

Brandenburgische
Energie Technologie
Initiative (ETI)



Optimierung von Biogasanlagen

Leitfaden zum Betrieb von Biogasanlagen im
Land Brandenburg

Optimierung von Biogasanlagen

Leitfaden zum Betrieb von Biogasanlagen im Land Brandenburg
5. überarbeitete Auflage

Impressum

Herausgeber:

Brandenburgische Energie Technologie Initiative (ETI)
c/o IHK Potsdam
Breite Straße 2 a-c
14467 Potsdam
www.eti-brandenburg.de

Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg

Henning-von-Tresckow-Straße 2 - 13, Haus S
14467 Potsdam
www.mlul.brandenburg.de

Erarbeitet von:

(siehe Autorenverzeichnis Seite 47)

Redaktion:

BioenergieBeratungBornim GmbH, Matthias Plöchl

Layout:

Manuskriptur, Barbara Tauber

Druck:

KUSS Kopierservice GmbH, Potsdam

Bildnachweis:

Titelbild (klein): Bernd Höhne, Titelbild (groß): Jan Freese/pixelio.de, 2.1: Bernd Linke, 2.2: Matthias Plöchl, 2.3: Volkhard Scholz, 2.4: Matthias Plöchl, 2.5: Vincent Plogsties, 2.6 - 2.8: Matthias Plöchl, 2.9: Jörn Budde, 2.10: Matthias Plöchl, 2.11: Vincent Plogsties, 2.12: SCHAU.MEDIA/pixelio.de, 3.1 - 3.4: Wolfgang Peters, 4.1 - 4.6: Gerd Hampel, 5.1: Ingo Baumstark, 5.2 - 5.3: Matthias Plöchl

Vorwort



Biogas spielt eine wichtige Rolle in der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg und trägt zur regionalen Wertschöpfung in ländlichen Räumen bei. Damit dies auch in Zukunft geschieht, sind vor allem zwei Dinge erforderlich: angemessene rechtliche Rahmenbedingungen und eine effiziente, umweltschonende Weiterentwicklung des Anlagenbestands im Land Brandenburg.

Das EEG 2014 hat mit Ausnahme von Gülle-, Klein- und Bioabfallanlagen zu einem fast vollständigen Stopp des Anlagenneubaus geführt. Gleichzeitig gibt es ein deutliches Signal. Biogas soll die fluktuierende Stromerzeugung aus Windkraft- und Solaranlagen bedarfsgerecht ausgleichen. Das EEG 2017 setzt diese Entwicklung mit zwei Neuerungen fort: Biomasseanlagen werden in Ausschreibungen einbezogen und haben die Möglichkeit zur Verlängerung des Förderzeitraums um weitere zehn Jahre. Eine Chance auf Förderung haben nur noch kostengünstig arbeitende Anlagen mit einem schrittweise verringerten Maiseinsatz.

Die Biogasanlagen müssen fit gemacht werden und sich weiterentwickeln, um ihren Platz in der Energiewende und Akzeptanz in der Gesellschaft zu finden und bei Ausschreibungen, wettbewerbsfähig zu bleiben. Dazu gehören wirtschaftliche Konzepte für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern, Reststoffen und

Bioabfällen sowie Zusatzverdienste durch die Vermarktung flexibler Stromerzeugung und anfallender Wärme.

Die vorangegangenen Auflagen des Biogas-Leitfadens richteten sich vorrangig an Interessierte für den Bau und Betrieb von Neuanlagen. Die 5. Auflage wendet sich verstärkt an Betreiber von Bestandsanlagen, die vor der Frage stehen, ob gegen Ende des Vergütungszeitraums eine Laufzeitverlängerung im EEG möglich ist oder sich alternative Vermarktungsmodelle anbieten. Auch bei Anlagen, die planmäßig aus der Förderung auslaufen, können für die Restlaufzeit erhebliche Effizienzpotenziale gehoben werden, insbesondere dann, wenn ohnehin über Ersatz-, Modernisierungs- oder Erweiterungsinvestitionen nachgedacht wird.

Das Land Brandenburg hat großes Interesse am Erhalt eines Anlagenbestands, der hinsichtlich Ressourceneffizienz, Klimaverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit weiterentwickelt wird. Möglichkeiten zur Optimierung am konkreten Anlagenstandort werden seit Oktober 2013 durch ein Projekt zur kostenlosen Beratung von Bestandsanlagen vor Ort vermittelt. Die anonymisierten Projektergebnisse der ersten Auswertungsperiode bilden den Schwerpunkt des Leitfadens.

Unser Ziel ist erreicht, wenn das Angebot der kostenlosen Beratung verstärkt in Anspruch genommen wird, um festgestellte Optimierungspotenziale in Bestandsanlagen gezielt umzusetzen.

A handwritten signature in black ink that reads "Jörn Vosch". The signature is fluid and cursive.

Minister für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft

Inhalt

0	Vorwort des Ministers.....	1
1	Stand und Entwicklung der Biogasnutzung im Land Brandenburg...4	
2	Grundlagen und grundlegende Technik.....	7
2.1	Grundlagen des Gärprozesses.....	7
2.2	Grundlegende Verfahren und Anlagentechnik.....	11
3	Einsatzstoffe für Biogasanlagen.....	16
3.1	Energiepflanzen.....	16
3.2	Anbausysteme.....	17
3.3	Wirtschaftsdünger.....	17
3.4	Material aus der Landschaftspflege.....	18
3.5	Bioabfälle	21
4	Ökonomische und ökologische Optimierung bestehender Biogasanlagen.....	25
4.1	Einführung.....	26
4.2	Bestandsanalyse	25
4.3	Fallbeispiel Anlage D.....	35
4.4	Fazit und Empfehlungen.....	39
5	Chancen und Risiken für die Nutzung von Biogas.....	41
	Abkürzungsverzeichnis.....	45
	Autorenverzeichnis	47

1. Stand und Entwicklung der Biogasnutzung im Land Brandenburg

Zum 31.12.2015 waren im Land Brandenburg 482 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung (arbeitsrelevant und flexibel) von 255 MWel in Betrieb.

Im Jahr 2014 kam es vor Inkrafttreten des neuen EEG und unter Nutzung der Übergangsbestimmungen noch zu einem moderaten Anlagenzubaue. Die Auswirkungen des EEG 2014 sind dagegen deutlich im Jahr 2015 zu spüren, der Neubau ging auf 3 Anlagen mit 2,4 MW elektrischer Leistung zurück. Hier vollzieht sich ein bundesweiter Trend: im gesamten Bundesgebiet waren nach Angaben des Fachverbandes Biogas e.V. nur noch 150 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 23 Megawatt neu an das Netz gegangen.

Brandenburger Biogasanlagen erzeugten im Jahr 2014 nach Angaben der Agentur für Erneuerbare Energien e.V. 1650 Mio kWh Strom und lieferten damit einen Anteil von 11,4 Prozent an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen in Brandenburg.

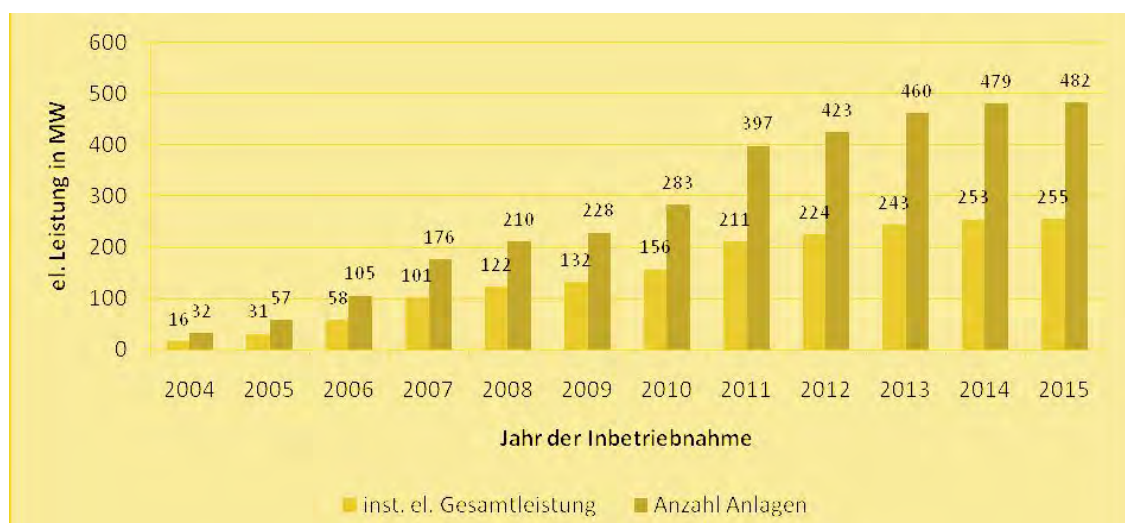
Mit durchschnittlich 6.241 Jahresvolllaststunden bei ganzjährig laufenden Biomassekraft-

werken (feste, flüssige und gasförmige Biomasse) lagen Brandenburger Anlagen im Jahr 2014 leicht über dem bundesweiten Mittel. Von 2011 auf 2012 gab es eine sprunghafte Erhöhung der Auslastung und eine weitere Steigerung erfolgte im Jahr 2013 (Tab. 1.1).

