.573	2.143	-467	-41	-276
250kW,N,k	917	229	-50	-4	-30
500kW,W,k	6.378	1.594	-348	-30	-103
500kW,N,k	1.855	464	-101	-9	-30

### 9.1.6 Gesamt-Ergebnisse und Wirkungsabschätzung:

Durch die Addition sämtlicher oben benannter Effekte ergibt sich das Gesamtergebnis der Bilanz von Klimagasemissionen und Emissionsgutschriften aller Modellanlagen. In Abbildung 50 werden sämtliche zuvor erläuterten Berechnungen grafisch dargestellt. Auf der Ordinate werden die Klimagas-Emissionen in g CO<sub>2</sub> Äquivalenten pro Kilowattstunde elektrische Energieproduktion dargestellt. Positive Werte bedeuten, dass hier Emissionen freigesetzt wurden, negative Werte bedeuten, dass Emissionen vermieden worden sind. Dargestellt sind alle 12 Modellbiogasanlagen (mehrfarbige Säulen im Diagramm) sowie als Vergleich eine Darstellung der des durch Biogas substituierten (fossilen) Strommix in Deutschland (graue Säulen; Dabei entspricht die Höhe der linken grauen Säule den durch Biogas typischerweise substituierten Emissionen des (fossilen) elektrischen Stroms und die rechte graue Säule dem durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland). Die Säulen der 12 Biogasanlagen sind jeweils nach den oben beschriebenen Kategorien differenziert: nach Anbau und Transport, Methanemissionen, Methanschluß aufgrund unvollständiger Verbrennung des BHKWs, Behandlung des Wirtschaftsdüngers (eingesparte Emissionen), und Wärmegutschrift (eingesparte Emissionen), bzw. die Vergleichsemissionen der fossilen Energieträger. Die Summe aus Emissionen und vermiedenen Emissionen ist in den jeweiligen Kolonnen in weißer Farbe dargestellt.

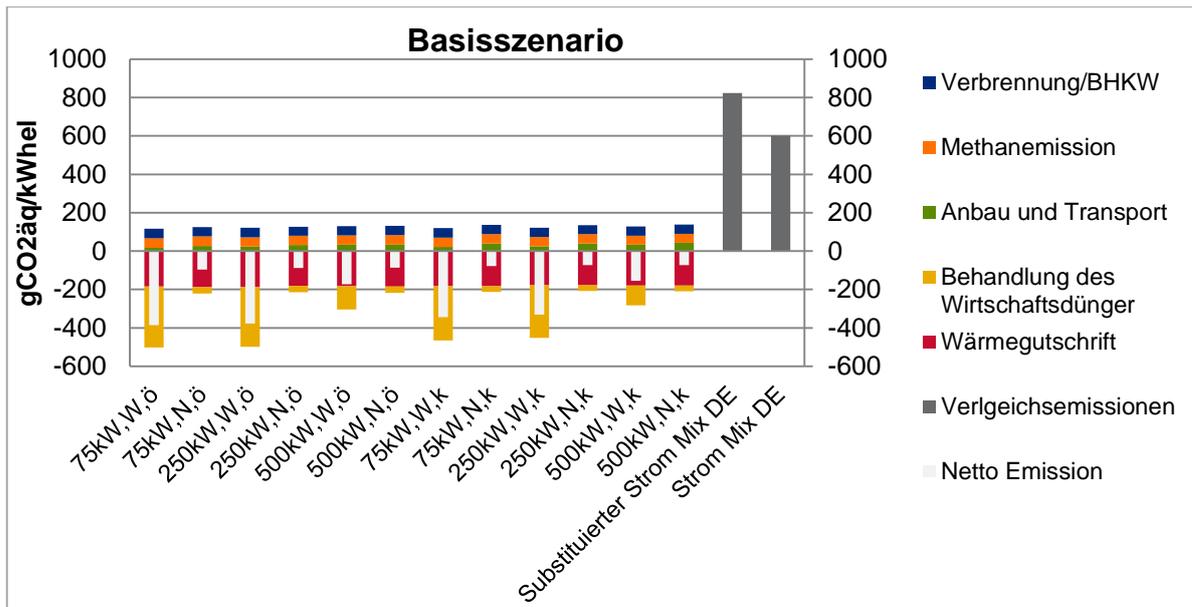


Abbildung 50: Klimagasemissionen aller Modellbiogasanlagen, Basisszenario und (fossile) Vergleichsemissionen.

Der größte Einflussparameter ist die Gutschrift für die Behandlung des Wirtschaftsdüngers, also die vermiedenen Methanemissionen und die Wärmegutschrift. Bei allen Anlagen, die hohe Anteile Wirtschaftsdünger verarbeiten sind auch hohe Vermeidungen von CO<sub>2</sub> Äquivalenten zu verzeichnen. Anders stellen sich die Nawaroplanzen dar. Aus der Ergebnisdarstellung der Nawaroplanzen ist ersichtlich, dass die Haupteinflussfaktoren im Anbau und Transport der Substrate liegen. Für den Anbau von Nawaro werden Klimagasemissionen freigesetzt, insbesondere bei den Prozessschritten Substratanbau, Saatgutherstellung, Dünger- und, Pestizidproduktion sowie Dieserverbrauch durch das Ackergerät. Zu dem entstehen auch Emissionen aus der Verbrennung des BHKWs und die diffusen Methanemission. Bei allen kalkulierten Anlagen ergeben sich in Summe negative Werte, d.h. Klimagasemissionen werden vermieden und zusätzlich kann fossiler elektrischer Strom substituiert werden. Diese Werte sind jedoch stark davon abhängig, wie viel Wärme zur Substitution fossiler Wärme genutzt werden kann. Wenn eine Biogasanlage beispielsweise keine Wärme nutzen würde, würden Nawaroplanzen positive Emissionen verursachen (siehe dazu auch Kapitel 9.1.7.2).

### 9.1.6.1 Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse des Basisszenario

Alle betrachteten Biogasanlagen weisen, unter den oben beschriebenen Randbedingungen, in der Summe negative Werte von Klimagasemissionen auf. Die

Gutschriften für vermiedene Emissionen sind höher als die verursachten Emissionen, d.h. bei dem Betrieb dieser Anlagen werden Klimagasemissionen vermieden. Zusätzlich zur Vermeidung von Klimagasemissionen durch den Anlagenbetrieb wird (fossile) elektrische Energie durch regenerative substituiert. Der Gesamteffekt der Biogasnutzung ist grafisch zu erkennen indem der weiße Summenbalken einer Anlage (z.B.  $-352 \text{ g CO}_2\text{äq/kWh}_{\text{el}}$  für die Anlage 75kW,W,ö) und der graue Balken ( $+823,7 \text{ g CO}_2\text{äq/kWh}_{\text{el}}$ ) voneinander abgezogen werden: Es resultiert aus dem Anlagenbetrieb eine Klimagasreduktion von  $1.184,7 \text{ g CO}_2\text{äq/kWh}_{\text{el}}$ .

Der potentiell größte Einflussfaktor auf die Klimagasbilanz ist die Gutschrift durch Behandlung der Exkremete. Deshalb gibt es einen substantiellen Unterschied zwischen den Anlagen in denen ein hoher Anteil an Wirtschaftsdünger behandelt wird und Nawaro-Anlagen. Wie oben und im Folgenden, in den Berechnungen der Szenarien (Kapitel 9.1.7), gezeigt wird ist der Effekt der vermiedenen Methanemissionen so dominierend, dass bei dem Betrieb von Anlagen mit hohem Wirtschaftsdüngeranteil unter fast allen Bedingungen negative Werte der Emissionen resultieren. Anders stellt sich das für Nawaro-Anlagen dar. Für den Anbau von Nawaro erfolgen  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei den Prozessschritten Saatgutherstellung, Düngerherstellung, Pestizidherstellung und den Substratanbau (insbesondere durch Dieserverbrauch). Die Gutschrift der Behandlung von Wirtschaftsdünger ist gering (20 % im Substratmix), so dass durch die weiteren Randbedingungen (Wärmenutzung, Methanschlupf) bestimmt wird ob durch Nawaro-Anlagen Emissionen vermieden oder verursacht werden. Geringere Emissionen als bei dem deutschen Strommix werden jedoch in jedem Szenario erreicht.

Der zweitgrößte Einflussfaktor ist die mögliche Wärmegutschrift. Bei der Interpretation dieser ist zu beachten:

- Die Höhe der Wärmegutschrift ist linear abhängig von der Menge substituierter, fossiler Wärme. In der Abbildung oben wurde davon ausgegangen, dass 50 % der auskoppelbaren Wärme zur Substitution (fossiler) Wärme genutzt wird. In Kapitel 9.1.7.2 wird aufgezeigt welchen Einfluss die Nutzung von 0 %, 50 % bzw. 100 % der Wärme hat.
- Die Substitution der fossilen Wärme wird mit  $311,9 \text{ g CO}_2 \text{ Äquivalenten pro kWh}_{\text{th}}$  bewertet (Memmler et al. 2013). Andere Studien zu Ökobilanzierungen gehen bei der Bewertung fossiler Energien teilweise von anderen Substitutionsfaktoren aus. Die Wahl des fossilen Komparators hat großen Einfluss auf die Ergebnisse.

Die anderen Kategorien (Verbrennung, Methanemission, Anbau und Transport) sind im Basisszenario von untergeordneter Bedeutung. In Kapitel 9.1.7.1 wird aufgezeigt, dass Methanemissionen potentiell starken Einfluss auf die Ergebnisse haben können wenn hohe Methanverluste auftreten. Die berechneten Zahlenwerte aller Anlagen und der relevanten Prozessschritte sind der folgenden Tabelle 45 zu entnehmen.

Tabelle 45: Klimagasemissionen aller Modellbiogasanlagen, Basisszenario

<b>BGA</b>	<b>Anbau und Transport</b>	<b>Methan-emission</b>	<b>Verbrennung / BHKW</b>	<b>Wärme-gutschrift</b>	<b>Behandlung des Wirtschaftsdüngers</b>	<b>Netto Emission</b>
	g CO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>el</sub>	gCO <sub>2,äq</sub> /kWh <sub>el</sub>				
75kW,W,ö	14,8	46,0	46,0	-168,6	-290,1	-352,0
75kW,N,ö	24,4	44,3	44,3	-168,6	-31,2	-86,7
250kW,W,ö	20,9	44,7	44,7	-164,2	-282,4	-336,2
250kW,N,ö	28,4	43,2	43,2	-164,1	-30,4	-79,8
500kW,W,ö	29,7	43,7	43,7	-164,2	-108,1	-155,2
500kW,N,ö	30,6	43,2	43,2	-164,2	-30,4	-77,6
75kW,W,k	37,5	45,8	45,8	-168,6	-261,5	-301,1
75kW,N,k	81,7	44,3	44,3	-168,6	-28,0	-26,3
250kW,W,k	40,6	44,6	44,6	-164,2	-254,7	-289,2
250kW,N,k	81,7	43,1	43,1	-164,2	-27,2	-23,4
500kW,W,k	55,6	43,6	43,6	-164,2	-93,6	-115,1
500kW,N,k	83,1	43,1	43,1	-164,2	-27,2	-22,0

### 9.1.6.2 Ergebnisse gemäß RED/COM Methodologie

Wie bereits in Kapitel 9.1.2 dargelegt, weichen die Bestimmungen zur Methodologie von Ökobilanzen die in der Renewable Energy Directive (RED) der Europäischen Union vorgegeben werden und in der dazugehörigen Kommunikation (KOM 2010a) spezifiziert werden, von der Ergebnisdarstellung oben in manchen Punkten ab. Das bezieht sich hauptsächlich auf die Ergebnisdarstellung (Allokation der Emissionen auf thermische und elektrische Energie), auf die Wärmegutschriften und auf Gutschriften der Güllebehandlung (In der RED/COM Methodologie sind keine Gutschriften vorgesehen).

In der folgenden Abbildung 51 werden die Ergebnisse der Modellanalysen, berechnet nach der Methodologie der RED/COM Vorgaben, dargestellt. Da hierbei keine Gutschriften erfolgen, weisen alle Anlagen Klimagasemissionen auf. Alle Ergebnisse liegen in einer ähnlichen Größenordnung von 100 – 150 gCO<sub>2,äq</sub>/kWh. Die Ergebnisse liegen nahe beieinander weil die stark diskriminierenden Einflussfaktoren Wirtschaftsdüngerbehandlung und Wärmegutschrift nicht in der Rechnung enthalten sind.

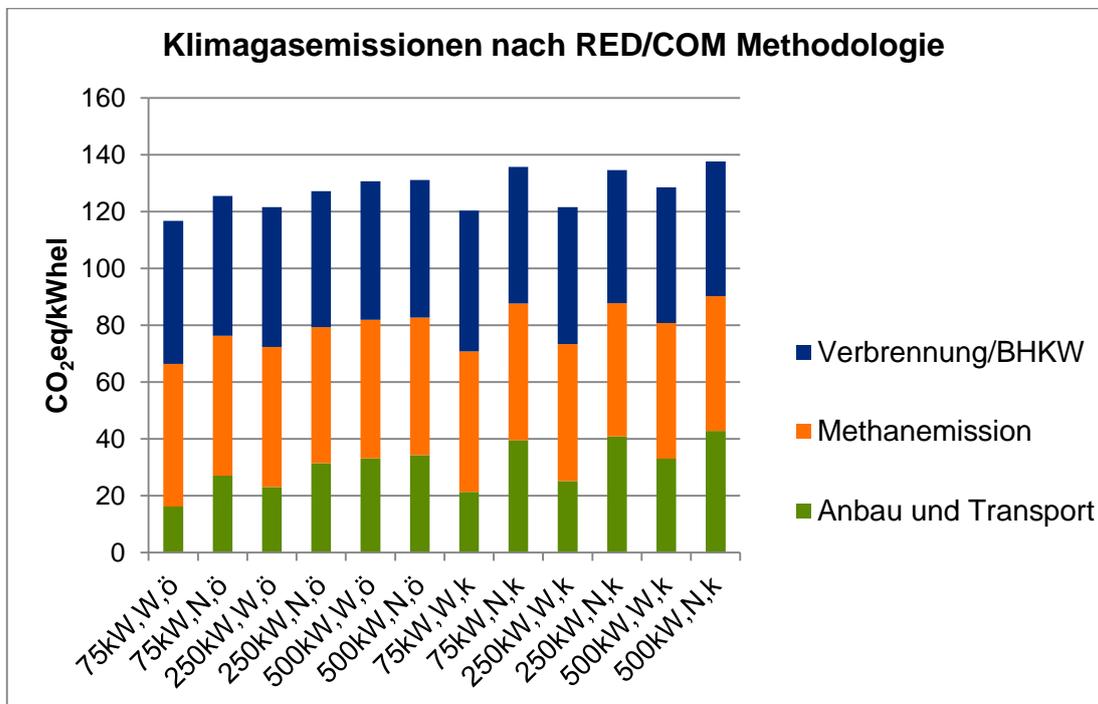


Abbildung 51: Klimagasemissionen der Biogasanlagen nach RED/COM Methodologie

## Allokation der Klimagasemissionen auf elektrische und thermische Energie

Gemäß der Methodologie der RED/COM erfolgt die Bewertung der Wärmenutzung nicht in Form einer Gutschrift, sondern die Klimagasemissionen werden auf die elektrische und thermische Energiebereitstellung aufgeteilt (Allokation der Klimagasemissionen). Damit soll betont werden, dass zwei Formen der Nutzenergien bereitgestellt werden (und sich die Bewertung nicht primär auf die Strombereitstellung fokussiert). Elektrische und thermische Energien werden dabei als unterschiedlich „wertig“ angesehen. Elektrische Energie ist physikalisch „höherwertiger“ als thermische Energie, da sie zu fast 100 % in Arbeit umgewandelt werden kann während dieses bei Wärme nicht möglich ist. Dafür ist die Generation von elektrischer Energie aufwendiger als die der thermischen Energie. Beispielsweise werden aus 2,5 kWh Biogas nur 1 kWh el. Strom (bei 40 % elektrischem Wirkungsgrad) aber fast 2,5 kWh thermische Energie, erzeugt. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen wird in der Methodologie der RED/COM beschrieben, zu welchen Anteilen die Klimagasemissionen auf die elektrische und die thermische Energie aufzuteilen ist (die Allokation erfolgt nach exogetischen Gesichtspunkten). In den folgenden Abbildung 52 Abbildung 53 werden die jeweiligen Klimagasemissionen der Modellanlagen, aufgeteilt auf die Bereitstellung elektrischer und thermischer Energie, dargestellt. Insgesamt ist ersichtlich, dass bei jeder Modellbiogasanlage deutlich weniger Klimagasemissionen pro Kilowattstunde Energie freigesetzt werden, als durch die jeweiligen fossilen Komparatoren verursacht werden.

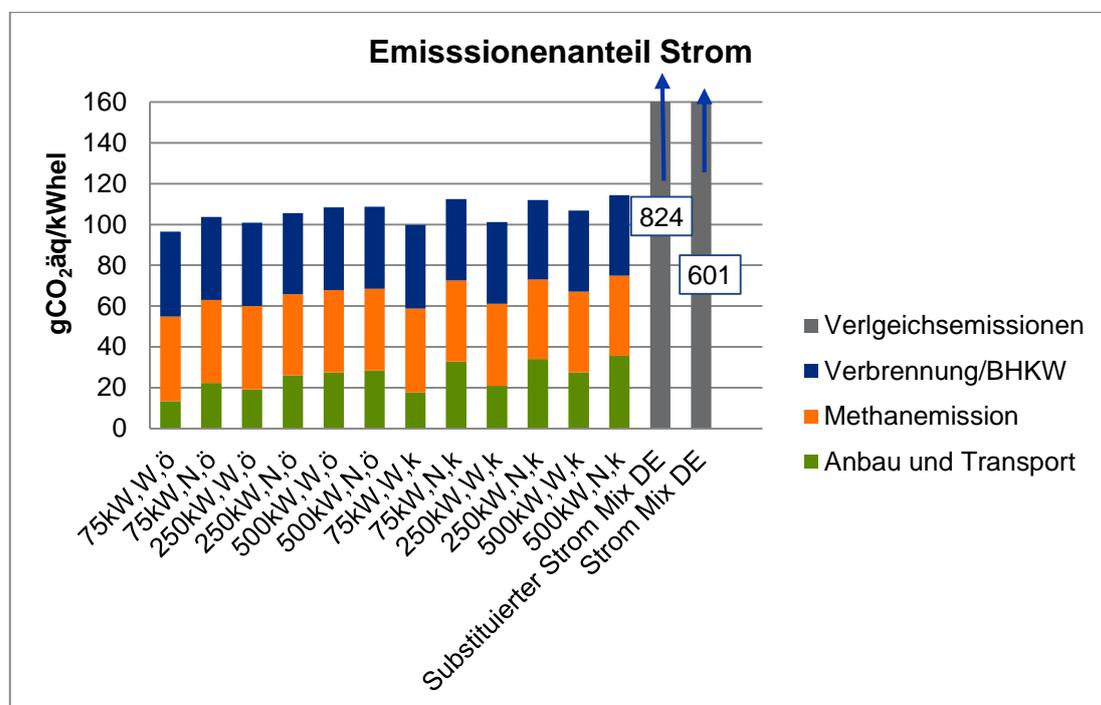


Abbildung 52: Klimagasemissionen nach RED/COM Methodologie in Bezug auf die Bereitstellung elektrischer Energie

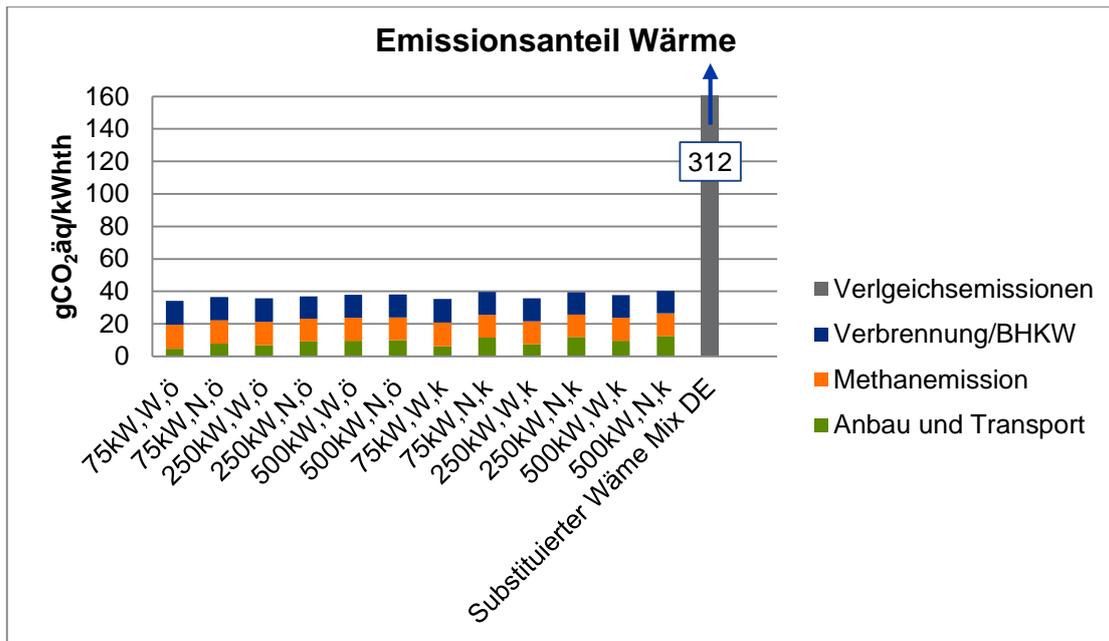


Abbildung 53: Klimagasemissionen nach RED/COM Methodologie in Bezug auf die Bereitstellung thermischer Energie

### 9.1.7 Szenarien

In den Berechnungen oben werden die Klimagasemissionen der definierten Modellbiogasanlagen dargestellt. In der Praxis wird jedoch jede einzelne Biogasanlage von den Modellbiogasanlagen in einigen Parametern abweichen. Um nicht nur modelltypische Anlagen in ihrer klimawirksamkeit einschätzen zu können sondern auch die Auswirkungen von in der Praxis vorkommenden Bandbreite der Parameter besser einschätzen zu können werden die wesentlichen Einflussparameter auf die Klimagasbilanzierung identifiziert und jeweils variiert um die mögliche Bandbreite der Ergebnisse darzustellen. Wie zuvor dargestellt wurde, sind die größten Einflussparameter die Methanemissionen und die Wärmenutzung.

#### 9.1.7.1 Variation Methanemissionen, 5 % und 15 %

Es wurde in der Basisberechnung davon ausgegangen, dass 1 % diffuse Methanemission im Biogasprozess auftreten. Die CO<sub>2</sub> Bilanzierung ist stark abhängig von den Annahmen zu auftretenden Methanemission. In der Praxis gibt es Anlagen, deren Methanemissionen zum Teil deutlich höher als 1 % liegen (Liebetrau 2011). Das ist beispielsweise dann der Fall wenn die Gärrestlager nicht abgedeckt sind oder wenn keine automatisch anspringende Fackel Vor-Ort ist. Im Folgenden wurde berechnet welchen Einfluss 5 % Methanemission

auf die Klimagasbilanz haben. Wie in Abbildung 54 ersichtlich ist, ist der Faktor Methanemission bei 5 % sehr einflussreich auf die Klimagasbilanz.

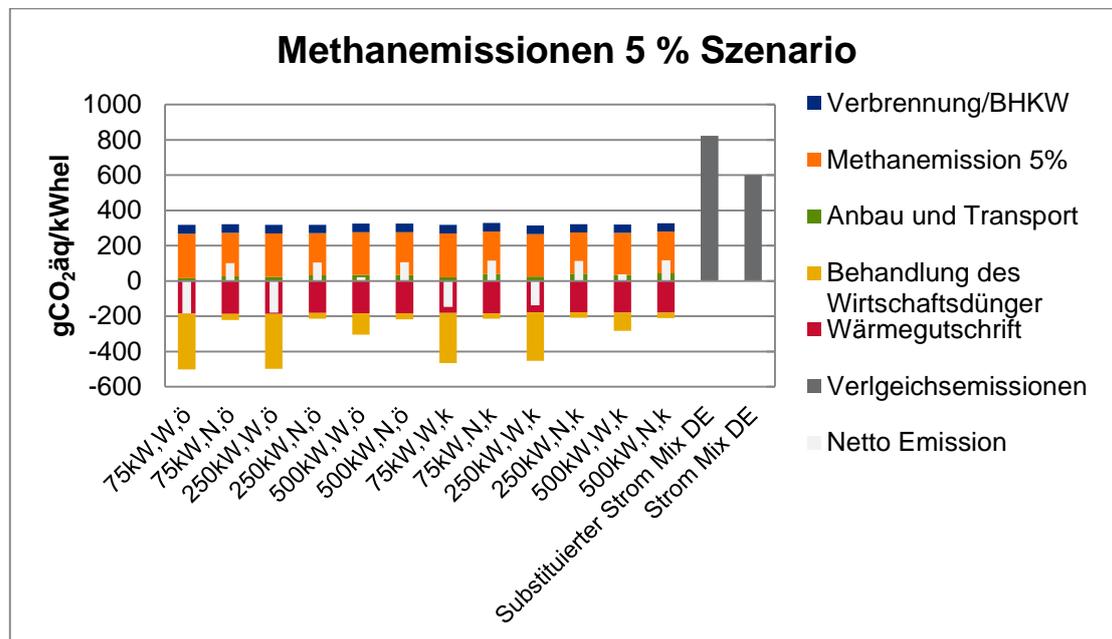


Abbildung 54: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario 5% diffuse Methanemissionen

Die Anlagen in denen hohe Anteile tierischer Exkrememente behandelt werden weisen weiterhin negative Zahlenwerte auf. Somit werden Klimagasemissionen reduziert und zusätzlich noch fossiler Strom substituiert (was zu weiteren Klimagasreduktionen führt). Die Nawaroplanen liegen nun in der Summe alle bei positiven Emission; in deren Betrieb werden Klimagasemissionen frei gesetzt. Trotzdem liegen alle Anlagen, Nawaro und Wirtschaftsdünger-Anlagen, unter den fossilen Komparatoren; es werden weniger Klimagasemissionen verursacht als bei der üblichen Stromproduktion.

Im Ausnahmefall kann eine Biogasanlage auch 15 % Methan emittieren. Dieses sollte nicht der typische Fall, kann aber in Ausnahmefällen Fakt sein. Beispielsweise wenn das Gärrestlager bei Anlagen nicht abgedeckt ist und eine Fackel bei BHKW Stillstand nicht vorhanden ist (somit eine mobile Fackel erst zur Anlage angebracht werden muss) oder nicht funktioniert. Zu beachten ist, dass das BHKW im Durchschnitt 8.000 bis 8.200 Stunden im Jahre läuft. Das heißt, dass es zu etwa 10 % der Zeit im Jahr still steht und das permanent entstehende Biogas nicht im BHKW verbrannt wird. In diesem Fall muss eine automatisch anspringende Fackel das weiterhin produzierte Biogas entsorgen indem das Methan verbrannt wird. Wenn eine mobile Fackel nicht Vor-Ort ist, nicht funktioniert oder, wie es in der Praxis durchaus vorkommt, der Betreiber

eine manuell zu startende Fackel nicht startet, dann können diese 10 % Methanproduktion im Laufe des Jahres in die Umwelt entweichen. Zusammen mit einem nicht abgedeckten Gärrestlager kann das ungefähr 15 % Methanemission bedeuten. Ähnliches gilt für Jahre größerer Havarien, z.B. wenn die Gasspeicherfolie abreißt. In der folgenden Abbildung 55 sind die Ergebnisse dargestellt falls 15 % Methanemission auftreten.

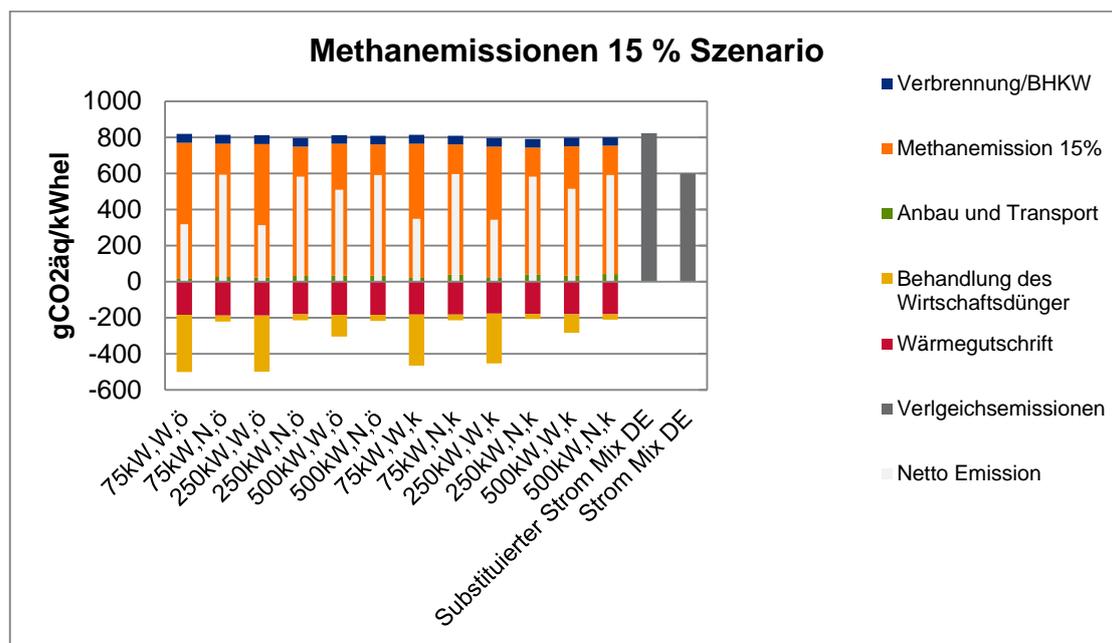


Abbildung 55: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario 15 % Methanemissionen

Alle Biogasanlagen weisen positive Klimagasemissionen auf; die Anlagen verursachen CO<sub>2,äq</sub>-Emissionen. Die Nawaroanlagen liegen nun in der Größenordnung des fossilen Komparators. Das heißt, dass durch die Biogasanlage im Vergleich zum typischen deutschen Strommix keine (wesentlichen) vorteilhaften Umwelteffekte erzielt werden, wenn 15 % Methanemissionen auftreten.

### 9.1.7.2 Wärmenutzung

Biogasanlagen stehen in der Regel in ländlichen Regionen. Im BHKW Betrieb wird neben elektrischer Energie, etwa in der gleichen Größenordnung, auch thermische Energie produziert. Diese kann in der Regel selten in vollen Umfang genutzt werden, insbesondere deshalb weil in ländlichen Regionen Wärmesenken begrenzt sind. In der Regel kann ein Teil der Wärme im landwirtschaftlichen Betrieb zur Beheizung der Betriebsgebäude und Wohnhäuser genutzt werden. Es ist darüber hinaus nicht immer gegeben, dass ein Wärmenetz bis zum nächst liegenden Dorf gelegt werden kann um die thermische Energie dort zu

nutzen. In Abbildung 56 wird dargestellt welchen Einfluss eine Variation des Anteils der Wärmenutzung auf die Klimagasbilanzierung hat. Dabei ist zu beachten, dass die externe Wärmenutzung auf die auskoppelbare Wärme bezogen ist; d.h. von der im BHKW gelieferten Wärme wird zuerst der Eigenwärmebedarf der Biogasanlage abgezogen und nur die verbleibende Energie kann extern genutzt werden. In der Abbildung 56 ist das Ergebnis ersichtlich, das sich ergibt wenn in der LCA die auskoppelbare Wärme zwischen 0 %, 50 %, und 100 % variiert wird.

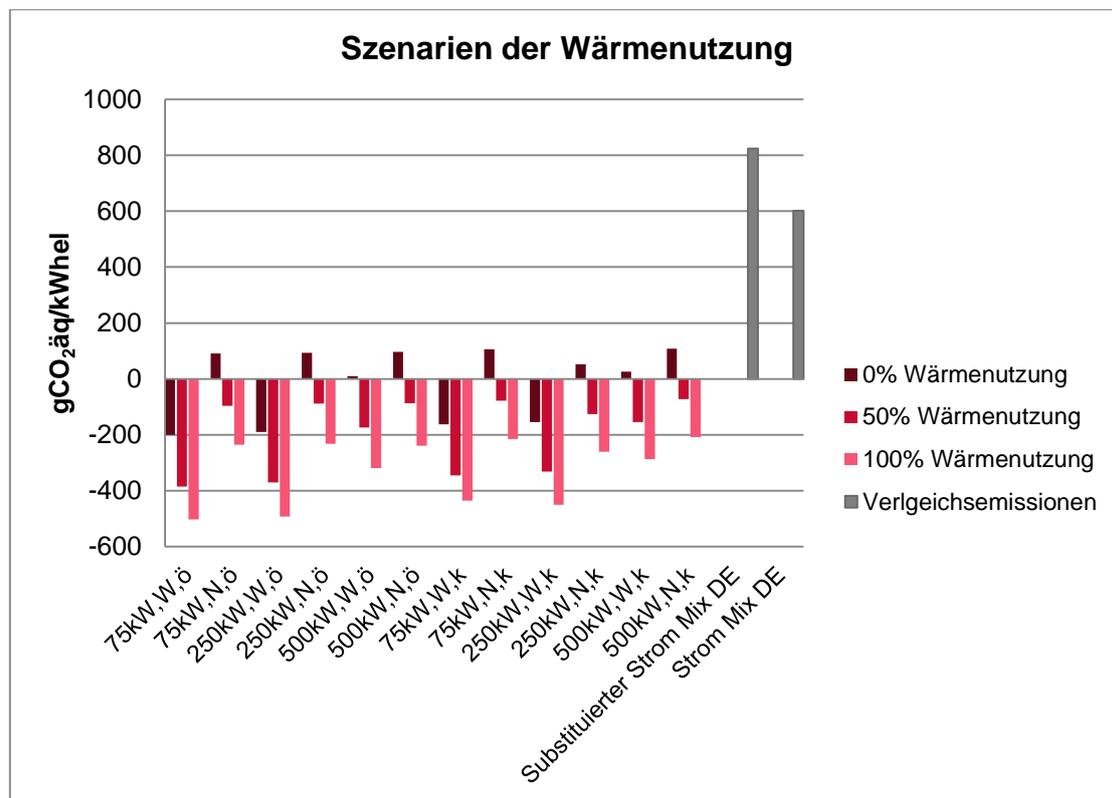


Abbildung 56: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario Wärmenutzung, 0 %, 50 % und 100 % der auskoppelbaren thermischen Energie werden zur Substitution fossiler Wärmeenergieträger genutzt

Die Gutschrift der Wärmenutzung liegt bei 100 % Nutzung bei ca. 360 g CO<sub>2,äq</sub>/kWh<sub>el</sub> und ist somit einer der bedeutenden Einflussfaktoren der Klimagasbilanz. Die Anlagen mit hohem Wirtschaftsdüngeranteil liefern selbst ohne Wärmenutzung negative Klimagasemissionen. Wenn Nawaro-Anlagen keine Wärme nutzen, werden Klimagasemissionen verursacht. Alle Modellanlagen liegen deutlich unter den (fossilen) Komparatoren.

### 9.1.7.3 Eigenstrombedarf, Bruttorechnung

Wie eingangs erwähnt, läuft das BHKW einer Biogasanlage zu circa 90 % des Jahres. Die Biogasanlage selber wird rund um die Uhr Strom für den eigenen Prozess benötigen. Zu ca. 90 % der Zeit wird der im BHKW selbst produzierte Strom für Ruhrwerke, Pumpen und andere Prozesse genutzt. In den Zeiten des BHKW-Stillstands, also an ca. 10 % der Zeit muss elektrische Energie vom Stromnetz entnommen werden. In dieser Studie sind die Autoren davon ausgegangen, dass im Basisszenario die Netto-Stromproduktion die funktionelle Einheit ist (s. dazu auch Kapitel 9.1.2.5), d.h. dass die Netto-Stromproduktion aus der gesamten Stromproduktion abzüglich dem Stromeigenbedarf besteht. In der unten folgenden Abbildung 57 werden die Ergebnisse dargestellt wenn die Brutto-Stromproduktion als die funktionale Einheit angesehen wird, wie das in vielen anderen Ökobilanzen der Fall ist. Anschaulich bedeutet das, dass bei Bruttostrombetrachtung die gesamte Stromproduktion in das öffentliche Netz eingespeist wird und der Stromeigenbedarf der Anlage durch (fossilen) Strombezug gedeckt wird, also mit 601 g CO<sub>2,äq</sub>/kWh Klimagasemissionen. Bei der Netto-Strombetrachtung hingegen wird als Nutzen nur die Differenz von generierter und selbst verwendeter Energie angesehen, die Emissionen demnach auf weniger kWh<sub>el</sub> bezogen. Die Klimagasemissionen in der Brutto-Stromberechnungen sind rechnerisch höher, da der (fossile) Strombezug mit hohen Emissionen verbunden ist, während bei der Netto-Strombetrachtung die el. Energie durch Biogas-Strom bereitgestellt wird.

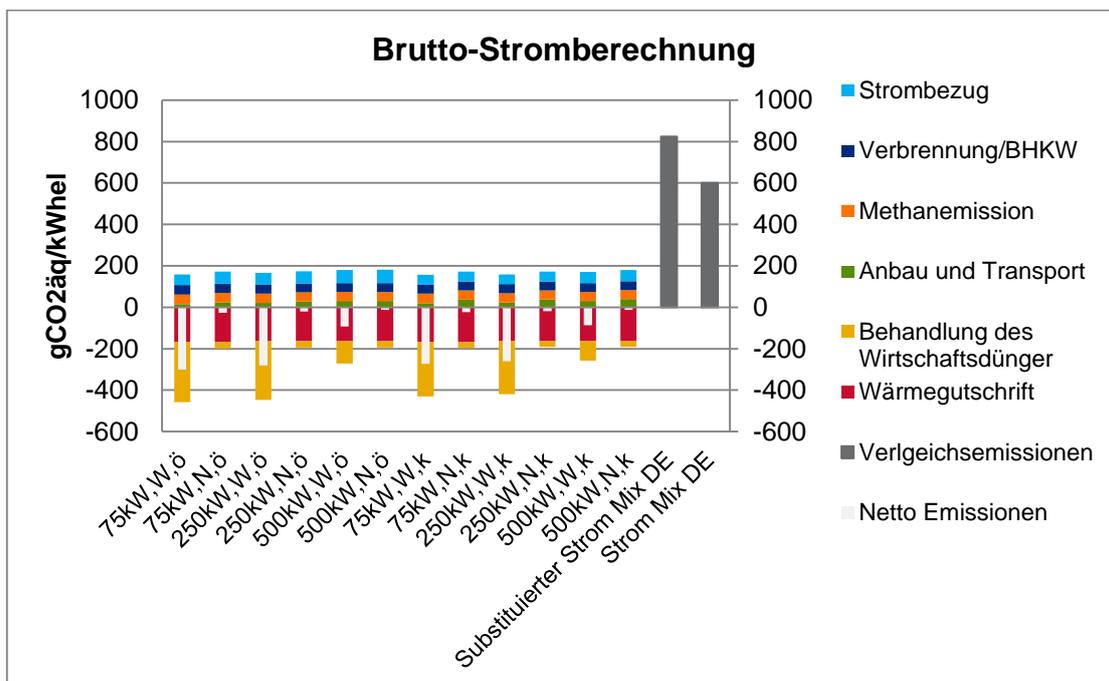


Abbildung 57: Klimagasemissionen der Biogasanlagen, Szenario Brutto-Strom Rechnung

#### **9.1.7.4 Fruchtfolge / Humusbilanz**

Die angebauten Nawaro haben eine große Auswirkung auf die Klimagasbilanz einer Biogasanlage. In diesem Kapitel wird über die Emissionen des Nawaro-Anbau hinaus betrachtet welchen Effekt der Fruchtanbau auf den Humuseffekt hat. Jede Fruchtart ist mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Humusgehalt im Boden verbunden. Die Auswirkungen sind komplex und von vielen Faktoren abhängig (Klima, Bodenqualität, ackerbauliche Verfahren, Fruchtrotation und vieles mehr). Welche konkreten Änderungen im Humusgehalt erfolgen ist somit nur im Einzelfall konkret bestimmbar. Trotzdem lassen sich deutliche Tendenzen bezüglich Humusanreicherung oder –zehrung mit bestimmten Früchten verbinden. So ist der Anbau von Mais zumeist mit Humuszehrung verbunden während der Klee-grasanbau zum Aufbau von Humus führt.

Für die Klimagasbilanzierung ist nun folgender Sachverhalt relevant: Eine Abnahme des Humusgehaltes ist direkt mit einer Abnahme des Kohlenstoffspeichers im Boden und in Konsequenz mit einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden. Wenn die Bereitstellung von Bioenergien mit einer Änderung der Humusbilanz verbunden ist, ist das ein wesentlicher Faktor ihrer Klimabilanz. Eine ähnliche Thematik wurde bereits bei der Diskussion der (indirekten) Landflächennutzungsänderung behandelt. Bezüglich der Einbeziehung der Humusbilanzierung in eine LCA gibt es jedoch auch stichhaltige Gegenargumente.

Eine Ökobilanz soll darüber Aussagen treffen welche Emissionen im typischen, langjährigen Betrieb auftreten. Kurzfristige Effekte, die in den Folgejahren ausgeglichen sind, werden nicht in Ökobilanzierungen einbezogen. Nun sollte in einem landwirtschaftlichen Betrieb langfristig auf eine ausgeglichene Humusbilanzierung geachtet werden. Werden in einem (oder mehreren) Jahr(en) humuszehrende Früchte auf einem Flurstück angebaut, sollten im (in den) Folgejahr(en) auf dieser Fläche humusmehrende Früchte angebaut werden. Langfristig sollte der Humusgehalt im Boden stabil gehalten werden. Im Ökolandbau ist dieses fast immer gegeben, da die Bodenfruchtbarkeit ein wesentlicher Aspekt ist. Im konventionellen Betrieb wird jedoch vereinzelt beobachtet, dass durch mehrjährigen Anbau humuszehrender Ackerfrüchte eine Humusminderung stattfindet.

Insgesamt lässt sich aussagen, dass wenn ein Betrieb langfristig auf einen konstanten Humusgehalt achtet, dieses weder negativen noch positiven Einfluss

auf die ökobilanzielle Bewertung hat. Interessant ist es jedoch zu beachten welcher (jährliche) Einfluss mit dem Anbau bestimmter Ackerfrüchte verbunden ist, der in den Folgejahren wieder ausgeglichen werden muss.

Im Fall der Modell-Biogasanlagen in dieser Untersuchung wird unten der jährliche Effekt dargestellt der dadurch entsteht das in einem Jahr beispielsweise Mais und in einem andern Jahr Klee gras angebaut wird. In Tabelle 46 ist zu sehen, dass bei dem Anbau von Mais aus konventionellem Landbau typischerweise Humusabbau erfolgt welcher in etwa 2.448 kg CO<sub>2</sub> Emissionen pro Hektar entspricht. Im Vergleich dazu, wird beim Anbau vom Klee gras (ökologisch angebaut) Humusaufbau erfolgen welcher mit ca. 913 kg CO<sub>2</sub> Einlagerung pro Hektar verbunden ist. Diese Masse CO<sub>2</sub> wird von der Pflanze aus der Atmosphäre entnommen, als Biomasse in der Pflanze aufgebaut und verbleibt mit der Wurzelmasse im Boden und trägt langfristig zum Humusaufbau bei.

Tabelle 46: Bilanzkoeffizient Humus

Substrat	kg CO <sub>2</sub> äq/ha	Quelle
Mais (konventionell)	2.448	VDLUFA (Körschens et al. 2004)
Klee gras (ökologisch)	-913	HUMOD (Brock et al. 2008)
Acker gras (konventionell)	-2.520	VDLUFA (Körschens et al. 2004)
Acker gras (ökologisch)	-2.160	(Brock et al. 2013; Brock et al. 2008)
Getreide (konventionell)	720	VDLUFA (Körschens et al. 2004)
Getreide (ökologisch)	-464	HUMOD (Brock et al. 2008)

Um die Größenordnung dieses Effekts besser einschätzen zu können haben die Autoren die Werte mit in die Berechnung der Ökobilanzierung aufgenommen (bei der Interpretation sind die Hinweise oben zu beachten). In der Tabelle 47 ist zu sehen wie hoch dieser Effekt ist wenn die CO<sub>2</sub> Äquivalente den jeweiligen Modellbiogasanlagen zugeordnet werden. Erkennbar ist, dass in den Anlagen der Ökobetriebe in denen sehr viel Klee gras eingesetzt wird CO<sub>2</sub>-Vermeidung über Humusaufbau stattfindet. Andererseits ist zu sehen, dass bei den konventionellen Anlagen bei denen Mais- und Grassilagesilage angebaut wurde ein Humusabbau im Boden stattfand welcher mit CO<sub>2</sub> Emissionen verbunden ist.

Tabelle 47: Emissionen unter Berücksichtigung der Humusbilanz

<b>BGA</b>	<b>Klee-gras</b>	<b>Gras</b>	<b>Roggen-GPS</b>	<b>Mais</b>	<b>Emissionsbilanz pro Jahr</b>	<b>Emissionsbilanz pro kWh</b>
	ha	ha	ha	ha	t CO <sub>2,eq</sub> /a	g CO <sub>2,eq</sub> /kWh
75kW, W,ö	20	23	0	0	-67	-124
75kW, N,ö	21	24	13	0	-78	-146
250kW, W,ö	66	74	0	0	-220	-122
250kW, N,ö	71	80	39	0	-255	-142
500kW, W,ö	163	276	0	0	-745	-206
500kW, N,ö	143	259	79	0	-726	-202
75kW, W,k	0	0	0	18	43	79
75kW, N,k	0	16	0	23	15	27
250kW, W,k	0	0	0	58	142	77
250kW, N,k	0	53	0	74	49	27
500kW, W,k	0	0	0	172	422	115
500kW, N,k	0	107	0	150	99	27

In der Abbildung 58 werden die Ergebnisse aus dem Basisszenario und der Effekt der Humusbilanz in einer gemeinsamen Grafik dargestellt.

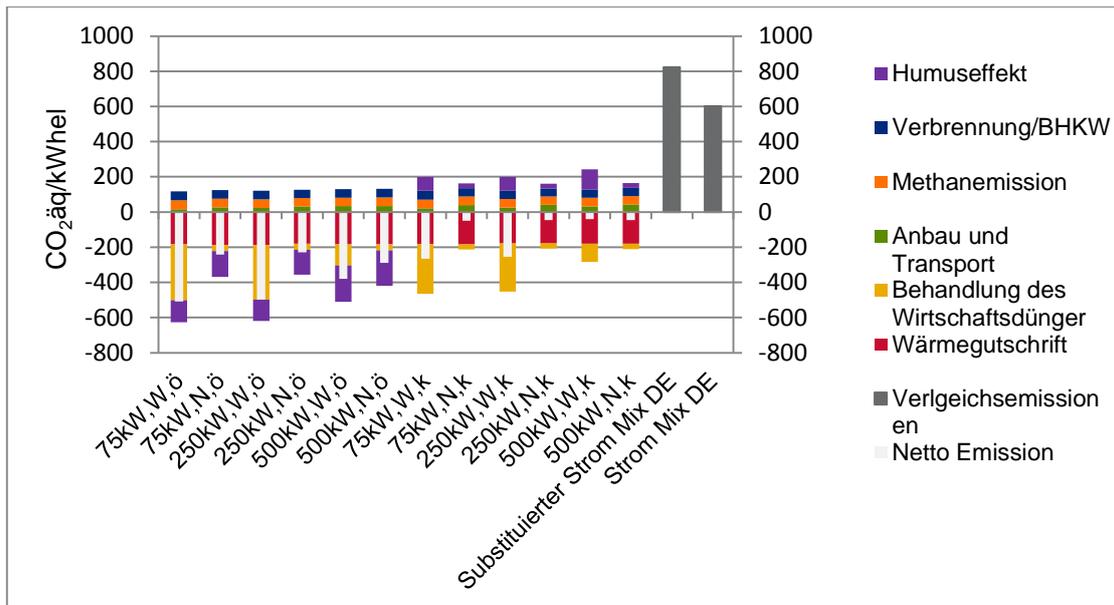


Abbildung 58: Klimagasemissionen der Anlagen, Szenario Humusbilanz.

In der Abbildung 58 wird ein potentiell wesentlicher Unterschied von Biogasanlagen im ökologischen und konventionellen Landbau deutlich: Durch die Auswahl der Substrate in den Modellanlagen werden in den Biogasanlagen im Ökolandbau durch den Humuseffekt zwischen 120 bis 200 g CO<sub>2</sub>,äq/kWh<sub>el</sub> zusätzlich vermieden. Im Fall von den konventionellen Anlagen werden 27 bis 115 g CO<sub>2</sub>,äq/kWh<sub>el</sub> zusätzlich emittiert. Der Effekt der Humusbilanz wird bei konventionellen Nawaro-Anlagen dadurch gemindert, dass angenommen wurde, dass Energiepflanzen aus Mais- und Grassilage im Verhältnis von ungefähr 2/3 eingesetzt wurden. Der Maisanbau ist mit Humuszehrung, der Grasanbau mit Humusmehrung verbunden. Würden beide Substrate von ähnlicher Flächengröße stammen würde sich der Effekt in etwa ausgleichen. Würde nur Maissilage angebaut werden (somit kein Ausgleich durch Grasanbau erfolgen), wäre der Effekt der Klimagasemission aufgrund Humusabbau ca. um den Faktor 5 höher als oben zu sehen!

### 9.1.8 Empfehlungen aus der Klimagasbilanzierung

Aus den oben genannten Berechnungen lassen sich folgende Empfehlungen ableiten um eine Biogasproduktion mit möglichst hohen Reduktionen von Klimagasemissionen zu erreichen:

- Vermiedene Methanemissionen aufgrund der Güllebehandlung ist der einflussreichste Faktor der Ökobilanzierung. Je mehr Gülle oder Dung behandelt werden, desto mehr Klimagasemissionen werden vermieden.

- Die Substitution fossiler elektrischer Energie ist der zweitgrößte Einflussfaktor. Alle untersuchten Biogasanlagen sind in der LCA deutlich klimaschonender als die fossilen Komparatoren.
- Je mehr Abwärme aus dem BHKW zur Substitution fossiler Wärme genutzt werden kann desto positiver wirkt sich das auf die Klimabilanz aus.
- Der Biogas-Prozess wird von (diffusen Methanemissionen) dominiert, auch aufgrund unvollständiger Verbrennung im BHKW Betrieb. Positiv auf die Klimagasbilanz wirkt sich ein abgedecktes Gärrestlager, eine zuverlässig anspringende Gasfackel und sehr schnelles Handeln im Havariefall aus. Bei der Biogasproduktion sollte beachtet werden, dass ein sehr klimawirksames Gas (Methan) erzeugt wird welches zu jeder Zeit gut entsorgt (verbrannt) werden muss.
- Der Anbau von Nawaro ist mit Emissionen verbunden. Diese fallen von der Saatgutherstellung, bis zum Anbau, der Ernte und der Lagerung an. Je mehr Reststoffe und Rückstände und somit weniger Nawaro zum Biogasbetrieb verwendet werden, desto günstiger fällt die Klimagasbilanz aus.
- Der Unterschied zwischen konventionellem und ökologischem Betrieb wird hauptsächlich durch die verwendeten Substrate bestimmt. Im ökologischen Landbau werden typischerweise höhere Anteile an Wirtschaftsdünger, mehr Reststoffe und weniger Nawaro verwendet. Zudem wirkt sich der typischerweise höhere Humusgehalt (Kohlenstoffspeicher) im Ökolandbau positiv auf das Klima aus. Klimagaseinsparungen ergeben sich im Ökolandbau durch die Einsparung von synthetischen Düngemitteln und Pestiziden. Diese haben aber nur eine untergeordnete Bedeutung in der Ökobilanzierung.
- Der Transport hat unter den definierten Modellbedingungen (z.B. kein Gülletransport) nur einen geringen Einfluss auf die Klimabilanzierung.

## **9.2 Weitere Nachhaltigkeitsaspekte, qualitative Beschreibung**

In diesem Unterkapitel erfolgt eine qualitative Bewertung weiterer Umweltauswirkungen einer Biogasanlage auf den landwirtschaftlichen Betrieb hinsichtlich

- Flächenkonkurrenzen und Flächenbedarf,
- Humusbilanz,
- Nährstoffkreisläufe und

- Biodiversität.

Es werden die Auswirkung der Errichtung einer Biogasanlage auf einen Betrieb der ökologischen Landwirtschaft (Vergleich Betrieb mit und ohne Biogasanlage) beschrieben sowie der Vergleich der typischen Auswirkungen von Biogasanlagen im Ökolandbau und konventionellen Biogasanlagen dargestellt.

### **9.2.1 Auswirkungen einer Biogasanlage auf den Flächenbedarf in konventionellen und ökologischen Betrieben**

Der Anbau von Nawaro als Biogas-Substrat auf Ackerland konkurriert mit dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln. Wird das Land nicht mehr zur Nahrungsmittelproduktion, sondern für energetische (oder stoffliche) Zwecke genutzt, kann dies einen negativen Effekt auf die Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln haben. Zunächst kann sich ein geringeres Nahrungsmittelangebot bei gleichbleibender Nachfrage bei bestimmten Früchten, wie beispielsweise Getreide, durch höhere Weltmarktpreise auswirken. Hohe Preise bieten Produzenten aber auch einen Anreiz, ihre Produktion auszuweiten, indem vormals nicht ackerbaulich genutzte Flächen umgebrochen werden. Diese Entwicklung wird als indirekte Landnutzungsänderung (ILUC) bezeichnet. ILUC kann deshalb problematisch sein, weil im Zuge des Umbruch von zum Beispiel Wäldern, Grünland und Mooren in Ackerland klimaschädliche Gase, insbesondere CO<sub>2</sub>, freigesetzt werden und die Biodiversität auf diesen Flächen reduziert werden kann (siehe dazu auch Kapitel 9.1.2.6).

Eine Biogasanlage im Ökolandbau kann ähnliche negative Auswirkungen haben wie in konventionellen Systemen, wenn Ackerfläche die zuvor zum Nahrungs- oder Futtermittelanbau und nach der Errichtung einer Biogasanlage für Energiepflanzen genutzt wird oder wenn Nawaro importiert werden. Die Biogasanlage kann aber auch neutrale oder positive Folgen für den Flächenbedarf bzw. für die Fruchtfolge haben. Beispiele dafür sind Ertragssteigerungen im Ökolandbetrieb oder eine Umstellung der Fruchtfolge auf vermehrten Anbau von Leguminosen. Durch höhere Ernteerträge aufgrund der Düngung mit Gärresten kann die Flächenkonkurrenzsituation entschärft werden, da für die gleiche Erntemasse weniger Ackerfläche benötigt wird. Keine Landnutzungsänderung entsteht, wenn bestimmte Früchte zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit sowieso, und nicht vorrangig als Nawaro zusätzlich, angebaut werden. Beispiele sind Zwischenfrüchte oder Untersaaten die als Substrate in viehlosen Betrieben dienen, denn ihr Anbau konkurriert nicht mit der Nahrungs- oder Futtermittel-

produktion. Indirekte Landnutzungsänderungen können jedoch dann entstehen, wenn Zwischenfrüchte die zuvor als Viehfutter genutzt wurden danach als Biogassubstrat werden, da die geänderte Nutzung kompensiert werden müsste (z.B. durch Anbau von Viehfutter).

Um Nutzungskonkurrenzen zu vermeiden, sollten hauptsächlich Abfälle, Rück- und Reststoffe oder Landschaftspflegematerial als Biogas-Substrat verwendet werden. Ein nutzungskonkurrenzfreier Nawaro-Anbau ist nur sehr begrenzt möglich. Nämlich dann, wenn Biogas-Substrate auf bisher ungenutzten Flächen angebaut werden (in Deutschland gibt es jedoch kaum ungenutzte Flächen. Beispielsweise sind langjährige Stilllegungsflächen oft wichtige Habitate zur Erhaltung der Biodiversität) oder wenn die Produktivität der bisher genutzten Fläche gesteigert werden kann und somit Feldflächen „frei“ würden.

### **9.2.2 Auswirkungen einer Biogasanlage auf Nährstoffkreisläufe und CO<sub>2</sub>-Speicherung im Boden in konventionellen und ökologischen Betrieben**

Im Ökolandbau wird großen Wert auf den Erhalt eines hohen Humusgehalts gelegt. Der Humusgehalt ist ein wichtiger Faktor, der die Bodeneigenschaften hinsichtlich, Bodenstruktur, Wasserhaushalt, Pufferkapazität, mikrobieller Tätigkeit und schließlich auch die langfristigen Versorgung mit Nährstoffen positiv beeinflusst. Zudem stellt die Speicherung von Kohlenstoff im Boden eine CO<sub>2</sub> Senke dar. Hauptsächlich wird der hohe Humusgehalt durch den Anbau von humusmehrenden Feldfrüchten erreicht.

In einer Biogasanlage wird organisches Material eingesetzt. Ein Teil des Kohlenstoffgehaltes verlässt das System in Form von Biogas (insbesondere CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub>). Somit verbleibt im Gärrest deutlich weniger Kohlenstoff. Der Kohlenstoffabbau beträgt in der Regel zwischen 50 und 80 %, wobei insbesondere die leicht verfügbaren bzw. umsetzbaren Kohlenstoffe abgebaut werden. Die schwer abbaubaren Kohlenstoffverbindungen bleiben im Gärrest vorhanden und dienen dem Humusaufbau. Andererseits kann durch den Düngerwert des Gärrestes im Ökolandbau mit höherem Pflanzenwachstum und somit auch mit höherem Wurzelwachstum gerechnet werden wodurch der Kohlenstoffgehalt im Boden steigt. In Kapitel 3.3 wurde bereits dargestellt, dass durch den Betrieb einer Biogasanlage nicht damit zu rechnen ist, dass für den landwirtschaftlichen Betrieb Probleme aufgrund hoher Kohlenstoffausfuhren aus dem System entstehen. Andere Aspekte bezüglich Kohlenstoffspeicherung im Boden werden im Folgenden dargestellt.

Im ökologischen Landbau liegen zumeist eine Limitierung der Erträge durch Stickstoff und ein hoher Anteil an Kohlenstoff im Boden vor. Erstere Feststellung kann auf die strikten Vorgaben hinsichtlich der Nutzung zu Stickstoffdüngern zurückgeführt werden, die Zweite auf den Anbau von humusmehrenden Früchten im ökologischen Landbau. Das Gleichgewicht kann durch die Verwendung von Gülle, Ernteresten und Zwischenfrüchten als Substrat in einer Biogasanlage teilweise positiv beeinflusst werden. Die Vergärung verringert die Kohlenstoffzufuhr in den Boden, da humusmehrende Pflanzen geerntet und nicht gemulcht werden, und die Menge des pflanzenverfügbaren Stickstoffs erhöhen, da die Vergärung den Ammoniumanteil erhöht. Der Effekt des Kohlenstoffabbaus wird zudem durch höhere Ernteerträge und somit höherem Wurzelwachstum teilweise ausgeglichen. Bedenkliche Humusverluste würden nur dann auftreten wenn mehrjährig humuszehrende Früchte (z.B. Mais) angebaut und diese dann noch vergärt werden. Dieser Effekt kommt im konventionellen Biogasbetrieb vor, ist im Ökolandbau aber nicht üblich. In konventionellen Betrieben werden oft humuszehrende Früchte wie Mais und Getreide angebaut, insbesondere wenn sie als Gärsubstrat dienen sollen, sodass der Humusgehalt durch die Fruchtfolge stabilisiert werden muss. Stickstoff ist durch Mineraldüngung meist im Überfluss vorhanden, was zu Auswaschungen und Lachgasbildung führen kann. Bei Belassen des Ernterestes auf dem Feld besteht eine erhöhte Gefahr der Stickstoffauswaschung. Die Installation einer Biogasanlage verringert dieses Problem, da die Erntereste in der Anlage vergärt und zu einem geeigneteren Zeitpunkt ausgebracht würden. Dadurch können sowohl Mineraldünger als auch Emissionen eingespart werden. Die Auswirkungen des Gärrestes auf den Humusgehalt sind hauptsächlich von den lokalen Bedingungen abhängig und im Einzelnen noch wenig erforscht.

### **Veränderung der CO<sub>2</sub>-Speicherung im Boden / Kohlenstoffbilanz**

Der Humusgehalt, genauer der Anteil des organisch gebundenen Kohlenstoffs, eines ökologisch bewirtschafteten Bodens ist meist höher als der eines konventionell bewirtschafteten. Kohlenstoff wird durch Photosynthese in Pflanzen gebunden und gelangt über Wurzeln, Stoppeln, etc, in den Boden. Dort kann er mehrere Jahrzehnte gespeichert werden, weil beim Prozess der Humusbildung abbaustabile Substanzen entstehen. Seit Beginn des Ackerbaus wurde Humus in den Böden abgebaut und hat sich auf einem neuen, niedrigeren Niveau eingeepegelt. Zum Humusaufbau, muss die Bewirtschaftung dauerhaft umgestellt werden, wie dies der Ökolandbau zum Ziel hat: Anbau humusmehrender Kulturen (Leguminosen), die Verwendung organischen Düngers und eine reduzierte Bodenbearbeitung. Die Humusakkumulation ist jedoch begrenzt, weil sich der Humusgehalt nach einer Weile des Aufbaus, etwa 20 - 30 Jahren, wieder im Gleichgewicht befindet. Das Potenzial der Kohlenstoffbindung hängt

unter anderem davon ab, wie hoch der Humusgehalt zu Beginn der Umstellung ist und welche Qualität der organische Dünger besitzt (Hülsbergen 2011). Sehr hohe Humusgehalte bergen das Risiko von Stickstoffverlusten durch hohe Mineralisierungspotenziale (großer biologischer Abbau von organischen Verbindungen). Werte für die optimale Humusversorgung sind standortabhängig und müssten für jeden Standort individuell erhoben werden (Körschens et al. 2004).

Zur Bestimmung des Humusgehalts wird die Humusbilanzierung, ein Modell zur Einschätzung der Humusversorgung des Bodens, angewendet. Dabei werden Humusbedarf und -zufuhr einer Fruchtfolge gegenüber gestellt. Innerhalb der Fruchtfolge können humuszehrende (z.B. Rüben, Kartoffeln und Mais) und humusmehrende (z.B. Ackergras und Leguminosen) Kulturen angebaut werden. Die Verwendung von organischem Dünger (Mist, Gülle, Stroh, Gründüngung, Kompost) wird positiv angerechnet, da er zu Humusbildung führt.

In einigen Experimenten wurde versucht, die Wirkung landwirtschaftlicher Betriebssysteme (ökologisch oder konventionell) auf die Speicherung von Kohlenstoff im Boden zu quantifizieren. So zeigen mehrere Langzeitstudien, dass eine ökologische Bewirtschaftung förderlich für die Anreicherung von Kohlenstoff ist (Niggli et al. 2009). Entscheidender Faktor für den Humusaufbau oder -abbau sind die jeweiligen Standortbedingungen, Fruchtfolge sowie Art der Düngung und Bodenbearbeitung. In der Praxis ist der Leguminosenanbau und die organische Düngung im Ökolandbau jedoch wesentlich verbreiteter als im konventionellen, da der Ökolandbau auf diese Art der Düngung angewiesen ist. Deshalb lassen sich höhere Humusgehalte überwiegend in ökologischen Betrieben messen.

Natürliche Standortbedingungen, wie Bodenqualität, Bodentyp, Bodenwasserhaushalt und Klima, sind die bedeutsamsten Einflussgrößen bei der Humusbildung. Ist das anfängliche Humusniveau sehr hoch, kann der Humusgehalt kaum noch erhöht werden. Leichte Böden mit günstigen Bedingungen für eine intensive Umsetzung haben einen geringeren Humusgehalt als schwere Böden und trockene Lössgebiete mit langsamerer Mineralisierung (Brock et al. 2008).

Neben den Standortbedingungen bestimmt die Fruchtfolge sowohl Humusbedarf als auch -zufuhr wesentlich. Werden Leguminosen, als humusmehrende Kulturen, in der Fruchtfolge verwendet, wird mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert (Lindenthal et al. 2011). Maisanbau ist hingegen mit Humuszehrung verbunden. Die konkrete Auswirkung der Frucht auf den Humusgehalt des Bodens ist von den oben genannten individuellen Einflussfaktoren (Bodenqualität,

Klima, Fruchtfolgen und andere) abhängig, deshalb werden als Bilanzierungskoeffizienten für einzelne Kulturen immer Wertebereiche angegeben.

Eine weitere, relevante Einflussgröße ist die Art der Düngung. In einem langjährigen Vergleich verschiedener Betriebssysteme (DOK-Versuch, biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell, wird in verschiedenen Klimazonen vom FiBL durchgeführt) wurde unter anderem der Einfluss des Düngers auf den Humusgehalt, bei konstanter Fruchtfolge untersucht. Düngung mit kompostiertem Stallmist in einem biologisch-dynamischen System wies verglichen mit einem System ohne Düngung die höchsten Kohlenstoffwerte auf. In den organisch-biologischen und konventionellen Systemen mit frischem Stallmist wurden geringere Kohlenstoffwerte gemessen. Das könnte damit zu tun haben, dass die organische Substanz von kompostiertem Stallmist stabiler ist als in frischem. Systeme mit keiner – weder organischer noch mineralischer – Düngung und ausschließlicher Mineraldüngung hatten die geringsten Kohlenstoffgehalte (Fließbach et al. 2007). Eine gleichzeitige Düngung mit organischem und mineralischen Dünger kann jedoch den Humusgehalt auch verbessern, da der Ertrag gesteigert und der Boden mit mehr Ernte- und Wurzelrückständen versorgt werden kann (Brock et al. 2008). Neben Festmist führen auch Gülle, Stroh, Gründüngung und Kompost dem Boden Humus zu. Besonders in ökologischen Betrieben ist es üblich, eine humusmehrende Frucht, wie zum Beispiel Klee gras, unterzumulchen. Wird die oberirdische Biomasse des Klee grasses stattdessen in einer Biogasanlage verwendet, sind die Auswirkungen auf den Humusgehalt je nach Standortbedingungen verschieden (siehe Kapitel 3.3).

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Humusbildung ist umstritten. Der teilweise Verzicht auf den Pflug, das Rückführen der Erntereste, der Anbau von Winterbegrünung und der Einsatz leichterer Maschinen können zur Humusbildung im Boden beitragen (Lindenthal et al. 2011). Im Gegensatz dazu zeigen Brock et al. (2008), dass die Art der Bodenbearbeitung wenig Einfluss hat.

Biogasanlagen in konventionellen Betrieben wirken sich vor allem wegen ihres Anbaus humuszehrender Pflanzen wie Mais und Getreide negativ auf die Humusbilanz aus. Die Umstellung auf Mais zur energetischen Verwendung korreliert zudem oft mit einer Reduzierung des Viehbestands und/oder des Zwischenfruchtanbaus, wodurch weniger organischer Dünger verfügbar ist. Zwar können die Düngung und der Humusaufbau auch mit Gärresten erfolgen; die genauen Auswirkungen auf den Humusgehalt sind jedoch noch nicht abschließend geklärt. Beim mehrjährigen Anbau von Mais auf derselben Ackerfläche stellt sich trotz Gärrestrückführung eine zunehmende Humusreduktion ein

(Ebertseder & Groß 2008). Soll also der Humushaushalt durch die Biogasanlage nicht beeinträchtigt werden, müsste die Fruchtfolge um humusmehrende Früchte erweitert und die Düngung angepasst werden.

In ökologischen Betrieben mit Viehhaltung wirkt sich die Eingliederung der Biogasproduktion kaum auf den Humusgehalt aus (Möller et al. 2006), weil das Fruchtfolgesystem mit humusmehrenden Früchten bestehen bleibt. Eine Humusbilanzierung nach Körschens et al. (2004) ergab eine hohe Versorgung des Bodens mit Humus, unabhängig von der Art der Düngung und des Gärsubstrats. Auch Anspach (2010) stellt dar, dass von ihm befragte Landwirte keine negativen, oder sogar positive, Auswirkungen der Biogasproduktion auf den Humusgehalt registriert hätten.

In viehlosen, ökologischen Betrieben wird der Humusgehalt durch eine Biogasanlage möglicherweise negativ beeinflusst, da das geerntete Klee gras im Vergleich zum gemulchten Klee gras weniger zum Humusaufbau beitragen kann, allerdings hat die Wurzelmasse, die im Boden verbleibt, einen maßgeblichen Einfluss auf die Humusproduktion. Die effizientere Düngung mit Gärresten zu anderen Kulturen führt zu Ertragssteigerungen, die wiederum mehr organische Substanz in Form von Wurzelwachstum bewirken. Mögliche negative Effekte der Biogasanlagen könnten somit kompensiert werden (Möller et al. 2006)

### **Veränderung weiterer Nährstoffkreisläufe durch eine Biogasanlage**

Biogasanlagen unterstützen den Kreislauf von Nährstoffen wie Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) in konventionellen und ökologischen Betrieben. Werden Energiepflanzen nach der Ernte in einer Biogasanlage vergärt, bleiben die Nährstoffe weitestgehend erhalten und werden als Biogasgülle oder Gärreste wieder auf das Feld ausgebracht, um die neuen Pflanzen zu versorgen. Eine Nährstoffbilanzierung zeigt dem Landwirt, wie viele Nährstoffe in einer bestimmten Periode zu- und abgeflossen sind und wie stark zusätzlich gedüngt werden muss. Der Anbau von Silomais entzieht dem Boden Stickstoff. Wird dieser verkauft, muss der Landwirt in der nächsten Anbauperiode düngen. Wird der Silomais allerdings in der eigenen Biogasanlage verwendet, geht weniger Stickstoff aus dem betrieblichen System verloren. Gewisse Verluste treten durch Ammoniakemissionen auf und sind in einem höheren Ammoniakanteil und höheren pH-Werten nach der Fermentation begründet. Eine fast vollständige Wiederverwendung von Stickstoff ist möglich, wenn Maßnahmen zur Vermeidung von gasförmigen Stickstoffverlusten ergriffen werden (Möller et al. 2014).