Rückschlüsse auf die Installierung einer flexiblen Anlagenkapazität können aus der Höhe der gezahlten Flexibilitätsprämie gezogen werden. Brandenburg weist seit der Einführung der Flexibilitätsprämie im Jahr 2012 zwar eine steigende Tendenz auf, im bundesweiten Vergleich zur installierten Anlagenkapazität liegen die Summen jedoch relativ niedrig. So kommt Brandenburg im Jahr 2014 bei einem Anteil von 6,5 % der Anlagenkapazität nur auf einen Anteil von 2 % der in Deutschland gezahlten Flexibilitätsprämie. Spitzenreiter sind hier Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen.

Brandenburg gehört mit 19 Biomethananlagen bis zum Redaktionsschluss zu den Bundesländern mit einer hohen Aufbereitungskapazität von Biogas. Im Jahresvergleich 2014 betrug sie 12,5 % der gesamten Aufbereitungskapazität in Deutschland und

Abb. 1.1: Entwicklung Biogasanlagen in Brandenburg



Quelle: Stammdaten 50 Hertz, Anlagenregister BNetzA ab 2014

Tab. 1.1: Entwicklungstrends Kennzahlen Biomasse in Brandenburg

	2011	2012	2013	2014
Stromerzeugung aus Biogas in MWh	1.070	1.340	1.530	1.650
Anteil Biogas an Stromerzeugung EE in %	8,8	10,5	11,6	11,4
durchschnittliche Jahresvolllaststunden Biomassekraftwerke in h a ⁻¹	4.342	6.266	6.624	6.241
Flexibilitätsprämie Biomasse in Mio. Euro	Einführung mit EEG 2012	0,02	0,11	0,38
installierte Aufbereitungskapazität Biogas in Nm ³ d ⁻¹	172.800	214.032	208.032	316.032

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

wies mit 17.557,3 Nm³/d die drittgrößte durchschnittliche Kapazität nach dem Saarland und Sachsen-Anhalt auf.

Die Auswertung der Daten zur Stromproduktion von Biomasseanlagen in Brandenburg in den Abrechnungsjahren 2014 und 2015 zeigt zwei Tendenzen. Obwohl im Jahr 2015 die gesamte installierte Leistung von Biomasseanlagen nur um 2 MW gestiegen ist, kam es zu einer Erhöhung der Stromproduktion um 200.000 MWh und damit zu einer erheblich verbesserten Auslastung der Biomasseanlagen. Gleichzeitig ist festzustellen, dass immer mehr Biomasseanlagen in die Direktvermarktung wechseln und ca. 80 % des erzeugten Stroms bereits aus der Direktvermarktung stammt. Die Stromproduktion aus Biomasseanlagen umfasst vergütungsfähigen Strom nach dem EEG auf der Basis

von Biogas, Biomethan, fester und flüssiger Biomasse. Konkrete Rückschlüsse auf die Stromproduktion aus Biogas und Biomethan bedürfen einer anlagenscharfen Auswertung. Sie können hier nur unter dem Gesichtspunkt gezogen werden, dass ca. zwei Drittel der Stromproduktion aus Biogas und Biomethan erfolgen.

Die größte Chance für Biogas besteht darin, bei steigender volatiler Stromeinspeisung aus Windkraft- und Solaranlagen zu einer bedarfsgerechten Stromproduktion beizutragen und Systemdienstleistungen zu erbringen. Um Biogas im Strommarkt 2.0 zu etablieren, ist die zunehmende Ertüchtigung des Anlagenbestandes hinsichtlich einer effizienten und flexiblen Arbeitsweise notwendig. Mit dem EEG 2017 wird es bereits konkret: Ausschreibungen werden nur solche Biogasanla-

Tab. 1.2: Stromproduktion Biomasseanlagen in Brandenburg

	2014	2015
Anzahl Datensätze	521	518
installierte Leistung in MW	417	419
EEG-Strom (Festvergütung) in MWh	576.554	551.340
Strom aus Direktvermarktung in MWh	1.912.789	2.137.917
Summe Stromproduktion in MWh	2.489.343	2.689.257

Quelle: 50Hertz GmbH

gen gewinnen, die kostengünstig arbeiten und dazu alle Möglichkeiten ihrer Anlagenkonstellation ausschöpfen.

Gefragt sind wirtschaftliche Konzepte - zunehmend unter Einsatz von Wirtschaftsdüngern, Reststoffen und Bioabfällen. Gleichzeitig müssen Zusatzverdienste durch die Vermarktung flexibler Stromerzeugung und anfallender Wärme generiert werden, um angesichts der sinkenden Förderung bei Ausschreibungen im EEG wettbewerbsfähig zu bleiben.

2. Grundlagen und grundlegende Technik

2.1 Grundlagen des Gärprozesses

Biochemie und Mikroorganismen

Die Bildung von Biogas ist ein mehrstufiger Prozess, bei dem Mikroorganismen unter anaeroben Bedingungen, d.h. unter Ausschluss von Sauerstoff, die in Biomasse gespeicherte chemische Energie für ihren Stoffwechsel nutzen. Hierbei werden zunächst Makromoleküle (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) durch hydrolytische Bakterien in kleinere Moleküle (z.B. Zucker, Fettsäuren, Aminosäuren, Basen) aufgespalten (Abb. 2.1). Die auf diese Weise entstandenen Spaltprodukte werden durch fermentative Bakterien weiter vergoren, wobei niedermolekulare Verbindungen, wie flüchtige Fettsäuren, Kohlendioxid, Wasserstoff und Alkohole entstehen. Methanogene Mikroorganismen sind nicht in der Lage, alle Stoffwechselprodukte der fermentativen Bakterien zu verwerten, so dass acetogene Organismen ein wichtiges Bindeglied zwischen Vergärung (Versäuerung) und Methanbildung darstellen. Sie bauen insbesondere Propionsäure, Buttersäure und weitere flüchtige Fettsäuren und Alkohole zu Essigsäure, Kohlendioxid und Wasserstoff ab, die von den methanbildenden Mikroorganismen (Archaea) als Substrate zur Bildung von Biogas (Methan und Kohlendioxid) genutzt werden.

Bei den methanbildenden Archaeen werden zwei große Gruppen unterschieden: die acetoklastischen Archaeen, die Acetat (Essigsäure) als Substrat verwerten, und die hydrogenotrophen Archaeen, die Wasserstoff und Kohlendioxid zu Methan formen. Letztere sind für den gesamten Prozess auch wichtig, da die sie durch Verbrauch von Wasserstoff für einen geringen Wasserstoffpartialdruck sorgen. Obwohl die acetogenen Archaeen selbst Wasserstoff bilden, können sie nur bei sehr geringen Wasserstoffpartialdrücken leben.

Physiologie und Milieueinflüsse

Alle von Mikroorganismen ausgehenden Stoffwechselprozesse erfordern physiologisch günstige Milieubedingungen. Es sind vor allem die Temperatur, der pH-Wert und die Konzentration von Substraten und Hemmstoffen im Reaktionsmedium, die den Biogasprozess beeinflussen. Von der Temperatur ist bekannt, dass steigende Werte auch höhere Reaktionsgeschwindigkeiten zur Folge haben. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Reaktionsgeschwindigkeit kann vereinfacht mit dem Q10-Faktor beschrieben werden. Bei einem Q10-Faktor von 2 würde sich die Reaktionsgeschwindigkeit bei jeder Erhöhung der Temperatur um 10 K verdoppeln. Bei der Biogasbildung sind jedoch so viele unterschiedliche Mikroorganismen be-

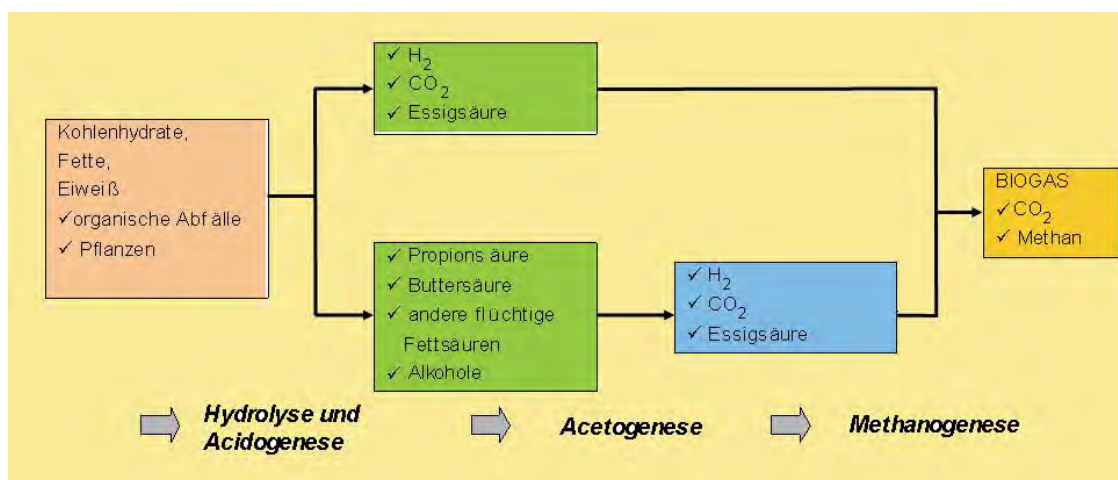


Abb. 2.1: Vereinfachtes Schema der Biogasbildung

teilt, dass der Q10-Faktor der Biogasbildung nur gering über 1 liegt. Das heißt bei dem Übergang, der in vielen Biogasanlagen üblichen, mesophilen Betriebsweise (ca. 37 °C – 42 °C) zu einer thermophilen Betriebsweise (50 °C – 60 °C) findet eine Erhöhung der Umsetzungsgeschwindigkeit von etwa 5 – 10 % statt. Die thermophile Prozessführung gilt als anfälliger gegen Störungen, insbesondere bei erhöhter Ammoniakfreisetzung. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass viele Anlagen mit einem hohen Anteil an Energiepflanzen und folglich hoher Raumbelastung sehr stabil thermophil gefahren werden können, wenn keine kritischen Ammoniakkonzentrationen zu erwarten sind. Ein weiterer Vorteil der thermophilen Biogaserzeugung liegt in der Inaktivierung seuchenhygienisch relevanter Organismen, die in der Regel bei mesophil betriebenen Anlagen nicht gewährleistet werden kann.