Andere Nährstoffe bleiben in der Regel fast vollständig im betrieblichen System. Es wurde bisher nicht abschließend geklärt, ob Pflanzen durch den Vergärungsprozess den Phosphor besser aufnehmen können. Kalium bleibt im Zellsaft oder Gärrest in gelöster Form vollständig erhalten. Die Verfügbarkeit von Schwefel, Kalzium, Magnesium und Mikronährstoffen für die Pflanze und mögliche Verluste in der Biogasanlage sind noch wenig untersucht. Schwefel kann teilweise während der Lagerung und Ausbringung des Gärrestes aus dem System gehen, weil er zum Teil in flüchtigen Verbindungen enthalten ist ( $H_2S$  oder Geruchsstoffe). Bei der Entschwefelung des Biogases in der Biogasanlage verbleibt der Schwefel zumeist im System, wie z.B. beim typischen „Luft-einblasen“ bei dem organische Schwefelverbindungen von Thiobakterien in elementaren Schwefel umgesetzt werden oder auch bei der Verwendung von chemischen Mitteln zur SchwefelAusfällung. Nur bei der Absorption an Aktivkohle wird der Schwefel aus dem System ausgeschleust.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Gärrest im Ökolandbau zu, da die Zufuhr von synthetischem Dünger hier untersagt ist und somit der Anbau von mehrjährigen Leguminosen-Gras-Gemengen (zur Stickstofffixation) und die Ausbringung von Gülle (enthält wichtige Mineralien und Mikronährstoffe) wichtige Dünger sind. Zu beachten ist, dass Gülle keine externe Nährstoff-Quelle darstellt, sondern nur die Nährstoffe enthält, die im Betriebskreislauf sind (mit Ausnahme von Futtermittelimporten). Leguminosen verbleiben in viehlosen Systemen zumeist auf dem Feld und versorgen die wachsenden Pflanzen mit Nährstoffen, insbesondere mit Stickstoff. Ein wesentlicher Vorteil der Ausbringung von Gärrest gegenüber dem üblichen mulchen von Leguminosen liegt in der optimalen Abstimmung der Düngewirkung auf den Bedarf der Pflanze. In der Winterperiode wird in der Biogasanlage bzw. dem zugehörigen Speicher das gesamte vergorene Material gespeichert. Erst zu Beginn der Vegetationsperiode kann, in der Menge nach Anbaukultur differenziert, je nach Düngerbedarf zielgerichtet gedüngt werden. Hierdurch können die oben beschriebenen Effekte auf die Ertragssteigerungen erklärt werden (siehe Kapitel 3.3.1). Zudem wird durch den Abtransport der Biomasse die Aktivität der Knöllchenbakterien erhöht, welche die verwertbaren Stickstoffverbindungen aus dem Luftstickstoff erzeugen.

Chemisch betrachtet wirkt sich die mit der Vergärung verbundene Mineralisierung der Nährstoffe insbesondere positiv auf die Pflanzenverfügbarkeit von Kaliumverbindungen und durch den höheren Ammoniumanteil auch auf die Verfügbarkeit von Stickstoff aus (Möller & Stinner 2010). Bessere Nährstoff-Effizienz und –Verfügbarkeit kommt nicht nur ökologischen Betrieben zu Gute: Konventionelle Betriebe müssen durch die Ausbringung von Gärresten weniger Mi-

neraldünger einsetzen. Es gibt allerdings Unterschiede bei der Nährstoff-Effizienz zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben, welche im Substrateinsatz begründet sind. Für konventionelle Betriebe stellt der Gärrest ein Nebenprodukt dar der oft im Herbst ausgebracht wird, um das Lager zu räumen, obwohl die Ausbringung im Frühjahr effizienter wäre, so gelangt vor allem Stickstoff durch Auswaschung ins Grundwasser. Ökologische Betriebe, für die der Gärrest ein wertvoller Dünger ist, halten ihren Gärrest aus Zwischenfrüchten, Klee gras und Ernteresten zumeist das ganze Jahr verfügbar. Somit kann die Düngung in ökologischen Betrieben variabler erfolgen (Möller & Müller 2012).

Insbesondere in viehlosen Ökobetrieben können mit dem Gärrest hohe Produktionssteigerungen erreicht werden, da in diesen keine Gülle zur Düngung zur Verfügung steht. Doch auch für viehhaltende Betriebe hat die Nutzung von Biogasgülle Vorteile. Pflanzen können typischerweise zwischen 10 und 25 % mehr Stickstoff aufnehmen als bei der Verwendung unvergorener Gülle, weil die Biogasgülle flüssiger und der Ammoniumanteil nach der Fermentation höher ist. So wird schnellerer Bodenkontakt und eine bessere Stickstoffaufnahme gewährt, was Nährstoffverluste – und Emissionen – im Vergleich zu unvergorener Gülle verringert. Um diese positiven Effekte optimal zu nutzen sollte die Biogasgülle sofort nach Ausbringung in den Boden eingearbeitet werden. Ansonsten besteht die Gefahr gasförmiger Stickstoffverluste (Möller & Müller 2012). Hinsichtlich der Verfügbarkeit von Phosphor und Kalium gibt es keinen Unterschied bei Ausbringung vergorener oder unvergorener Gülle (Möller & Stinner 2010).

### **9.2.3 Auswirkungen einer Biogasanlage auf die Biodiversität in konventionellen und ökologischen Betrieben**

Biodiversität, oder biologische Vielfalt, ist die “Variabilität aller lebenden Organismen und der ökologischen Komplexe zu denen sie gehören“ (BfN 2013). Ihr Schutz umfasst die Vielfalt der Lebensräume, die Artenvielfalt und die genetische Vielfalt innerhalb der Arten. Biodiversität ist für die Erhaltung der Ökosysteme zentral. Durch die Einführung der kommerziellen Landwirtschaft und den Umbruch von Grünland zu Ackerfläche wurden einerseits Lebensräume zerstört, andererseits sind neue Lebensräume entstanden. Die biologische Vielfalt ist ausgeprägter in landwirtschaftlichen Systemen mit vielseitigen Anbaumethoden als bei Betrieben mit nur wenigen Kulturen.

Die Inbetriebnahme einer Biogasanlage kann unterschiedliche Folgen für die Biodiversität in einer Region haben. Zunächst ist zu beachten, wie empfindlich die für den Energiepflanzenanbau vorgesehene Fläche gegenüber z.B. Bodenerosion durch Wind und Wasser, Bodenverdichtung und Grundwasserneubildung ist und ob sie sich in einer naturgeschützten Gegend befindet. Der Energiepflanzenanbau kann folglich unterschiedliche Auswirkungen auf die Biodiversität haben, je nachdem, wie geeignet der Standort ist (Peters 2010). Neben der Standortauswahl beeinflussen vor allem 1) das Produktionssystem zur Substratgewinnung und 2) die Ausbringung des Gärückstands die Auswirkungen, die eine Biogasanlage auf die Biodiversität haben kann. Diese Faktoren und ihre Rolle im konventionellen und ökologischen Landbau werden im Folgenden näher beschrieben.

Wenn eine Biogasanlage errichtet wird, wird die Pflanzenproduktion – egal ob innerhalb des Betriebs oder an einem anderen Ort – meist umgestellt, um Substrat zu gewinnen. Auf Grund seines hohen Trockenmasseertrags, der relativ niedrigen Biomassekosten und der hohen Biogausausbeute ist Mais traditionell die bevorzugte Pflanze zur Biogasproduktion in Deutschland gewesen. In *konventionellen* Betrieben hat Mais einen Anteil von 73 % an der Masse der eingesetzten Nawaros (DBFZ 2014) Wenn wenige Feldkulturen die Anbaufläche dominieren hat das negative Auswirkungen auf die Biodiversität. Deutschland hat eine Ackerfläche von ca. 11,9 Mio. ha (DESTATIS 2014). Mais wird auf ca. 2,6 Mio. ha angebaut (entspricht 22 % der Ackerfläche); davon auf ca. 0,9 Mio ha als Energiepflanzen für Biogas (FNR 2013c). Konventionelle Nawaro-Biogasanlagen, die hauptsächlich mit Mais versorgt werden, haben somit zu verstärktem Maisanbau in Deutschland und möglicherweise zur Verringerung der Artenvielfalt beigetragen. Eine Intensivierung der Landwirtschaft mit den Kulturen Mais, Weizen und Raps wirkt sich nicht nur auf den Lebensraum aus, sondern verringert auch die Artenvielfalt durch die Verwendung von Pestiziden und Mineraldünger und durch indirekte Belastungen (Bodenerosion und -verdichtung, Wasserverschmutzung und -entnahme) (European Environment Agency 2006). Eine Intensivierung der Nutzung bestehender Kulturen, wie Dauergrünland, führt zu veränderten Schnittzeitpunkten, dies kann Flora und Fauna negativ beeinflussen.

Die Auswirkungen einer Biogasanlage im *Ökolandbau* auf die Artenvielfalt sind je nach Betriebsweise sehr unterschiedlich und können nicht pauschal beurteilt werden. Trotzdem können einige Tendenzen benannt werden. Auf Grund verschiedener Auflagen und Anforderungen scheinen Biogasanlagen im Ökolandbau die Biodiversität weniger zu beeinträchtigen als im konventionellen Landbau, sie teilweise sogar positiv zu beeinflussen.

Beispielsweise sind im Ökologischen Landbau mehr Fruchtwechsel als im konventionellen üblich. Eine starke Dominanz von einer Frucht, beispielweise Mais ist im ökologischen Landbau nicht üblich. Der durchschnittliche Anteil von Mais-silage am Substratmix ist mit 14 % wesentlich geringer als bei konventionellen Anlagen. Grassilage und Wirtschaftsdünger werden hingegen zu fast 70 Massen-% verwendet (Anspach 2010). Statt einer Einengung des Fruchtanbaus bietet die Biogasanlage im Ökolandbau die Möglichkeit verschieden Pflanzen und deren Rückstände energetisch zu verwerten (die Pflanzen bekommen einen Wert als Energiepflanze). Dieses hat zur Folge, dass der Anbau von Kulturen wie Klee gras, Leguminosen und Wildkräuter attraktiver wird. Diese Möglichkeiten gibt es zwar auch im konventionellen Landbau werden dort aber deutlich weniger angewandt.

Der positive Effekt von Klee gras auf die Biodiversität wurde ausführlich untersucht (Peters 2010). Die Wirkungen sind vielfältig und reichen über Förderung der Biodiversität von Kleinstlebewesen im Boden zur Makrofauna wie Vögel und Säugetiere deren Brutmöglichkeiten und Habitate positiv beeinflusst werden können.

Für konventionelle und ökologische Betriebe gilt, dass sich eine Biogasanlage nicht negativ auf die Biodiversität auswirkt, wenn der Energiepflanzenanbau diversifiziert erfolgt und wenn nicht großflächig und in kurzer Zeit geerntet wird, um den Arten Rückzugsmöglichkeiten zu geben. Da der Erntezeitpunkt bei Energiepflanzen flexibler gestaltet werden kann als bei Futterpflanzen, kann das Anbauverfahren besser angepasst werden ohne ökonomisch oder ökologisch nachteilig zu sein (Anspach et al. 2011a).

Wie sich Dünger in Form von Gärrückständen anstelle von Gülle und Pflanzenresten, welche in Betrieben ohne Biogasanlage verwendet werden, auf Bodenorganismen auswirkt, ist bisher wenig erforscht. Gärrückstände führen dem Boden weniger organischen Kohlenstoff und mehr pflanzenverfügbaren Stickstoff zu. Eine Studie, welche die Auswirkungen von Rindergülle, Klee gras, Gärrückständen aus Rindergülle/Mais und aus Rindergülle/Klee gras auf die Größe, Zusammensetzung und Funktionalität der Mikrobengemeinschaft vergleicht, kommt zu dem Schluss, dass kein signifikanter Unterschied nachweisbar ist (Johansen et al. 2013).

Selbstverständlich ist, dass die Qualität des Substrats gewährleistet sein muss, um Risiken zu minimieren. Schwermetalle gehen unverändert durch den Biogasprozess und beeinträchtigen sowohl allgemein die Bodenqualität als auch

die im oder auf dem Boden existierenden Lebewesen. Ähnliches gilt auch für langlebige organische Schadstoffe wie Antibiotika und Pestizide, (Al Seadi & Lukehurst 2012).

### Weitere Korrelationen einer Biogasanlage mit der Biodiversität

Die Auswirkungen einer Biogasanlage auf die Biodiversität werden von den jeweiligen Standortbedingungen dominiert (insbesondere von Fruchtanbaufolgen, auch von Klima, Boden, eingesetzte Substrate und vieles mehr). Pauschale Aussagen zur Biodiversität sind schwer möglich. Trotzdem sollen in der folgenden Tabelle 48 einige mögliche Korrelationen von Biogasanlagen und Biodiversität genannt werden.

Tabelle 48: Biodiversität

<p><b>Biodiversität</b> korreliert positiv mit:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenfruchtbarkeit, mit N-Verfügbarkeit (Gärrest). Wird durch eine Biobiogasanlage positiv beeinflusst.</li> <li>• Ertragssteigerung. Wird durch eine Biobiogasanlage positiv beeinflusst.</li> <li>• Humusgehalt. Einfluss der BGA unterschiedlich.</li> <li>• Erweiterung des Anbau- und Erntezeitraumes. Positiver Einfluss einer BioBiogasanlage möglich. Zumeist negativer Einfluss bei konventionellen Nawaro-Anlagen.</li> <li>• Bessere Kontrolle der Nährstoffversorgung, insbesondere über die Stickstoffverfügbarkeit. Wird durch eine Biobiogasanlage positiv beeinflusst.</li> </ul>
<p><b>Biodiversität</b> korreliert negativ mit:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Samen werden deaktiviert. Vom Landwirt gewünschte Reduktion der Biodiversität.</li> <li>• Überdüngung, Eutrophierung. Geringes Risiko bei BioBiogasanlagen, hohes bei konventionellen Anlagen.</li> <li>• Habitatverlust - z.B. bei Umwandlung von Stilllegungsflächen in Ackerflächen geschehen.</li> <li>• Grünlandumbruch in Ackerland. Negative Auswirkung wenn für eine Biogasanlage Anbaufläche für Nawaro geschaffen werden soll.</li> <li>• Die Abtragung der Biomasse (Dung, Stroh, Erntereste) hat komplexe Auswirkungen, die nicht generalisiert werden können.</li> </ul>

Die Abtragung der Biomasse (Dung, Stroh, Erntereste) hat komplexe Auswirkungen, die nicht generalisiert werden können.

## 10 Restriktionsanalyse und Handlungsempfehlungen

(Verantwortlich: FiBL; Mitarbeit: Universität Kassel, Ecofys und RENAC (Unter-auftrag))

### 10.1 Methode

Um Hemmnisse für einen weiteren Ausbau von Biogasanlagen im ökologischen Landbau zu identifizieren ist eine qualitative Vorgehensweise nötig. Eine geeignete Methode stellt die Grounded Theory von Glaser und Strauss dar (Strauss & Corbin 1996). Dabei wird durch systematisches Erheben und Analysieren von Daten eine Theorie entdeckt, ausgearbeitet und vorläufig bestätigt. Folglich stehen Datensammlung, Analyse und die Theorie in wechselseitiger Beziehung zueinander (Strauss & Corbin 1996). Die Phase der Erhebung von Material (aus Literatur und/oder Befragungen) und der Analyse dieses Materials ist nicht zu trennen sondern miteinander zu verbinden (Hildenbrand 2012).

Daraus ergibt sich für unser Vorgehen folgende Annahme: Daten aus Literatur und Interviews werden in einem offenen Kodierungsprozess (vgl. Strauss & Corbin 1996) zu Kategorien zusammengefasst und benannt. Aufgrund dieser ersten Analyse ergeben sich neue Fragen, die mit Hilfe weiterer Literaturstudien und Tiefeninterviews untersucht werden. Daraus ergibt sich gegebenenfalls auch eine Überarbeitung und Weiterentwicklung des Interviewleitfadens und somit ein hoher Informations- und Innovationsgehalt der generierten Daten, es bedeutet aber auch, dass die Interviews nur bedingt vergleichbar sind.

Zur Datenanalyse wird das offene Kodieren (vgl. Strauss & Corbin 1996) genutzt. Dazu werden die Daten aus der Literatur und den Interviews kategorisiert, so dass die große Datenmenge überschaubarer und in systematischer Form dargestellt werden kann. Nur so wird sie vergleichbar und interpretierbar.

### 10.2 Hemmnisse

Als eine wichtige und aussagekräftige Literaturquelle wurde die Datenerhebung im Rahmen des EU-Projektes SUSTAININGAS identifiziert. Dort wurden insgesamt 696 Biolandwirte mit und ohne Biogasanlage, davon 336 in Deutschland

zum Thema nachhaltiges Biogas auf Ökologischen Betrieben befragt (Baaske & Lancaster 2013).

### 10.2.1 Ergebnisse aus SUSTAINGAS Befragung

Die folgenden Punkte wurden in der SUSTAINGAS Befragung als Hindernisse genannt, die angegangen werden sollten, um eine nachhaltige Biogasproduktion auf ökologisch-wirtschaftenden Betrieben zu ermöglichen:

- Finanzierungsschwierigkeiten
- Es gibt zu wenig gute Beispiele von Modellanlagen auf Biobetrieben
- Geringe Akzeptanz

Des Weiteren wurden eine zu kleine Betriebsgröße und nicht genügend vorhandenes Material bzw. Substrate, aber auch ethische Aspekte genannt.

*Tabelle 49: Überblick über die Antworten zu der Frage „Was hindert Sie an der Errichtung einer Biogasanlage auf Ihrem Betrieb?“, verändert nach Baaske und Lancaster (2013).*

	Ja	Nein	Vielleicht
Auflagen des Ökobauern-Verbandes	9	66	25
Finanzierungsschwierigkeiten	28	49	24
Geringe Akzeptanz bei den Öko-Konsumenten	25	51	25
Kein Zugang zu Wissen über den Betrieb einer Anlage	11	75	14
Es gibt zu wenig gute Beispiele von Modellanlagen auf Biobetrieben	32	40	28

In der Umfrage wurde auch nach der Wirkung der Biogasanlage auf den Betrieb gefragt. Hier gaben in Deutschland viele Landwirte an, sie befürchten:

- eine erhöhte Stressbelastung
- Konkurrenz zu Lebens- und Futtermittelproduktion
- Probleme mit dem Erhalt der Bodenqualität.

Des Weiteren wurden in der Befragung die folgenden negativen Erwartungen angegeben:

- Ökologische Probleme in Bezug auf Humus, Biodiversität und Bodenverdichtung
- Angst vor Unwirtschaftlichkeit der Anlage, Abhängigkeit vom staatlichen Subventionen und andere wirtschaftliche Schwierigkeiten

*Tabelle 50: Überblick über die Antworten zu der Frage: „Was wären ihrer Meinung nach die Wirkungen einer Biogasanlage auf Ihrem Hof?“ verändert nach Baaske und Lancaster (2013).*

	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Vielleicht</b>
Kostenreduktion für Dünge- und Bodenverbesserungsmittel	23	54	23
Ertragssteigerung der Ernte	31	43	26
Bessere Arbeitsauslastung auf meinem Betrieb	15	72	14
Konkurrenz mit Nahrungs- und Futtermittelproduktion	58	33	10
Probleme mit dem Erhalt der Bodenqualität	31	44	25
Verbesserungen der Fruchtfolge	18	66	16
Erhöhte Stressbelastung	57	21	22

Was des Weiteren aus der Befragung in Bezug auf die Anlagengröße hervorgeht ist, dass viele Befragten kleine Anlagen bevorzugen um Transportdistanzen gering zu halten. Auf die Frage „Was ist Ihrer Meinung nach notwendig, damit Biogas auf Biobetrieben nachhaltig produziert werden kann?“ gaben 18 % der deutschen Landwirte die Nutzung von Abfällen und Reststoffen an, 14 % machten Aussagen bezüglich der Wirtschaftlichkeit, weitere 14 % äußerten sich über verfügbare Substrate, deren Transportentfernungen und Verfügbarkeiten. Für 8 % der befragten deutschen Landwirte sind kleine Anlagen wichtig, um Biogas nachhaltig produzieren zu können, weitere 8 % gaben an, dass die Biogaserzeugung und der Ökolandbau in ihren Augen in keinem Fall zusammen passt.

In der Befragung wurde ebenfalls gefragt, wer das Thema Biogas im Ökolandbau in der Öffentlichkeit bekannter machen und damit mögliche Kunden informieren und aufmerksam machen sollte. Die meisten Landwirte gaben hier die Ökobauernverbände und Ökonetzwerke, gefolgt von den Biogas-Interessensvertretung, an (siehe Tabelle 51).

Tabelle 51: Genaue Ergebnisse der Frage „Wer sollte ihrer Meinung nach mögliche Kunden informieren und aufmerksam machen?“ verändert nach Baaske und Lancaster (2013).

	Ja	Nein	Vielleicht
Energieversorgungsunternehmen	29	48	24
Biogas-Interessensvertretung	40	33	27
Ökobauern-Verbände und Ökonetzwerke	63	19	18
die Gemeinde / Stadt oder Region	38	32	29
Handelsunternehmen, die Ökomarken führen	21	52	26
lokale Märkte für Biolebensmittel	21	51	28
neue Medien	35	34	31
ich selbst würde Kunden informieren wollen	34	38	29

### **Handlungsempfehlungen aus SUSTAINGAS**

In der Marktanalyse des SUSTAINGAS Projektes werden die folgenden Maßnahmen empfohlen (Baaske & Lancaster 2013):

- Die politischen Rahmenbedingungen (inklusive Einspeisevergütungen) sollten verlässlicher sein um für die Bio-Landwirte planbar zu sein.
- Die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion auf Biobetrieben sollte weiter erforscht werden: Wie steigen die Ernteerträge und unter welchen langfristigen Veränderungen, speziell in Bezug auf die Bodenqualität.
- Wissensvermittlung und Schulungen für Bio-Landwirte und Aufklärung von Konsumenten und Politikern.
- Technologisch und wirtschaftlich solide kleine Biogasanlagen (30-40 kW) sollten weiter entwickelt werden – mehr Forschung und Entwicklung ist hier nötig. Hierzu sollten auch Demonstrationsbetriebe eingerichtet werden.
- Eine breite Diskussion über Biogas im Ökolandbau wird gefordert. Mitglieder von Bioverbänden sollten Standards klären, definieren und auf EU-Ebene transferieren.
- Es besteht der Bedarf, Landwirte von der Notwendigkeit zu überzeugen, die Biogaserzeugung im ökologischen Kontext an Verbraucher besser zu kommunizieren. Hierzu sind entsprechende Materialien sowie Schulungskonzepte erforderlich, um die Bio-Landwirte in die Lage zu versetzen, sich an lokale oder regionale Behörden sowie die Öffentlichkeit richten zu können.
- Eine Zusammenarbeit mit Bioanbauverbänden ist von zentraler Bedeutung.

- Eine stärkere Vernetzung von Energie-, Landwirtschaftlicher und Umweltpolitik sollte gepflegt werden.
- Neben Strom- und Wärmeproduktion sind Bio-Landwirte auch an der Treibstoffproduktion interessiert, viele wollen Energie autark werden.
- Biologische Reststoffnutzung sollte mit einbezogen werden, wenn das Biogasproduktionspotenzial betrachtet wird.
- Alternative Märkte sollten stärker in Betracht gezogen werden, wie die Einspeisung von Bio-Methan in das Erdgasnetz oder die Nutzung von Biogas als Treibstoff: Dafür ist es erforderlich, entsprechende Technologien weiterzuentwickeln.

### **10.2.2 Ergebnisse der Literaturstudie**

Anhand der vorhandenen, meist sogenannten „grauen“ Literatur lassen sich erste Erkenntnisse über die Schwierigkeiten bei der Verbreitung von Biogas im Ökolandbau erkennen. Die PROFACTOR Gruppe (PROFACTOR Gruppe 2012) sieht die Gründe der zögerlichen Verbreitung von Biogas allgemein in den geringen Kenntnissen der Produzenten, mangelnde wirtschaftliche Investitionsanreize und aufwendige bürokratische Abläufe. Für die Biogaserzeugung im Ökolandbau lassen sich noch weitere Schwierigkeiten identifizieren, nämlich den Mangel an Einsatzstoffen, die geringe Vergütung von Klee gras im EEG, die vergleichsweise hohen spezifischen Kosten für Substrat und das große finanzielle Risiko. Hinzu kommt die Skepsis von Naturschutz- und Bioverbänden (Agentur für Erneuerbare Energien 2014a).

Bei Auswertung der vorhandenen Literatur wurden einige Hemmnisse wiederholt identifiziert. Diese konnten zu den folgenden Kategorien zusammengefasst werden:

- Gesellschaftliche Hemmnisse
- Wirtschaftliche Hemmnisse
- Mangelnde Wissensvermittlung
- Wissenschaftliche Unsicherheiten
- Herausforderung durch Auflagen

### 10.2.2.1 *Gesellschaftliche Hemmnisse:*

Landwirte berichteten von Widerstand in der lokalen Bevölkerung (Gerüche, Traktorfahrten), Kritik in der breiten öffentlichen Debatte um Biogas im Allgemeinen („Vermaisung“, Urwaldrodung), Skepsis von Naturschutzverbänden bis hin zu Akzeptanzproblemen in den eigenen Bioanbauverbänden. Die fehlende Akzeptanz kostet allen beteiligten Geld, Zeit und Energie (PROFACTOR Gruppe 2012). Im Folgenden werden relevante Textpassagen aus den ausgewerteten Quellen aufgelistet:

- „Dabei hatte ich einige Widerstände im Ort zu überwinden. Kann der Landwirt überhaupt Energiewirt sein? Führt denn die Biogasanlage nicht zu Gerüchen? Gibt es dann nicht mehr Traktorfahrten? Das waren einige Bedenken, derer ich mich schließlich bis vor Gericht erwehren musste.“ Aussage von E. Räder (Meier 2013).
- „Bis heute sind wir eine exotische Minderheit bei Bioland“ meint Biolandwirt und Biogasanlagenbetreiber M. Ebeling, der nicht selten heftige Kritik von Berufskollegen für sein Engagement im Bereich Biogas einstecken musste (Jensen 2014).
- „In Regionen mit vielen Biogasanlagen stieg der Maisanteil in der Fruchtfolge mit entsprechend negativen Umweltwirkungen rapide an. In zahlreichen Veredelungs- und Milchviehregionen liegt der Anteil der Maisfläche (Futter, Biogas) oftmals bereits bei über 50 Prozent der Ackerfläche. Zudem findet in diesen Regionen ein verstärkter Umbruch von Grünland zu Ackerland statt. Hohe Maisanteile, bis hin zu Monokulturen, wirken sich negativ auf die Bodenfruchtbarkeit (u.a. Erosion), Humusbilanz (= negative Klimawirkung), den Erholungswert der Landschaft und Biodiversität aus. Zudem ermöglichen Mais-Monokulturen die Ausbreitung spezieller Schädlinge (u.a. Maiswurzelbohrer). Die Akzeptanz der Gesellschaft gegenüber Maisanbau sinkt daher zusehend“ (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014a).
- „Gegen die Verwendung von Reststoffen und Koppelprodukten wie Stroh sowie Gülle sei nichts einzuwenden. Aber der Einstieg in einen Energiepflanzenanbau sei nicht mit den Vorstellungen einer biologischen Wirtschaftsweise vereinbar. Und bei der Frage, wie viel Substrat eigentlich in Bio-Betrieben zur Verfügung steht, lautet die Antwort, dass für hofeigene Quellen die meisten Anlagen zu groß seien. Investitionen in große Anlagen führten zu einem Ausbau der Tierhaltung, der auf einem Bio-Betrieb flächenbezogene Grenzen gesetzt sind.“ (Krieg 2013).

### 10.2.2.2 *Wirtschaftliche Hemmnisse*

BioBiogasanlagen werden durch die EEG-Vergütung nicht besser gestellt als konventionelle Anlagen, obwohl dabei zu höheren Kosten Biogas besonders nachhaltig erzeugt wird. Die erhöhten Kosten entstehen durch höhere Investitionskosten, da die Anlagen wegen des eingesetzten faserreicheren Substrates robuster sein müssen und öfter gewartet und repariert werden müssen. Die eingesetzten Substrate haben ein geringeres Methanbildungspotential und gleichzeitig entstehen höhere Erntekosten im Vergleich zu Mais. Im Folgenden sollen prägnante Quellen zitiert werden (Die Aussagen wurden vor der Aktualisierung des EEG 2014 getroffen und beziehen sich daher auf alte Versionen des EEGs oder Spekulationen zur EEG-Novelle 2014).

- „Die Kosten für die Substraterzeugung im ökologischen Landbau (Klee- und Grassilage) sind im Vergleich zu Maissilage aufgrund der mehrmaligen Ernte und des geringeren Methanbildungspotenzials deutlich höher. Die Mehrkosten für den Einsatz von ökologisch erzeugten Substraten (z. B. Grassilage, Zwischenfrüchte) werden noch nicht ausreichend im Rahmen des EEG honoriert“ (Meyer & Priefer 2012b).
- „Und noch ein weiterer Kostentreiber verhindert, dass sich mehr Landwirte für den Bau einer Biogasanlage entscheiden: Einsatzstoffe wie Klee- und Wildpflanzen und Leguminosen zeichnen sich durch eine stark faserreiche Struktur aus, die hohe Kosten in der Verarbeitung verursacht. Die Pump- und Rührgeräte der Fermenter von Biogasanlagen im Ökolandbau müssen besonders stark sein, häufig gewartet und in Stand gehalten werden, um die Substrate verwerten zu können.“ (Agentur für Erneuerbare Energien 2014b).
- „Für Klee- und Luzerne als im Ökolandbau besonders weit verbreitete Kulturen wird die Vergütungskategorie II aber nur fällig, wenn diese als Zwischenfrüchte, nicht als Hauptkultur angebaut werden. Diese Regelung ist bei Vertretern des ökologischen Landbaus auf Unverständnis gestoßen. Laut den aktuell kursierenden Plänen zur Novellierung des EEG ist allerdings eine komplette Streichung der Energiepflanzenvergütung vorgesehen. Dies würde die Biogasproduktion nicht nur aus konventionellen Energiepflanzen, sondern auch aus alternativen Substraten wie Klee- von Ökobetrieben für Neuanlagen fundamental in Frage stellen.“ (Agentur für Erneuerbare Energien 2014b)
- „Ein besonderes Hemmnis des EEG 2012 war, dass in der Biomasseverordnung Klee/Klee- und Luzerne/Luzerne- als Hauptfrucht in der

Vergütungsklasse 1 eingestuft wurde. Eine Einstufung in der Vergütungs-  
klasse 2 wäre dagegen sachgerecht“ (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014a).

### **10.2.2.3 Mangelnde Wissensvermittlung**

„Das Wissen über die Chancen und Potenziale der Biogaserzeugung im ökolo-  
gischen Landbau ist noch nicht vollständig in der Praxis angekommen. Dies  
liegt zum einen daran, dass der Informations- und Beratungsbedarf bisher nicht  
immer kompetent befriedigt wird. Da die Beratungs- und Planungsaktivitäten  
von Akteuren der konventionellen Biogaserzeugung nur bedingt auf die Rah-  
menbedingungen des ökologischen Landbaus übertragbar sind, ist eine Spezi-  
alberatung, z. B. durch die Verbände des ökologischen Landbaus, erforderlich,  
die ihre Kompetenzen im Bereich der ökologischen Biogaserzeugung auswei-  
ten müssten.“ (Meyer & Priefer 2012a).

### **10.2.2.4 Wissenschaftliche Unsicherheiten**

Die Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit, die Humuswirkung und Auswirkungen  
auf das Bodenleben sind nicht umfassend geklärt. Zwar gibt es eine Reihe von  
Untersuchungen, oft entsprechen die betrachteten Vergleichssysteme (Dünge-  
management, Fruchtfolgen etc.) nicht den Bedingungen des ökologischen  
Landbaus. Es gibt zwar umfassende Studien zur Thematik (Möller 2011), doch  
beruhen die Ergebnisse auf Vermutungen und Übertragungen von Kleinversu-  
chen. Nötig wären aber Langzeituntersuchungen unter den Bedingungen des  
ökologischen Landbaus. Diese Unsicherheit wirkt sich auf Landwirte, aber auch  
auf Stakeholder aus. Gerade im Ökolandbau spielt die Bodenfruchtbarkeit eine  
entscheidende Rolle im Kreislaufgedanken. Eine nachhaltige Boden- und Hu-  
muswirtschaft zeichnet den Ökolandbau aus, daher werden Änderungen in der  
Bodenernährung mit Vorsicht betrachtet.

Der Anbauverband Demeter schreibt beispielsweise in einer Stellungnahme  
zum Thema Biogas, dass „die Wirkung der Düngung mit Biogas-Gärresten auf  
den Boden wenig erforscht (ist), Demeter-Experten erwarten langfristig eine  
Verminderung der Bodenfruchtbarkeit“ (Olbrich-Majer 2012b).

Biolandwirte berichten immer wieder von Ertragssteigerungen durch die In-  
tegration von Biogas in ihr Betriebssystem. Doch auch negative Effekte wurden  
beobachtet: höherer Unkrautdruck, höhere N-Verluste, höhere Bodenverdich-

tung, der Gärrest wirkt langsamer und dringt schlechter in den Boden ein, Ättschäden und Verbrennungen an den Pflanzen, verminderter Regenwurmbe-  
satz, erhöhtes Auftreten von Lagergetreide (Anspach et al. 2011d). Diese Ef-  
fekte sollten weiter beobachtet und untersucht werden, um sicherzustellen, wie  
sich Biogas auf das System Ökobetrieb auswirkt.

Insgesamt ergeben sich aus der Mehrheit der wissenschaftlichen Untersuchun-  
gen und Erfahrungen sehr starke Indizien für die in diesem Bericht angenom-  
menen positiven Effekte (wie Ertragsteigerungen, N-Effizienz und andere).  
Aber bei den Akteuren der Branche verbleiben Unsicherheiten die deren Enga-  
gement hemmen können.

#### **10.2.2.5 Herausforderung durch gesetzliche Auflagen**

„Der Betrieb einer Biogasanlage hat sich zudem zu einem Spezialbetriebszweig  
entwickelt, bei dem hohe gesetzliche Auflagen und Dokumentationspflichten  
die Betriebsleiter zu überfordern drohen.“ (Zerger (Hrsg.) 2013).

#### **10.2.2.6 Handlungsempfehlungen aus Literaturquellen**

##### *10.2.2.6.1 Gesellschaftliche Empfehlungen/ Akzeptanz:*

„Dabei müssen wir sicherstellen, dass die künftig benötigte Biomasse langfristig  
und ökologisch unbedenklich erzeugt und genutzt werden kann. Das ist eine  
ganz wichtige Voraussetzung für die gesellschaftliche Akzeptanz der Bioener-  
gie“ (Aigner 2013).

„Immer häufiger werden Wildpflanzen gewählt, um die Vielfalt der Felder und  
Fruchtfolgen zu erweitern. Das bietet verschiedenen Tierarten wie Wildtieren  
oder Bienen einen neuen Lebensraum, unterstützt damit die Biodiversität, be-  
reichert das Landschaftsbild und führt deshalb nicht selten auch zu einem  
Imagegewinn von Landwirt und Energiepflanzenanbau bei der Bevölkerung  
(nach Degenbeck, Martin: Energie aus Wildpflanzen - eine ökologische und  
wirtschaftliche Initiative bei der Biogasproduktion. Vortrag, Berlin, 3. Projekttag  
Bioenergie, 11. Juni 2013)“ (Agentur für Erneuerbare Energien 2014b).

„Durch ein rechtzeitiges und rasches Abklären der Akzeptanz kann der Anlagenbetreiber seine Aufmerksamkeit dorthin richten, wo sie sein sollte, und sicherstellen, dass die Biogasanlage so effizient und effektiv wie möglich betrieben wird. ... Akzeptanz ist ein strategischer Faktor für die Verbreitung von Biogasanwendungen. ...Networking, Öffentlichkeitsarbeit und (die Durchführung von) Umfragen sind wichtige akzeptanzfördernde Maßnahmen.“ (Baaske et al. 2010). Empfohlen werden dort unter anderem folgende akzeptanzsteigernde Maßnahmen:

- Networking (Kontakt zu Organisationen im Biogasumfeld, Runde Tische, PolitikerInnen informieren)
- Öffentlichkeitsarbeit (Bildung und Aufklärung [Workshops, Schul- und Ferienprogramme, Medienkampagnen], Veranstaltungen [Pressekonferenz, Exkursion, regionale Veranstaltungen], Standortbezogene Öffentlichkeitsarbeit [persönliches Gespräch, Tag der offenen Tür])

[Im Handbuch Steigerung der Akzeptanz von Biogasanwendungen - Ein Handbuch für Biogas-PromotorInnen (Baaske et al., 2010) wird auf die oben genannten Punkte genauer eingegangen].

#### 10.2.2.6.2 *Wirtschaftliche Empfehlungen:*

„Die Aufgabe von Biogasanlagen wird es zukünftig sein, die Schwankungen der Stromproduktion auszugleichen. In Überschusszeiten stellen sie ihre Produktion ein, um das gespeicherte Gas bei Knappheitssignalen mit gesteigerter Leistung zur Stromerzeugung zu nutzen. Eine ausschließliche Betrachtung der verschiedenen Erneuerbaren Energieträger nur nach Kostenargumenten ist daher nicht zielführend.“ (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014a).

„Das hohe Ausbaupotenzial bei Mist, Gülle, Restaufwuchs und Bioabfällen nutzen. Möglich wäre dies durch besondere Honorierung (Förderung) folgender Substrate: organische Dünger, Landschaftspflegematerialien, Zwischenfrüchte und Blümmischungen sowie der Aufwuchs von Klee gras- und Luzernegras aus ökologisch wirtschaftenden Betrieben. Hierdurch könnte ein wesentlicher Beitrag zur Ökologisierung der Biogasproduktion geleistet werden. Wir (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014b) regen an:

- Das Potenzial organischer Dünger im EEG 2014 deutlich stärker zu erschließen, als das bisher mit einer Nutzungsrate von rund 15 % geschehen ist.

- Durch die Nutzung von Klee- und Luzernegras auf ökologisch bewirtschafteten Betrieben könnten die positiven externen Effekte von Klee- und Luzernegras bei der Energiegewinnung genutzt und damit ein Beitrag zum Bodenschutz, sowie zur Erhöhung der Artenvielfalt, Bodenfruchtbarkeit und des Landschaftserholungswertes geleistet werden. Die Aufwüchse von Bracheflächen in biologischen Marktfruchtbetrieben könnten so als „Reststoffe“ energetisch verwertet und der anfallende Gärrest als wertvoller Pflanzendünger verwendet werden.
- Die Verwertung von Landschaftspflegematerial. Sie könnte einen wesentlichen Beitrag zum Naturschutz leisten.
- Die Verwertung von Zwischenfrüchten. Dies wäre sowohl im konventionellen als auch im biologischen Landbau energetisch sinnvoll und ein Beitrag zum Umweltschutz (u.a. Erosionsschutz) (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014b).

Des Weiteren werden in der oben zitierten Stellungnahme von Bioland und Naturland (2014b) konkrete Änderungsvorschläge für das EEG genannt, welche an dieser Stelle zu sehr ins Detail gehen.

„Die Biogaserzeugung im ökologischen Landbau ist gegenüber der Biogaserzeugung im konventionellen Landbau mit höheren Kosten verbunden. Die im Ökolandbau hauptsächlich eingesetzten Substrate Wirtschaftsdünger, Klee- und Grünlandsilagen weisen im Sinne des Klima- und Naturschutzes eine hohe Vorzüglichkeit auf. Deshalb könnte im EEG ein »Ökobonus« für den Einsatz von biologisch erzeugten Substraten eingeführt werden, was einen starken Anreiz für die Biogaserzeugung im ökologischen Landbau schaffen würde.“ (Meyer & Priefer 2012)

„Für eine Begrenzung der Umweltschäden durch die Intensivlandwirtschaft empfiehlt die KLU generell die Überarbeitung des Umwelt- und landwirtschaftlichen Fachrechts und die Anpassung des europäischen Förderrechts“ (die Rede ist hier von BBodSchG, BBodSchV, BNatSchG etc., Cross Compliance, Düngeverordnung, Biogasanlagenverordnung, Bioabfallverordnung, Biomasse-Verordnung, EEG, GAP) (Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) 2013). Viele dieser Maßnahmen würden Biogasanlagen auf Biobetrieben (oder vergleichbar wirtschaftende konventionelle Biogaserzeuger) stärker fördern.

„Eine Alternative kann und muss die Direktvermarktung des Ökostroms werden, um BioBiogasanlagen erhalten zu können. Hierzu gibt es bereits Initiativen, die vor dem „Aus“ des EEG ausreichend entwickelt sein müssen. Es empfiehlt sich zudem die Vernetzung und gemeinsame Vermarktungsstrategien kleiner BioBiogasanlagen. Der Einsatz von Siedlungsabfall zur Ausnutzung bisher ungenutzter Reststoff-Ressourcen wäre aus einer Perspektive der nachhaltigen Stoffnutzung empfehlenswert, wird den Ökoverbrauchern wohl aber nur schwierig zu vermitteln sein“ (Zerger, 2013b).

#### 10.2.2.6.3 *Bildung und Beratung:*

„Hier sind vor allem die Verbände des ökologischen Landbaus aufgerufen, ihre Kompetenzen im Bereich der ökologischen Biogaserzeugung zu stärken und aktiv in den Wissenstransfer einzusteigen. Beratungs- und Planungsaktivitäten von Akteuren der konventionellen Biogaserzeugung sind auf die Bedingungen des ökologischen Landbaus in vielen Bereichen nicht anwendbar und greifen durch ihre Fokussierung auf die Biogasanlage oft zu kurz. Gerade auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben muss der gesamte Betriebsorganismus in die Planung der Biogasanlage einbezogen werden, um zu realistischen Einschätzungen kommen zu können. Wie in allen ökologischen Betriebszweigen und Produktionsprogrammen ist auch für die Biogaserzeugung im ökologischen Landbau eine Spezialberatung notwendig. Konventionelle Ansätze sind auch in diesem Betriebszweig nur bedingt auf die Bedingungen des ökologischen Landbaus übertragbar. ... auch im ökologischen Landbau sollte der Biogasthematik ein größeres Gewicht vor allem in der Forschung, der Beratung und der Förderung beigemessen werden.“ (Anspach et al. 2011e).

„Darüber hinaus zeigt sich auch ein vordringlicher Handlungsbedarf für bestimmte Bereiche. Dazu gehören vor allem das Erstellen von Leitfäden und eine effiziente Öffentlichkeitsarbeit. ... Bereits heute gibt es eine Reihe an Möglichkeiten, Biogas nachhaltig zu produzieren und zu nutzen. Allerdings fehlt es teilweise an der Umsetzung in der Alltagspraxis – hier besteht dringender Handlungsbedarf“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) 2008a).

#### 10.2.2.6.4 *Wissenschaft*

„Weitere bodenkundliche und pflanzenbauliche Untersuchungen auf Praxisbetrieben sind sinnvoll und notwendig.“ (Anspach et al. 2011e).

„Vieles zum Thema Biogas und Umwelt ist bekannt. Allerdings gibt es noch einige Teilbereiche, zu denen es vertiefter Informationen bedarf. ... Zum Forschungsbedarf gehören u.a. die systematische Ermittlung von diffusen Methanemissionen aus Biogasanlagen und BHKW und Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des in den Gärresten gebundenen Stickstoffs einschließlich der damit verbundenen Ammoniakemissionen. ... Darüber hinaus gibt es in einigen Bereichen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um zukünftig eine durchgängig nachhaltige Biogasentwicklung zu gewährleisten“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) 2008b).

„Dringender Bedarf an Forschung für die BioBiogaserzeugung wird in den folgenden Bereichen gesehen: Abbildung und Monetarisierung innerbetrieblicher Effekte, Humusdynamiken, Bodenfruchtbarkeit und Bodenleben, Substratbereitstellung bei 100 % Öko-Fütterung der Anlagen, Nährstoffflüsse und -kreisläufe, Mobilisierung von organischen Reststoffen, Entwicklung von Regional Konzepten, Funktionalität klee grasbasierter Anlagen, Systemoptimierung, Wärmenutzungsstrategien, Direktvermarktung. Die Abbildung der Systemeffekte kann nur durch die praxisintegrierte Beforschung von Leitbetrieben anhand eines langjährigen Monitoring-Systems fundiert vorangetrieben werden.“ (Zerger (Hrsg.) 2013).

### **10.2.3 Erkenntnisse aus der Akteursbefragung**

#### **10.2.3.1 Vorgehen und Auswertung**

Ausgewählte Akteure wurden in Tiefeninterviews zu den Hemmnissen befragt, mit speziellem Augenmerk auf die Unterschiede die zwischen konventioneller und biologischer Biogasproduktion bestehen. Die Länge der Interviews variierte sehr, je nach Interviewpartner, häufig bis zu zwei Stunden. Die ersten Interviews wurden zur Nachbereitung aufgezeichnet, da hier der Erkenntniszuwachs am höchsten war. Nach den ersten 10 Interviews wurde ein Zwischenresümee gezogen, um den Interviewleitfaden inhaltlich sowie methodisch anzupassen und die Erkenntnisse in die Auswahl der zu interviewenden Akteure mit einfließen zu lassen. Nach ca. 20 Interviews wiederholten sich zunehmend die genannten Hemmnisse, so dass die Interviews telefonisch durchgeführt werden konnten und auf das Aufzeichnen verzichtet werden konnte. Auf einem der durchgeführten Hoftage wurden einige Akteure in Form einer Gruppendiskussion interviewt.

Die Interviews erstreckten sich von Mai bis November 2014. Bei den ersten Interviews lag der Vorschlag zum EEG 2014 bereits vor, während der Interviews wurde das Gesetz verabschiedet, der Großteil der Interviews wurde nach der Verabschiedung durchgeführt. Insgesamt wurden 48 Personen befragt. 28 Interviews wurden vor Ort durchgeführt, davon wurden 6 in einer Gruppendiskussion erhoben. Zudem wurden 20 Personen telefonisch interviewt. Die Verteilung der Personen auf die unterschiedlichen Gruppen ist in Tabelle 52 dargestellt.

*Tabelle 52: Verteilung der Interviewpartner auf Personengruppen*

<b>Gruppe</b>	<b>Anzahl</b>
Landwirte	10
Market-Player (Hersteller, Planer)	9
Landwirtschaftliche Beratung	9
Wissenschaftler	8
Nichtregierungs-Organisationen	6
Spezielle Biogasberatung	4
Medien	1
Politik	1
<b>GESAMT</b>	<b>48</b>

Die erste Interviewfrage war offen formuliert und es wurde ganz allgemein nach den Hemmnissen, warum Biogas im Ökolandbau nicht weiter verbreitet ist, gefragt. Hierzu nannten die Interviewpartner einige der vorher benannten Kategorien von selbst. Die ersten drei Nennungen (sofern der Interviewpartner von sich auch drei Punkte ansprach) wurden dokumentiert und anschließend ausgewertet (Tabelle 53). Den ersten Punkt der am häufigsten genannt wurde war die Wirtschaftlichkeit, als zweiten Hindernisgrund nannten die meisten die Akzeptanz. Weiterhin wurden die Struktur im Ökolandbau sowie rechtliche Rahmenbedingungen sehr häufig von den Interviewpartnern innerhalb der ersten drei angesprochenen Themenbereiche genannt.

*Tabelle 53: Übersicht über die Nennungen der Kategorien auf die offenen Fragen nach den Hemmnissen*

<b>Kategorie</b>	<b>1.Nennung</b>	<b>2. Nennung</b>	<b>3.Nennung</b>	<b>Summe</b>
Wirtschaftlichkeit	25	5	4	34
Akzeptanz	4	12	5	21
Struktur ÖLB	5	8	8	21
Rechtliche Rahmenbedingungen	2	7	6	15
Forschungslücken	0	2	5	7
Bildung und Beratung	1	3	2	6

Kategorie	1.Nennung	2. Nennung	3.Nennung	Summe
Persönliche Gründe	1	2	3	6
Technik	1	0	3	4

Im Interview wurde anschließend explizit nach den weiteren Kategorien gefragt. Neben den neu angesprochenen Punkten wurde auch zu jeder Kategorie festgehalten, ob der Interviewpartner diese Kategorie als Hindernisgrund sieht oder nicht, bzw. ob dies bedingt zutrifft. In der Auswertung erfolgte eine Umrechnung in prozentuale Zustimmung oder Ablehnung der Kategorien. Wie auch in den ersten Nennungen zu erkennen werden die Hindernisse vorwiegend im Bereich Wirtschaftlichkeit (96 % der Interviewpartner stimmten zu), Struktur im Ökolandbau (92 %), rechtliche Rahmenbedingungen (90 %) sowie persönliche Gründe (89 %) gesehen. In den Kategorien Akzeptanz, Bildung und Beratung, sowie Forschungslücken sahen 64 – 68 % der Befragten einen Hindernisgrund, doch auch einige stimmten dem nur bedingt zu, oder waren der Meinung, dass dieses Thema kein Problem darstellt (Tabelle 54). Interessant ist auch die Kategorie Technik, denn hier war die Mehrheit der Ansicht, dass dies kein Hindernisgrund, bzw. nur bedingt darstellt.

*Tabelle 54 Übersicht über die Zustimmung oder Ablehnung der Kategorien als Hindernisgrund in Prozent der antwortenden Personen*

Kategorie	Zustimmung	Ablehnung	bedingt
Wirtschaftlichkeit	96	2	2
Struktur im ÖLB	92	5	3
rechtliche Rahmenbedingungen	90	2	8
Persönliche Gründe	89	3	8
Akzeptanz	68	25	7
Bildung und Beratung	65	16	19
Forschungslücken	64	14	22
Technik	29	33	38

### **10.2.3.2 Hemmnisse nach Kategorie**

Im Folgenden werden die einzelnen Kategorien beschrieben. Die Erkenntnisse stammen überwiegend aus den Interviews, zum Teil durch die Literaturstudie ergänzt.

## Wirtschaftlichkeit

Zum Zeitpunkt der Interviews wurde gerade die EEG 2014 Novelle verabschiedet. Damit dürfte es nun für konventionelle sowie für Biobetriebe schwierig sein in die Biogasproduktion einzusteigen. Im vorherigen EEG sahen die Akteure dagegen mit einigen Anpassungen besseres Potenzial für Biobetriebe. Dabei handelt es sich um die Aufnahme von mehrjährigem Klee gras in die Einsatzstoffvergütungsklasse 2, und eine Boniregelung speziell für Biobetriebe. Zudem wurde gefordert die Einsatzstoffvergütungsklasse 1 zu streichen und die Nutzung von Mais als Landschaftspflegematerial auszuschließen.

Das EEG hat lange nur die Stromeinspeisung vergütet. Neben der Stromproduktion fallen im BHKW große Mengen an Wärme an. Durch Substitution fossiler Wärmeträger ergibt sich ein erhebliches CO<sub>2</sub> Einsparungspotenzial. Nun sind aber Biogasanlagen oft in Lagen ohne größere Wärmeabnehmer gebaut worden. Nach der Reduzierung der EEG Vergütung (Änderung der Boni-Zuschläge) werden sich viele Landwirte umorientieren müssen. Nach Meinung einiger Interviewpartner werden dann ca. 50 % der Biogasanlagenbetreiber mit der Biogaserzeugung aufhören müssen oder es müssen andere Lösungen abseits des EEGs entwickelt werden. Unter den aktuellen Bedingungen lohnt sich eine alternative Vermarktung erst ab 100 kW Leistung, da ansonsten der administrative Aufwand zu hoch und die ggf. benötigte Technik (Gasspeicherung, flexibler Betrieb des BHKWs) zu teuer ist. Doch solche kleinen Anlagen sind für Energiehändler unattraktiv, da sie bei gleichem Aufwand weniger Strom geliefert bekommen, als bei einer viel größeren Anlage.

Zum Zeitpunkt des Biogasbooms waren die Preise für Biolebensmittel so hoch, dass sich Biolandwirte nicht mit einer alternativen Vermarktung ihrer Produkte beschäftigen mussten. Mit der Zeit kamen die positiven Aspekte von Biogas für die Nährstoffversorgung von Betrieben verstärkt in die Diskussion. Heute ist die Preisdifferenz zwischen ökologischem und konventionellem Anbau geschrumpft, und viele Biolandwirte sind von den Vorzügen der Biogaserzeugung überzeugt. Heute rechnet sich ein Neubau allerdings vielfach nicht mehr. Die Branche kämpft im Moment eher gegen die wirtschaftlich bedingte Rückumstellung vieler Biobetriebe auf den konventionellen Landbau.

Im Ökolandbau kommen sozioökonomische Faktoren hinzu: Biobetriebe haben oft weniger Eigenkapital, da sie entweder Neueinsteiger in die Landwirtschaft sind, oder aber weil sie zur Betriebsumstellung auf den ökologischen Landbau investieren mussten. Viele Betriebe werden nur im Nebenerwerb geführt. Im

Biobereich soll es auch, laut mehreren Interviewpartnern, vermehrt Landwirte geben, die es scheuen einen solch hohen Kredit aufzunehmen wie er für eine Biogasanlage notwendig wäre. Neben einer verminderten Vergütung bedingt durch das EEG, führen die Änderungen (die auch Bestandsanlagen betreffen) zu einer generellen Unsicherheit. So sind Landwirte, aber auch potenzielle Kreditgeber verunsichert und tätigen die Investition nicht, auch wenn es sich rechnen würde in eine Anlage zu investieren.

Sofern Biogasanlagenbetreiber Substrat zukaufen müssen, zahlen sie für Bio-substrat mehr als für konventionelles, bekommen aber für das Produkt Strom nur den gleichen Preis auf dem Markt. Es fehlt eine Honorierung des Biomehrewertes durch die Politik oder den Markt.

Die kleinen Anlagen, die am ehesten zur Struktur des Ökolandbaus passen, sind spezifisch deutlich teurer (economics of scale) als große Anlagen. Neue Auflagen (siehe extra Punkt) sorgen für die Notwendigkeit neue, oftmals teure Komponenten nachzurüsten, dies gilt für große sowie für kleine Anlagen. Das verwendete Substrat im Ökolandbau ist faserreichen und anspruchsvoller hinsichtlich der verwendeten Technik (und damit teurer) und bezüglich des Wartungsaufwands.

### **Akzeptanz**

Mehrfach wurde auch der Bereich Akzeptanz als Hinderungsgrund genannt. Im ökologischen Landbau selbst wird Biogas teilweise kritisch gesehen, da einige Akteure eine Konventionalisierung fürchten. Der Anstieg der Pachtpreise wird mit der Biogaserzeugung in Verbindung gebracht. Die gestiegenen Preise haben einige (Bio-)Landwirte zum Aufgeben der Landwirtschaft gezwungen, oft wird Biogas hier als Grund gesehen.

Akteure und Landwirte lehnen vielfach die Entwicklung „Vom Landwirt zum Energiewirt“ ab. Ziel im Ökolandbau ist es, gesunde Lebensmittel in Einklang mit der Natur zu erzeugen. Die Gesunderhaltung des Bodens spielt dabei eine wichtige Rolle, der Boden wird gedüngt und dieser ernährt die Pflanze. Die Wirkung von Gärresten auf die Bodenfruchtbarkeit ist für viele der Interviewpartner nicht ausreichend geklärt. Die Gärreste sind stickstoffreiche Flüssigdünger, sie wirken schnell und versorgen die Pflanze und nicht den Boden mit Nährstoffen, damit wirkt er ähnlich wie Mineraldünger. Dies führt zu Skepsis und wird in manchen Kreisen abgelehnt.

In der Gesellschaft wird nicht zwischen konventionellem und ökologisch erzeugtem Biogas differenziert. Durch eine, nach Meinung mancher Interviewpartner, Überförderung der Nawaros wurde das Bild von Biogas negativ beeinflusst. Biogas wird in der Regel mit Mais oder anderen intensiven Nawarokulturen in Verbindung gebracht, bzw. mit einer Intensivierung im Grünland bzw. Grünlandumbruch zu Ackerland. Von einigen Interviewpartnern wird es begrüßt, das Nawaros nicht weiter gefördert werden, obwohl sie der Biogaserzeugung gegenüber positiv eingestellt sind. Biogas sollte, gerade im Ökolandbau, eine Kaskadennutzung sein. Eine Beschränkung auf Reststoffe (auch pflanzlicher Herkunft), ohne einen extra Anbau wird von den meisten Interviewpartnern gewünscht. Die Biogasanlage soll der Landwirtschaft dienlich sein, eine starke Förderung der Nawaros für die Biogasnutzung ist dies oft nicht.

Durch die breite Ablehnung in der Gesellschaft durch Bilder wie die „Vermaisung“ ist es auch in der Biobranche schwer Gehör für die Vorteile der Biogaserzeugung zu finden. Nach Meinung von einigen Akteuren wird die Skepsis von Organisationen und der Nachbarschaft oft unterschätzt. Die Erfahrung von anderen Interviewpartnern zeigen, dass eine gute Einbindung und Vernetzung der Landwirte vor Ort eine wichtige positive Rolle bei der Akzeptanz in der Region spielt. BioBiogas gilt als das Positivbeispiel für besonders nachhaltige Biogaserzeugung, hier greifen viele der Argumente (und Befürchtungen) aus der Bevölkerung nicht. Es bleibt trotzdem schwer einen Dialog überhaupt zu erzeugen.

Eine geringe Akzeptanz führt zu einem erheblichen Mehraufwand bei der Umsetzung von Anlagen, bzw. in manchen Fällen scheitern Bauvorhaben an dem Widerstand. Dieser Mehraufwand muss meist von Landwirten getragen werden und kostet Mühen, Zeit und Geld. Auch das Wohlbefinden und die Integration von dem jeweiligen Landwirt kann dadurch gefährdet werden. Ohne die Akzeptanz in der Gesellschaft, bzw. ohne die Unterscheidung zwischen bio und konventionell in der Biogaserzeugung, fällt es schwer einen Mehrpreis für den erzeugten Strom, Gas oder Wärme von den Energiekunden zu erzielen.

### **Struktur im Ökolandbau**

Im Ökolandbau spielt die Fruchtfolge eine zentrale Rolle: Unkraut, Schädlinge und Krankheiten werden mit ihr reguliert und die Nährstoffversorgung sichergestellt. Dadurch ist der Ökolandbau ein komplexeres System mit weiten Fruchtfolgen, in dem Änderungen sehr viel langsamer angenommen werden

und Methoden sich erst behaupten müssen, bevor Sie zum verbreiteten Anbau finden. Die Landwirte haben darüber hinaus einen stärkeren Bezug zum Boden, da sie im höherem Maße von dessen Fruchtbarkeit abhängen. Aus diesem Grund haben viele Bedenken gegenüber der Gärrestnutzung und den Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit.

Im Gegensatz zum konventionellen Landbau stellt der Wirtschaftsdünger im Biolandbau ein knappes Gut dar, welches einen hohen innerbetrieblichen Wert aufweist. Andere Nährstoffquellen sind im ökologischen Landbau deutlich teurer als im konventionellen Bereich. Durch die flächengebundene Tierhaltung ist der Düngeranfall begrenzt und kann somit nicht beliebig ausgedehnt werden.

Im Ökolandbau fallen typischerweise Substrate, wie Klee gras und Gras an. Diese sind faserreich und der Gasertrag ist niedriger als bei konventionellen Energiepflanzen, was zu höheren Investitions- und Wartungskosten der BioBiogasanlagen führt. Daneben haben diese Substrate einen geringeren Masseertrag pro Fläche und der Aufwand für die Ernte und Aufbereitung fällt höher aus, wodurch diese Substrate wirtschaftlich tendenziell unattraktiv werden.

Durch die Unterschiede in der Wirtschaftsweise zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben entstehen strukturelle Unterschiede. So sind die Betriebe im Ökolandbau oft Gemischtbetriebe und weniger spezialisiert auf den Anbau einzelner Kulturen oder die Haltung von Tieren. Die Tierhaltung ist in Ökobetrieben an die Fläche gebunden; daher halten Biobetriebe bei gleicher Fläche weniger Tiere als die konventionellen Kollegen. Zudem ist im Ökolandbau Einstreu zumindest in Teilbereichen vom Stall vorgeschrieben. Durch den obligatorischen Weidegang der Tiere werden zum einen weniger Exkremamente aufgefangen als bei Stallhaltung, und die Wirtschaftsdünger weisen einen höheren Strohanteil auf. Bei den üblichen Stallgrößen im Biobereich kommt oft nicht genug Wirtschaftsdünger zusammen, um eine 75 kW Gülleanlage zu betreiben.

In den vorherrschenden Gemischtbetrieben wird Ackerbau und Tierhaltung kombiniert, hier werden die Grünaufwüchse verfüttert und fallen nicht als Reststoff an. Nur bei reduzierter oder keiner Tierhaltung ist Klee gras und Grassilage ein Reststoff, der in der Biogasanlage veredelt werden kann.

Die Betriebe im Ökolandbau unterscheiden sich nicht nur in ihrer Wirtschaftsweise von den konventionellen, sondern auch in ihren Ansichten und Werten.

Nach Aussagen einiger Interviewpartner, betonten diese, dass sie als Biolandwirte in erster Linie vor allem gesunde Lebensmittel erzeugen möchten. Der Slogan „vom Landwirt zum Energiewirt“ stößt bei Biolandwirten eher auf Widerstand. Oft denken Landwirte nicht über die Möglichkeit nach, erneuerbare Energie auf ihrem Hof mittels Biogas zu erzeugen, obwohl ihnen dadurch die Möglichkeit eröffnet würde Nährstoffkreisläufe zu optimieren, was bei vielen Betrieben nötig wäre.

Wegen des geringeren Anteils an verfügbarem Substrat für Biogasanlagen würden sich Kooperationen sehr anbieten, allerdings haben die wenigsten Biolandwirte andere Biobetriebe in direkter Nachbarschaft. Nach Aussagen der Landwirte ist es somit in vielen Fällen eine Zusammenarbeit aufgrund der gegebenen Dichte an Biobetrieben unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll.

### **Rechtliche Rahmenbedingungen**

Im Bereich rechtliche Rahmenbedingungen ist vor allem das EEG zu nennen. Die Einspeisevergütungen dominieren die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Selbst für Bestandsanlagen wurden teilweise rückwirkende Änderungen beschlossen was deren Betrieb und die gesamte Investition gefährdet. Solche Änderungen wirken sich negativ aus und verunsichern Landwirte, potenzielle Kreditgeber sowie Anlagenbauer.

Doch auch andere Gesetze aus dem Bereich Umwelt- und Wasserschutz, sowie Sicherheitsauflagen führen immer wieder zu Neuerungen und damit oft zu teilweise sehr teuren Nachrüstungen. Zu den Pionierzeiten, in denen viele Biobetriebe vertreten waren, wurden die Anlagen oft als Güllelager abgenommen und von Landwirten selbst umgerüstet. Heute gibt es viele notwendige und sinnvolle Auflagen, doch einige sind für Großanlagen konzipiert und dort sicher nötig. Die Notwendigkeit für kleine Anlagen sollte nach Meinung einiger Interviewpartner allerdings überdacht werden, da diese Reihe von Auflagen und Anforderungen den Bau von kleinen Anlagen unverhältnismäßig teuer macht. Als Beispiel wurde das Verfahren in England genannt, wo es nach Auskunft eines Interviewpartners vereinfachte Bauweisen bei Kleinanlagen gibt.

Auch die Bioabfallverordnung wurde in manchen Bereichen als hinderlich genannt, sowie Auflagen von Veterinärämtern. So kann mancher Reststoff rechtlich in landwirtschaftlichen Biogasanlagen nicht genutzt werden, weil er als Bioabfall eingestuft wird, und somit andere Anforderungen an die Biogasanlage

gestellt werden. Hier sollte die jeweilige Notwendigkeit der Einsatzstoffe überprüft werden und rechtliche Unsicherheiten geklärt werden, um diese Materialien in der landwirtschaftlichen Biogasproduktion nach Möglichkeit nutzbar zu machen. Als Beispiel wurde hier Straßenbegleitgrün genannt.

Oft sind die Förderungen und Rahmenbedingungen schlecht verzahnt und erschweren damit eine sinnvolle Nutzung von Biomasse. Mit dem EEG wird die Landwirtschaft massiv beeinflusst ohne mit dem Agrarprogrammen abgestimmt zu sein. Ein Interviewpartner ergänzte, dass in manchen Naturschutzmaßnahmen eine Nutzung der anfallenden Biomasse in Biogasanlagen untersagt ist, so dass die Biomasse entsorgt werden muss.

Und auch die Vorgaben der Bioanbauverbände, die im Wesentlichen den Zukauf von konventionellem Material regeln, bzw. in naher Zukunft untersagen wollen, werden als Problem gesehen. In vielen Fällen wird eine Versorgung mit Biosubstraten als logistisch schwierig gesehen, da es im Umkreis um die Biogasanlagen oft nicht genug Biobetriebe gibt. Der Zukauf von biologischem Substrat ist auch eine Herausforderung für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage.

Die Auflagen der EU-Öko-VO und der Anbauverbände sind sehr komplex und oft gibt es hier nicht genau definierte Bereiche. Diese werden dann von Fall zu Fall verschieden ausgelegt. Oft sind die Auslegungen der EU-Öko-VO in den Bundesländern verschieden, was zu einer Verunsicherung der Betreiber und auch der potenziellen Biogasinteressenten führt. Nach Meinung vieler Interviewpartner sollte die EU-Öko-VO, sowie die Verbandsrichtlinien nicht in den aktuellen Bestand eingreifen, sondern sich auf neue Anlagen beschränken.

### **Beratung und Bildung**

Viele Landwirte scheinen gar nicht auf die Idee zu kommen, dass sie auf Ihrem Betrieb eine Biogasanlage nutzen könnten. Vielen sind die innerbetrieblichen Wirkungen der Biogasanlage nicht bekannt.

Landwirte sehen sich einer Vielzahl von Informationen zu Biogas gegenüber. Meist sind diese Informationen und Veranstaltungen jedoch auf konventionelle Strukturen angepasst. Da im Biobereich andere Rahmenbedingungen herrschen, ist auch der Informationsbedarf anders. Gerade bei der Wahl geeigneter Biogasanlagenkonzepte müssen Landwirte sich intensiv selbst informieren und

die Informationen kommen meist von Herstellern und sind damit nicht unabhängig. Die Anpassung einer Biogasanlage in einen Betrieb und die vorhandenen Substrate sind aufwändiger für einen ökologischen als für einen konventionellen Betrieb. Hier fehlt eine unabhängige Beratung, die speziell die Bedürfnisse der Biobauern berücksichtigt. Diese gibt es zwar allerdings mangelt es an Vernetzung zwischen Bioberatern und geeigneten Biogasberatern.

Die Bioberater haben oft nur wenig Wissen über Biogas, da es keine speziellen Berater für Biogas gibt, sondern sich einige Berater für Tierhaltung oder Ackerbau auch mit Biogas auseinandersetzen. Einige Interviewpartner hatten aber den Eindruck, dass die Bioberater zu wenig über die Wirkungen von Biogas wissen, um Biobetrieben dies zu empfehlen. Dabei müssen die Berater nicht alles abdecken können, sollten aber an Spezialisten verweisen können. Die persönliche Einstellung der Berater gegenüber Biogas spielt hier allerdings eine sehr große Rolle, da auch innerhalb der Verbände Biogas ein kontrovers diskutiertes Thema ist.

Auch bei Landwirten und Akteuren innerhalb der Verbände wird Biogas kontrovers diskutiert. Viele haben eine ablehnende Haltung, da nach deren Meinung die Langzeitwirkungen zu wenig erforscht sind. Die aktuelle Forschung kennen die Personen nur bedingt, hier gibt es noch Kommunikationsbedarf.

Biogas ist meist ein sehr emotionales Thema, daher haben viele Menschen schon eine vorgefertigte Meinung. Zu Informationsveranstaltungen kommen oft wenige Leute, und dies sind oft die Kritiker. Spezielle Informationsveranstaltungen zum Thema Biogas sind daher nur bedingt sinnvoll um über das Thema zu informieren, es sollte eher an vielen anderen Stellen thematisiert sein.

Die breite Öffentlichkeit dagegen ist durch Schlagzeilen wie „Vermaisung der Landschaft“ beeinflusst. Diese negative Berichterstattung führt zu der geringen Akzeptanz dem Thema Biogas gegenüber. Das Thema ist sehr emotional geladen und sachliche Diskussionen oft schwer. Hier besteht für Biogas allgemein und für BioBiogas erst recht ein großer Aufklärungsbedarf. Den ohne die Akzeptanz stoßen Biolandwirte bei Bauvorhaben auf sehr viele Widerstände und Kritik.

Viele der Biogasanlagen auf Biobetrieben stammen aus der Pionierzeit und sind selbst gebaute Lösungen. Die Betreiber sind meist mit viel Idealismus an den Bau der Anlage gegangen und haben viel Geld und Zeit investiert. Oft wa-

ren die Anlagen über Jahre unwirtschaftlich und brauchten hohen Betreuungsaufwand und Nachbesserungen. Dies schreckt viele Landwirte ab, da sie nicht so viel Zeit, Geld und Mühen in eine Biogasanlage stecken wollen, wie dies die Pioniere noch gemacht haben.

### **Persönliche Gründe**

Viele Biobauern haben, im Gegensatz zum konventionellen Landbau, mehrere Betriebszweige (Gemischtbetriebe) und vermarkten ihre Produkte direkt. Daneben bleibt oft nicht viel Zeit um sich mit der Option Biogas zu beschäftigen oder eine Anlage zu betreiben. Da am ehesten Kleinanlagen in Frage kommen, lohnt es sich nicht eine zusätzliche Arbeitskraft einzustellen, sondern der Betrieb der Biogasanlage muss neben den anderen Aufgaben erledigt werden, was zu einer enormen Arbeitsbelastung und Stress für den Landwirt führen kann.

Viele Biolandwirte wollen nach Meinung einiger Interviewpartner nicht expandieren. Sie wollen keine großen Kredite aufnehmen und unabhängiger bleiben. Viele lehnen die Möglichkeit zum „Energiewirt“ zu werden ab. Biogas muss sich als ein Betriebszweig in den Bioanbau einpassen, ohne die Lebensmittelerzeugung zu verdrängen. So kann es ein zusätzliches Standbein werden, nicht aber das einzige. Dieses wollen viele Biolandwirte nicht.

Ein Problem ist auch die ungeklärte Hofnachfolge, mit der Konsequenz, dass keine Investitionen für einen neuen Betriebszweig mehr getätigt werden. Dies dürfte aber auch im konventionellen Bereich ähnlich sein.

### **Technik**

Die eingesetzten Substrate im Ökolandbau stellen besondere Anforderungen an die Technik. Die Substrate sind faserreicher, der Erdeintrag ist höher und das Material hat meist eine geringere Gasausbeute. Nach Meinung vieler Interviewpartner gibt es die passende Technik um auch dies Material zu vergären. Allerdings sind die Investitionskosten für eine angepasste Anlage wesentlich höher als die für konventionelle Anlagen, da die Komponenten zumeist robuster ausgeführt oder speziell in kleiner Stückzahl für den ökologischen Landbau angepasst werden müssen. Eine oft benötigte längere Verweilzeit führt ebenfalls zu erhöhten Kosten beim Bau der Anlage.

Für Landwirte ist es schwer, die richtige Technik zu finden. Der Landwirt muss dazu Zeit haben und Lust, sich mit der Technik auseinander zu setzen. Biogasanlagenhersteller bieten oft nur größere Anlagen an, da sich kleine Anlagen für sie weniger rentieren. Hier sollten erfolgreiche Betriebskonzepte übertragen werden. Neue gesetzliche Anforderungen führen zum Teil zu neuen technischen Herausforderungen, in jeden Fall aber zu neuen Investitionskosten in Technik.