Biogasanlagen, die im psychrophilen Bereich bei Temperaturen unter 20 °C arbeiten haben in der Biogaserzeugung in Europa keine Bedeutung. Kleinanlagen und Anlagen ohne Isolierung und Heizung, wie sie oft in tropischen Ländern gebaut werden, werden tatsächlich häufig im psychrophilen Temperaturbereich betrieben. Auch in gasdicht geschlossenen Gärrestlagern findet die Biogasbildung unter psychrophilen Bedingungen statt. Der Q10-Faktor beim Übergang von psychrophilen zu mesophilen Bedingungen ist mit ca. 1,5 deutlich größer als beim Übergang von mesophilen zu thermophilen Bedingungen.

Für den pH-Wert werden allgemein Werte im neutralen bis schwach alkalischen Bereich (pH = 7,0 bis 7,5) gemessen. Hierfür sorgt das hohe Pufferungsvermögen, das aus der Wechselwirkung von CO₂ und seiner schwachen Säure H₂CO₃ in der Fermenterlösung resultiert. Bei hohen Stickstoffeinträgen kommt noch ein zweites Puffersystem aus Ammonium und Ammoniak zum Tragen und

die pH-Werte liegen bei 8,0 und größer. Diese Puffersysteme haben zur Folge, dass H₃O⁺ oder OH⁻ Ionen abgefangen und neutralisiert werden. D.h. auch bei einem hohen Säureeintrag ändert sich der pH-Wert nicht oder nur sehr wenig. Erst wenn das Puffervermögen aufgebraucht ist, kommt es zu einem plötzlichen und starken Anstieg der freien H₃O⁺ Ionen und somit zu einem drastischen Abfall des pH-Werts auf 4,0 oder noch kleiner.

Bestimmung des FOS/TAC

Hierfür werden 20 mL einer von groben Bestandteilen befreiten Probe nacheinander mit 0,1 N H₂SO₄ bis pH = 5 und anschließend bis pH = 4,4 titriert. Die verbrauchten Mengen 0,1 N H₂SO₄ in mL vom AnfangspH bis pH = 5 (M5) und die verbrauchten Mengen 0,1 N H₂SO₄ in mL von pH = 5 bis pH = 4,4 (M4,5) bilden die Grundlage für die Berechnung des FOS/TAC-Werts mit

$$\text{TAC} = M5 \cdot 250 \quad \text{und}$$

$$\text{FOS} = (M4,5 \cdot 1,66 - 0,15) \cdot 500$$

Ein Verhältnis FOS/TAC von 0,3 bis 0,4 deutet in der Regel auf eine gut ausgelastete Biogasanlage hin. Werte deutlich darüber oder darunter zeigen eine Überlastung an bzw. signalisieren, dass die Belastung noch gesteigert werden kann.

Der einfach zu messende pH-Wert ist somit in der Regel kein verlässlicher Kontrollparameter. Für die Überwachung des Biogasprozesses ist die Bestimmung der organischen Säuren in Verbindung mit der Pufferkapazität besser geeignet. Hierfür wurde in der Praxis der sogenannte FOS/TAC-Wert eingeführt, der sich aus dem Quotienten aus Flüchtigen Organischen Säuren (FOS) in mgL⁻¹, ausgedrückt als Essigsäureäquivalente, und dem Totalen Anorganischen Kohlenstoff (TAC) in mgL⁻¹ CaCO₃ ergibt. Der FOS/TAC-Wert lässt sich durch einfache Titration einer Probe aus dem Fermenter auch vor Ort bestimmen.

Ammoniak und Schwefelwasserstoff als Stoffwechselprodukte des anaeroben Abbaus von Proteinen oder von anorganischen Schwefelverbindungen können die Biogasbildung ebenfalls stören. Ammoniak hemmt besonders bei höheren pH-Werten und Temperaturen die Biogasbildung, da unter diesen Bedingungen das Gleichgewicht zwischen NH_3 und NH_4^+ zunehmend auf die Seite des toxisch wirkenden NH_3 verschoben ist. Gesamtkonzentrationen an $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ von mehr als etwa 3.000 mg L^{-1} werden, trotz der Fähigkeit methanogener Bakterien, sich an physiologisch bedenkliche Konzentrationen zu gewöhnen (Akklimation), als kritisch betrachtet. Für Schwefelwasserstoff ist eine Konzentration von mehr als $100 \text{ mg Sulfid L}^{-1}$, was einem Volumenanteil von etwa 1 % im Biogas entspricht, bedenklich.

Die für die Methanogenese wichtigen Spurenelemente wie Ni, Co, Mo, Se und Fe können bei solchen Schwefelwasserstoffkonzentrationen als schwerlösliche Metallsulfide ausgefällt werden und stehen dann nicht mehr für die Ausbildung der Enzyme des methanogenen Stoffwechsels zur Verfügung.

Biogasausbeute und Methangehalt

Die zu erwartende maximale Biogasmenge und die Anteile an Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) im Biogas kann anhand der drei Stoffgruppen (Kohlenhydrate, Fette, Proteine) von organischen Einsatzstoffen basierend auf der Buswell-Gleichung geschätzt werden.

Die Berechnung nach Buswell berücksichtigt nicht, dass es auch schwer vergärbare Anteile gibt. Dies wird in der, mittlerweile von vielen Laboren angewendeten, Berechnung nach Baserga durch sogenannte Verdauungskoeffizienten getan. Die so erhaltenen Werte sind schon näher an der Realität als die Buswell-Werte, können aber auch nur eine Orientierung geben.

Ähnliches gilt für die zahlreichen Ergebnisse aus Labor-, Pilot- und Praxisexperimenten. Hierbei liegen Biogasausbeuten von nahezu allen vergärbaren Einsatzstoffen vor. Aktuelle Angaben zur Gasausbeute verschiedener Stoffe, die heute in Biogasanlagen eingesetzt werden, berücksichtigen sowohl Ergebnisse aus Laborversuchen als auch Richtwerte, die aus diesen Versuchen, Literaturwerten und Praxisanlagen resultieren.

Berechnung der theoretischen

Biogasausbeute und des Methangehalts

$$\text{Biogas (L)} = 0,746 \cdot \text{Kohlenhydrate (g)} + 1,39 \cdot \text{Fette (g)} + 0,79 \cdot \text{Proteine (g)}$$

Dabei ergeben sich folgende Methangehalte im Biogas:

Kohlenhydrate 50 %

Fette 71,875 %

Proteine 63,277 %

Ein Einsatzstoff mit der Zusammensetzung 65 % Wasser, 2 % Mineralstoffe, 26 % Kohlenhydrate, 2 % Fette und 5 % Proteine würde also pro kg folgende Biogasausbeute und Methangehalt haben:

$$0,746 \cdot 260 + 1,39 \cdot 20 + 0,79 \cdot 50 = 261 \text{ L mit dem Methangehalt}$$

$$(26 \cdot 50 + 2 \cdot 71,875 + 5 \cdot 63,277) \cdot \frac{1}{(26 + 2 + 5)}$$

$$= 53,34 \%$$

Für eine belastbare Planung der Biogasanlage wird empfohlen, einen standardisierten Gärtest (nach VDI 4630) mit den geplanten und vorhandenen Einsatzstoffen durchzuführen, um die zu erwartenden Gasausbeuten zu bestimmen.

Bemessung und Parameter eines Fermenters

In der Praxis überwiegt der vollständig durchmischte Fermenter (Rührkessel) mit kontinuierlicher Zufuhr der Einsatzstoffe. Zur Charakterisierung des hierbei ablaufenden Bio-