Es gibt die passenden Techniken für die Substrate im Ökolandbau (z.B. Hydrolyse, Vorstufe, Substrataufbereitung) doch die meisten bestehenden Anlagen haben diese aus Kostengründen nicht. Für Planer ist es aufwändiger die Technik auf die Betriebsgegebenheiten auf Ökobetrieben anzupassen. Oftmals wurden nicht passende Biogasanlagen an Landwirte verkauft, teilweise weil geeignete Technik erst im Laufe der Erfahrungen entwickelt wurde. Durch Errichtung technisch nicht optimaler Anlagen und daraus resultierende Probleme gerieten einige Betreiber in wirtschaftliche Schwierigkeiten. Diese Anlagen sind für andere Landwirte nun Negativbeispiele.

### **Wissens-/Forschungslücken**

Dieser Bereich wird sehr kontrovers gesehen. Humus, Bodenleben, Bodenstruktur und Bodenqualität sind im Ökolandbau wichtige Themen. Wissenschaftlich betrachtet, dürfte die (vernünftige) Biogasnutzung nicht zum Humusabbau führen, da Lignozellulose im Gärrest erhalten bleibt und das Wurzelwachstum stärker als die oberirdische Biomasse zur Humuswirkung beiträgt. Doch für viele Praktiker reichen diese „Theorien“ nicht aus und sie kritisieren, dass dem Boden in der ganzen Biogasthematik zu wenig Beachtung geschenkt wird und zu wenig Forschung betrieben wird. Für andere wiederum sind die Themen wissenschaftlich geklärt und sie bemängeln eher den Wissenstransfer in die Praxis.

Eine geeignete Methode zur Humusreproduktion im Ökolandbau, mit welcher die Wirkung der Biogaskülle abgeschätzt werden könnte scheint zu fehlen. VDLUFA ist nach Angaben eines Interviewpartners nicht geeignet. Zur Bestimmung der Auswirkungen auf den Dauerhumus wurde mehrfach eine wissenschaftliche Begleitung der Praxis gefordert. Hintergründe dürften neben mangelnden Dauerversuchen, schwere Finanzierbarkeit solcher Vorhaben und eine Sicherstellung der Praxisrelevanz sein.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird im Bereich der Technik- und Konzeptanpassung von der Biogaserzeugung an den Ökolandbau gesehen. Hier wurden Teilaspekte der Biogasanlagentechnik genannt, wie Verweilzeiten, Aufschlusstechnik (Vorbehandlungen, Enzyme), unterschiedliche Fermenterbiologie und Gasspeicherung für Regelenergieleistungen. Aber auch die Weiterentwicklung der ganzen Anlagenkonzepte, wie Weiterentwicklung von Kleinstanlagen, Optimierung der Reststoffnutzung, oder der saisonale Betrieb von Biogasanlagen, je nach Substratanfall. Desweiteren wurde Entwicklungsbedarf in der Ernte- und Ausbringtechnik gesehen.

Forschungs- und Kommunikationsbedarf besteht auch in betrieblichen Fragen wie der Fruchtfolgegestaltung mit Biogas und Auswirkungen der höheren N-Düngermengen, die laut Interviewpartner zu anderen Problemen (z.B. Unkräuter und Krankheiten) im Ökolandbau führen. Zudem wird gefordert die berichteten Mehrerträge durch die Biogasgülle wissenschaftlich zu klären. Eine Unterscheidung ist zudem zwischen Betriebe mit Biogasanlage und Substratlieferanten erforderlich, da die Wirkungen auf den Betrieb unterschiedlich sind.

Da im Ökobereich die Kompostierung einen hohen Stellenwert hat, wurden auch mehrfach Untersuchungen zum Vergleich und zur Kombination von Biogaserzeugung und Kompostierung angeregt.

Ein weiterer Punkt ist die Klimawirksamkeit, es gibt Bedenken, ob die Biogaserzeugung allgemein weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalente freisetzt als fossile Energieträger, da auf dem Feld oft auch ein erheblicher Energieinput durch Aussaat, Ernte, Bodenbearbeitung etc. stattfindet. Diese Bedenken treffen vor allem (konventionelle) Energiepflanzen. Hier wurden Leitfäden oder ähnliches gewünscht um eine positive Klimabilanz sicher zu stellen.

### **10.3 Handlungsempfehlungen**

Aufbauend auf der Literaturstudie, den Erkenntnissen der durchgeführten Interviews sowie teilweise den Ergebnissen der bearbeiteten Arbeitspakete wurden Handlungsempfehlungen entwickelt. Oftmals ist es nicht möglich, konkrete Maßnahmen detailliert zu benennen, da die Aussagen der Akteursbefragung auf einer allgemeineren Ebene formuliert wurden.

### **10.3.1 Forschung und Entwicklung**

Forscher und Praktiker fordern, die weitere Forschung und Entwicklung möglichst zusammen mit bestehenden Betrieben durchzuführen. Die Praxisforschung sollte diesen Sachverhalt berücksichtigen, um Betriebe in ihren Bemühungen wissenschaftlich zu begleiten und die gemachten Erfahrungen wissenschaftlich analysieren zu können. Gerade Biobetriebe - und besonders jene mit Biogasanlagen - stehen weiterhin vor zahlreichen ungelösten Fragen und sind gleichzeitig bereit an Lösungsansätzen mitzuarbeiten. Daher sollte die Zusammenarbeit mit geeigneten Praxisbetrieben möglich sein. So entsteht neben der Wissensgenerierung auch eine direkte bilaterale Wissensvermittlung vom Landwirt zum Forscher und umgekehrt.

#### **10.3.1.1 Potenzialermittlung**

Die hier erstellte Potenzialermittlung hat Daten auf Bundeslandebene genutzt. Eine genauere regionale Zuordnung ist aufgrund des Datenschutzes nicht möglich gewesen. Um genauere Aussagen über die mögliche Erfassung und Verwertung der anfallenden Biomasse zu treffen sind Daten auf Kreisebene nötig, oder besser mit Geografischen Informationen, um diese in Karten darstellen zu können. Dies macht insbesondere Sinn um einzelne Regionen als Biogasstandorte zu identifizieren. Die benötigten Daten sind beim Statistischen Bundesamt vorhanden, allerdings ist die Erstellung ein großer Aufwand und muss zur Sicherung des Datenschutzes vom Bundesamt durchgeführt werden.

#### **10.3.1.2 Gemeinschaftsanlagen**

Gemeinschaftsanlagen haben eine Reihe von Vorteilen. Investitionskosten und Arbeitsaufwand werden geteilt, es ist mehr Substrat verfügbar, die Anlage ist besser ausgelastet und die Landwirte können Erfahrungen austauschen. Doch bei Kooperationen gibt es immer auch Herausforderungen. Die Forschung sollte Konzepte für Gemeinschaftsanlagen sammeln, vergleichen und weiterentwickeln. Wie funktionieren Gemeinschaftsanlagen? Welche Konzepte gibt es, welche Geschäftsform ist passend? Was muss juristisch geklärt werden? Wie sind die Nährstoffflüsse für die teilnehmenden Betriebe? Hier sollte Wissen zusammengetragen und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Dies betrifft nicht nur Landwirte, sondern auch Kooperationen mit finanzstärkeren Partnern, wie Stadtwerken, Kommunen, Stromversorgern, (großen) Strom-

oder Gasabnehmern, Bioenergiedörfern und -regionen können vielversprechend sein. Solche Kooperationen erscheinen geeignet, das Risiko für Landwirte und zukünftige Investitionen zu minimieren, indem die Kosten bzw. das unternehmerische Risiko auf verschiedene Akteure verteilt würde.

Die Impulse für BioBiogas sollten auch an außerlandwirtschaftliche Akteure gegeben werden, um eine Nachfrage für BioBiogas zu schaffen. Somit leitet sich die Empfehlung ab, diese Kooperationsformen im Rahmen weiterer F&E-Projekte näher zu untersuchen und die Beratung sowie die Kommunikation stärker auf diesen Sachverhalt abzustimmen. Darüber hinaus bedarf es viel Vernetzungsarbeit, Öffentlichkeitsarbeit und Beratung um die richtigen Akteure zusammen zu bringen.

### **10.3.1.3 Technik**

Als ein wichtiger Hinderungsgrund wurde die Struktur im Ökolandbau identifiziert. Biobetriebe haben meist weniger Tiere, halten diese mit Weidegang und nutzen aus ökonomischen Gründen Reststoffe, die faserreicher sind. Zur Vergärung dieser Substrate ist eine Übertragung der Technik aus dem konventionellen Bereich oft nicht erfolgreich. BioBiogasanlagen brauchen daher eine angepasste Technik. Diese muss auf einen höheren Trockensubstanz- und Fasergehalt abgestimmt sein und kleiner dimensioniert sein, um die Reststoffe von einem bzw. mehreren Höfen verwerten zu können. Daher ist die Empfehlung abzuleiten, offene Fragen der Verfahrenstechnik mittels Forschungs- und Erprobungsvorhaben weiterzuentwickeln, damit baldmöglichst geeignete Verfahrenslösungen vorliegen.

Manche Landwirte und Planer berichten über gute Erfahrungen mit Trockenfermentation. Dies erscheint als interessante Lösung, da Investitionskosten niedriger ausfallen können, trockenes Substrat transportwürdiger ist und somit Betriebskooperationen in einem etwas größeren Radius gesucht werden können. Doch die Emissionen bei den verschiedenen Verfahren (kontinuierlich oder diskontinuierlich) sollten bestimmt werden. Es besteht der Nachteil, dass einige Verfahren mit hohen Methanemissionen verbunden sind (besonders bezüglich Substratwechsel) und somit die Klimagasbilanz fragwürdig ist. Hier sollte nach emissionsarmen Varianten gesucht werden.

Bei Flüssig-, wie auch bei Festfermentationsverfahren, sollten Möglichkeiten gesucht werden, die Biogasanlage saisonal zu betreiben, um den Betrieb an das ohnehin vorhandene Substrat und/oder an den Wärmebedarf auszurichten.

Beispielsweise könnte im Winter mehr Substrat vergoren werden als im Sommer. Dies hätte im Ökobereich gleich mehrere Vorteile: die Tiere sind im Winter im Stall, es fällt mehr Gülle/Festmist an, und gleichzeitig ist der Heizbedarf in Gebäuden höher.

Aufgrund des mangelnden räumlichen Zusammenhangs von Biobetrieben sollten Anlagenkonzepte für Kleinanlagen weiterentwickelt werden. Diese müssen wirtschaftlich sein, Emissionen einsparen können und für die Substrate im Ökolandbau passend sein. Zudem sollten sie nicht nur güllebasiert sein (diese Anlagen werden schon erfolgreich betrieben) sondern auch auf Basis von pflanzlichen Reststoffen betrieben werden können.

In den Interviews wurden weiterhin auch verbesserte technische Verfahren zum verbesserten Aufschluss der Substrate gewünscht. Als Beispiele wurden Prozessoptimierung wie z.B. der Einsatz von Enzymen und Hilfsstoffen bzw. eine längere Verweilzeiten genannt. Es sollte auch an der Optimierung der Ernte-technik (z.B. Häcksel) und der Sorten gearbeitet werden.

#### **10.3.1.4 Ökologie**

Ein Ziel in der Forschung und Entwicklung sollte die Reduzierung von Emissionen beim Biogasprozess sowie der vor- und nachgelagerten Prozesse sein. Hier sollten die Fruchtfolge, die Bodenkohlenstoffgehalte, die Gärrestausbringung sowie der Methanschupf bei der Biogasanlage und dem BHKW weiter untersucht und optimiert werden. Eine ungeklärte Forschungsfrage ist ob und wenn ja, wie Humusbilanzierungen in Klimagasbilanzierungen aufgenommen werden können. Weiterhin gibt es auf Europäischer Ebene Bemühungen den Sachverhalt der indirekten Landflächennutzungsänderungen (iLUC) methodologisch in LCAs mit abzudecken. Zu diesen Themen gibt es weiterhin einige offene Forschungsfragen.

Hinweis: Handlungsempfehlungen bezüglich eines möglichst klimaschonenden Betriebs von Biogasanlagen sind im Kapitel 9.1.8 dargestellt worden.

Der Einfluss des Gärrestes, bzw. des Biogassystems auf die Bodeneigenschaften, den Humusgehalt und die Biodiversität wurde bisher nur ungenügend erforscht. Versuche auf Grundlage von konventionellen Betriebssystemen können nur bedingt übertragen werden. Im Biobereich wurden einige Untersuchungen angefertigt, doch ist der Untersuchungszeitraum meist zu kurz, um die

Langzeitwirkungen abschätzen zu können. Da Veränderungen im Humusgehalt sehr langsam vonstattengehen, sollten hier Dauerversuche angelegt werden und bestehende Versuche weitergeführt werden.

Weitere Eigenschaften der Biogasanlage auf den Betrieb sollten in Praxisbetrieben untersucht und geklärt werden, z.B. der Einfluss der Vergärung bzw. des Biogassystems auf Weideparasiten.

### **10.3.1.5 Systemgedanke und Ökonomie**

Der Ökolandbau exportiert durch den Verkauf von landwirtschaftlichen Produkten (im wesentlichen Lebensmittel) permanent Nährstoffe aus dem Betriebskreislauf. Stickstoff kann durch Leguminosenanbau dem Kreislauf zugeführt werden. Viele andere Nährstoffe verlassen aber mit den Agrarprodukten das System und die Böden laugen langfristig aus. Die Forschung sollte Fragen des Nährstoffimports via Biogasanlagen in den Ökolandbau weiter untersuchen. Hier sollten nicht nur ökologisch erzeugte Produkte Anwendung finden, sondern auch außerlandwirtschaftliche Reststoffe wie Landschaftspflegematerial, Reststoffe der Lebensmittelverarbeitung, Mistanfall aus der Hobbyhaltung (bspw. Pferde). Urbane Reststoffe wie Bioabfall, Klärschlamm, Grünschnitt von öffentlichem Grün sollten ebenfalls bedacht werden. Zugleich sollte deren Eignung zur Biogaserzeugung mit anschließender Düngung geprüft werden.

Für den Ökolandbau spielt die Fruchtfolge eine zentrale Rolle. So werden mit Vorfrüchten Unkraut, Schädlinge und Krankheiten reguliert. Hierauf sollte in der Forschung und Entwicklung von neuen „Biogasmischungen“ geachtet werden. So haben beispielsweise Wildkräutermischungen zwar positive Eigenschaften auf die Biodiversität und Bodenruhe. Aber wie sich die Fruchtfolge auf die nachfolgenden Ackerfrüchte auswirkt, ist weitgehend (nach Aussage der Interviewpartner) unbekannt. Pflanzen für die Biogasanlage sollten möglichst immer einen anderen Nutzen haben als nur die Erzeugung von Biogas. Weitere fruchtfolgerelevante Ziele können die Bodenverbesserung, die Stickstofffixierung, die Flächensanierung, die Unkrautwirkung, die Biodiversität, der Naturschutz und die gezielte Nützlingsvermehrung sein. Hier besteht vielfach Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die Wirkungen der Biogasanlage auf das gesamte System sollten gründlicher untersucht werden. Praktiker berichten von Mehrerträgen, wobei diese Aussage weiter wissenschaftlich abgesichert und begründet werden sollte. Auch

die damit einhergehenden Eigenschaften sollten untersucht werden: Wie verändert sich die Pflanzengesundheit bei steigenden Erträgen? Wie ändern sich Empfehlungen zum Nährstoffmanagement, Fruchtfolgegestaltung und Pflege der Kulturen? Die in der Praxis beobachteten Mehrerträge sollten nicht nur wissenschaftlich abgesichert, sondern auch wirtschaftlich betrachtet werden. Interne Effekte der Biogasanlage müssen weiter erforscht und schließlich auch quantifiziert werden, um diese in Wirtschaftlichkeitsanalysen einfließen lassen zu können. So kann der Mehrwert der Biogasanlage auch ökonomisch deutlich gemacht werden.

Die Ergebnisse der Anlagenökonomik (Kapitel 8.1) zeigen, dass unter den aktuellen politischen Rahmenbedingungen des EEG 2014 in der ökologischen Biogasproduktion keine nennenswerten Neuinvestitionen zu erwarten sind (Ausnahme: Gülle-Kleinanlagen). Wichtiger erscheint daher die Optimierung bestehender Anlagen im Ökolandbau hinsichtlich der verbesserten Ausnutzung der innerbetrieblichen Potenziale. Erst eine gesamtbetriebliche Sichtweise und eine systemorientierte monetäre Bewertung der Biogaserzeugung auf Ökobetrieben stellen eine ganzheitliche Sichtweise aller ökonomisch relevanten Parameter dar und ergänzen in sinnvoller Weise die herkömmlichen, meist isoliert durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Biogasanlagen auf Ökobetrieben.

Aus Sicht der Autoren ergeben sich hieraus folgende Handlungsempfehlungen:

- Für Ökobetriebe mit Bestandsanlagen bedeuten die hier gewonnenen Erkenntnisse einer zusätzlichen Wertschöpfung des Gesamtbetriebs durch eine integrierte Biogaserzeugung, dass verstärkt auf die Ausnutzung dieser Potenziale geachtet werden sollte. Konkret bedeutet dies, insbesondere Nährstoffverluste durch die Vermeidung von Gasverlusten im Biogasprozess, N-Verluste bei der Ausbringung (auf geeignete verlustarme Ausbringtechnik zurückgreifen) und das Fruchtfolgemanagement (Stellungen der Früchte in der Fruchtfolge, Einbezug neuer Früchte, Vermeidung von Auswaschungsverlusten z.B. durch Zwischenfruchtanbau) zu unterbinden.
- Bei der Planung neuer Biogasanlagen sollte das theoretisch mögliche zusätzliche Wertschöpfungspotenzial in die Planungsrechnung mit einbezogen werden. Grundsätzlich wird bei der Finanzierung (u.a. bei der Kreditvergabe) neuer Biogasanlagen auch weiterhin die Rentabilität der Biogasanlage an sich im Vordergrund stehen (müssen). Dennoch könnte gerade in den Grenzbereichen der Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage die Berücksichtigung zusätzlicher monetärer Effekte den Ausschlag für eine positive Beurteilung der Investition im Hinblick auf die Rentabilität des gesamten

(landwirtschaftlich und bioenergetisch ausgerichteten) Unternehmens geben.

### **10.3.2 Politik**

Insgesamt sollte das „Gesamtpaket“ der bestehenden politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen dahingehend überprüft werden, wie die Konditionen für eine nachhaltige Biogaserzeugung verbessert werden können. Durch eine Anpassung von Gesetzen sowie deren konsequente Umsetzung könnte eine Ökologisierung der gesamten Biogasbranche erfolgen und Synergien genutzt werden (bspw. Düngeverordnung, Naturschutzgesetz, Bodenschutzgesetz, Cross-Compliance-Regelungen, Gemeinsame Agrarpolitik etc.).

Der Bestandsschutz bereits ans Netz angeschlossener Anlagen muss insbesondere bezüglich des EEG beachtet werden (bei neuen Gesetzen und Richtlinien sowie Anpassungen). Die politischen Rahmenbedingungen müssen verlässlich und Förderungen langfristig kalkulierbar sein. Ein häufiges Ändern von Gesetzen und Förderungen verunsichert Investoren (Landwirte), die infolge dessen nicht bereit sind, die hohen Investitionen zu tätigen. Auch Banken bzw. Kreditgeber würden durch Eingriffe in den Bestandsschutz verunsichert, so dass sich daraus Probleme bei der Finanzierung entsprechender Vorhaben ergäben.

#### **10.3.2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen**

An dieser Stelle sollen zunächst keine konkreten Maßnahmen, sondern stattdessen übergeordnete Handlungsbereiche genannt werden. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Bereiche ist in einem nachgelagerten Schritt bzw. von entsprechenden Organisationen zu leisten.

- Die besondere ökologische Vorteilhaftigkeit reststoffgeführter Biogasanlagen führt zu der Überlegung, ob nicht gerade im Bereich kleiner Hofbiogasanlagen von politischer Ebene zusätzliche finanzielle Anreize geschaffen werden sollten, einen wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen zu ermöglichen. Neben dem (nach den Vergütungssätzen des EEG 2014 möglichen) Betrieb kleiner Gülle-Hofbiogasanlagen wäre es dann auch möglich, ökologisch nachhaltige Hofbiogasanlagen mit höheren Anteilen pflanzlichen Materials (Reststoffe!) zu betreiben. Hiervon würde die ökologisierte Biogasproduktion, wie sie weitgehend in BioBiogasanlagen vorzufinden ist, besonders profitieren.

- Die Förderung auch von kleinen Biogasanlagen sollte verbessert werden, da diese besser zur Struktur von Biobetrieben passen. Zugleich soll aber für reststoffbasierte Klein-Biogasanlagen wieder die Möglichkeit geschaffen werden, diese durch verbesserte EEG-Vergütungen wirtschaftlich mit pflanzlichen Reststoffen zu betreiben. Ohne diese erforderliche Verbesserung können die Reststoffe (Klee gras, Landschaftspflegematerial, Wiesen gras etc.) kaum wirtschaftlich genutzt werden.
- Biogasanlagen, insbesondere diejenigen, die mit einem hohem Gülleanteil betrieben werden, tragen dazu bei, große Mengen an Klimagasemissionen zu vermeiden (Reduzierung von Methanemissionen aus der Güllelagerung und Substitution fossiler Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung (siehe Kapitel 9). Da Gülle dezentral in vielen Höfen anfällt, aber aufgrund des hohen Wassergehaltes nur begrenzt transportwürdig ist, sollten die Förderbedingungen insbesondere auch den Zubau kleinerer Anlagen befördern. Empfehlung: Es sollten attraktive Förderbedingungen speziell für Güllebehandlungsanlagen erhalten bzw. geschaffen werden, die auf die Struktur kleiner- und mittlerer Bio-Betriebe angepasst sind.
- Die Tarife des EEG 2014 sind so definiert, dass pflanzenbasierte Biogasanlagen nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können. Diese Regelung wurde geschaffen um die Kostensteigerung der EEG Umlage zu bremsen und um den weiteren Ausbau von Nawaro auf Ackerflächen zu stoppen. Ein Nebeneffekt ist jedoch, dass der Betrieb von Biogasanlagen genau in der Sparte, wo sie besonders hohe positive Effekte hätten, verhindert wird. Es wird von viehlosen Biobetrieben oft berichtet, dass über längere Zeit deren Ernteerträge nachlassen. Biogasanlagenbetreiber auf viehlosen Bio-Betrieben berichten, dass nur aufgrund des Betriebs der Biogasanlage dieser Hof weiterhin zu betreiben ist. Daher gilt es viehlos wirtschaftende Biobetriebe dadurch zu stärken, indem diese durch entsprechende Rahmenbedingungen wieder in die Lage versetzt werden, wirtschaftlich rentabel eine Biogasanlage zu betreiben.

Konkret bedeutet dies:

- In einem neuen EEG sollte eine neue Tarifgruppe „Biogasanlagen im Ökolandbau“ geschaffen werden, die eine wirtschaftliche Biogaserzeugung für Biobetriebe ermöglicht. Hier gilt es Kleinanlagen auf Biobetrieben, die auf Reststoffbasis betrieben werden, stärker zu berücksichtigen, indem letztlich die Umweltleistungen besser honoriert werden. Dies bedeutet eine attraktive Förderung von Klee gras, LPfM, Blümmischungs-Biomasse bzw. Reststoffnutzung in Form eines Bonus für ökologischen Anbau (BioBonus). Hier

sei auch auf die zahlreichen Stellungnahmen der verschiedenen Organisationen zum EEG 2014 verwiesen, besonders auf die Stellungnahme von Bioland und Naturland (Bioland & Naturland (Hrsg.) 2014b).

- Neben dem EEG sollten zugleich andere Förderinstrumente verbessert werden. Denkbar wäre es, Anreize beispielsweise durch vergünstigte Investitionskredite oder mittels Investitionsbeihilfen zu schaffen gegenüber der bisherigen Option, die primär auf die Steuerung durch die EEG-Einspeisevergütungen aufbaut.
- Förderungsinstrumente für die Biogaserzeugung sollten zukünftig berücksichtigen, dass eine saisonale Wärmenutzung bei Biogasanlagen stärker fokussiert wird. Da der Wärmebedarf in Deutschland im Winter enorm ist, könnten wärmegeführte Biogasanlagen eine attraktive Variante darstellen (Biogasnutzung zu Wärmezwecken, Strom eher als Nebenprodukt, würde bedeuten, dass BGA im Winter verstärkt betrieben werden und im Sommer zurückgefahren werden). Solche Konzepte existieren bereits, sollten aber noch auf verschiedene Faktoren, wie Emissionen, Gesamtenergieertrag etc. geprüft und in entsprechenden Förderinstrumenten berücksichtigt werden.
- Bioabfall-Verordnung: Die derzeit bestehende Benachteiligung hinsichtlich der Einstufung bestimmter Reststoffe, die für die Verwendung in BioBiogasanlagen relevant erscheinen, sollte dringend überprüft und möglichst korrigiert werden. Dies gilt bspw. für Reste aus Hofläden oder hinsichtlich der Verwendung von Straßenbegleitgrün. Eine Einstufung als Bioabfall bedeutet eine wesentlich aufwändigere Behandlung im Biogasprozess bzw. in einem weiteren Prozessschritt. Hier sollte geprüft werden, wo die Einstufung als Bioabfall nötig ist bzw. wo evtl. Abstufungen oder Vereinfachungen vorgenommen werden können, um Reststoffe effektiver nutzen zu können und Klarheit für Landwirte und Biogasanlagen-Betreiber zu schaffen.
- Insgesamt sollte im Rahmen der Agrarpolitik daran gearbeitet werden, den Umfang der Biobetriebe baldmöglichst zu erhöhen, um somit mehr Fläche für eine nachhaltige BioBiogasproduktion zur Verfügung zu stellen. Die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung formuliert als Ziel, dass 20 % der Ackerfläche im Rahmen des ökologischen Landbaus bewirtschaftet werden; im Jahr 2014 betrug der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche in Deutschland lediglich 6,3 Prozent. Das Projektteam empfiehlt, das im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie gesteckte Ziel, 20 Prozent der Agrarfläche in Deutschland auf Biolandbau umzustellen, ernst zu nehmen und zielführende politische Maßnahmen zu unternehmen.

### 10.3.2.2 Verbände

Für die Verbände in der Biobranche sind ebenfalls Empfehlungen abzuleiten, die sich an den vorgenannten Punkten orientieren:

- Die Anbauverbände tragen die Verpflichtung, auf die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen zu reagieren und ihre Richtlinien ggf. anzupassen.
- Zudem sollten die Richtlinien geklärt und ggf. angepasst werden, um evtl. Unregelmäßigkeiten zu beseitigen. So sollten in den Verbandsrichtlinien beispielsweise der Substratzukauf für eine Biogasanlage ähnlich wie der Zukauf von Dünger geregelt werden, da Zukauf von Substraten prinzipiell auch dem Düngerzukauf gleichzusetzen ist.
- Um den Ökolandbau in Zukunft auch nachhaltig zu gestalten, sollten Reststoffe stärker genutzt werden. Somit sollten die Verbände die Möglichkeit eröffnen, Bioabfall, LPfM, bestimmte Klärschlämme und anderen Reststoffen zu verwenden, um die durch den Verkauf von landwirtschaftlichen Produkten entstehenden Nährstoffverluste zu kompensieren.
- Zudem können die Verbände in ihrer Arbeit versuchen, Akzeptanz für das Thema Biogas zu schaffen. Hier sollten Forschungsergebnisse und Erfahrungen von Landwirten in Medien und Veranstaltungen kommuniziert werden. Biogas sollte unter anderem beim Thema Nährstoffmanagement und Nachhaltigkeit Beachtung finden.
- Die Bioverbände sollten mit weiteren Verbänden (Naturschutz, Landschaftspflege, Verbände im Bereich Erneuerbare Energien etc.) verstärkt zusammenarbeiten, um das Thema BioBiogas in der politischen Arbeit sowie in der Öffentlichkeitsarbeit besser abzustimmen.
- Die Listung von Produkten in der Betriebsmittelliste für die ökologische Erzeugung gibt Landwirten die Sicherheit, dass diese im Ökolandbau eingesetzt werden dürfen und die Nutzung mit den Prinzipien des Ökolandbaus vereinbar ist. Aktuell sind in der Referenzliste bislang nur wenige Zusätze für die Biogasproduktion gelistet. Diese Listung sollte weiter ausgebaut werden, um den Biogaserzeugern Sicherheit zu geben, dass die von ihnen eingesetzten Produkte biokonform sind.

### 10.3.3 Beratung und Wissenstransfer

Die Beratung im Bereich Biogas erscheint noch ausbaubedürftig. Beispielsweise sollten Vernetzungsmaßnahmen stattfinden, damit sich Bioberater, die Biogasanlagen beraten, austauschen können, und alle Berater wissen, wer im Bereich Biogas Erfahrungen mit Technik, rechtlichen Rahmenbedingungen und Auflagen sowie Systemeffekten hat und von Landwirten evtl. direkt angesprochen werden kann. Die spezielle Biogasberatung kann auch von Beratern außerhalb der Biobranche geleistet werden, da es durchaus dort auch Berater gibt, die sich mit Biobetrieben oder vergleichbaren Betrieben und den biotypischen Substraten beschäftigen. Hier bedarf es einer Vernetzung der Bioberatung und der Biogasberatung. Die Bioberatung oder die Biogasberatung sollte Kooperationsmöglichkeiten erkennen können und die ersten Schritte mittels Vernetzung unterstützen können.

In den Interviews wurde eine Art Leitfaden gefordert, der in der Beratung bzw. Praxis zur Beurteilung und Verbesserung von Biogassystemen in Bezug auf die Nachhaltigkeit bzw. die CO<sub>2</sub>-Einsparung genutzt werden kann. Hintergrund ist die Debatte, ob Biogas nachhaltig betrieben werden kann und ob bzw. wie damit wirklich CO<sub>2</sub> eingespart wird. Hier sind sich viele Akteure durchaus bewusst, dass Biogas nicht per se einen positiven Einfluss hat, sondern es vielmehr auf das „wie“ ankommt.

Regionale Netzwerke (z.B. Maschinenringe) können beratend unterstützen und Raum für Austausch der Mitglieder schaffen, sowie bei der Suche der geeigneten Technik helfen. Auch im Betrieb der Anlage können hier anfallende Aufgaben und Probleme gebündelt angegangen werden (siehe auch 10.3.5 Marktentwicklung)

Der Wissenstransfer sollte nicht nur von der Forschung zur Praxis (top-down) geschehen, sondern es sollte im Dialog geforscht werden. So können Praktiker in die Forschung einbezogen werden und der Wissenstransfer verbessert werden. Da Landwirte oft innovativ sind und zugleich die Probleme der anderen Landwirte kennen, sollte der Wissensaustausch im Bereich BioBiogas gestärkt werden. So können Landwirte mit Biogasanlagen ihre Strategien verbessern und Synergien nutzen. Dies sollte nicht nur verbandsintern geschehen, sondern gerade in den Regionen mit einer geringen Biogasdichte auch über Verbandsgrenzen hinweg.

Die Biogastechnik wurde durch langjährige Erfahrungen sehr gut entwickelt und es gibt eine Vielzahl an Komponenten auf dem Markt. Allerdings erscheint der Markt den meisten Befragten zu unübersichtlich zu sein. Hier bedarf es einer Bündelung an Informationen zu Technik und Möglichkeiten, welche für die (eher kleinen) Biobetriebe passend sind und wie diese umgesetzt werden können. In diesem Zusammenhang spielen auch Demonstrationsanlagen eine große Rolle. Dafür sollten möglichst viele Praxisbetriebe vernetzt werden und interessierten Landwirten als Ansprechpartner zur Seite stehen. So können diese sich die Technik ansehen und Erfahrungswerte einholen.

Für die Nutzung von Biogas bestehen mehrere Möglichkeiten. Für den Biobereich sollte hier nach geeigneten Verfahren gesucht werden, welche Alternativen auch auf (kleineren) Biobetrieben umsetzbar sind. Die Nutzung als Treibstoff war für viele der befragten Landwirte interessant, genauso wie die Regenergiebereitstellung und die Gasaufbereitung und –einspeisung ins öffentliche Gasnetz. Da sich in diesen Bereichen durch die EEG Novellierungen vieles geändert hat und neue Möglichkeiten entstanden sind, bedarf es auch eines enormen Wissenstransfers um die Landwirte zu ihren Möglichkeiten zu informieren.

Für die Landwirte sind (nach Erfahrungen der Interviews) besonders die folgenden Themen von Interesse: Vorfruchtwert der (Energie)Pflanzen, Trockenfermentation, Pflanzengesundheit, Humus- und Bodenwirkung, Wirtschaftlichkeit.

Die vorhandenen und kommenden Forschungsergebnisse sollten verstärkt kommuniziert werden um Berater und Landwirte zu erreichen. Laut einiger Interviewpartner sei dies in den letzten Jahren nur ungenügend geschehen.

Für einen erfolgreichen breiten Wissenstransfer sollte, nach Meinung einiger Interviewpartner, das Thema Biogas nicht gesondert in Artikeln und Veranstaltungen betrachtet werden. Vielmehr sollte Biogas dort kommuniziert werden wo es neben anderen Methoden thematisch passt, etwa bei der Nährstoffversorgung in Ackerbetrieben, bei dem Thema Energieeinsparung etc.

Des Weiteren waren einige Akteure davon überzeugt, dass es herstellerunabhängige Projekte braucht, die Wissen zusammentragen und den Austausch zwischen den Landwirten und Beratern im Bereich Bioanbau und Biogas ermöglichen. Hier wurde das aktuelle Projekt als positives Beispiel gelobt.

### 10.3.4 Image von Biogas, Öffentlichkeitsarbeit

Durch ein teilweise negatives Bild der (konventionellen) Biogasnutzung in der Bevölkerung sind auch die Biolandwirte betroffen. Um Biogasanlagen zu verwirklichen oder auch Kooperationspartner außerhalb der Landwirtschaft zu finden, müssen Biolandwirte viel Aufklärungsarbeit leisten. Dies ist oft mühsam, kostet viel Zeit und ist teilweise mit Konflikten verbunden. Oft scheitern Vorhaben aber schon zu Beginn an der fehlenden Akzeptanz. Es kann nicht hauptsächlich die Aufgabe der Landwirte sein, die Akzeptanz für BioBiogas zu schaffen, sondern diese Aufgabe muss breiter getragen sein. Insbesondere sind die spezifischen Vorteile des BioBiogasansatzes stärker herauszustellen, um somit eine bessere Akzeptanz zu erreichen. Daher ist grundsätzlich ein wirkungsvoller Kommunikationsansatz gefordert, der sich dieser Problematik annimmt.

Ferner sollten die Möglichkeiten verbessert werden, wonach sich Bürger in einer bestimmten Region an Biogasanlagen beteiligen können, um somit auch einen konkreten Nutzen aus einer Anlage zu ziehen. Gemeinschaftsanlagen sollten stärker unterstützt und gefördert werden, um die Biogastechnologie auch für kleine Betriebe nutzbar zu machen. Hier können auch Betreibermodelle zusammen mit außerlandwirtschaftlichen Investoren angedacht werden. So können Maschinenringe, Bauernverbände, Stadtwerke bzw. Energiehändler einen Teil der Investitionssumme übernehmen und die Anlage gemeinsam betreiben. In dieser Weise liegt das finanzielle Risiko nicht nur bei einzelnen Landwirten. Durch die Einbindung der Bevölkerung vor Ort ist die Akzeptanz gegenüber Biogasanlagen und evtl. auftretenden Unannehmlichkeiten höher.

Um wieder ein besseres Image der Biogaserzeugung in der Allgemeinheit zu erreichen, ist es wichtig die Nachhaltigkeit in der Erzeugung darzustellen bzw. diese an manchen Stellen zu verbessern. Es sollten bei der Erzeugung der Substrate Flächenkonkurrenzen vermieden werden und Reststoffe genutzt werden, sowie Pflanzen mit anderem positiven Nutzen für die Umwelt angebaut werden. Dies sollte so auch in den Medien kommuniziert werden. Das ist zum Beispiel mit Blühpflanzenmischungen geschehen und hat viele Menschen erreicht. Die energetische Nutzung von Reststoffen wie Gülle wird von vielen Menschen positiv gesehen. Die positiven Beispiele sollten auch auf Klee gras und andere Reststoffe ausgedehnt werden. Dafür sollten unter anderem Meinungsführer identifiziert werden und mit Ihnen zusammengearbeitet werden.

Im Biobereich sind die Meinungen zu Biogas gespalten, manche sind sehr überzeugt, andere haben große Vorbehalte. Bei vielen resultiert diese Meinung

aus den Massenmedien, die sich meist auf die konventionelle Biogaserzeugung beziehen. Die Kommunikation über Biogaserzeugung im Ökolandbau sollte gefördert werden und offene Fragen, die zu (teilweise berechtigter) Skepsis führen sollten geklärt werden. Zu den relevantesten offenen Themen zählen aus Sicht der Landwirte unter anderem zwei Aspekte: Was bringt es (Mehrertrag auf dem Feld und finanziell) und was passiert im Boden?

Die meisten interessierten Landwirte haben sich mittlerweile über Möglichkeiten der Biogasnutzung informiert. Allerdings gibt es in den Verbänden und bei vielen Akteuren noch Vorbehalte. Hier muss erst eine Akzeptanz für das Thema geschaffen werden, damit die BioBiogasanlagenbetreiber auch innerhalb der Branche Rückhalt erfahren.

Desweiteren sollten auch Landwirte mit BioBiogasanlagen stärker in die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen werden. Vorbildliche Landwirte können ihre Betriebe für die Öffentlichkeit zugänglich machen, damit diese sich selbst ein Bild von der Biogaserzeugung machen kann. Hier sind Schul- oder Kindergartenaktionen denkbar, aber auch Tage der Offenen Tür, Thementage, Führungen oder Ferienprogramme. Hierzu sollten die Landwirte vernetzt werden, sich austauschen können und professionelle Unterstützung in der Vorbereitung der Veranstaltungen haben sowie Hilfe bei der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit erhalten.

### **10.3.5 Marktentwicklung**

Um den weiteren Ausbau an Biogasanlagen auf Biobetrieben zu unterstützen, könnte den Landwirten durch eine Marktübersicht von unabhängigen Stellen geholfen werden. Der Biogas Markt hat sich sehr gut entwickelt und es gibt auch viele Anlagentypen und –konzepte die für den Biobereich passend sind, doch bekommen die Landwirte diese Infos nur von Anlagenherstellern, deren Hauptinteresse das Verkaufen ist. Denkbar wären eine unabhängige Beratung sowie eine verstärkte Vernetzung von Biogasanlagenbetreibern (mit unterschiedlichen Konzepten) mit interessierten Landwirten.

Ein Potenzial für den weiteren Ausbau von Biogas auf Biobetrieben liegt in den Zusammenschlüssen von verschiedenen Akteuren. So bieten Kooperationen auch kleineren Betrieben die Möglichkeit Biogas wirtschaftlich zu erzeugen. Hierfür sollten Kooperationen politisch und in der Beratung gefördert werden. Erzeugerkooperationen bieten für die Landwirte einige Vorteile, da viele Arbeiten, Maschinen sowie Wissen geteilt werden können. So kann der Zusammenschluss nach einer oder mehreren geeigneten Biogasanlagenkonzepten bzw.

Herstellern suchen, Geräte können zum Teil gemeinschaftlich angeschafft werden, und Ersatzteile können ausgetauscht werden. Auch in der Administration können sich Landwirte gegenseitig helfen, bzw. kann eine Kooperative dies zentral regeln. Gerade bei baugleichen Anlagen ist der mögliche Erfahrungsaustausch hoch. Aber auch auf der Vermarktungsseite können so Vorteile entstehen. Wärmekonzepte oder Gasleitungen können gemeinsam geplant und umgesetzt werden, ebenso alternative Vermarktungsmöglichkeiten, wie regionale Stromaufpreismodelle.

Ein Beispiel dazu hat uns ein Interviewteilnehmer näher erläutert: Ein Maschinenring hat zusammen mit einigen Betriebsleitern einen Arbeitskreis zum Thema Biogas organisiert und dort ein Anlagenkonzept entwickelt. Nach diesem Konzept sind über 10 Biogasanlagen in der nahen Umgebung gebaut worden. Diese sind baugleich, dadurch konnten die Baukosten und der organisatorische Aufwand niedrig gehalten werden und der Wissensaustausch zwischen den Betriebsleitern zu Problemen der Anlage ist hoch. Der Maschinenring unterstützt die Betriebe auch bei der Anlagenprüfung und bei Problemen. Administrative Aufgaben können gebündelt werden.

Auf der Vermarktungsseite können Kooperationen ebenfalls sehr attraktiv sein. Dies kann zusammen mit Stadtwerken, Energieunternehmen, Energieverbrauchern oder Öffentlichen Trägern geschehen. Hier sind viele weitere Optionen denkbar und werden auch praktiziert. Ein Überblick über die Möglichkeiten und die Verbreitung von Beispielfällen wäre hier sicherlich hilfreich.

Auch Vermarktungsalternativen sind für den Biobereich spannend. Wenn der Mehrwert von ökologischem Biogas vermittelt werden kann, finden sich durchaus Kunden die dies auch honorieren z.B. durch Aufpreismodelle (z.B. BUND Regionalstrom) oder der Stromverkauf mit Herkunftsnachweisen (wie im Grünstrom-Markt-Modell angedacht, siehe <http://www.gruenstrom-markt-modell.de>).

Ein erfolgreiches Beispiel für ein Aufpreismodell ist das Projekt „BUND Regionalstrom“. Die Kunden zahlen einen gewissen Aufpreis für jede kWh des bezogenen Stroms. Das so erwirtschaftete zusätzliche Geld fließt in einen Förderpotopf aus dem besonders nachhaltige Erneuerbare Energien Anlagen, wie Bio-Biogasanlagen bezuschusst werden.

# 11 Wissenstransfer

(Verantwortlich: ECOFYS Germany GmbH – RENAC Unterauftrag  
Mitarbeit: Uni Kassel, FiBL, MEP)

Im Laufe des Projektes wurden folgende Arbeiten zum Wissenstransfer geleistet:

## 11.1 Arbeitskreis (FiBL zuständig)

Das **erste Arbeitskreistreffen** des Projekts erfolgte am 6. März 2013 in Bonn. Ziel des Arbeitskreistreffens war es, das Projekt „Biogasanlagen im Ökolandbau“ einem möglichst breiten Berater- und Expertenkreis vorzustellen, Informationen zum Thema Biogas im Ökolandbau zu bündeln und die Implementierung eines bundesweiten dauerhaften Arbeitskreises zu initiieren. Für das Arbeitskreistreffen konnten eine Reihe von BioBiogas-Experten aus Beratung, Praxis und Wissenschaft gewonnen werden. Anhand von Impulsvorträgen wurde von Seiten der Projektpartner (Florian Gerlach, FiBL) zunächst das Projekt vorgestellt sowie kurze Diskussionsimpulse zu den Themen „Definition von BioBiogas“ und „Anlagenkonzepte im Ökologischen Landbau“ gegeben. Im Anschluss stellten Biogasanlagenhersteller sowie Benjamin Blumenstein (Universität Kassel) u.a. Anlagenkonzepte vor und diskutierten den Substrateinsatz sowie die Systemeffekte. Vertreter von Bioverbänden Christian Kroll-Fiedler und Jürgen Herrle stellten die jeweiligen Definitionen, Verbandsrichtlinien und Positionen der Verbände Bioland, Naturland und Demeter zum Thema BioBiogas vor. Abschließend wurde ein Resümee hinsichtlich der Perspektiven der BioBiogaserzeugung gezogen sowie konkreter Handlungs- und Forschungsbedarf festgehalten. Es wurde angeregt, einen dauerhaften, verbandsübergreifenden Arbeitskreis unter Mitwirkung von Akteuren aus Praxis, Beratung, Wissenschaft, Verwaltung und Politik zu etablieren, der auch der Politikberatung dienlich sein kann.

Am 6. November 2013 fand das **zweite Arbeitskreistreffen** mit dem Thema „Biogas aus Klee gras“ bei Würzburg statt. Auch der zweite Arbeitskreis bestand aus Teilnehmern und Vertretern der Landwirtschaft, der Wissenschaft, der Beratung, der Biogas- und Ökolandbau-Verbände, Betreibern von Biogasanlagen und Anlagenherstellern. Nach Vorstellung des FNR-Projekts und aktueller Projektergebnisse, befassten sich darauf folgende Vorträge mit den Besonderheiten des Klee graseinsatzes bei Biogasanlagen im Ökolandbau. Insbesondere

wurden die Themen der Fermenterbiologie, der Wirtschaftlichkeit von Biogas aus Klee gras, der Optimierung und (technischer) Umsetzung von Klee gasanlagen aufgegriffen. Daraufhin wurde auf Vermarktungsmöglichkeiten kleiner BioBiogasanlagen eingegangen und Potenziale zur Steigerung des Marktwerts nachhaltiger Biogasproduktion dargestellt (Antje Fehr, Vorstellung Grünes Gas Label). Schließlich gab Stefan Rauh, Fachverband Biogas e.V. einen Überblick über die politische Entwicklung von BioBiogas im EEG.

Am 4. Dezember 2014 fand im Ökohaus in Frankfurt das **3.Treffen des Arbeitskreises Biogas im Ökolandbau** statt. Die 20 Besucher kamen aus verschiedenen Bereichen: Landwirte mit Biogasanlagen, Verbandsvertreter aus der Biogas-, sowie aus der Biobranche und Wissenschaftler. **Beatrice Grieb** (FiBL Projekte GmbH) gab zunächst einen Überblick über das Projekt und stellte ausgewählte Projektergebnisse zu dem biologischen Ausbaupotenzial von Biogas, sowie die Ergebnisse einer intensiven Akteursbefragung zu den Gründen des geringen Ausbaus vor. **Ulfrid Miller** (BUND Baden-Württemberg) stellte das Projekt „Regionalstrom“ vor. Hier arbeitet der BUND zusammen mit den Elektrizitätswerken Schönau (EWS). Der BUND hat einen Förderkatalog für besonders nachhaltige Biogaserzeugung entwickelt und kann damit einen Aufpreis für Biolandwirte mit Biogasanlagen erzielen. **Christof Thoss** (Umweltgutachterbüro OmniCert) sprach über die politische Entwicklung und den aktuellen Stand des Landschaftspflegebonus im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG), das mit Wirkung ab August 2014 novelliert wurde. Somit hat sich seither die Situation für Biobetriebe verschlechtert, da der Bonus für Nawaro (und somit auch für Klee gras) entfällt. **Thorsten Biela** (Clean Energy Sourcing) gab einen Überblick über den Strommarkt und stellte die Möglichkeiten der Stromvermarktung für Biogasanlagenbetreiber vor. Zudem stellte er das „Grünstrom-Markt-Modell“ (<http://www.gruenstrom-markt-modell.de/>) vor, welches bei den Teilnehmern auf großes Interesse stieß.

Ein wichtiger Diskussionspunkt war die Möglichkeit der zukünftigen Zusammenarbeit der verschiedenen Verbände, um in Zukunft mehr politischen Einfluss zu nehmen. Eine Fortführung des Arbeitskreises, zusammen mit den Bioverbänden und Naturschutzverbänden, sowie anderen Biogasverbänden wurde diskutiert um sich weiterhin gemeinsam um Perspektiven zu kümmern und im Gesetzgebungsverfahren zum neuen EEG einzubringen. Allen Teilnehmern ist die Fortführung des Arbeitskreises wichtig. Die FiBL Projekte GmbH und der Fachverband Biogas bleiben diesbezüglich weiter in Kontakt.

## 11.2 Workshops. (RENAC zuständig)

Zusätzlich zu den Arbeitskreisen wurden im Rahmen von drei eintägigen Workshops wichtige Stakeholder (*Ökolandbaubetriebe, Biogasanlagenbauer, politische Entscheidungsträger, Forscher etc.*) in das Projekt einbezogen und über den Fortschritt und die Ergebnisse informiert. Die Workshops fanden in Form von drei Hoftagen mit unterschiedlich regionaler Verteilung in Deutschland statt. Dabei wurden die Termine unter Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Kalenders ausgewählt.

Im Rahmen der Hoftage wurden Teilnehmer über das FNR-Projekt informiert und konkrete Ergebnisse der jeweiligen Arbeitspakete vorgestellt. Während der Besichtigung des entsprechenden Betriebs und der Biogasanlage erhielten die Teilnehmer wesentliche Einblicke in die betrieblichen und technischen Abläufe der Biogasanlage. Gleichzeitig bot das Programm Zeit zum Austausch von Erfahrungswerten und zur Diskussion.

Am 15. April 2014 fand ein Hoftag zum Thema „Biogasanlagen im Ökolandbau“ auf dem Naturlandbetrieb „Heumi’s Hof“ in Hurlach (Allgäu) statt. Die Gemeinschaftsanlage in Hurlach wurde 2011 in Betrieb genommen und hat eine installierte elektrische Leistung von 250 kW. Die Anlage wird mit einem für den Ökolandbau typischen Substratmix beschickt: 70 % Klee gras und 30 % Rindergülle. Nach der Bewerbung der Veranstaltung über diverse zielgruppen-spezifische Kanäle (regionale Verbände, landwirtschaftliche Bildungs- und Forschungseinrichtungen, diverse Veranstaltungskalender und Newsletter), stieß die Veranstaltung auf großes Interesse und Nachfrage. Entsprechend der Kapazitäten des Veranstaltungsorts, konnten letztlich 17 Personen am Hoftag in Hurlach teilnehmen, darunter Biolandwirte, Vertreter von Verbänden, Anlagenhersteller und Wissenschaftler. Nach der Begehung des Betriebs, der Vorstellung des Projekts und der Präsentation bisheriger Ergebnisse kam es zu aktiver Diskussion u.A. bezüglich der EEG-Reform 2014.

Der zweite Hoftag wurde am 12. Juni 2014 auf dem Bioland Betrieb von Manfred Ebeling „Biogas Püggen“ in Luckau im Wendland durchgeführt. Die BioBiogasanlage wurde im Jahr 2003 in Betrieb genommen und mittlerweile auf eine installierte Leistung von 610 kW erweitert. Der Substratmix setzt sich aus 45 % Wirtschaftsdünger und 55 % Nawaros (Gras, Zuckerrüben und Mais) zusammen. An der Veranstaltung nahmen 13 Personen darunter Landwirte, Biogasanlagenhersteller und –planer, Vertreter von Verbänden teil. Die Begehung des

Betriebs umfasste neben der Besichtigung der Biogasanlage auch die Erkundung der landwirtschaftlichen Flächen, die zum Anbau der Substrate genutzt werden.



*Abbildung 59: Besichtigung der Biogasanlage Püggen, Wendland. (Foto: Katharina Hartmann, RENAC)*

Nach der Projektvorstellung präsentierte Benjamin Blumenstein die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen im Ökolandbau und es wurde mit Frau Silke Weyberg vom Fachverband Biogas e.V. über die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen zur Biogasproduktion im Ökolandbau diskutiert. So kam es sowohl während der Begehung des Betriebs als auch der Vorträge zu interessanten Gesprächen und regem Austausch unter den Teilnehmern.

Am 2. September 2014 wurde der letzte der drei Hoftage auf dem Naturlandbetrieb „Sophienhof“ von Karsten Dudziak in Neustrelitz veranstaltet. Herr Dudziak betreibt seit 2011 eine BioBiogasanlage mit einer installierten Leistung von 195 kW (Substratmix: 60 % Klee gras/Gras, 40 % Wirtschaftsdünger). Die Gruppe von 13 Teilnehmern bestand aus Biogasanlagenbetreibern, Komponentenherstellern, Landwirten und Wissenschaftlern, Die Besichtigung des Betriebs umfasste die Begehung der Biogasanlage, der Schweineställe sowie der landwirtschaftlichen Flächen. Am Nachmittag zog die Gruppe ins nahegelegene Landeszentrum für erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern um.

Nach einer kurzen Führung durch die Ausstellung zum Thema Bioenergie-Region wurde das FNR Projekt vorgestellt. Angeregt durch die Vorträge von Benjamin Blumenstein und Frank Hofmann zu den Themen Wirtschaftlichkeit und Potenziale sowie Technologische Anforderungen und Nachhaltigkeit in der Biogasproduktion im Ökolandbau entstand eine spannende Diskussion mit informativem Erfahrungsaustausch.



Abbildung 60: Teilnehmer des Hoftags vor der Biogasanlage des Sophienhofs im September 2014, Neustrelitz. (Foto: Katharina Hartmann, RENAC)

Die Bewertung über einen kurzen Evaluationsbogen am Ende eines jeden Hoftags fiel durchweg positiv aus. Teilnehmer lobten die gute Atmosphäre, die Organisation und die informativen Führungen und Vorträge. Generell wurde geschätzt, dass durch das Format „Hoftag“ Theorie und Praxis miteinander verbunden werden können.

So war es möglich durch die Veranstaltung der drei Hoftage, eine breite und vielfältige Zielgruppe in den jeweiligen Regionen zu erreichen.

### **11.3 Zusätzliche Veranstaltungen**

Durch die Kontakte, die während des Hoftags im Wendland geknüpft wurden, wurde die RENAC angefragt, das Projekt und Projektergebnisse auf dem 9. Biogas-Fachkongress im Wendland vorzustellen. Am 27.11.2014 präsentierte Katharina Hartmann (RENAC) im Fachforum „Energiepflanzenanbau und Ressourcenschutz“ des Kongresses mit diesjährigem Thema „Bewährtes optimieren – Alternative nutzen“ das Projekt „Biogas im Ökolandbau“. Die Veranstaltung mit ca. 150 Teilnehmern war durch die Erschließung von Alternativen und Anpassungsmöglichkeiten an die veränderten rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen gekennzeichnet. Das Thema der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau bot sich zum einen aufgrund des landwirtschaftlichen ökologischen Schwerpunkts der Region als auch dem Interesse der Teilnehmer an alternativen Energiequellen an.

### **11.4 Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau**

Im Rahmen der Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau 2015 in Eberswalde konnten im März 2015 aus den Forschungen des hier vorgestellten Projekts hervorgehende Projektergebnisse anhand dreier Publikationen vorgestellt werden: *Erfassung des biologischen Potenzials für die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau* (Grieb & Zerger 2015), *Biogas im Ökolandbau: Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld zwischen Produktionssystem und Politik* (Blumenstein et al. 2015a), *Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung auf ökologische Betriebssysteme: Monetäre Bewertung* (Blumenstein et al. 2015b).

### **11.5 24. Internationale Jahrestagung des Fachverbandes Biogas**

Im Rahmen der 24. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas wurde ein Vortrag mit dem Titel „(Klein-)Biogasanlagen als Chance in Ökobetrieben“ gehalten. Im Rahmen dieser Veranstaltung konnte somit das Thema Biogas im Ökolandbau weiter verbreitet werden. Sowohl während der Veranstaltung insbesondere aber danach erfolgte eine große Resonanz von interessierten Teilnehmern.

## 12 Zusammenfassung

In Folgenden werden die wesentlichen Sachverhalte des Berichtes in komprimierter Form dargestellt.

### 12.1 Grundlagen

Der ökologische Landbau unterscheidet sich in seinen Grundgedanken und in seiner Struktur vom konventionellen Landbau. Ziel ist ein möglichst geschlossener Betriebskreislauf, wobei die Bodenfruchtbarkeit erhalten werden soll, Tiere artgerecht gehalten werden und Biodiversität und Landschaft zu schützen sind. Es sollen gesunde Lebensmittel ohne Umweltverschmutzung erzeugt werden. Für den Betrieb konkret bedeutet dies, den Tieren Weidegang zu ermöglichen und Nährstoffversorgung, sowie Unkraut-, Krankheits- und Schädlingskontrolle weitestgehend über die Fruchtfolge umzusetzen. Im Jahr 2013 wurden in Deutschland 6,3 % der Fläche ökologisch bewirtschaftet, doch die Nachfrage nach Biolebensmittel ist größer und steigt schneller, wodurch ein deutliches Potenzial für deutsche Erzeuger besteht.

Die ersten Biogasanlagen entstanden auf Biobetrieben. Von den schätzungsweise 100 Biogasanlagen in Deutschland in 1990 wurden 70 auf Biobetrieben vermutet. Die Ziele der Landwirte lagen in einem geschlossenen Nährstoffkreislauf und der Unabhängigkeit von fossilen oder atomaren Energien. Die erhöhte Stromvergütung für Biogasanlagen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen führte zu einer Ausweitung der Biogasproduktion vorwiegend auf konventionellen Betrieben, wobei Mais als Substrat eine große Rolle spielte, einhergehend mit einer Reihe von negativen Auswirkungen.

Für die Biogasproduktion gibt es seitens EU Öko-Regularien nur marginale Einschränkungen, hier wird das Substrat wie ein Zukaufsdünger bewertet. Die Bioverbände in Deutschland haben höhere Auflagen, z.B. im Bereich des Zukaufs von konventionellem Substrat und der Wärmenutzung. Da es bisher keine Allgemeingültige Definition von Biogas im Ökolandbau gibt, wurde im Rahmen des vorliegenden Projektberichts die folgende Arbeitsbeschreibung erstellt:

- Als Substrat werden landwirtschaftliche Reststoffe (Stalldung, Klee gras, Zwischenfrüchte, Landschaftspflegematerial) genutzt und durch ökologisch erzeugte Energiesubstrate ergänzt.

- Die Verwendung des Gärrestes dient der Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.
- Nährstoffkreisläufe werden somit weitestgehend geschlossen.
- Die Biogasanlage ist integrativer Bestandteil eines ökologisch zertifizierten Betriebes, wobei der Standort und das Betreibermodell eine untergeordnete Rolle haben.

Derzeit erfüllen viele Biogasanlagen auf Biobetrieben diese Kriterien nicht. Insbesondere verwendet ein erheblicher Anteil der Anlagen im Ökolandbau bisher anteilig konventionell erzeugte Substrate – teils aus ökonomischen Gründen, teils aus Gründen der Verfügbarkeit und der Prozessoptimierung. Die Verbände arbeiten schrittweise an einer Umstellung der Substratbeschaffung aus ökologischen Quellen.

Die Vorteile der Biogaserzeugung für den Ökologischen Betrieb sind unter anderem: Die Erzeugung erneuerbarer Energie im eigenen Betrieb, die Optimierung der Nährstoffkreisläufe, die Steigerung der Wertschöpfung aus Zwischenfrüchten, Klee gras und Reststoffen, sowie die Verbesserung der betrieblichen Umweltleistungen. Biobetriebe haben häufiger eine handwerkliche Lebensmittelverarbeitung mit erheblichem Strom- und /oder Energiebedarf, der mit der Vor-Ort-Verstromung des Biogases gedeckt werden kann.

Die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau unterscheidet sich von der im konventionellen Landbau. Die Substratkonstellationen im Biobereich haben hohe Stickstofffrachten, sind lignocellulosereich und langfaserig, zudem variieren die Mischungen stärker. Die Wechselwirkungen von Biogaserzeugung und Pflanzenbau sind im ökologischen Landbau erheblich stärker ausgeprägt als in der konventionellen Variante. Zu einem da der Substratanbau in die Fruchtfolge passen muss, zum anderen da der Gärrest einen wertvollen, flexiblen Pflanzendünger darstellt, für den der ökonomische Wert im Ökolandbau hoch ist.

Doch die Biogaserzeugung im Ökolandbau steht vor einigen Problemen, die es zu lösen gilt. Die verwendeten Substrate im Ökolandbau sind verfahrenstechnisch schwieriger zu verarbeiten im Vergleich zu den im konventionellen Landbau verbreiteten Einsatzstoffen Mais und Gülle. Für die im Ökologischen Landbau verwendeten faser- und stickstoffreichen Substrate muss eine angepasste, oft teurere Technik gewählt werden. Da hauptsächlich Reststoffe verwendet werden muss der Betreiber eine größere Fläche anteilig für die Erzeugung von Biogas zur Verfügung haben. Gleichzeitig liegen Biobetriebe örtlich oft weit auseinander da nur ein Teil der Flächen ökologisch bewirtschaftet wird. Dies führt

zu erhöhten Transportentfernungen oder in einigen Betrieben zum Zukauf von konventionellem Material. Durch eine kritische Haltung der Bevölkerung gegenüber Biogaserzeugung, bedarf es einer aufwändigen Kommunikation, um Akzeptanz von Biogas auf Biobetrieben zu schaffen.

## 12.2 Systemanalyse

Konventionelle Anlagenkonzepte sind nicht ohne weiteres auf die Bedingungen in Öko-Betrieben übertragbar. Die Integration der Biogaserzeugung in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb geht mit vielfältigen Wirkungen auf verschiedenste Bereiche des Systems einher. Die isolierte Betrachtung einer Biogasanlage ohne Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen des Ökolandbaus ließe viele Aspekte und Wirkungen insbesondere der innerbetrieblichen Stoff- und Energieströme (aber auch der Interaktionen mit der außerbetrieblichen Umwelt des Ökobetriebs) unberücksichtigt. Gerade im Ökolandbau scheint die Integration einer Biogasanlage aber vielfältige ökologische (z.B. Beikrauteffekte), systemrelevante (z.B. Nährstoffeffizienz) und ökonomische (z.B. Ertrags- und Qualitätseffekte) Vorteile zu versprechen. Dies gilt im Besonderen für vieharme oder viehlose Betriebe, die über eine sehr geringe oder gar keine Stickstoff-Rückführung aus betriebseigenen tierischen Wirtschaftsdüngern verfügen. Die Gärrestnutzung kann hier beispielsweise zu einer bedarfsgerechten und besser an die pflanzenbaulichen Gegebenheiten angepassten Versorgung mit dem im Ökolandbau limitierten Stickstoff führen. Dabei können über die Systemgrenzen des einzelnen Ökobetriebs hinausgehende Kooperationen die Potenziale der Reststoffnutzung sowie der optimierten Nährstoffverteilung besser ausschöpfen.

Vor diesem Hintergrund stellt die Biogaserzeugung im Ökolandbau nicht lediglich eine weitere Form der Bereitstellung erneuerbarer Energien dar, sondern hat überdies das Potenzial, durch eine Optimierung des Zusammenspiels der Subsysteme eines ökologischen Betriebsorganismus eine „ökologische Intensivierung“ zu erzielen. Da keine direkte Übertragung konventioneller Biogaskonzepte auf die Bedingungen im Ökolandbau möglich ist, verfolgt die hier durchgeführte Systemanalyse von Ökobetrieben ohne und mit Biogaserzeugung das Ziel, die Systemwirkungen formal zu identifizieren, um im Hinblick auf die ökonomische Analyse von Biogasanlagenmodellen und Gesamtbetrieben eine an den Stoff- und Energieströmen orientierte ökonomische und damit quantitative Bewertung des Gesamtsystems zu ermöglichen.

Kategorien, die die Systemwirkungen beschreiben und im vorliegenden Bericht ausführlich anhand von Literaturquellen quantifiziert werden, sind:

- I. Erhöhte Stickstoff-Effizienz im Gesamtbetrieb (bessere Nährstoffallokation und erhöhte Gesamtverfügbarkeit von Stickstoff)
- II. Ertragswirkungen auf Ackerbau und Grünland (Ertragssteigerungen durch effizientere Nährstoffzuteilung)
- III. Qualitätseffekte auf Marktfrüchte (Qualitätssteigerungen wie z.B. Proteingehalte bei Weizen, Futterqualität bei Grünland durch effizientere Nährstoffzuteilung)
- IV. Biologische N-Fixierung (Steigerung durch Abfuhr statt Mulchen des Klee-grases)
- V. Reduktion von N-Verlusten (alternative Wirtschaftsdüngerlagerung)
- VI. Humuseffekte (keine eindeutige Gewichtung positiver oder negativer Auswirkungen möglich)
- VII. Phytosanitäre Effekte (Reduktion von Unkrautsamen und dementsprechend Bestands-pflegemaßnahmen, Ertragsreduktionen durch Zunahme von Krankheiten aufgrund erhöhten N-Angebots)
- VIII. Nutzung von Reststoffen (Verwertung von ungenutztem Klee-gras, Zwischenfrüchten und Reststoffen auf der hofeigenen Verarbeitung)
- IX. Nutzungskonkurrenzen (Konkurrenz zwischen Nahrungs-/Futtermittelproduktion und Substratproduktion für Biogas)

Die Ergebnisse der Systemanalyse verdeutlichen, dass der Fokus der Systemwirkungen insbesondere auf den Effizienzsteigerungen des innerbetrieblichen N-Kreislaufs liegt. Die Identifizierung und Quantifizierung der monetär wirksamen Effekte der integrierten Biogaserzeugung stellt den ersten Schritt dar, den monetären Zusatznutzen auf einzelbetrieblicher Ebene abbilden zu können. Erst eine gesamtbetriebliche Sichtweise und eine systemorientierte monetäre Bewertung der Biogaserzeugung auf Ökobetrieben stellen eine ganzheitliche Sichtweise aller ökonomisch relevanten Parameter dar und ergänzen in sinnvoller Weise die herkömmlichen, meist isoliert durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Biogasanlagen auf Ökobetrieben.

### **12.3 Potenzialermittlung**

Die Potenzialanalyse wurde erstellt um eine Annäherung an das in Deutschland vorhandene Potenzial der Biogaserzeugung im Ökolandbau zu erhalten. Um Nahrungs- und Futtermittelkonkurrenzen so gering wie möglich zu halten wurden nur die Potenziale aus den folgenden Substraten berücksichtigt: tierische

Exkrementen, Landschaftspflegematerial, ungenutzte Reste aus der Biolebensmittelerzeugung, mögliche Zusatzerträge aus Zwischenfruchtanbau, sowie bisher ungenutztes Grünland, Klee- und Feldgras. Letzteres sind die Flächen, die für die Biotierfütterung nicht benötigt werden und somit in der Biogasanlage genutzt werden können.

Die anfallenden Mengen wurden mit Zahlen zu Tieren und Flächen im Ökolandbau in den einzelnen Bundesländern des Statistischen Bundesamtes und für den Ökolandbau angepassten Faustzahlen zu Flächenerträgen und Dunganfall berechnet. Für das Potenzial aus Reststoffen der Lebensmittelerzeugung wurde eine umfangreiche Studie zur Hilfe gezogen und auf den Ökosektor angewandt. Anhand der anfallenden Biogasmenge und des spezifischen Methangehaltes wurde die Gesamtenergie, sowie elektrische und thermische Energie berechnet.

*Tabelle 55: Übersicht über das Energiepotenzial aus den verschiedenen betrachteten Quellen in GWh*

<b>Kategorie</b>	<b>GWh gesamt</b>
Reste der Biolebensmittelerzeugung	54
Landschaftspflegematerial	2.100
Gülle, Mist	1.485
- davon Pferdemist	133
ungenutztes Grünland und Klee- und Feldgrasbestände, Zwischenfruchtanbau	6.438
<b>Summe</b>	<b>10.077</b>

Die Reste der Biolebensmittelerzeugung haben nur ein sehr geringes Potenzial (Tabelle 55), da die meisten Nebenprodukte schon anders, meist als Futtermittel eine Verwendung finden. Dahingegen hat das Landschaftspflegematerial ein großes Potenzial, sogar größer als die Nutzung von Gülle und Mist aus dem Ökobereich. Auffällig ist, dass Pferdemist fast 10% des Potenzials aus Gülle und Mist ausmacht, und meist wenig Beachtung findet. Das meiste Energiepotenzial bieten ungenutzte Grünland und Klee- und Feldgrasbestände, sowie Zusatzerträge aus dem Zwischenfruchtanbau. Die Umweltauswirkungen falls dieses Material komplett genutzt werden würden konnten im Rahmen von diesem Projekt nicht betrachtet werden.

Mit Blick auf die regionale Verteilung ergibt sich das meiste Potenzial in Bayern (über 2.000 GWh), gefolgt von Berlin-Brandenburg, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern (je ca. 1.000 GWh). Auch in Baden-Württemberg, Nord-

rhein-Westfalen (je ca. 900 GWh) und Hessen (über 700 GWh) besteht ein beachtliches Potenzial. Die weiteren Bundesländer haben bis auf das Saarland, ein Potenzial von 350-480 GWh. Im Saarland sind es ca. 100 GWh.

Insgesamt ergibt sich in Deutschland aus Biogasanlagen im Ökolandbau aus den beschriebenen Substraten ein Strompotenzial von 3.704 TWh<sub>el</sub> und ein Wärmepotenzial von 1.402 TWh<sub>th</sub>. Damit könnten über eine Million Haushalte mit Strom versorgt werden, sowie mehr als 35.000 Einfamilienhäuser mit Wärme versorgt werden. Oder anders ausgedrückt: In Deutschland ist ein Zubau von über 6.500 Biogasanlagen mit 75 kW Leistung auf Biobetrieben, ohne Nahrungsmittelkonkurrent möglich.

## 12.4 Spezifikation der Substrate

Für die Verwertung in BioBiogasanlagen kommt grundsätzlich eine Palette unterschiedlicher Stoffe in Frage, die sich allerdings in vielerlei Hinsicht unterscheiden. Neben Reststoffen aus der Tierhaltung (Gülle, Mist) fallen im Biobetrieb unterschiedliche Reststoffe im Bereich des Pflanzenbaus an bzw. stehen nicht in der Konkurrenz zur Lebensmittelerzeugung bzw. zur Futternutzung des Betriebs. Darüber hinaus fallen weitere Reststoffe im Bereich der Aufarbeitung bzw. der Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe an. Zusätzlich ergibt sich ein Potential aus Biomassen, die im Bereich der Landschaftspflege anfallen. Sämtliche relevanten Substrate wurde bewertet hinsichtlich

- Rohstoffkosten
- Verfügbarkeit
- Anforderungen an die Verfahrenstechnik
- Biogausbeute
- Vergütung nach EEG
- Rechtlichen Regelungen bzw. Anforderungen

Da die Substrate jeweils individuelle "Stärken" und "Schwächen" aufweisen, gibt es folglich keine idealen Substrate für die Verwertung in BioBiogasanlagen. Vielmehr ist meist die gesamtbetriebliche Situation bzw. Betrachtungsweise ausschlaggebend für die Beurteilung bzw. Verwendung der jeweiligen Substrate.

## 12.5 Technologie

In Biogasanlagen im Ökolandbau sind im Prinzip technisch denen des konventionellen Landbaus ähnlich. Unterschiede ergeben sich dadurch, dass im ökologischen Landbau tendenziell andere Substrate eingesetzt werden als in konventionelle Biogasanlagen. In Ökobetrieben werden vermehrt Substrate mit hohem Faser-, Lignin- und Zelluloseanteil eingesetzt (z.B. Klee gras, Gras, weniger Maissilage). Auch stehen viele Tiere auf Stroh, wodurch der Strohanteil in typischen Biogasanlagen im Ökolandbau höher als in konventionellen Anlagen ist. Anlagenhersteller und –Betreiber bestätigen, dass eine Anlage im Ökolandbau mit robusterer Technologie ausgestattet werden muss (dieses betrifft hauptsächlich das Eintragungssystem, die Pumpen und die Rührwerke). Vereinzelt wird berichtet, dass mit erhöhten Ammoniakgehalten umgegangen werden muss. Dieses kann auf den höheren Einsatz von Klee gras zurückgeführt werden. Aufgrund, im Vergleich zu konventionellen Biogasanlagen, höherem Einsatz von Proteinen (die typische, konventionelle Maissilage enthält einen hohen Anteil an Stärke, also Kohlenhydraten, und einen relativ geringen Anteil an Proteinen) ist die Gefahr von Schaumbildung im Ökolandbau höher.