Tab. 2.1: Biogausausbeuten einiger gängiger Einsatzstoffe

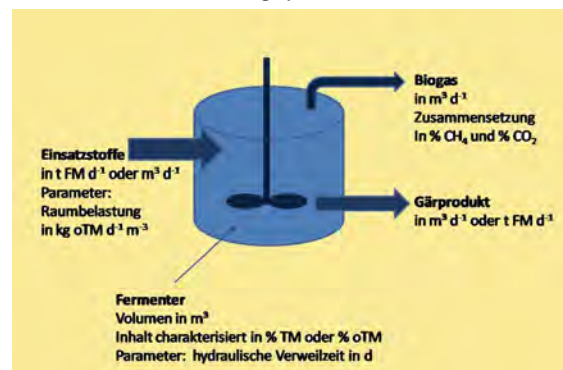
Einsatzstoff	TM	oTM	Biogausausbeute		Methanausbeute		Methangehalt Mittelwert (Vol-%)
	Mittelwert (% FM)	Mittelwert (% TM)	Mittelwert (m ³ t ⁻¹ oTM)	(m ³ t ⁻¹ FM)	Mittelwert (Spannweite) (m ³ t ⁻¹ oTM)	(m ³ t ⁻¹ FM)	
Wirtschaftsdünger							
Milchviehgülle	8	80	410	26	273 (182-473)	17 (12-30)	67
Mastviehgülle	10	80	500	40	305 (299-311)	24 (23-25)	61
Schweinegülle	7	75	420	22	265 (190-355)	14 (8-21)	63
Rindermist	25	85	450	95	244 (216-273)	52 (46-58)	55
Hühner trockenkot	70	77	560	392	367 (340-397)	198 (183-214)	51
Putenmist (Stroh)	70	85	450	270	230 (217-242)	137 (129-144)	51
Energiepflanzen							
Maissilage	34	95	675	221	371 (312-408)	122 (78-122)	55
Winterroggen GPS	33	95	620	194	341 (310-400)	107 (97-125)	55
Roggenschrot	86	97	730	609	389 (335-440)	325 (270-375)	53
Sommerroggen GPS	42	95	544	242	299 (291-313)	133 (108-162)	55
Wintergerste GPS	33	95	620	194	341 (310-420)	107 (97-132)	55
Sommergerste GPS	39	95	582	224	320 (279-350)	123 (102-158)	55
Wintertriticale GPS	40	95	643	227	360 (327-416)	127 (91-163)	56
Hafer GPS	41	95	533	209	293 (260-307)	115 (97-133)	55
Grünschnittroggen*	35	90	647	130	388 (339-427)	78 (56-101)	60
Ackergras*	35	90	650	205	368 (277-418)	86 (38-146)	57
Wiesengras*	35	91	600	191	343 (298-392)	93 (43-132)	58
Luzernegras	20	88	510	89	311 (272-337)	54 (44-58)	61
Sudangras GPS	33	94	480	149	264 (178-374)	82 (55-116)	55
Zuckerhirse GPS	30	90	610	165	340 (267-350)	91 (62-95)	55
Ölrettich Zwischenfrucht	14	82	485	46	286 (265-333)	27 (20-36)	59
Sonnenblume	19	90	487	84	268 (232-299)	46 (35-61)	55
Topinambur	22	87	433	109	234 (215-270)	59 (49-68)	54
Hanfsilage	36	92	450	149	257 (250-267)	85 (83-88)	57
Zuckerrüben	22	90	657	130	350 (340-450)	72 (67-100)	53

gasprozesses ist die Kenntnis der Gärtemperatur sowie bestimmter Grundparameter Voraussetzung für die Bemessung. Diese gelten im Grundsatz für alle Fermentertypen und nicht nur für den Rührkessel.

Die wichtigsten Parameter bei der Bemessung des Fermenters sind hierbei die tägliche Fütterungsmenge in t oder m³, der Gehalt an organischer Trockenmasse (oTM) in der Fütterungsration, die gebildete Biogasmenge in m³ und der Anfall an Gärprodukt in m³. Aus der Verknüpfung von Fütterungsmenge und oTM-Gehalt und der vorgegebenen Raumbelastung in kg oTM pro Tag und m³ Fermentervolumen (kg oTM d⁻¹ m⁻³) ergibt sich das Fermentervolumen in m³. Ist das Fermentervolumen vorgegeben berechnet sich die Raumbelastung aus Fütterungsmenge und

oTM-Gehalt usw. Aus dem Verhältnis von Fütterungsmenge pro Tag in m³ (dabei kann von t in m³ mit dem Faktor 1,0 umgerechnet werden) und dem Fermentervolumen ergibt sich die mittlere hydraulische Verweilzeit. Diese Parameter können also nicht unabhän-

Abb. 2.2: Bemessungsparameter Fermenter



gig voneinander gewählt werden. Für den Betrieb der Anlage, insbesondere die Bemessung von Pumpen und Rührwerken, wird oft der TM-Gehalt des Fermentersubstrats genutzt. Richtiger an dieser Stelle wäre die Bestimmung der tatsächlich vorliegenden Viskosität der Flüssigkeit bzw. Suspension.

2.2 Grundlegende Verfahren und Anlagentechnik

Grundsätzlich kann die Biogaserzeugung über vier teilweise parallel laufende und in Abhängigkeit zueinander stehende Verfahrensschritte dargestellt werden (Abb. 2.3). Zu Beginn steht die Bereitstellung mit Vorhaltung, Transport und Dosierung der Einsatzstoffe sowie eventuelle Vorbehandlungsmaßnahmen (I). Es folgt der Fermentationsprozess mit der Biogaserzeugung (II). Wesentlich sind hier die Versorgung der beteiligten Mikroorganismen mit Nährstoffen, der Abtransport der Stoffwechselprodukte und die Wärmeversorgung bei möglichst konstanten Milieubedingungen. Das Gärprodukt wird gelagert und kann je nach Bedarf in verschiedenen Aufarbeitungsschritten aufbereitet werden (III). Das entstehende Biogas wird abhängig vom Nutzungspfad gereinigt, aufbereitet und letztlich der Verwertung zugeführt (IV).

Substratbereitstellung

Zu Beginn der Kette steht die Versorgung des Fermenters mit vergärbaren Stoffen. Der überwiegende Anteil der Biogasanlagen nutzt dabei die Wirtschaftsdünger gemeinsam mit nachwachsenden Rohstoffen in Form von Silagen oder Körnergetreide. Die Zuführung der Feststoffe erfolgt über Stopfschnecken oder Presskolben direkt in den Fermenter. Als Vorlagebehälter dienen stationäre Futtermischwagen, Abschiebecontainer oder Feststoffbunker in verschiedenen Bauausführungen (Abb. 2.4). Die zuzuführende Menge wird dabei über integrierte Wiegezellen oder über Laufzeiten geregelt.

Immer seltener ist die vorherige Anmischung über Vorgruben bzw. spezielle Anmischbehälter oder die Einbringung über Rachen-trichter-pumpen. Flüssige Wirtschaftsdünger werden in meist bestehenden Güllegruben vorgehalten und bei Bedarf dem Fermenter über Pumpen zugeführt. Hierzu können bspw. Kreiselpumpen mit oder ohne Schneideinsatz oder Verdrängerpumpen eingesetzt werden. Abhängig von Art und Beschaffenheit der verwendeten Stoffe kann eine Vorbehandlung sinnvoll bzw. notwendig sein. So sollten Störstoffe, wie z.B. größere Steine nach Möglich-

Nehmen wir den Einsatzstoff aus dem Beispiel zur theoretischen Berechnung der Biogausbeute ergeben sich bei einer täglichen Fütterung von 20.000 kg oder m³, entsprechend einer Dichte von 1 kg L⁻¹, einem gegebenem Fermentervolumen von 3.000 m³ und einer Biogasdichte von 1,3 kg m⁻³ folgende Parameter

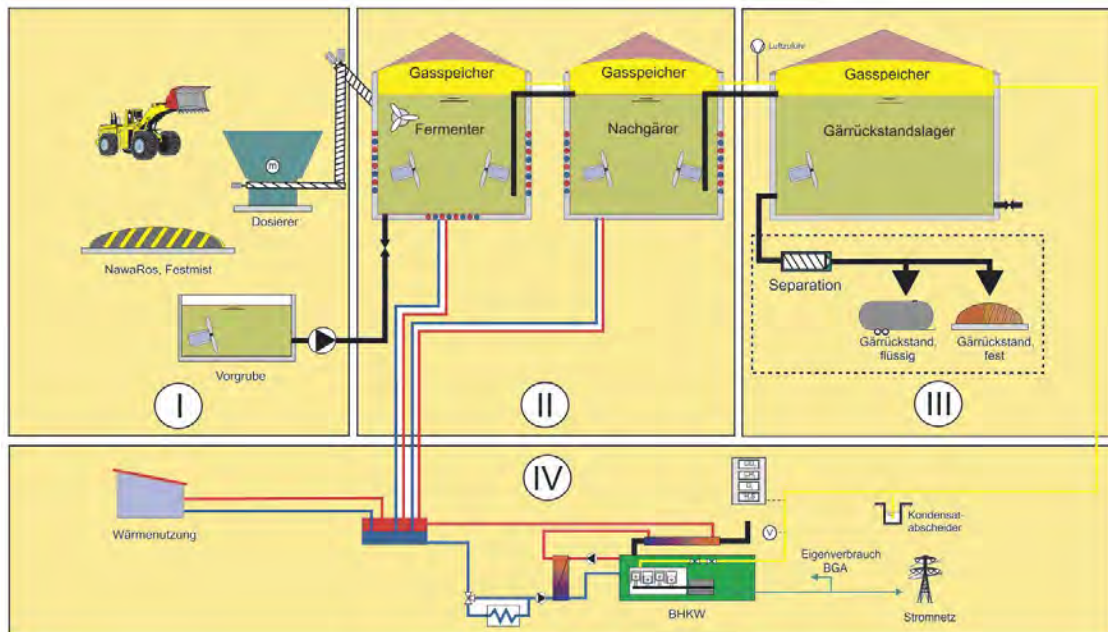
$$\text{Raumbelastung} = \frac{20.000 \text{ kg FM d}^{-1} \cdot 0,330 \text{ kg oTM kg}^{-1}\text{FM}}{3.000 \text{ m}^3} = 2,2 \text{ (kg d}^{-1}\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$\text{hydr. Verweilzeit} = \frac{3.000 \text{ m}^3}{20 \text{ m}^3 \text{ FM d}^{-1}} = 150 \text{ d}$$

$$\text{Biogasvolumen} = 20.000 \text{ kg FM d}^{-1} \cdot 0,261 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{FM} = 5.220 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$$

$$\text{Gärprodukt} = 20.000 \text{ kg FM d}^{-1} - 5.220 \text{ m}^3\text{d}^{-1} \cdot 1,3\text{kg m}^{-3} = 13.214 \text{ kg d}^{-1} = 13,2 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$$

Abb. 2.3: Typischer Verfahrensablauf in der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung:
 I) Substratbereitstellung, II) Biogaserzeugung, III) Gärrestlagerung, IV) Gasverwertung



keit vermieden oder aber vor dem Eintreten in empfindliche Anlagenteile wie Pumpenkörper durch Absetzeinrichtungen abgeschieden werden. Ist eine Hygienesierung gefordert, kann diese durch eine vorgeschaltete Temperatur- und/oder Druckerhöhungsstufe geleistet werden. Eine Zerkleinerung der Stoffe kann empfindliche Anlagenteile schützen, Abbauprozesse beschleunigen und - abhängig vom Aufschlussgrad - potenziell auch die Biogas-

ausbeute erhöhen. Diese kann sowohl schon vor der Einbringung als auch nach der Anmischung im Flüssigkeitsstrom selbst eingesetzt werden. Am weitesten verbreitet sind Systeme zur mechanischen Zerkleinerung, die in einer Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen auf dem Markt sind (Abb. 2.5). Ein höherer Aufschlussgrad kann durch eine vorgeschaltete Hydrolysestufe erreicht werden. Die Hydrolyse kann dabei entweder bio-



Abb. 2.4: Dosierer



Abb. 2.5: RotaCut

logisch-enzymatisch und zwar sowohl unter aeroben als auch anaeroben Bedingungen oder als Thermo-Druck-Hydrolyse stattfinden. Immer mehr in den Fokus rückt die Applikation von spezialisierten Enzymen oder Enzymmischungen um schwer abbaubare Bereiche des pflanzlichen Materials verfügbar zu machen.

Biogaserzeugung

Die eigentliche Biogaserzeugung findet unter anaeroben Bedingungen in einem oder mehreren mit einander gekoppelten Fermentern statt. Diese werden sowohl aus Stahl als auch aus Beton gefertigt und sind mit gasdichten Abdeckungen ausgestattet. In der Praxis sind im Wesentlichen drei Grundformen von Fermentern zu finden. Am weitesten verbreitet ist der quasi-kontinuierlich betriebene volldurchmischte Rührkesselreaktor als stehender Rundbehälter (Abb. 2.6).

Die Durchmischung erfolgt in nahezu allen Fällen mechanisch über Tauchmotor-Propeller-Rührwerke, Stabmixer oder Paddelrührwerke. Das Gärgut wird mittels Pumpsysteme oder per freien Überlauf zwischen den Behältern oder ins Gärrestlager befördert. Der Trockenmassegehalt in den Fermentern liegt meist unter zehn Prozent. Pfropfenstromreaktoren sind in der Lage wesentlich höhere TM-Lasten zu bewältigen. Diese meist liegenden Fermenter können sowohl mit rundem Querschnitt als auch als Rechteckbehälter ausgeführt sein (Abb. 2.7).

Das Gärgut wird im Pfropfenstromfermenter über Verdrängungseffekte durch Zufuhr von frischem Einsatzstoffen durch den Fermenter bewegt und dabei nur vertikal zur Bewegungsrichtung über langsam laufende Haspelrührwerke durchmischt.

Garagenfermenter verzichten auf eine kontinuierliche mechanische Durchmischung des Gärguts. Die Verteilung von Nährstoffen,



Abb. 2.6: Rührkesselfermenter

Stoffwechselprodukten sowie der Wärmeenergie findet über einen Perkolatkreislauf statt. Da Garagenanlagen nicht kontinuierlich versorgt werden können, müssen mehrere Fermenterboxen parallel betrieben werden um eine gleichmäßige Gasproduktion zu gewährleisten (Abb. 2.8).

Alle Anlagentypen können sowohl mesophil als auch thermophil betrieben werden. Der überwiegende Teil der Anlagen wird dabei unter mesophilen Bedingungen bei Temperaturen um die 40°C gefahren. Zur Beheizung werden meist in Wand und Boden eingegossene Kunststoffleitungen oder aufgeständerte Edelstahlrohre verwendet. Seltener kommen externe Rohr- bzw. Spiralwärmetauscher oder



Abb. 2.7: Pfropfenstromfermenter



Abb. 2.8: Garagenfermenter

Rührwellenheizungen zum Einsatz. Als Kurzzeitspeicher für das entstehende Biogas dient meistens der Kopfraum der Fermenter, abgedeckt mit Folien. Haben die Fermenter Betondecken, wird das Gas extern in eingehausten Folienkissen oder in Folienhauben über dem Gärproduktelager zwischengespeichert.

Gärrestlagerung und -verwertung

Für das Gärprodukt muss, den pflanzenbaulichen und rechtlichen Maßgaben folgend, entsprechende Lagerkapazität geschaffen werden. Dazu werden bei Neuerrichtung in der

Regel Rundbehälter aus Beton genutzt. In Betrieben mit hohem Viehbestand werden auch häufig schon lange bestehende große Güllerechteckbecken als Gärproduktelager eingesetzt (Abb. 2.9).

Es kann durchaus sinnvoll sein, die Gärproduktelager gasdicht abzudecken, um das Restgaspotenzial zu nutzen. Bei Neuerrichtungen ist dies in der Regel, auf Basis des EEG und des Genehmigungsrechts, auch gefordert. Das Gärprodukt kann so wie es anfällt genutzt und als organischer Dünger ausgebracht werden. Die weitere Aufbereitung ist für eine Volumenreduzierung der Flüssiglagerung und eine Nährstoffanreicherung sinnvoll. Am häufigsten wird die Separation der Fest- und Flüssigphase über Pressschnecken realisiert (Abb. 2.10).

Gasaufbereitung und -verwertung

Das erzeugte Biogas ist wasserdampfgesättigt und enthält neben den Hauptbestandteilen Methan und Kohlendioxid noch eine Reihe von Spurengasen. Je nach Nutzungsszenario muss das Rohbiogas daher mit unterschiedlichem technischem Aufwand aufbereitet werden.



Abb. 2.9: offenes Gärproduktelager



Abb. 2.10: Separator

Die Aufbereitung beschränkt sich in den meisten Fällen auf die Entfeuchtung und Entschwefelung. Zur Entfeuchtung genügt hier die Abkühlung unter den Taupunkt über Erdleitungen oder Kühlaggregate. Die Entschwefelung erfolgt üblicherweise entweder biologisch über Lufteinblasung in den Kopfraum der Fermenter oder durch Zugabe von Eisensalzen zum Gärgut. Für die Reduktion von Formaldehyd im BHKW-Abgas und die Aufbereitung zu Biomethan ist in der Regel die zusätzlich Reinigung über Aktivkohlefilter notwendig. Selten sind Biorieselbetteaktoren zur externen Entschwefelung zu finden (Abb. 2.11).

Die Nutzung von Biogas erfolgt in Deutschland weitgehend über die Verbrennung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Blockheizkraftwerke, BHKW). Dabei kommen fast ausschließlich entweder Gas-Otto-Motoren oder Zündstrahlaggregate zur Anwendung (Abb. 2.12). Mikrogasturbinen, Stirlingmotoren oder Brennstoffzellen haben momentan noch keine



Abb. 2.11: Externe Entschwefelung



Abb. 2.12: BHKW

praktische Relevanz. Die BHKW können entweder in räumlicher Nähe zur Biogasanlage oder aber - als Satelliten-BHKW - zu einem Wärmeabnehmer stehen und über ein Mikrogasnetz versorgt werden. In diesem Falle muss allerdings die Versorgung der Fermenter mit Wärmeenergie gewährleistet werden.

Die erzeugte Wärmeenergie wird teilweise zur Aufrechterhaltung des Prozesses benötigt. Der Rest sollte möglichst einer wirtschaftlichen Verwertung wie z.B. der Beheizung von Gebäuden oder Trocknungsprozessen zugeführt werden oder muss über Notkühler an die Umwelt abgegeben werden.

3. Einsatzstoffe für Biogasanlagen

3.1 Energiepflanzen¹

Mais ist die ertragsstärkste Fruchtart mit durchschnittlich 100...120 dt TM/ha Praxisertrag. Witterungsbedingte Wachstumsdepressionen können zu deutlichen Mindererträgen führen. Der für die Silierung optimale TM-Gehalt von 28 bis 35 % zur Ernte ist am besten mit Mais einzuhalten (Anbauerfahrungen, großes Sortenangebot, weiter Reifebereich). Im Vergleich aller Fruchtarten ist Mais stark humuszehrend. Eine negative Humusbilanz kann auch bei Anrechnung der Düngung mit Gärprodukten vorliegen. Daher ist eine ausgleichende Fruchtfolgegestaltung besonders wichtig.