In der Auswertung von Erfahrungen wird oft genannt, dass die **Zuverlässigkeit** der Anlage von entscheidender Bedeutung für den Projekterfolg ist. Läuft diese zuverlässig sind die Betreiber mit der Entscheidung der Errichtung der Anlage zufrieden. Nehmen technische Probleme überhand hat das immer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, die Anlagenverfügbarkeit, die notwendige Arbeitszeit für die Problemlösung und die Zufriedenheit insgesamt. Als Erfahrung kann fest gehalten werden: Es lohnt sich in robuste, zuverlässige Technologie zu investieren. Im Bericht, Kapitel (6) werden die technischen Lösungsmöglichkeiten für die oben genannten Einsatzfälle dargestellt.

Die verwendeten Substrate und die angepasste Technologie haben den Effekt, dass in Biogasanlagen in vielen Ökobetrieben mit höherem Eigenstrombedarf gerechnet werden muss. Diese Effekte haben Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (höhere Investitionskosten, höhere Rückstellungen notwendig, höherer Eigenstromanteil und höherer Wartungsaufwand). Die gewonnenen Daten werden in Kapitel 8 und Kapitel 9 weiter verwendet.

## 12.6 Gemeinschaftsanlagen

Aus der Befragung von Betreibern von Biogas-Gemeinschaften sind unterschiedliche Motive zur Kooperation zu beobachten. Generell ist ein gemeinschaftlicher Betrieb einer Biogasanlage im ökologischen Landbau vor allem ein Zweckverbund.

Durch den Abschluss langfristiger Kooperationen unterschiedlicher Stakeholder (u.a. viehlose/viehhaltende Landwirte, Stromanbieter, Anlagenbetreiber, etc.) können individuelle Nutzen optimiert werden, gleichwohl erhöhen sich gegenseitige Abhängigkeiten. Ein effizienter Zusammenschluss muss eine Vielzahl von Bedürfnissen der Teilnehmenden erfüllen. Dementsprechend individuell sollte die Vertragsausgestaltung untereinander erfolgen.

Ein häufiges Ziel der gemeinschaftlichen Beschickung einer BGA ist die Steigerung der Quantität als auch der Qualität der Substrate. Oftmals wird dadurch eine Kleinbiogasanlage wirtschaftlich erst richtig ausgelastet. Auch der Erhalt von hochwertigem Dünger durch die Erzeugung von Gärresten spielt in einer Gemeinschaft eine wichtige Rolle für beteiligte Landwirte. Darüber hinaus fördern derartige Verbindungen auch den Austausch von Erfahrungen, tragen zur Arbeitsteilung und zur Schaffung von Synergieeffekten bei.

Selbstverständlich führen die Kooperationen auch zu einem veränderten Arbeitsaufwand, sowohl administrativ als auch technisch. Beispielhaft kommen Richtlinien oder Verordnungen hinzu, deren Berücksichtigung evtl. weiteren Genehmigungen folgen. Auch logistisch müssen Transportwege zu und von der BGA geklärt werden.

Besteht in dem betrieblichen Ablauf der gemeinschaftlichen Biogasanlage ein Konsens, so können Synergien entstehen, deren Nutzen den jeweiligen Anteilseignern eine ökologische Kreislaufwirtschaft und ökonomische Vorteile ermöglichen.

## 12.7 Ökonomische Analyse

Die ökonomische Analyse der Biogaserzeugung im Rahmen der ökologischen Landwirtschaft beleuchtet im vorliegenden Bericht zwei Schwerpunkte:

- 1) Eine Investitionsentscheidung für oder gegen den Betrieb einer Biogasanlage wird von Unternehmern vorrangig auf Grundlage einer sorgfältigen, die Risiken berücksichtigenden Wirtschaftlichkeitsplanung gefällt. Daher sind an die Bedingungen auf Öko-Betrieben adaptierte Modellanlagen konzipiert und sachgerechte Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt worden, die unterschiedliche politische Rahmenbedingungen berücksichtigen. Der Wirtschaftlichkeitsanalyse der vorliegenden Anlagenmodelle mit dem Vergleich ökologisch und konventionell betriebener Biogasanlagen zeigt, dass konventionelle Anlagen v.a. aufgrund niedrigerer Kapital- sowie Rohstoffkosten im Vorteil sind. Zudem führt die aufgrund der niedrigeren geographischen Dichte von Biobetrieben geringere Verfügbarkeit ökologischer Substrate dazu, dass BioBiogasanlagen eher kleiner sind und Größenvorteile (economies of scale) weniger genutzt werden können. Unter den derzeitigen politischen Rahmenbedingungen (EEG 2014) sind weder im Bereich der ökologischen noch der konventionellen Biogasproduktion nennenswerte Neuinvestitionen zu erwarten. Ausnahme stellen hier die Gülle-Kleinanlagen dar. Ein alternativer Bewertungsansatz von Substratkosten für Reststoffe (z.B. Klee gras abzüglich Mulchkosten) oder die Berücksichtigung des Verkaufswerts der Biogasgülle können zwar die Anlagenwirtschaftlichkeit verbessern. Hauptaugenmerk sollte aber insbesondere auf der Optimierung bestehender Biogasanlagen im Ökolandbau hinsichtlich der verbesserten Ausnutzung der innerbetrieblichen Potenziale unter Berücksichtigung der gesamtbetrieblichen Leistungssteigerungen liegen.
- 2) Die Ergebnisse der Systemanalyse zeigen zudem, dass eine integrierte Biogaserzeugung vielfältige, auch monetär zu bewertende betriebliche Zusatzeffekte aufweisen kann. Deshalb sind in Erweiterung der bestehenden bewährten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Biogasanlagen systematische Modellbetrachtungen vorgenommen worden, die das ökonomische Zusatzpotential im gesamtbetrieblichen Kontext aufzeigen sollen. Die hier vorgestellte monetäre Quantifizierung der systemrelevanten Effekte zeigt für Ökobetriebe ein mitunter signifikantes Potenzial von Effizienz- und Ertragssteigerungen natürlicher und monetärer Art auf. Die verbesserte Nährstoffallokation führt zu Ertragssteigerungen im Marktfruchtanbau und insbesondere für viehlose Betriebe zu Steigerungen des kalkulatorischen Betriebsergebnisses des Gesamtbetriebs. Die Zusatzeinnahmen können

dazu beitragen, schlechtere wirtschaftliche Ergebnisse des BioBiogasanlagenbetriebs auch unter den aktualisierten Rahmenbedingungen des EEG 2014 zu kompensieren. Bei der Bewertung der hier vorgestellten Ergebnisse sollte allerdings auch stets berücksichtigt werden, dass ein landwirtschaftliches Unternehmenssystem auch sehr stark von der Umsetzung der durchgeführten Management-Maßnahmen sowie wenig zu beeinflussenden Umwelteinwirkungen abhängt. Daher können z.B. veränderte N-Effizienzen wie z.B. schwankende N-Verluste bei der Lagerung und Ausbringung von Biogasgülle, veränderte N-Fixierungsleistungen der Leguminosen oder schwankende N-Auswaschungsverluste zu veränderten Ergebnissen in der Systembewertung führen.

## **12.8 Ökologische Analyse**

In diesem AP erfolgt eine ökologische Untersuchung von Biogasanlagen im Ökolandbau. Im ersten Unterkapitel wird eine ökobilanzielle Abschätzung (Life Cycle Assessment, LCA) bezüglich der Klimawirksamkeit von Biogasanlagen im Ökolandbau und von konventionellen Biogasanlagen durchgeführt. Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels werden weitere Nachhaltigkeitsaspekte diskutiert.

### **12.8.1 Treibhausgasbilanzierung, LCA**

Die methodologischen Grundlagen wie Ziel und Untersuchungsrahmen, Definition der Biogasanlagen (inklusive Annahmen technischer Parameter), funktionelle Einheit, Systemgrenzen, Datenquellen, Umgang mit Kuppelprodukten und Allokation werden im Projektbericht ausführlich erläutert. In dieser Zusammenfassung werden nur die wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen grafisch dargestellt.

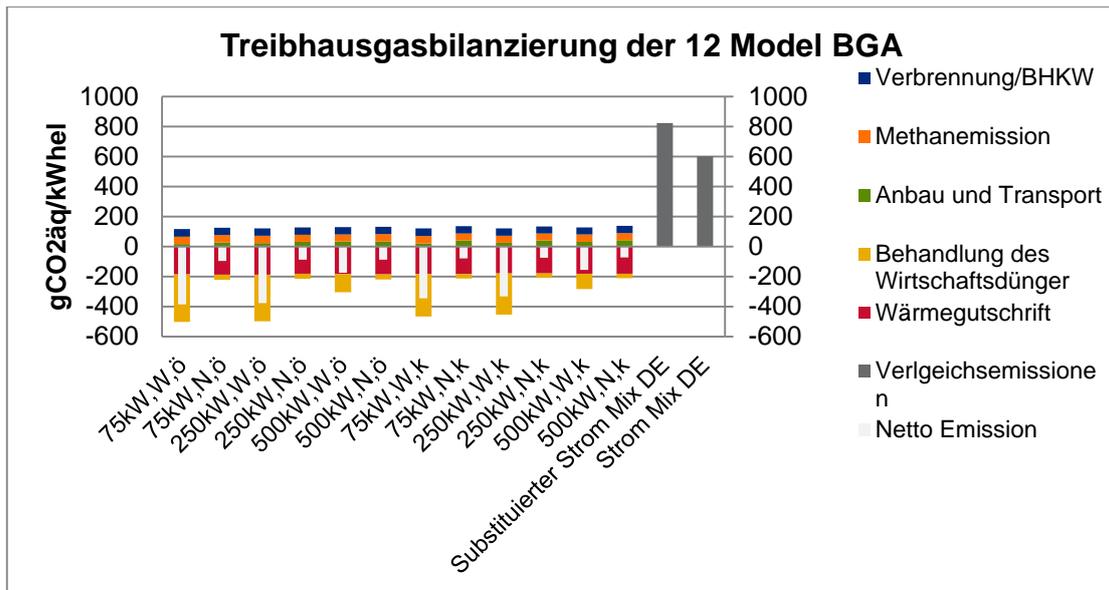


Abbildung 61: Treibhausbilanzierung der 12 Model Biogasanlagen

In der Grafik sind die Klimagasemissionen, die mit der Biogasproduktion einhergehen, in g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kWh el. Stromproduktion, zu sehen. Zu lesen ist die Grafik wie folgt: Die Summe aus Emissionen und vermiedene Emissionen ist in den weißen Kolonnen dargestellt. Beispielsweise bedeutet die linke Säule, dass bei einer 75 kW Biogasanlage (75kW), betrieben mit 80 % Wirtschaftsdünger (W) im Ökolandbau (ö) ca. 400 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kWh el. Stromproduktion eingespart werden (Der Zahlenwert ist - 400). Detailliertere Informationen zur den Berechnungen und deren Interpretation können Kapitel 9 entnommen werden.

Die Ergebnisse der LCA können wie folgt zusammengefasst werden:

- Vermiedene Methanemissionen aufgrund der Güllebehandlung ist der größte Einflussfaktor.
- Substitution fossiler Wärme ist der zweitgrößte Einflussfaktor.
- Biogas-Prozess wird von diffusen Methanemissionen dominiert; auch aufgrund BHKW Betrieb.
- Der Anbau von Nawaro ist mit Emissionen verbunden.
- Je höher der Nawaro-Anteil, desto höher die THG-Emissionen.
- Der Unterschied zwischen konventionellem und ökologischen Betrieb wird stark durch die Substrate bestimmt.
- Der Transport hat nur einen geringen Einfluss.

## 12.8.2 Weitere Nachhaltigkeitsaspekte

Auswirkungen einer Biogasanlage auf den Agrarflächenbedarf in konventionellen und ökologischen Betrieben. Die konventionelle Nawaro-Biogasproduktion ist unter anderen deshalb stark in die Kritik geraten, weil Ackerflächen, die zum Nawaro-Anbau genutzt werden, nicht mehr zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung dienen können. Diese Flächenkonkurrenz muss für den ökologischen Landbau völlig anders bewertet werden als für die konventionelle Biogaserzeugung.

- Der Nawaro-Einsatz in Biogasanlagen im ökologischen Landbau ist wesentlich niedriger als im konventionellen Landbau. Die Bioverbände streben an, den Nawaro-Anteil längerfristig gegen Null zu senken. Dann besteht keine Flächenkonkurrenz mehr.
- BioBiogasanlagen werden hauptsächlich mit Rückständen und Reststoffen also ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion betrieben.
- Klee gras wird zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit angebaut. Wird dies in einer Biogasanlage eingesetzt (z.B. in viehlosen Betrieben anstatt das Klee gras zu mulchen), entsteht keine Flächenkonkurrenz. In viehhaltenden Betrieben wird es zumeist als Futtermittel und nicht in der Biogasanlage verwendet (keine Konkurrenz).
- Die Gärrestnutzung führt tendenziell zu Ertragssteigerungen. Auf denselben Feldflächen werden also mehr Früchte oder dieselbe Fruchtmasse auf weniger Ackerfläche geerntet. Die Biogasanlage führt somit zur Vermeidung von Ackerflächenkonkurrenz bzw. fördert die Nahrungsproduktion.

### **12.8.2.1 Umweltrelevante Auswirkungen einer Biogasanlage auf Nährstoffkreisläufe und CO<sub>2</sub>-Speicherung im Boden in konventionellen und ökologischen Betrieben**

In einer Biogasanlage bleiben fast alle Nährstoffe (Mineralien und Spurenelemente) im Prozess erhalten und können mit dem Gärrest wieder auf die Felder ausgebracht werden. Die Biogasanlage verhält sich fast nährstoffneutral. Lediglich zwei Nährstoffe werden durch den Biogasbetrieb stark beeinflusst, Stickstoff und Kohlenstoff

**Stickstoff:** Eine Biogasanlage im ökologischen Betrieb hat verschiedene Auswirkungen auf die Stickstoffeffizienz:

- Durch das Abtragen der Biomasse zur Verwendung in der Biogasanlage werden im Vergleich zum Mulchen Verrottungsprozesse auf bzw. im Boden vermieden. Dadurch werden Lachgasemissionen (klimagasrelevant) und Nitratauswaschungen in das Grundwasser vermieden. Beide Aspekte sind stark umweltrelevant.
- Da Zwischenfrüchte, wie Klee gras, einen Wert als Brennstoff bekommen ist ihr Anbau attraktiver und wird vermehrt praktiziert. Ein höherer Anteil an Klee gras an der Fruchtfolge hat diverse positive Auswirkungen auf die Umwelt (wie positive Humusbilanz, Erosionsschutz, positive Auswirkungen auf Biodiversität durch Ausweitung der Fruchtfolge und andere).

### **12.8.2.2 Auswirkungen einer Biogasanlage auf die Biodiversität**

Die Auswirkungen einer Biogasanlage auf die Biodiversität werden von den jeweiligen Standortbedingungen dominiert (insbesondere von Fruchtanbaufolgen, auch von Klima, Boden, eingesetzte Substrate und vieles mehr). Pauschale Aussagen zur Biodiversität sind kaum möglich. Differenziertere Informationen werden im Kapitel 9.2.3 dargestellt.

## **12.9 Restriktionsanalyse und Handlungsempfehlungen**

Zur Identifizierung der Barrieren in der Praxis wurde die aktuell vorhandene Literatur gesichtet und ausgewertet. Die so ermittelten Hemmnisse bezogen sich auf die Bereiche gesellschaftliche Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit, mangelnde Wissensvermittlung, wissenschaftliche Unsicherheiten und gesetzliche Auflagen.

Darauf aufbauend wurde ein Leitfaden für Tiefeninterviews entwickelt und 48 Akteure aus dem Bereich Biogas und Ökolandbau interviewt (Biolandwirte, Market-Player, Bioberater, Wissenschaftler, Vertreter von Nichtregierungs-Organisationen sowie spezialisierte Biogasberater). Die Interviews waren sehr ausführlich (bis über zwei Stunden pro Interview) und so konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden. In den Tiefeninterviews kamen weitere Barrieren zur Sprache, wie die Struktur im Ökolandbau. Gemeint sind hier die Hofgrößen und die Entfernungen zwischen den Höfen, aber auch die betriebliche Ausrichtung der Biobetriebe. Auch rechtliche Rahmenbedingungen und persönliche Gründe

konnten in den Barrieren ergänzt werden. So entstand ein umfassendes Bild von den aktuellen Hemmnissen und Barrieren, die einem weiteren Ausbau von Biogasanlagen auf Biobetrieben gegenübersteht.

Basierend auf den Erkenntnissen der Akteursbefragung, der Literaturstudie sowie der Ergebnisse der anderen Arbeitspakete wurden Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Handlungsfelder (Forschung und Entwicklung, Politik, Beratung und Wissenstransfer, Öffentlichkeitsarbeit und Marktentwicklung) abgeleitet. Hier sollen nur ein paar Kernaussagen festgehalten werden:

- **BioBiogasanlagen brauchen eine angepasste Technik.** Biobetriebe haben meist weniger Tiere, halten diese mit Weidegang und nutzen aus ökonomischen Gründen Reststoffe, die faserreicher sind. Die Biogastechnologie muss auf einen höheren Trockensubstanz- und Fasergehalt abgestimmt sein und kleiner dimensioniert sein, um die Reststoffe von einem oder weniger Höfen verwerten zu können.
- **Finanzielles Risiko sollte nicht bei einzelnen Landwirten liegen.** Um die Investitionen in Biogasanlagentechnik zu fördern ist es hilfreich nach Kooperationsmöglichkeiten zu suchen. Kooperationen zwischen Landwirten sind, mit finanzstärkeren Partnern, wie Stadtwerken, Stromanbietern oder aber auch Großverbrauchern oder Konsumenten. Solche Kooperationen mindern das Risiko für Landwirte und beziehen weitere Marktteilnehmer mit ein.
- **Akzeptanz für (Bio)Biogas schaffen.** Durch ein weithin verbreitetes negatives Bild der Biogasnutzung in der Bevölkerung sind auch die Biolandwirte betroffen. Um Biogasanlagen zu verwirklichen oder auch Kooperationspartner außerhalb der Landwirtschaft zu finden, müssen Biolandwirte viel Aufklärungsarbeit leisten, dies ist oft mühsam, zeit- und kostenintensiv. Hier sollten Landwirte durch übergeordnete Stellen unterstützt werden.

## 12.10 Wissenstransfer

Das Projekt und die während der Projektlaufzeit erarbeiteten Themen und Ergebnisse wurden im Rahmen diverser Veranstaltungen und Events einer Vielzahl von Interessenten vorgestellt.

Innerhalb von drei Arbeitskreis Treffen wurden Experten aus Beratung, Praxis und Wissenschaft in das Thema Biogasanlagen im Ökolandbau mit einbezogen und die Projektinhalte gemeinsam mit ihnen diskutiert. Der daraus resultierende Erkenntniszuwachs diente während des gesamten Projekts als wichtige und willkommene Grundlage zur Erarbeitung der Projektergebnisse. Beispielsweise wurde auf dem ersten Arbeitskreis Treffen der Begriff BioBiogas diskutiert und gemeinschaftlich definiert. Auch die in den folgenden zwei Arbeitskreisen besprochenen Themen trugen zur Erweiterung der Ergebnisse bei.

Die Arbeitskreise mit jeweils ca. 20 Teilnehmern wurden im März und November 2013 sowie im Dezember 2014 durchgeführt. Die konstruktive Stimmung dieser Treffen führte zu dem Wunsch der Teilnehmer, den Arbeitskreis zu erhalten und weitere Treffen auch nach Beendigung des FNR-Projekts zu organisieren.

Zusätzlich zu den Arbeitskreis Treffen organisierte das Projektkonsortium drei Workshops, die als Hoftage auf Biobetrieben mit Biogasanlage durchgeführt wurden. Ein Hoftag bestand somit aus thematisch und inhaltlichen Vorträgen sowie der Besichtigung des landwirtschaftlichen Betriebs und der Biogasanlage. Aufgrund der regionalen als auch saisonalen Verteilung (Allgäu – April, Wendland – Juni, Neustrelitz – September) konnten viele verschiedene Teilnehmer angesprochen werden. Zu den durchschnittlich ca. 15 Teilnehmern eines Hoftags zählten Biogasanlagenherstellern, Ökolandwirte, politische Entscheidungsträger, Forscher etc.

Ebenfalls wurde das FNR-Projekt auf externen Veranstaltungen und Messen vorgestellt. Hierzu zählten der Biogas-Fachkongress Wendland, die Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau sowie die Jahrestagung Fachverband-Biogas.

## **13 Weitere Informationen, deren Verbleib im Bericht bei der Veröffentlichung von der FNR entschieden werden sollte**

Entsprechend der von der FNR vorgegebenen Struktur des Schlussberichtes werden in den Kapiteln 1 bis 12 dieses Schlussberichtes die Ziele, die Aufgabenstellung, der Stand der Technik, die Zusammenarbeit mit anderen Stellen und die erzielten Ergebnisse ausführlich dargestellt. Unten folgen weitere Angaben zur Verwertung der Ergebnisse, zu Erkenntnissen von Dritten und zu Veröffentlichungen.

### **13.1 Verwertung der Projektergebnisse**

Im Laufe der Projektlaufzeit erfuhren die Autoren ein sehr reges Interesse verschiedener Gruppierungen an dem Thema Biogas im Ökolandbau. Diese Gruppierungen umfassten Landwirte des Ökolandbaus, Vertreter der Ökolandbauverbände, Hersteller von Biogasanlagen, Biogas Verbände (Fachverband Biogas und IBBK) sowie interessierte Forscher und Berater.

#### **13.1.1 Wirtschaftlich**

Im Zuge des Projektes konnte dargelegt werden, dass die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nicht nur über die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen definiert werden sollten. Beispielsweise kann es für einen Landwirtschaftlichen Betrieb aufgrund der „Zusatzeffekte“ wie Düngerproduktion, Ertragssteigerungen, höhere Fruchtqualität, in Wert-Setzung von Reststoffen, lukrativ sein, eine Biogasanlage zu betreiben, selbst wenn die Biogasanlage isoliert (Erlöse ausschließlich aus EEG und Wärmeverkauf) betrachtet nicht wirtschaftlich betrieben werden könnte. Insofern wurde ein großes Potential (biologisch und wirtschaftlich) für Biogas im Ökolandbau identifiziert.

Demgegenüber bestehen noch große Vorbehalte, beide Betriebszweige (landwirtschaftlicher Betrieb und Biogasanlage) systemisch miteinander verbunden zu sehen. Beispielsweise haben viele Landwirte Bedenken, in eine Biogasanlage zu investieren, wenn diese rechnerisch eine finanzielle Belastung darstellt. Auch finanzierende Banken sind kaum von dem Zusammendenken beider Betriebsteile zu überzeugen und stellen oft keine Kredite bereit, da die Biogasanlage isoliert betrachtet kein renditebringendes Geschäftsmodell darstellt. Das

vorliegende Projekt liefert die notwendigen Argumente, zukünftig konstruktiver mit diesen Barrieren umzugehen.

Während der Bearbeitung dieses Projektes wurde im Sommer 2014 die EEG-Vergütung für Biogasanlagen deutlich reduziert. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten auf Basis des EEG bestehen zurzeit nur noch bei kleinen Gülleanlagen (bis 75kWel). Alle anderen Anlagentypen können nach EEG 2014 nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden, und es ist fraglich, inwieweit Stakeholder davon überzeugt sind, dass die innerbetrieblichen Vorteile des Anlagenbetriebs die Verluste aus dem Biogasanlagenbetrieb ausgleichen können. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen lassen vermuten, dass größere Biogasanlagen (über 75 kWel) in Zukunft nur noch im Ausnahmefall gebaut werden.

### **13.1.2 Wissenschaftlich**

Die Identifizierung und Quantifizierung innerbetrieblicher Leistungen, die aus den systematischen, kausalen Zusammenhängen zwischen Elementen eines landwirtschaftlichen Unternehmens entstehen, sind insbesondere für Low-input-Systeme von großer Bedeutung. Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten methodischen Ansätze können als Basis für weitere, vertiefende Analysen von „ecosystem services“ und der Integration von ökologischen sowie ökonomischen Systemwirkungen herangezogen und weiterentwickelt werden.

### **13.1.3 Technisch**

Aus den Erfahrungen der Landwirte geht deutlich hervor, dass an Biogasanlagen im Ökolandbau, bedingt durch die typischerweise verwendeten Substrate, besondere technische Anforderungen gestellt werden müssen und keine typischen konventionellen Nawaro-Anlagen installiert werden sollten. Durch die Beschreibung der Sachlage und empfehlenswerter technologischer Lösungen soll erreicht werden, dass Biogasanlagen speziell auf die lokalen Anforderungen angepasst werden, beispielsweise Substrate mit hohem Faseranteil (z.B. Stroh), hohem Proteingehalt zu verarbeiten sowie robust auch mit Störstoffen (Eintrag aus der Weidehaltung) umgehen zu können.

Aufgrund der herausgestellten Besonderheiten der Biogasproduktion im Ökologischen Landbau bezüglich erhöhter Investitionskosten und geringer Substratverfügbarkeit bietet sich eine Belieferung mehrerer Landwirte einer Biogasanlage und/oder der gemeinschaftliche Betrieb einer Biogasanlage an. Die

hierzu innerhalb der Befragung der Gemeinschaftsanlagenbetreiber aufgezeigten Vorteile und Umsetzungsmöglichkeiten können potenziellen Anlagenbetreibern als Leitfaden dienen. Darauf aufbauen können weitere Studien bzw. Vergleiche zwischen individuell und gemeinschaftlich geführten Biogasanlagen weitere Vorteile herausarbeiten.

#### **13.1.4 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit**

Auf den Arbeitskreistreffen konnten neue Kontakte zwischen Verbänden der Biogas- und der Biobranche geknüpft werden. Die Etablierung eines Arbeitskreises als dauerhafte Austauschplattform ist ein wichtiger Schritt zur dauerhaften Weiterarbeit der Verbände zu diesem Thema. Alle in den Arbeitskreisen Beteiligte haben starkes Interesse an einer zukünftigen Zusammenarbeit und der Ausweitung des Teilnehmerkreises. Die Frage nach der Form und der Organisation der weiteren Zusammenarbeit wird im Moment vom Projektteam und den Teilnehmern geklärt.

Die umfassende Analyse des Status Quo und die im Laufe des Projektes erfolgte Generierung neuer Erkenntnisse hat eine große Zahl weitergehender Forschungsfragen aufgeworfen. Beispiele dafür sind (es erfolgt eine Auswahl aus vielen Themen in Stichworten):

- Welche Art von BioBiogasanlagen können in Deutschland aussichtsreich betrieben werden?
- Auswirkungen auf den Boden (Humus, Bodeneigenschaften, Mikroorganismen).
- Optimierte Fruchtanbaukombinationen angepasst auf die lokalen Bedingungen.
- Steigerung der N-Effizienz.
- Optimierte Düngerwertnutzung.
- Biogas im ökologischen Gemüseanbau.
- Innerbetriebliche Leistungen und deren Bewertung: Aufbauend auf dem in jetzigen FNR-Projekt entwickelten rudimentären Modellansatz der monetären Bewertung der Systemeffekte weitere Parameter erfassen und das Modell verfeinern/verbessern. Optimierungswerkzeuge zur Integration Biogasanlage/Ackerbau (Verbesserung der Stickstoffeffizienz).
- Risikoanalyse und Risikomanagement: Wie verändert eine integrierte Biogaserzeugung das gesamtbetriebliche Risikoportfolio bei Berücksichtigung der innerbetrieblichen Effekte (Monte Carlo-Simulation)?
- Erfolgsfaktoren und Unternehmereigenschaften: Welche Unternehmertypen lassen sich unter den Betreibern von BioBiogasanlagen identifizieren,

Wechselwirkungen Biogastechnik und Managementfähigkeiten auf den Erfolg; Ermittlung der persönlichen Risikoeinstellung.

- Standorttheorie und Kooperationen: Welche Regionen eignen sich besonders für BioBiogas, lassen sich Umstellungseffekte auf ÖL im Umkreis von BioBiogasanlagen feststellen?
- Einbindung in gesamtbetriebliche Energiekonzepte: Betriebliche Interaktion zwischen Biogas, biogenen Energieträgern (Pflanzenöl, direkte Verbrennung) Photovoltaik/Windkraft im Sinne zunehmender Energieautarkie.
- Transfer der Thematik in die Ökomedien.
- Fortführung des Arbeitskreises.

## **13.2 Erkenntnisse von Dritten**

Im Zuge des Projektes gab es auf diversen Veranstaltungen die Möglichkeit Erkenntnisse von Dritten in die Auswertungen mit aufzunehmen. Neben allgemeineren Diskussionen konnte die Ausarbeitung insbesondere von folgenden Kontakten profitieren:

- Projekt BioGrace I und BioGrace II zur Vereinheitlichung von Berechnungen der Ökobilanzierung
- Projekt BioBiogas Monitoring zur Sammlung und Auswertung von umfassenden Daten zum Thema

## **13.3 Veröffentlichungen**

Im Laufe der Projektlaufzeit wurden die (Zwischen)-Ergebnisse des Projektes in drei Workshops sowie in drei Arbeitskreisen der Öffentlichkeit vorgestellt.

Die Projektergebnisse wurden zudem im Rahmen der 24. Jahrestagung des Fachverbands Biogas am 27.01.2015 in Bremen der Öffentlichkeit präsentiert. Die Präsentation ist in dem Tagungsband (in elektronischer Version) verfügbar gemacht worden.

Vortrag der Uni Kassel „Ökonomische Bewertung kleiner Hofbiogasanlagen im Ökolandbau“ bei der FNR- Fachtagung – Chancen der Güllevergärung in kleinen Hofbiogasanlagen in Ulm, 15.04.2015

Zusätzlich wird durch Publikationen auf spezielle Thematiken vertiefend einzugehen (diese Publikationen sind kein direktes Ergebnis der geförderten Projektarbeit, haben sich aber durch die Arbeiten und persönliches Engagement der Beteiligten ergeben).

\* Gerlach F., Grieb B. (2012): "Biogas im Ökolandbau – was ist das?" Energie aus Pflanzen 6/2012

\* Grieb B., Gerlach F. (2013): "BioBiogas – Erfahrungen bei der Erzeugung von Biogas im Ökologischen Landbau". Der kritische Agrarbericht 2013. ABL Verlag.

\* Zerger, U., (2013) Nachhaltig für Teller und Tank: Wie Bioenergie im Ökolandbau die Energiewende voranbringt, in: Den Boden Bereiten Für Die Energiewende. Agentur für Erneuerbare Energien.

\* Blumenstein, B., Siegmeier, T., Hofmann, F., Gerlach, F., Zerger, U. & Möller, D. (2015): Biogas im Ökolandbau: Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld zwischen Produktionssystem und Politik. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (im Druck).

\* Blumenstein, B., Siegmeier, T., Selsam, F., Hofmann, F., Zerger, U. & Möller, D. (2015): Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung auf ökologische Betriebssysteme: Monetäre Bewertung. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökol. Landbau (im Druck).

\* Grieb, B. & Zerger, U. (2015): Erfassung des biologischen Potenzials für die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökol. Landbau (im Druck).

\* Grieb, B., Hofmann, F., Blumenstein, B., (2015): Fruchtbarer Boden trotz viehlosem Ökolandbau. Ökologie & Landbau 2/2015 (voraussichtlich)

## 14 Literaturverzeichnis

- Agentur für Erneuerbare Energien** (2014a): Biogas und Ökolandbau - Mehr verbindende als trennende Aspekte in der landwirtschaftlichen Praxis.
- Agentur für Erneuerbare Energien** (2014b): Biogas und Ökolandbau - Mehr verbindende als trennende Aspekte in der landwirtschaftlichen Praxis.
- Aigner, I.** (2013): Grußwort der Bundesministerin für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Den Boden bereiten für die Energiewende. S. 7.
- Allan, D., Katovich, E. & Nelson, C.** (2003): Fertilizer value and weed seed destruction potential of digested manure. *Anaerobic Digester Technology Applications in Animal Agriculture: A National Summit* **6**. S. 4.
- AMI - Argarmarkt Informations-Gesellschaft mbH** (2012): Marktsudie, Strukturdaten im ökologischen Landbau in Deutschland 2011 - Bodennutzung, Tierhaltung und Verkaufserlöse.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S.** (2006a): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **112**. (Heft 2–3). S. 153–162.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S.** (2006b): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **112**. (Heft 2–3). S. 153–162.
- Andechser Natur** (2014): Andechser Natur. <http://www.andechser-natur.de/> (20.01.2015)
- Anspach, V.** (2010): Status quo, Perspektiven und wirtschaftliche Potenziale der Biogaserzeugung auf landwirtschaftlichen Betrieben im ökologischen Landbau. Kassel.
- Anspach, V., Gerlach, F., Graß, R., Herrle, J., Heß, J., Siegmeier, T., Paulsen, H. M., Szerencsits, M., Wehde, G., Wiggert, M., Wilbois, K.-P., Zeller, H. & Zerger, U.** (2011a): Gutachten TA-Projekt „Ökologischer Landbau und Biomasse“ Themenfeld 3 Bioenergieerzeugung und Energiepflanzennutzung im ökologischen Landbau“. Bad Dürkheim.
- Anspach, V., Heß, J., Wehde, G., Möller, D. & Wilbois, K.-P.** (2011b): Gutachten TA-Projekt „Ökologischer Landbau und Biomasse“ Themenfeld 1 Ökologischer Landbau und Biomasse: Flächenkonkurrenz zwischen ökologischem Landbau und Energiepflanzennutzung? Bad Dürkheim.

- Anspach, V., Siegmeier, T. & Möller, D.** (2011c): Biogas: Implications on productivity of organic farming systems.
- Anspach, V., Siegmeier, T. & Möller, D.** (2011d): Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. 76 S.
- Anspach, V., Siegmeier, T. & Möller, D.** (2011e): Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. 76 S.
- Baaske, W. & Lancaster, B.** (2013): Market Analysis for Sustainable Organic Biogas Production. Schlierbach (Austria).
- Baaske, W. E., Bergamasco, C., Forróova, Z., Haberbauer, M., Kovács, K., Kunikowski, G., Lancaster, B., Marshall, K., Álvarez, J. M. & Ochs, D.** (2010): Steigerung der Akzeptanz von Biogasanwendungen - Ein Handbuch für Biogas-Promotor(inn)en.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)** (2013): Biogausbeuten-Datenbank. <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/index.php>
- Beck, A.** (2013): Telefoninterview.
- Behrens, T.** (2008): Systemanalyse und Praxisdatenerhebung als Grundlage einer ökonomischen Bewertung der Integration temporärer Naturschutzmaßnahmen in den Ökologischen Landbau.
- Berg, E. & Kuhlmann, F.** (1993): Systemanalyse und Simulation: für Agrarwissenschaftler und Biologen. Stuttgart. 344 S.
- Berry, P. m., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Hatch, D. j., Cuttle, S. p., Rayns, F. w. & Gosling, P.** (2002): Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? Soil Use and Management **18**. S. 248–255.
- BfN** (2013): Biologische Vielfalt und die CBD. [http://www.bfn.de/0304\\_biodiv.html](http://www.bfn.de/0304_biodiv.html) (15.10.2014)
- BIOGRACE** (2013): BIOGRACE. <http://biograce.net/> (27.10.2014)
- Biokreis e.V.** (2010): Leitfaden für die Nutzung von Biogas in der ökologischen Landwirtschaft.
- Bioland & Naturland** (Hrsg.) (2014a): Stellungnahme des Bioland e.V. und des Naturland e.V. zur Neuregelung des EEG 2014 für die Biogaserzeugung (Referentenentwurf des BMWi vom 03. März 2014).
- Bioland & Naturland** (Hrsg.) (2014b): Stellungnahme des Bioland e.V. und des Naturland e.V. zur Neuregelung des EEG 2014 für die Biogaserzeugung (Referentenentwurf des BMWi vom 03. März 2014).
- Bioland** (2012): Bioland Richtlinien. Fassung vom 26. März 2012.