Sorghumarten sind als Einsatzstoffe für Biogasanlagen praxistauglich und können mit Mais vergleichbare TM-Erträge von 80...120 dt TM/ha erreichen (relativ ca. 90 % zu Mais). In Jahren mit einer ausgeprägten Vor-/Sommer-trockenheit (z.B. 2006) wurden bisher vereinzelt höhere Trockenmasseerträge als bei Mais erzielt. Allerdings liegt ein ungünstigeres Inhaltsstoffverhältnis vor, d. h. bei gleichem TM-Ertragsniveau werden geringere Methan-gasausbeuten und dadurch niedrigere CH₄-Erträge möglich. Für Sudangras (*S. bicolor* × sudanense) sind Vegetationszeiten von mindestens 110 bis 130 Tagen von Aussaat bis zur Ernte notwendig, um Trockenmassegehalte von ≥ 28 % einzuhalten. Futterhirse (*S. bicolor*) benötigt bis zur Ernte längere Vegetationszeiten von mindestens 130 bis 160 Tagen. Die Züchtung von Sorghum für die Nutzung als Biogaseinsatzstoff erfolgt erst seit einigen Jahren. Neue Sorten und optimierte Anbauverfahren lassen eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit von Sorghum erwarten.

Für **Getreide-Ganzpflanzen** liegt das Ertragsniveau im Praxismittel zwischen 50...80 dt TM/ha. Bei anhaltender Trockenheit kann der TM-Gehalt in kürzester Zeit (3...5 Tage) den Optimalbereich (> 38 %) gravierend überschreiten, d. h. das Anbau-/Erntemanagement ist noch im höheren Maße als beim Mais entscheidend. Wintergetreide, insbesondere Winterroggen, ist auf Grund der Ertragshöhe und -stabilität dem Sommergetreide vorzuziehen. Bei ausreichendem Wasserangebot im Längenwachstum kann Wintertriticale ein höheres Ertragsniveau als Winterroggen erreichen. Fehlt Wasser in dieser Periode weist hingegen Winterroggen deutliche Ertragsvorteile an diluvialen Standorten auf. Durch die frühere Ernte des Ganzpflanzengetreides können abweichende Bewirtschaftungsstrategien gegenüber dem Körnergetreideanbau zur Kostenersparnis beitragen. Je nach Standort und Witterungssituation kann unter Umständen auf Fungizidmaßnahmen und Wachstumsreglereinsatz verzichtet bzw. verminderte Aufwandmengen eingesetzt werden. Eine Herbizidbehandlung im Herbst ist unter Praxisbedingungen in jedem Falle empfehlenswert.

Luzernegras als **mehrschnittiges Ackerfutter** weist mit 60...80 dt TM/ha mittleren Praxisertrag ein höheres Niveau als Klee gras auf den leichten Standorten auf. In Versuchen war Luzernegras mit 94 dt TM/ha dem Klee gras auf grundwasserfernen Sandstandorten (Güterfelde, AZ 30) überlegen (Relativertrag bis 140 %). Grundwassernahe Standorte sind für Luzernegras eher ungeeignet. Hier weisen Klee gras oder Gräsermischungen Ertragsvorteile auf. Die Vorteile des mehrschnittigen Ackerfutters ergeben sich z. B. aus der Auflockerung der Fruchtfolgen (= Diversifizierung

¹Empfehlungen zur Anbaueignung von Energiepflanzen und Anbausystemen für das Land Brandenburg werden in der Publikation von 2012 „Energiepflanzen für Biogasanlagen“, Regionalbroschüre für Brandenburg der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. gegeben. Die Aussagen in Kapitel 3.1 und 3.2 beschränken sich deshalb auf zusammenfassende Aussagen.

des Artenspektrums), der mehrjährigen Nutzung mit reduziertem Pflanzenschutzmittel- und Stickstoffaufwand (N-Fixierung) sowie der Humusmehrung. Biogasanlagentechnik und -management sind gegenüber der „Mais-/Güllefütterung“ anzupassen. Grundvoraussetzung für die Verwendung von Ackerfutter als Einsatzstoff für Biogasanlagen ist die Optimierung von Ernteaufwand und Verfahrenskosten.

Topinambur (Kraut und Knolle), Winterraps sowie die Zwischenfrüchte Senf und Ölrettich sind auf Grund geringerer TM-Erträge bzw. -gehalte sowie Problemen in der Vergärbarkeit als Einsatzstoff für die Biogasgewinnung ungeeignet. Biomassesonnenblumen könnten bei weiterer züchterischer Verbesserung das Anbauspektrum in begrenztem Umfang erweitern. Perennierende Dauerkulturen wie die Durchwachsene Silphie wurden in den vergangenen Jahren erfolgreich getestet und werden zunehmend in der Praxis angebaut.

3.2 Anbausysteme

Die Zweikulturnutzung sollte aus Sicht der Ertragsleistung und Ökonomie den Standorten mit besserer Bodenbonität ($AZ > 40$) und sichererer Wasserverfügbarkeit vorbehalten bleiben. Einzig die Folge Grünschnittroggen – Zweitfrucht Mais oder Sorghum erreichte ähnliche Erträge wie der Anbau der C4-Arten in Hauptfruchtstellung, verursacht aber höhere variable Kosten.

Der Mischfruchtanbau als eine weitere mögliche Variante für den Energiepflanzenanbau ist in Versuchen aber auch in der Praxis (Mais und Sonnenblumen) getestet worden. Allerdings wird dieser bisher als nicht praxisfähig (Bewirtschaftung) eingeschätzt. Die Vorteile des Mischfruchtanbaus wie die Erhöhung der Biodiversität, der Ausgleich annueller Ertragsunterschiede sowie eine verminderte Krank-

heitsanfälligkeit stehen den Nachteilen der Einschränkung der Flexibilität (spätere Entscheidung Ganzpflanzen- oder Körnerernte) sowie dem schwierigen Festlegen des Erntetermins gegenüber (Vetter et al. 2009).

Fruchtfolgen mit Mais, Sorghum und Getreide für die Ganzpflanzennutzung (besonders Winterroggen) sind in Kombination mit dem Marktfruchtanbau unter den Bedingungen ostdeutscher Diluvialstandorte empfehlenswert. Dabei sind humuszehrende Energiepflanzen mit humusmehrenden (z.B. mehrjährige Leguminosen-Gras-Gemenge) und dem Marktfruchtanbau zu kombinieren. Das Getreidestroh sollte für die Humusreproduktion im System verbleiben. Die Gärprodukte sind entsprechend auf den Flächen auszubringen.

3.3 Wirtschaftsdünger

Rinder- und Schweinegülle sowie Festmist und Geflügeltrockenkot sind die grundlegenden Einsatzstoffe für Biogasanlagen und bilden neben Reststoffen und Abfällen den zentralen Input im Beginn der Biogasproduktion. Jedoch haben diese in den ersten Jahren des vergangenen Jahrzehnts gegenüber Biogaspflanzen an Bedeutung verloren. Mit der EEG-Novelle von 2009 hat der Gesetzgeber versucht den Anteil von Wirtschaftsdüngern und Pferdemit in Biogasanlagen wieder zu erhöhen. Im bundesdeutschen Durchschnitt hatte diese Politik Erfolg und der Anteil von Wirtschaftsdüngern, die in Biogasanlagen eingesetzt werden stieg auf 40 %. In Brandenburg wird der Anteil von Gülle und Festmist, die eingesetzt werden, auf 50% geschätzt.

Bei hohen Gülleanteilen in der Biogasanlage sind auf Grund des niedrigen Trockenmassegehalts (5 - 9 % bei Rindergülle und 3 - 8 % bei Schweinegülle) große Fermentervolumina im Vergleich zur erreichbaren Biogasausbeu-

te notwendig. Werden hohe Mengen Festmist eingesetzt, sind extra Aufbereitungsbehandlungen sinnvoll, um die Biogasausbeute und die Handhabung zu verbessern. In der folgenden Tabelle sind die möglichen Größenordnungen von Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Tierhaltungszahl zusammengestellt.

Tab. 3.1: Zusammenhang von Tierhaltungszahl und Anlagenleistung unter Berücksichtigung von BHKW-Effizienz und Volllaststunden

Schweine GV	Leistung kW	Rinder GV	Leistung kW
200	17	120	27
300	22	240	47
500	37	500	98
1000	74	1000	196

Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern verbessert auch die Umweltbilanz der landwirtschaftlichen Betriebe, da bei dessen Lagerung erhebliche Mengen Methan entstehen, die durch die anaerobe Umsetzung vermieden werden. Diesem Umstand wird durch das EEG Rechnung getragen, indem bei Biogasanlagen mit 100 % Wirtschaftsdüngereinsatz auf eine gasdichte Abdeckung des Gärrestlagers verzichtet werden kann. Da jedoch bei den großen Vieh haltenden Betrieben Brandenburg oft die vorhandenen Rechteckbecken zur Gärrestlagerung genutzt werden müssten und deren gasdichte Abdeckung kaum möglich ist, könnte dies den Einsatz von Wirtschaftsdüngern behindern.

3.4 Material aus der Landschaftspflege

Im Auftrag des MUGV wurden Nutzungspotenziale von Landschaftspflegematerial zur energetischen Verwertung im Land Branden-



Abb. 3.1: Grünlandflächen im Havelland

burg analysiert und dargestellt². Auf dieser Grundlage sollten Anreize und Konzepte für den verstärkten energetischen Einsatz von Landschaftspflegematerial zur Gewinnung von Biogas und zur Verbrennung in Kraftwerken identifiziert werden. Prämisse dabei war es, konkurrenzfreie Optionen aufzudecken. Dazu wurde zum einen anhand einer GIS-gestützten Analyse ermittelt, wie viel Einsatzstoff in Form von Biomasse theoretisch zur Verfügung steht und welcher Anteil verwertet werden kann. Zum anderen wurden die technischen und ökonomischen Möglichkeiten zur energetischen Verwertung von Landschaftspflegematerial in Brandenburg analysiert.