- Bioland e.V.** (2013a): Leitbilddiskussion bei Bioland. <http://www.bioland.de/index.php?id=2522>
- Bioland e.V.** (2013b): Bioland-Richtlinien.
- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Gerlach, F., Hofmann, F., Zerger, U. & Möller, D.** (2015a): Biogas im Ökolandbau: Wirtschaftlichkeit im Spannungsfeld zwischen Produktionssystem und Politik. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde.
- Blumenstein, B., Siegmeier, T. & Möller, D.** (2014): Ergebnisse des BioBiogasmonitorings 2014 - bisher unveröffentlichte Daten.
- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Selsam, F., Hofmann, F., Zerger, U. & Möller, D.** (2015b): Auswirkungen einer integrierten Biogaserzeugung auf ökologische Betriebssysteme: Monetäre Bewertung. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde.
- BMELV** (2012): Ökologischer Landbau nach Verordnung (EG) Nr. 834/2007 i.V.m. Verordnung (EG) Nr. 889/2008 in Deutschland im Jahr 2011.
- BÖLW - Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft** (2012): BÖLW veröffentlicht Zahlen zur Biobranche 2012.
- BÖLW - Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft** (2013): Bio-Umsatz durchbricht 2012 die 7-Milliarden-Marke – Politik muss Öko-Bremse lösen.
- Bossel, H.** (2004): Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt. 400 S.
- Brock, C., Franko, U., Oberholzer, H.-R., Kuka, K., Leithold, G., Kolbe, H. & Reinhold, J.** (2013): Humus balancing in Central Europe—concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **176**. (Heft 1). S. 3–11.
- Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G. & Hülsbergen, K.-J.** (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau.
- Bruggen, A. H. C. Van** (1995): Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* **79**. (Heft 10). S. 976–984.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft** (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft & Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie** (2001): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV).

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)** (Hrsg.) (2008a): Biogas und Umwelt - Ein Überblick. 2000. Aufl. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)** (Hrsg.) (2008b): Biogas und Umwelt - Ein Überblick. 2000. Aufl. Berlin.
- Bundesregierung** (2008): Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie - Für ein nachhaltiges Deutschland.
- Bundesregierung** (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P. & Amon, B.** (2006): Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. Agriculture, Ecosystems & Environment **112**. (Heft 2–3). S. 171–177.
- DBFZ** (2013): Stromerzeugung aus Biomasse - 03MAP250. Leipzig.
- DBFZ** (2014): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse).
- Demeter e.V.** (2012): Richtlinien für die Zertifizierung der Demeter-Qualität Erzeugung.
- DESTATIS** (2014): 55 % der Ackerfläche wird 2014 zum Anbau von Getreide genutzt. [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/07/PD14\\_267\\_412.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/07/PD14_267_412.html) (24.10.2014)
- DLG** (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. Frankfurt am Main.
- Düngeverordnung** (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen.
- DVL e.V.** (2014): MULLE - Das Landschafts-Energie-Projekt. <http://www.mulle.lpv.de/> (06.05.2013)
- Ebertseder, T. & Groß, J.** (2008): Ausweitung des Energiepflanzenanbaus aus Sicht des Pflanzenbaus und des Nährstoffmanagements. Klimawandel und Bioenergie - Pflanzenproduktion im Spannungsfeld zwischen politischen Vorgaben und ökonomischen Rahmenbedingungen.
- EEG** (2012): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634) geändert worden ist.
- EEG** (2014): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I S. 1218) geändert worden ist.

- EG - Die Kommission** (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008.
- EG-Öko-Basisverordnung** (2009): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 über die ökologische /biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologisch/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABI. Nr. L 189 vom 20.07.2007.
- Engeli, H., Edelmann, W., Fuchs, J. & Rottermann, K.** (1993): Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion. *Water Science and Technology*. (Heft 27 (2)). S. 69–76.
- European Environment Agency** (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Copenhagen, Denmark. 67 S.
- Fachverband Biogas** (2013): Branchenzahlen 2012 und Prognose der Branchenentwicklung 2013.
- FiBL & IFOAM** (2013): The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2013. Frick.
- Finck, A.** (1991): Pflanzenernährung in Stichworten. Berlin. 200 S.
- Finkbeiner, M.** (2013): Indirekte Landnutzungsänderungen in Ökobilanzen - wissenschaftliche Belastbarkeit und Übereinstimmung mit internationalen Standards.
- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L. & Mäder, P.** (2007): Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **118**. (Heft 1–4). S. 273–284.
- FNR** (2012): Basisdaten Bioenergie Deutschland.
- FNR** (2013a): Leitfaden Biogas. 6. Aufl. . 244 S.
- FNR** (2013b): Basisdaten Bioenergie Deutschland.
- FNR** (2013c): Daten und Fakten - Grafiken FNR-Mediathek. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten.html> (24.10.2014)
- FNR** (2014): Maisanbau in Deutschland.
- Gäa e.V. Vereinigung ökologischer Landbau** (2012): Gäa-Richtlinien Erzeugung.
- Gaida, B., Schüttmann, I., Mahro, B. & Zorn, H.** (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotenzial der deutschen Lebensmittel-und Biotechnik-Industrie.

- Gelhausen, J., Hötter, H., Oppermann, R., Rasran, L., Schöne, F., Thoss, C. & Veldhoff, D.** (2011): Grünlandpflege und Klimaschutz Situation, Erfassung und Ansätze zu alternativer Nutzung von naturschutzfachlich wertvollem Grünland.
- GEMIS** (2013): Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) Database. <http://www.gemis.de/de/doc/>
- Gemmecke, B.**, Deutschland, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut (2009): Biogas-Messprogramm II: 61 Biogasanlagen im Vergleich. Gülzow bei Güstrow.
- Gericke, D., Pacholski, A. & Kage, H.** (2007): NH<sub>3</sub>-Emissionen bei der ackerbaulichen Nutzung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. (Heft 19).
- Gläserne Molkerei GmbH** (2014): Emmi erwirbt Mehrheitsbeteiligung an der Gläsernen Molkerei.
- Graß, R.** (2014): Zwischenfrüchte als Biogassubstrate: Ergebnisse.
- Graß, R., Stülpnagel, R., Kuschnerit, S. & Wachendorf, M.** (2009): Energiepflanzenanbau für die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Zürich.
- Grieb, B. & Zerger, U.** (2015): Erfassung des biologischen Potenzials für die Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde.
- Hartmann, S. & Stickse, E.** (2010): Klee gras als Biogassubstrat.
- Heiermann, M., Linke, B., Klocke, M., Scholz, V. & Grundmann, P.** (2009): Biogas – effizient erzeugen und nachhaltig nutzen. ForschungsReport 1/2009. S. 4–7.
- Hildenbrand, B.** (2012): Anselm Strauss. In: STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung - Ein Handbuch. S. 32–42.
- Hrbek, R., Freyer, B., Amon, T. & Friedel, J. K.** (2007): Nachhaltige Fruchtfolgesysteme für den biologischen Energiepflanzenanbau in Österreich.
- Hülsbergen, K.-J.** (2011): C-Sequestrierung landwirtschaftlich genutzter Böden. Humuswirtschaft & Kompost. S. 1–4.
- Hülsbergen, K.-J. & Küstermann, B.** (2008): Optimierung der Kohlenstoffkreisläufe in Öko-Betrieben. Ökologie und Landbau. (Heft 145). S. 20–22.
- Icha, P.** (2013): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012. Dessau-Rosßlau.

- ISO** (2006): DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen DIN EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.
- Jensen, D.** (2014): N-Fixierung und Faktor Speicherbarkeit. *BIOGAS Journal*. (Heft Sonderheft Best Practice). S. 11–13.
- Johansen, A., Carter, M. S., Jensen, E. S., Hauggard-Nielsen, H. & Ambus, P.** (2013): Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O. *Applied Soil Ecology* **63**. S. 36–44.
- Kempkens, K.** (2007): Vorwort, in: Bewertung ökologischer Betriebssysteme. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. Darmstadt.
- Keymer, U.** (2012): Der Wert von Biogasgärresten. Düngung mit Biogasgärresten. Hrsg: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Köhler, H.** (2011): Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) von Helmut Köhler - Taschenbuch - buecher.de. 74. Aufl. . 676 S.
- Kolbe, H.** (2008): Fruchtfolgegrundsätze im ökologischen Landbau. Dresden.
- KOM** (2010): BERICHT DER KOMMISSION AN DEN RAT UND DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT über Nachhaltigkeitskriterien für die Nutzung fester und gasförmiger Biomasse bei Stromerzeugung, Heizung und Kühlung.
- Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU)** (2013): Biogaserzeugung und -nutzung: Ökologische Leitplanken für die Zukunft - Vorschläge der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU).
- Körschens et al.** (2004): Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Bonn.
- Krieg, R.** (2013): Es gibt kaum Bio-Energiewirte: Biogasanlagen auf Biobetrieben bleiben umstritten. Pressemitteilung. (Heft Nr. 34/13).
- Kroll-Fiedler, C. & Schumacher, U.** (2013): Äußerung im Expertenworkshop BioBiogas. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen.
- Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D. & Turkington, T. K.** (2002): Managing Plant Disease Risk in Diversified Cropping Systems. *Agron. J.* **94**. (Heft 2). S. 198–209.
- KrW-/AbfG** (2012): Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz -KrWG (Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen).
- KTBL** (Hrsg.) (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Aufl. Darmstadt.

- KTBL** (Hrsg.) (2010): Ökologischer Landbau, Daten für die Betriebsplanung. 1. Aufl. Darmstadt.
- KTBL** (2009): Faustzahlen Biogas. 2. Auflage. Darmstadt.
- KTBL** (2010): Gasausbeute in Landwirtschaftlichen Biogasanlagen. 36 S.
- KTBL** (2013): Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. <http://daten.ktbl.de/biogas/navigation.do?selectedAction=Startseite#start>
- KTBL** (2015): [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de). Onlineangebot des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt.
- Kuhnert, H., Behrens, G., Hamm, U., Müller, H., Nieberg, H., Sanders, J. & Strohm, R.** (2013): Ausstiege aus dem Ökologischen Landbau: Umfang - Gründe - Handlungsoptionen. Braunschweig, Hamburg und Witzhausen.
- Laborde, D.** (2011): Assessing the land use change consequences of European biofuel policies | International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Lazarus, W. F. & Rudstrom, M.** (2007): The Economics of Anaerobic Digester Operation on a Minnesota Dairy Farm. Review of Agricultural Economics **29**. (Heft 2). S. 349–364.
- LBST** (2008): E3database. <http://www.e3database.com/> (27.10.2014)
- Lerf, E. & Lerf, R.** (2000): Für Biobetriebe empfehlenswert. bioland. (Heft 5/2000).
- Lichtblick** (2014): Stromkosten Gewerbekunden. Abrufbar unter <http://www.lichtblick.de/geschaeftskunden/gewerbestrom/geschaeftskunden/>.
- Liebetrau, J.** (2011): Quantitative Bewertung von Emissionen klimarelevanter Gase aus Biogasanlagen. Braunschweig.
- Lindenthal, T., Rudolph, G., Theurl, M., Hörtenhuber, S. & Kraus, G.** (2011): Biologische Boden-Bewirtschaftung als Schlüssel zum Klimaschutz in der Landwirtschaft. Wien.
- Lukehurst, C. T., Frost, P. & Seadi, T. Al** (2010): Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. IEA Bioenergy.
- Meier, D.** (2013): Klee gras statt Mais. energie aus pflanzen. (Heft 5/2013). S. 6–9.
- Memmler, M., Merkel, K., Pabst, J., Rother, S., Schneider, S. & Dreher, M.** (2013): Emissionensbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2012. Dessau-Rosßlau.

- Meyer, R.** (2013): Zielkonflikte und Chancen der Integration. *Ökologie & Landbau*. (Heft 2/2013). S. 32–34.
- Meyer, R. & Priefer, C.** (2012a): *Ökologischer Landbau und Bioenergieerzeugung – Zielkonflikte und Lösungsansätze*. Berlin. 240 S.
- Meyer, R. & Priefer, C.** (2012b): *Ökologischer Landbau und Bioenergieerzeugung – Zielkonflikte und Lösungsansätze*. Berlin. 240 S.
- Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg** (2014): *Nachhaltige Biogaserzeugung in Baden-Württemberg*.
- Möller, D.** (1994): ECOSIM - Ein dynamisches Simulationsmodell für Betriebe des Ökologischen Landbaus. Dissertation, Gießener Schriften zur Agrar- und Ernährungswirtschaft, Heft 23.
- Möller, K.** (2003): Systemwirkungen einer „Biogaswirtschaft“ im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen.
- Möller, K.** (2009): Influence of different manuring systems with and without biogas digestion on soil organic matter and nitrogen inputs, flows and budgets in organic cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **84**. (Heft 2). S. 179–202.
- Möller, K.** (2011): Biogas im Öko-Landbau: Ist die Vergärung von Biomasse und Reststoffen nachhaltig? *Naturland Nachrichten*. (Heft 04). S. 23–27.
- Möller, K., Leithold, G., Michel, J., Schnell, S., Stinner, W. & Weiske, A.** (2006): Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau – Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch wirtschaftender Betriebe.
- Möller, K. & Müller, T.** (2012): Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review: Digestate nutrient availability. *Engineering in Life Sciences* **12**. (Heft 3). S. 242–257.
- Möller, K., Schulz, R. & Müller, T.** (2014): Startseite: Institut für Kulturpflanzenwissenschaften. <https://plantnutrition.uni-hohenheim.de/> (17.10.2014)
- Möller, K. & Stinner, W.** (2009): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy* **30**. (Heft 1). S. 1–16.
- Möller, K. & Stinner, W.** (2010): Effects of organic wastes digestion for biogas production on mineral nutrient availability of biogas effluents. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **87**. (Heft 3). S. 395–413.

- Möller, K., Stinner, W., Deuker, A. & Leithold, G.** (2008a): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **82**. (Heft 3). S. 209–232.
- Möller, K., Stinner, W. & Leithold, G.** (2008b): Growth, composition, biological N<sub>2</sub> fixation and nutrient uptake of a leguminous cover crop mixture and the effect of their removal on field nitrogen balances and nitrate leaching risk. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **82**. (Heft 3). S. 233–249.
- Müller, R.** (1993): Biogas heizt Haus und Hof. *bioland*. (Heft 5/93). S. 11–13.
- Mußhoff, O. & Hirschauer, N.** (2010): Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren (Modern agricultural management. Economic methods for analysis and planning). München.
- Naturland** (2012): Naturland-Richtlinien Erzeugung. Naturland - Verband für ökologischen Landbau e.V. Mai 2012.
- Naturland** (2013): Naturland Richtlinien Erzeugung.
- Neff, R.** (2007): Biogaspotenzial einiger landwirtschaftlicher Kulturen – Versuchsergebnisse. BIOENTA – Bioenergietagung Witzenhausen. Witzenhausen.
- Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P. & Scialabba, N.** (2009): Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and Adaptation Potential of Sustainable Farming Systems. Rome.
- o. A. (2013a): Statistisches Bundesamt (Destatis). <https://www.destatis.de/DE/Startseite.html> (25.11.2014)
- o. A. (2013b): KTBL e.V. <https://www.ktbl.de/> (15.10.2014)
- Olbrich-Majer, M.** (2012a): Biogas: Die Demeter-Position.
- Olbrich-Majer, M.** (2012b): Biogas: Die Demeter-Position.
- Parton, W. J. & Rasmussen, P. E.** (1994): Long-Term Effects of Crop Management in Wheat-Fallow: II. CENTURY Model Simulations. *Soil Science Society of America Journal* **58**. (Heft 2). S. 530–536.
- Paustian, K., Parton, W. J. & Persson, J.** (1992): Modeling Soil Organic Matter in Organic-Amended and Nitrogen-Fertilized Long-Term Plots. *Soil Science Society of America Journal* **56**. (Heft 2). S. 476–488.
- Pehlken, A., Klenke, T., Grecksch, K., Aden, C., Madena, K. & Asche, E.** (2014): DELaND - Biogas einmal anders. Ergebnisse des deutschen Teilprojekts. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

- Peters, W.** (2010): Flächeneffektive Bioenergienutzung aus Naturschutzsicht. Bonn.
- Peters, W.** (2014): Unterstützung der energetischen Nutzung von Reststoffen und Landschaftspflegematerial durch regionale Energiekonzepte. Schwäbisch Hall.
- PROFACTOR Gruppe** (2012): BiogasAccepted: Promoting Biogas in European Regions. <http://www.profactor.at/biogasaccepted/index.php?id=8> (19.12.2012)
- Redelberger, H. & Albrecht-Seidel, M.** (2006): Hofmolkerei: analysieren, optimieren, planen. Mainz.
- Redelberger, H.** (Hrsg.) (2004): Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft: Verfahren - Kostenrechnungen - Baulösungen.
- Šarapatka, B., Holub, M. & Lhotská, M.** (1993): The Effect of Farmyard Manure Anaerobic Treatment on Weed Seed Viability. *Biological Agriculture & Horticulture* **10**. (Heft 1). S. 1–8.
- Scheller, E.** (2006): Offene Fragen der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise zu den Auswirkungen des Biogas-Gärsubstrates. Biogaserzeugung im ökologischen Landbau. S. 14–15.
- Schmidt, H.** (2003): Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Forschungsbericht, Universität Gießen.
- Schwenk, J., Schieke, D., Schuster, H. & Pfeifer, E.** (2010): Microsoft Office Excel 2010 – Das Handbuch. Köln.
- Seadi, T. Al & Lukehurst, C.** (2012): Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser.
- Seyfert, U., Bunzel, K. & Thrän, D.** (2011a): DBFZ Report Nr. 8: Biomassepotenziale In Deutschland 2008 bis 2020. Leipzig.
- Seyfert, U., Bunzel, K., Thrän, D., Mauky, E., Fritsche, B., Schreiber, A., Liebetrau, J., Schmidt, T., Ulbricht, T. & Lenz, V.** (2011b): DBFZ Report Nr. 8 - Kompakt -. Leipzig.
- Siegmeier, T., Blumenstein, B. & Möller, D.** (2013): Biogas und Ökologische Landwirtschaft: Strukturen, Substrate, Wirtschaftlichkeit - Ergebnisse des BioBiogas-Monitorings 2011. Witzenhausen.
- Siegmeier, T., Blumenstein, B. & Möller, D.** (2015): Farm biogas production in organic agriculture - System implications. submitted to *Agricultural Systems*.
- Söbbeke** (2014): Söbbeke Pauls Biomolkerei | Milchbauern. <http://www.soebbeke.de/de/molkerei/milchbauern.html> (20.01.2015)

- Statistische Ämter des Bundes und der Länder** (Hrsg.) (2011): Agrarstrukturen in Deutschland: Einheit und Vielfalt - Google-Suche. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt** (2011): Landwirtschaftszählung / Agrarstrukturerhebung 2010 - Betriebe mit ökologischem Landbau. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt** (2012): Flächennutzung.
- Statistisches Bundesamt** (2013): Viehbestand und tierische Erzeugung 2012. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt** (2014a): Agrarstrukturerhebung 2013 - Betriebe mit ökologischem Landbau. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt** (2014b): Agrarstrukturerhebung 2013 - Betriebe mit ökologischem Landbau. Wiesbaden.
- Stein-Bachinger, K., Bachinger, J. & Schmitt, L.** (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau: ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff ; [mit Anwendungs-CD].
- Stinner, W., Möller, K. & Leithold, G.** (2008): Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems. *European Journal of Agronomy* **29**. (Heft 2–3). S. 125–134.
- Strauss, A. & Corbin, J.** (1996): Grounded Theory: Grundlagen Qualitativer Sozialforschung. Weinheim.
- Svoboda, N., Taube, F., Wienforth, B., Kluß, C., Kage, H. & Herrmann, A.** (2013): Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil and Tillage Research* **130**. S. 69–80.
- VDI** (2012): Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen. Richtlinie 6025 des Vereins Deutscher Ingenieure. Beuth, Berlin. <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/bauen-und-gebaeudetechnik/fachbereiche/technische-gebaeudeausruestung/richtlinienarbeit/vdi-6025/> (25.09.2014)
- Watson, C. a., Bengtsson, H., Ebbesvik, M., Løes, A.-K., Myrbeck, A., Salomon, E., Schroder, J. & Stockdale, E. a.** (2002): A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management* **18**. S. 264–273.
- Weisser, A.** (2006): „Molkevergärung“ im Betrieb der Breisgaumilch GmbH Freiburg.

- Wendland, M., Diepolder, M. & Capriel, P.** (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland (Gelbes Heft). Hrsg: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising.
- Westerman, P. R., Heiermann, M., Pottberg, U., Rodemann, B. & Gerowitt, B.** (2012b): Weed seed survival during mesophilic anaerobic digestion in biogas plants. *Weed Research* **52**. (Heft 4). S. 307–316.
- Westerman, P. R., Hildebrandt, F. & Gerowitt, B.** (2012a): Weed seed survival following ensiling and mesophilic anaerobic digestion in batch reactors. *Weed Research* **52**. (Heft 3). S. 286–295.
- Wiggering, H., Fischer, J.-U. & Penn-Bressel, G.** (2009): Flächenverbrauch einschränken - jetzt handeln: Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt. Dessau-Rosßlau.
- Wilken, D., Dr. Michael Knabel & Dr. Michael Lebuhn** (2009): Hinweise zum Gülleeinsatz in Biogasanlagen: Nr. V – 2/2009 - Google-Suche. [https://www.google.de/search?q=bgf+bayern+2009&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:de:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe\\_rd=cr&ei=HAdRVIUMx7E6iaGAoA8#rls=org.mozilla:de:official&channel=sb&q=Hinweise+zum+G%C3%BClleeinsatz+in+Biogasanlagen%3A+Nr.+V+%E2%80%93+2%2F2009](https://www.google.de/search?q=bgf+bayern+2009&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:de:official&client=firefox-a&channel=sb&gfe_rd=cr&ei=HAdRVIUMx7E6iaGAoA8#rls=org.mozilla:de:official&channel=sb&q=Hinweise+zum+G%C3%BClleeinsatz+in+Biogasanlagen%3A+Nr.+V+%E2%80%93+2%2F2009) (29.10.2014)
- Wilke, S.** (2013): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas> (17.10.2014)
- Zander, K., Plagge, J. & Strohm-Lömpcke, R.** (2008): Diversifizierung, Spezialisierung, Kooperation im ökologischen Landbau: Konzepte und Strategien zur Verbesserung des Betriebsmanagements und der Arbeitsorganisation.
- Zerger, U.** (Hrsg.) (2013): Workshop: Biogas im Ökolandbau Stand und Perspektiven. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

## 15 Anhang

*Tabelle 56: Datengrundlage pflanzliche Erzeugung der Bundesländer.*

Quelle: Statistisches Bundesamt (2014b).

Die Kategorien Feinleguminosen, Zwischenfrüchte und Flächenstilllegung wurden anhand von Faktoren berechnet. Dabei gilt: Zwischenfruchtanbau auf 10 % der Ackerfläche möglich (Meyer & Priefer 2012b). Für die Kategorien Feinleguminosen und Flächenstilllegung/ Gründüngung wurde anhand von Strukturdaten im ökologischen Landbau (AMI - Argarmarkt Informations-Gesellschaft mbH 2012) der prozentuale Anteil bestimmt. Diese beträgt für Feinleguminosen 19,77% der Ackerfläche und für Flächenstilllegung/Gründüngung 1,95 % der Ackerfläche.

Bundesland	Öko- betriebe	Öko- fläche	Acker- land	Feldgras/ Grasanbau auf dem Ackerland	Feinlegumi- nosen (Klee- gras) be- rechnet	Zwischen- fruchtanbau (berechnet)	Flächenstill- legung / Gründün- gung (berechnet)	Wiesen und Wei- den	Ertragsarmes und aus der Erzeugung genommenes Dauergrün- land
Einheit	Anzahl	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Baden-Württemberg	3.300	111.100	39.300	900	7.770	3.930	768	66.100	2.700
Bayern	6.300	213.800	94.100	1.900	18.604	9.410	1.839	114.200	4.400
Berlin-Brandenburg	700	136.000	87.300	12.400	17.259	8.730	1.706	45.600	2.300
Hessen	1.700	81.200	27.400	3.000	5.417	2.740	535	48.200	4.700
Mecklenburg-Vorpommern	700	120.300	46.400	8.100	9.173	4.640	907	72.100	900
Niedersachsen, Bremen	1.200	74.900	29.900	2.100	5.911	2.990	584	36.100	7.300
Nordrhein-Westfalen	1.400	61.300	17.300	3.100	3.420	1.730	338	35.700	8.000
Rheinland-Pfalz	1.000	45.300	11.700	1.400	2.313	1.170	229	27.800	0

Bundesland	Öko- betriebe	Öko- fläche	Acker- land	Feldgras/ Grasanbau auf dem Ackerland	Feinlegumi- nosen (Klee- gras) be- rechnet	Zwischen- fruchtanbau (berechnet)	Flächenstill- legung / Gründün- gung (berechnet)	Wiesen und Wei- den	Ertragsarmes und aus der Erzeugung genommenes Dauergrün- land
Einheit	Anzahl	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Saarland	100	8.900	2.300	600	455	230	45	6.100	400
Sachsen	400	34.400	20.300	1.400	4.013	2.030	397	12.700	700
Sachsen-An- halt	300	53.200	32.100	2.100	6.346	3.210	627	19.400	1.300
Schleswig- Holstein, Hamburg	400	34.700	18.400	600	3.638	1.840	360	15.400	500
Thüringen	200	3.400	14.500	600	2.867	1.450	283	17.400	1.800
<b>Summe</b>	<b>17.700</b>	<b>978.500</b>	<b>441.000</b>	<b>38.200</b>	<b>87.186</b>	<b>44.100</b>	<b>8.617</b>	<b>516.800</b>	<b>35.000</b>

Tabelle 57: Tierbesatz in den Bundesländern.

Quelle: Statistisches Bundesamt (2014b). In Rot: Daten stammen aus 2010 (Statistisches Bundesamt 2011), da in 2013 keine gesicherten Werte vorhanden waren.

Bundesland	Rinder	Schweine	Schafe	Ziegen	Hühner	Gänse, Enten, Truthühner	Einhufer
Einheit	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere
Baden-Württemberg	81.200	14.352	24.300	7.200	25.300	27.700	5.200
Bayern	183.600	28.800	38.000	18.100	437.900	34.645	7.200
Berlin-Brandenburg	53.000	13.500	19.400	1.200	326.900	700	1.700
Hessen	50.000	10.700	30.200	3.200	248.900	4.000	4.200
Mecklenburg-Vorpommern	75.600	30.000	25.600	700	986.100	49.500	2.401
Niedersachsen, Bremen	39.300	42.800	30.000	2.000	1.366.100	55.600	1.900
Nordrhein-Westfalen	45.200	15.617	21.500	2.700	351.200	6.200	3.100
Rheinland-Pfalz	25.300	3.300	6.900	1.576	24.200	1.200	1.400
Saarland	3.700	280	2.000	400	19.700	100	1.300
Sachsen	14.600	2.200	8.100	1.000	4.596	43.300	700
Sachsen-Anhalt	12.400	11.400	5.100	900	291.700	400	1.100
Schleswig-Holstein, Ham- burg	21.900	11.600	10.200	1.800	112.100	900	700
Thüringen	19.100	4.900	4.900	800	149.400	4.800	800
<b>Summe</b>	<b>624.900</b>	<b>189.449</b>	<b>226.200</b>	<b>41.576</b>	<b>4.344.096</b>	<b>229.045</b>	<b>31.701</b>

Tabelle 58: Biogas- und Methanertrag aus der Nutzung von Reststoffen der Bioproduktion. [oTM: organische Trockenmasse]

Bereiche	Anfallende Menge	Substratkategorie	Umrechnungsfaktoren			oTM	Biogasertrag	Methanertrag gesamt	Energie-menge
			Anteil oTM [%]	Bio-gas-er-trag [Nm <sup>3</sup> / t oTM]	CH4 im Bio-gas [%]				
Einheit	[t TS/a]					[kg]	[Nm <sup>3</sup> ]	[Nm <sup>3</sup> ]	[PJ]
Convenience Produkte	6.000	Speisereste, mittelfett	86,6	681,4	60,2	5.196	3.540.554	2.131.414	0,077
Stäube (aus der Getreidevermahlung)	4.800	Getreidestaub	65	680	53	3.120	2.121.600	1.124.448	0,040
Wein- und Sektproduktion	4.400	Traubentrester, zermahlen <sup>2</sup>	74,5	287	55,8	3.278	940.786	524.959	0,019
Futtermittel	2.116	Getreideausputz <sup>2</sup>	93,6	656	54	1.981	1.299.258	701.599	0,025
Süßwaren	1.560	Kakaoschalen <sup>1</sup>	92	412,9	55,3	1.435	592.594	327.705	0,012
Brauereien	1.000	Biertreber frisch <sup>1</sup>	95,5	533,2	59,3	955	509.206	301.959	0,011
Brennereien	585	Getreideschlempe <sup>2</sup>	94	700	55	550	384.930	211.712	0,008
Mälzereien	280	Getreideausputz <sup>2</sup>	93,6	656	54	262	171.924	92.839	0,003
<b>Gesamt</b>	<b>20.741</b>					<b>16.777</b>	<b>9.560.852</b>	<b>5.416.635</b>	<b>0,0194</b>

LfL Agrarökonomie: Biogasausbeuten-Datenbank (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2013), Zugriff am 28.11.2013)

<sup>2</sup> \*KTBL Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas (KTBL 2013), Zugriff am 28.11.2013)

Tabelle 59: Grunddaten zu Tierzahlen und Flächen die der Berechnung zu Grunde liegen, (Statistisches Bundesamt 2014b).

Bundesland	Öko- betriebe	Öko- fläche	Acker- land	Feld- gras/ Gras- anbau auf Acker- land	Wiesen und Weiden	Ertragsar- mes und aus Erzeu- gung ge- nomme- nes Dauer- grünland	Rinder	Schweine	Schafe	Ziegen	Hühner	Gänse, Enten, Trut- hühner	Einhu- fer	Haupt- futter- fläche #1
Einheit	Anzahl	ha	ha	ha	ha	ha	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Futter- fläche in ha je GV- Rauh- futter- fresser
Baden- Württem- berg	3.300	111.100	39.300	900	66.100	2.700	81.200	14.352	24.300	7.200	25.300	27.700	5.200	0,90
Bayern	6.300	213.800	94.100	1.900	114.200	4.400	183.600	28.800	38.000	18.100	437.900	34.645	7.200	0,66
Berlin- Branden- burg	700	136.000	87.300	12.400	45.600	2.300	53.000	13.500	19.400	1.200	326.900	700	1.700	1,31
Hessen	1.700	81.200	27.400	3.000	48.200	4.700	50.000	10.700	30.200	3.200	248.900	4.000	4.200	0,95
Mecklen- burg-Vor- pommern	700	120.300	46.400	8.100	72.100	900	75.600	30.000	25.600	700	986.100	49.500	2.401	1,12
Nieder- sachsen, Bremen	1.200	74.900	29.900	2.100	36.100	7.300	39.300	42.800	30.000	2.000	1.366.100	55.600	1.900	0,71
Nordrhein- Westfalen	1.400	61.300	17.300	3.100	35.700	8.000	45.200	15.617	21.500	2.700	351.200	6.200	3.100	0,60

Bundesland	Öko- betriebe	Öko- fläche	Acker- land	Feld- gras/ Gras- anbau auf Acker- land	Wiesen und Weiden	Ertragsar- mes und aus Erzeu- gung ge- nomme- nes Dauer- grünland	Rinder	Schweine	Schafe	Ziegen	Hühner	Gänse, Enten, Trut- hühner	Einhu- fer	Haupt- futter- fläche #1
Einheit	Anzahl	ha	ha	ha	ha	ha	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Tiere	Futter- fläche in ha je GV- Rauh- futter- fresser
Rheinland- Pfalz	1.000	45.300	11.700	1.400	27.800	0	25.300	3.300	6.900	1.576	24.200	1.200	1.400	0,99
Saarland	100	8.900	2.300	600	6.100	400	3.700	280	2.000	400	19.700	100	1.300	1,14
Sachsen	400	34.400	20.300	1.400	12.700	700	14.600	2.200	8.100	1.000	4.596	43.300	700	0,81
Sachsen- Anhalt	300	53.200	32.100	2.100	19.400	1.300	12.400	11.400	5.100	900	291.700	400	1.100	1,18
Schleswig- Holstein, Hamburg	400	34.700	18.400	600	15.400	500	21.900	11.600	10.200	1.800	112.100	900	700	0,64
Thüringen	200	3.400	14.500	600	17.400	1.800	19.100	4.900	4.900	800	149.400	4.800	800	0,95
<b>Summe</b>	<b>17.700</b>	<b>978.500</b>	<b>441.000</b>	<b>38.200</b>	<b>516.800</b>	<b>35.000</b>	<b>624.900</b>	<b>189.449</b>	<b>226.200</b>	<b>41.576</b>	<b>4.344.096</b>	<b>229.045</b>	<b>31.701</b>	<b>0,92</b>

Tabelle 60 Vergleich aktuelle und potenzielle Biogaserzeugung im ökologischen Landbau

Bundesland	Nutzbarer Stromertrag (GWh <sub>el</sub> )	Aktuell Installiert (kW) <sup>11</sup>	Aktuell produziert (GWh <sub>el</sub> ) <sup>12</sup>	genutztes Potenzial (%)	noch offenes nutzbares Potenzial (GWh <sub>el</sub> )	Anzahl mögliche zusätzliche Biogasanlagen <sup>13</sup>
Baden-Württemberg	99	5.380	40	41	59	39
Bayern	229	6.945	52	23	177	118
Berlin-Brandenburg	119		0	0	119	79
Hessen	81	1.206	9	11	72	48
Mecklenburg-Vorpommern	113	680	5	5	108	72
Niedersachsen	114	3.008	23	20	91	61
Nordrhein-Westfalen	96	683	5	5	91	60
Rheinland-Pfalz	53	75	1	1	52	35
Saarland	11	250	2	18	9	6
Sachsen	45	1.270	10	21	35	24
Sachsen-Anhalt	70		0	0	70	46
Schleswig-Holstein	45	900	7	15	38	25
Thüringen	39	1.145	9	22	30	20
<b>Summe</b>	<b>1.111</b>	<b>21.542</b>	<b>162</b>	<b>15</b>	<b>950</b>	<b>633</b>

<sup>11</sup> Die aktuell installierte elektrische Leistung stammt aus dem BioBiogas-Monitorings 2011 (Siegmeier ...)

<sup>12</sup> Berechnung, dafür wurden 7.500 Vollaststunden angenommen

<sup>13</sup> Für die Berechnung der möglichen zusätzlichen BGA wurden Anlagen mit 200 kW (Siegmeier ...) mit 7.5000 Vollaststunden angenommen