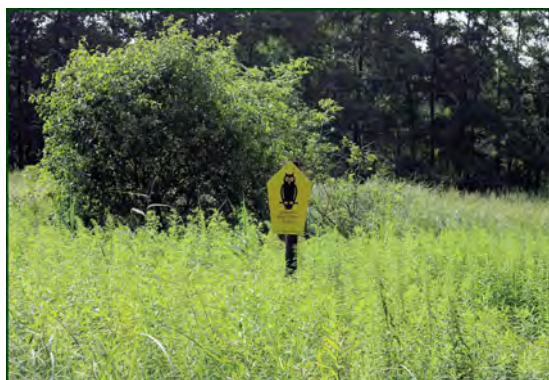


Abb. 3.2: Gesetzlich geschütztes Biotop „Feucht- und Nasswiese“, Bredower Forst-Moosbruchheide

²„Landschaftspflegematerial im Land Brandenburg - Potenzialermittlung und Möglichkeiten der energetischen Verwertung“ (MUGV, 2014)



Abb. 3.3: Unterhaltungsmaßnahmen für das Straßenbegleitgrün



Abb. 3.4: Unterhaltungsmaßnahme am Gewässerrand

Weiterführend wurden die spezifischen technisch-logistischen und wirtschaftlichen Anforderungen konkreter Nutzungskonzepte untersucht, um Aussagen zum Nutzungspotenzial treffen zu können. Der Fokus lag auf Material von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen, Offenlandbiotopen in geschützten Gebieten, aus der Gewässerunterhaltung sowie der Unterhaltung von Randflächen entlang von Straßen und Schienenwegen. Für dieses Landschaftspflegematerial bestehen im Gegensatz zur Anbaubiomasse in der Regel keine Nutzungskonkurrenzen.

Biomassepotenzial

Als Ergebnis der Analyse liegen die landesweiten Potenziale an Landschaftspflegematerial räumlich differenziert vor. Es ist deutlich geworden, dass deren Verwertung signifikant zur dezentralen Energiebereitstellung beitra-

gen kann. Landschaftspflegematerial ist in einer Quantität und Qualität verfügbar, welche es für verschiedene Anlagen- und Verwertungsoptionen interessant macht.

Das Vorhaben geht davon aus, dass im Land Brandenburg rund 335.100 t Trockenmasse (TM) halmgutartiges Landschaftspflegematerial pro Jahr als bisher ungenutztes Biomassepotenzial zur Verfügung steht.

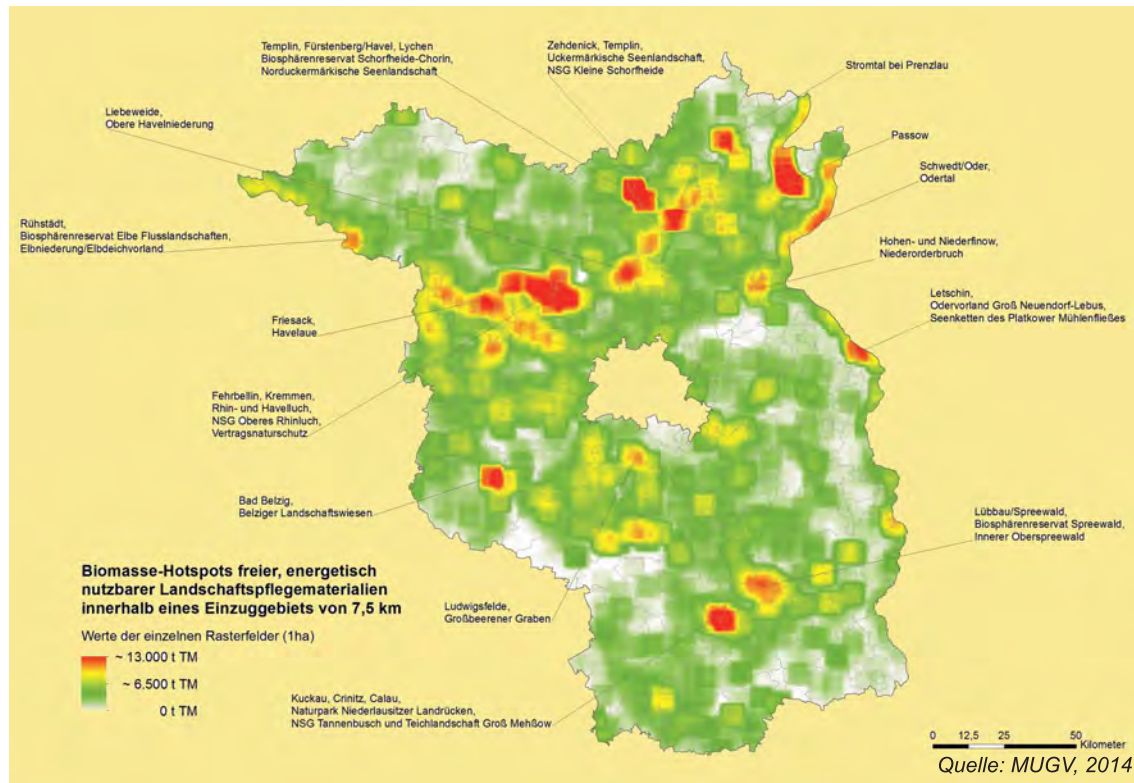
Halmgutartige Biomasse eignet sich sowohl für eine thermische Verwertung als auch für die Biogasproduktion. Voraussetzung für die thermische Verwertung ist eine entsprechende Aufbereitung des Materials (bspw. Pelletierung). Andere Materialien, wie frisches Gras von Feuchtwiesen (1. Schnitt) sowie Wasserpflanzen aus der Sohlkrautung, sollten aufgrund der hohen Wassergehalte aus-

Tab. 3.2: Potenziale aller Landschaftspflegekategorien unterschieden nach den Verwertungsoptionen der Verbrennung und der Biogaserzeugung

Verwertungsmöglichkeiten	durchschnittliches freies, energetisch nutzbares Biomassepotenzial [t _{TM} a ⁻¹] gerundet
ausschließlich in der Verbrennung (Schilf)	750
ausschließlich für die Biogaserzeugung	34.500
vornehmlich für die Biogaserzeugung	94.000
in beiden Pfaden einsetzbar (Halmgutpellets)	300.000

Quelle: MUGV 2014

Abb. 3.5: Überblick der Biomassehotspots der Gesamtpotenziale an Landschaftspflegematerialien aller fünf Landschaftspflegекategorien im Land Brandenburg



schließlich im Biogaspfad eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um ein Potenzial von rund 34.500 t TM jährlich (vgl. Tab. 3.2). Zusätzlich lässt sich ein Teil des Gesamtpotenzials, etwa 94.000 t TM Landschaftspflegematerial pro Jahr besonders vorteilhaft für die Biogaserzeugung einsetzen. Darüber hinaus besteht ein Potenzial von rund 750 t TM Schilf, welches sich ausschließlich für die Verbrennung eignet.

Werden alle nutzbaren Potenziale in der Biogasproduktion eingesetzt, können unter restriktiven Annahmen jährlich zudem etwa 700 MWh Strom und damit einhergehend rund 868 MWh Wärme erzeugt werden.

Räumliche Verteilung

Die identifizierten Biomassepotenziale verteilen sich zunächst heterogen über das gesamte Gebiet Brandenburgs. Durch die GIS-gestützte räumliche Auswertung konnten je-

doch so genannte Biomasse-Hotspots – Bereiche mit besonders viel konkurrenzfreier Biomasse – identifiziert werden (s. Abb. 3.5). Die Verteilung des Gesamtpotenzials im Land Brandenburg wird dabei besonders von den Potenzialen des extensiv bewirtschafteten Grünlands und der Offenlandbiotope in geschützten Gebieten geprägt. Entsprechende Hotspots befinden sich auf dem Niederlausitzer Landrücken, in den Belziger Landschaftswiesen, im Gebiet um das Rhinluch in der Havellandregion, in den Havelniederungen, in der Region des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin, im Niederoderbruch sowie in der Nationalparkregion Unteres Odertal.

Unter Berücksichtigung des Anlagenbestands sowie dem Stand der Technik wurden mögliche Nutzungskonzepte evaluiert. Für die Entwicklung lokaler Nutzungskonzepte kann darauf aufbauend die Mobilisierbarkeit der ermittelten Potenziale unter frühzeitiger Einbe-

ziehung aller relevanten Akteure geprüft werden. Die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung ist die Wirtschaftlichkeit des Materialeinsatzes aus der Landschaftspflege. Aufgrund der erforderlichen Detailtiefe konnten im Rahmen des Vorhabens in dieser Hinsicht keine weiterführenden Analysen durchgeführt werden. Erste Anhaltspunkte liefern jedoch die Ergebnisse des von der FNR geförderten Projekts GNUT-Biogas³. Demnach wird der Einsatz von Gras, das in vieler Hinsicht mit halmgutartigem Landschaftspflegematerial vergleichbar ist, in Bestandsanlagen, die nach EEG 2009 vergütet werden, erst ab einer Größe der Anlage von ca. 500 kW elektrischer Leistung wirtschaftlich. Die in den Hotspots des Biomasseanfalls ermittelten Biogasanlagen erfüllen diese Voraussetzung. Dort ist unter Beachtung notwendiger Investitionskosten für die technische Anpassung der Anlagen ein Einsatz von 10 % bis maximal 20 % der Gesamtkapazität durch Landschaftspflegematerial möglich. Für eine konkrete Umsetzung müssen lokale Detailanalysen der mobilisierbaren Potenziale sowie ausführliche Beratungen mit den Anlagenbetreibern durchgeführt werden.

Aus der systematischen Analyse der wirtschaftlichen und technischen Verwertungsmöglichkeiten ergaben sich beim aktuellen Stand der Technik besonders günstige Optionen für die Verwertung des Landschaftspflegematerials in den bereits bestehenden Biogasanlagen.

3.5 Bioabfälle

Die Anforderungen an die getrennte Erfassung von Bioabfällen aus Haushaltungen, insbesondere hinsichtlich der zukünftig zu erfassenden Mengen, deren hochwertiger Verwertung sowie der in diesem Zusammenhang zu erwartenden Kosten sind in der „Strategie des Landes Brandenburg zur Erfüllung der Getrenntsammlungspflicht von Bioabfällen aus Haushaltungen und Erläuterungen zu deren Umsetzung“ (Bioabfallstrategie) umfassend dargestellt.⁴ Auf der Basis der Bioabfallstrategie und des inzwischen erreichten Umsetzungsstandes ist für das Jahr 2020 von einem verfügbaren Potenzial an Bio- und Grünabfällen aus Haushalten von ca. 170.000 Mg (t) auszugehen.

Das MUGV hat 2014 in einer Studie zusätzlich das Potenzial industrieller und gewerblicher Bioabfälle erfassen lassen.⁵ Ziel der Studie war die Darstellung der zum Zeitpunkt des Verfassens aktuellen Situation bezüglich der Bioabfallbewirtschaftung im Land Brandenburg inklusive der Verwertungswege, eine Prognose bezüglich der zukünftigen Situation und Empfehlungen. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf dem Gebiet der Bioabfälle aus der Lebensmittel- und Biotechnikindustrie sowie aus der Gastronomie. Industrielle und gewerbliche Abfälle sind nach KrWG nicht überlassungspflichtig und können daher nicht für die konkrete Planung einer kommunalen Entsorgungsanlage herangezogen

³FNR-Projekt „Optimierung der Biomassebereitstellung und Vergärung in Biogasanlagen von repräsentativen Dauergrünlandtypen“

⁴http://www.mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/bioabfallstrategie_brg.pdf

⁵„Industrielle und gewerbliche Bioabfälle“

<http://www.mlul.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.295361.de>

werden. Ermittelt werden sollte jedoch die Menge, die für eine zusätzliche Entsorgungsanlage zur Verfügung stünde.

Für die Darstellung des Gesamtpotenzials wurde auf externe Studien zu den anderen Herkunftsbereichen von Bioabfällen (Haushaltungen, Landschaftspflege) zurückgegriffen. Mit der Studie sollte ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, wissenschaftlich fundierte Entscheidungen über die Notwendigkeit des weiteren Ausbaus des Erfassungs- und Entsorgungssystems für Bioabfälle zu treffen, um so ausreichend Kapazitäten vor dem Hintergrund der relevanten gesetzlichen

Anforderungen an die Entsorgung der biogenen Reststoffe im Land Brandenburg vorzuhalten. Dies ergibt sich unter anderem aus den Forderungen der zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie gültigen Gesetzesgrundlagen (insbesondere KrWG, EEG 2014).

Gesamtpotenziale

Das durch die Firmenbefragung ermittelte Potenzial der Bioabfälle aus Industrie und Gewerbe wurde zu einem Gesamtpotenzial hochgerechnet und anhand von Literaturdaten verifiziert. Im Ergebnis zeigte sich, dass viele Angaben der Firmen den Literaturwerten

Tab. 3.3: ermittelte Aufkommen und freie Potenziale

Branchenzweig	Bioabfall-aufkommen gesamt in t a ⁻¹	Anteil Getrennt-sammler	freies Potenzial in t a ⁻¹
C101 - Schlachten und Fleischverarbeitung	32.893,90	89%	3.654,88
C102 - Fischverarbeitung	176,26	100%	-
C103 - Obst- und Gemüseverarbeitung	10.334,22	69%	3.179,76
C104 - Herstellung von Ölen und Fetten	19,92	0%	19,92
C105 - Milchverarbeitung	484,45	54%	223,59
C106 - Mahl- und Schälmmühlen	7.705,04	64%	2.801,83
C107 - Back- und Teigwaren	18.123,84	100%	-
C11 - Getränkeherstellung (Destillen)	6,52	50%	3,26
C11 - Getränkeherstellung (Brauereien)	8.367,00	50%	4.183,50
C11 - Getränkeherstellung (Küfereien)	263,70	0%	263,70
C12 - Tabakverarbeitung	1.462,00	0%	1.462,00
C19.2 - Biokraftstoffherstellung	20.000,00	100%	
I55 - Beherbergung	326,75	68%	103,97
I561 - Restaurants, Gaststätten	1.692,86	100%	-
I562 - Caterer, Kantinen	3.233,15	72%	898,10
Q8 - Gesundheitswesen	2.709,76	100%	-
Summe	107.799,38		16.794,51

Quelle: MUGV, 2014

widersprachen (z.B. wurde bei keinem der Molkereibetriebe Molke als Abfallstoff abgegeben, da diese weiterverarbeitet wird. Molke findet sich in Vergleichsstudien aus anderen Bundesländern oft als Abfallstoff). Das Gesamtpotenzial der Bioabfälle im Land Brandenburg wurde mit ca. 108.000 t/a beziffert.

Aus dem Gesamtpotenzial wurde über die Befragung auch ermittelt, welcher Anteil zum Zeitpunkt der Befragung nicht bereits über einen der existierenden Entsorgungswege verwertet wurde. Als bereits existierende Wege wurden Verträge mit Entsorgern für Bioabfälle, Eigenkompostierung sowie Verwertung als Futtermittel oder als Energieträger in der Biogasgewinnung definiert. Die bisher nicht verwertete Menge wurde im Folgenden als das „freie Potenzial“ betrachtet. Dieses war ungleich geringer als das Gesamtpotenzial und beträgt nur ca. 17.000 t/a. Da Abfälle aus Industrie und Gewerbe nicht der Überlassungspflicht nach KrWG unterliegen, konnte nur das freie Potenzial für eine gemeinsame Verwertung mit den Bioabfällen aus anderen Herkunftsbereichen zugrunde gelegt werden.

Die Bioabfälle wurden anschließend unter Nutzung der Adressdaten der befragten Firmen bestimmten räumlichen Einheiten zugeordnet. Dabei zeigte sich, dass im Durchschnitt weniger die Art der Betriebe als vielmehr deren Anzahl ausschlaggebend für das Bioabfallaufkommen in der betrachteten Region ist. Die Anzahl der Firmen hängt – von einigen Ausnahmen abgesehen – eng mit der Zahl der Einwohner zusammen. Erwartungsgemäß gibt es in der Metropolregion um Berlin herum ein hohes Aufkommen an Bioabfällen, da hier viele Firmen ansässig sind.

Analog ist das Ergebnis der Prognose für das zu erwartende Bioabfallaufkommen aus Industrie und Gewerbe im Jahr 2030 zu betrachten. Es ist davon auszugehen, dass im gesamten Land Brandenburg die Anzahl der

Einwohner um ca. 10% zurückgehen wird. Analog ist damit zu rechnen, dass in etwa der gleiche Anteil der Firmen geschlossen wird (Mangel an Arbeitskräften oder Aufgabe des eigenen Geschäfts). Im Gegensatz hierzu wird in der Metropolregion Berlin mit einer steigenden Einwohnerzahl gerechnet, welche jedoch nicht in der Lage ist, den Saldo des Bundeslandes auszugleichen.

Entsorgungskapazität

Anhand von Daten zu den Entsorgungsanlagen im Land Brandenburg wurden die Gesamt-Entsorgungskapazitäten betrachtet. Diese sind mehr als ausreichend, um alle im Land Brandenburg anfallenden Bioabfälle zu verarbeiten. Auch wenn lediglich die von den Anlagenbetreibern angegebenen freien Kapazitäten in Betracht gezogen werden, reicht die bestehende Kapazität hierfür aus. Allerdings sind die Entsorgungsanlagen im Land Brandenburg zum Zeitpunkt der Erhebung zum größten Teil weder Biogas- noch Kaskadenanlagen, sondern Kompostierungsanlagen. Diese wandeln über den Weg der stofflichen Verwertung die Bioabfälle in Kompost um, eine energetische Nutzung ist jedoch nicht möglich. Dieser Weg der Entsorgung ist zulässig, jedoch von der Politik eindeutig nicht erwünscht. So wird es keine Zulassung mehr für die Behandlung zusätzlicher geruchsintensiver Bioabfälle aus Haushalten und Gewerbe in der offenen Mietenkompostierung geben. Es soll eine energetische Verwertung stattfinden, welche jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur mit Biogasanlagen zu erreichen ist. Zu diesem Zweck rüstet beispielsweise der Abfallentsorgungsverband „Schwarze Elster“ seine Restabfallbehandlungsanlage um, damit der Fermenter zukünftig für die Verwertung von getrennt erfassten Bioabfällen genutzt werden kann.

Empfehlungen

Ausgehend von der Maßgabe in der Politik, eine energetische Nutzung der Bioabfälle

möglich zu machen, wurden bei der möglichen Anlagenkonfiguration reine Kompostierungsanlagen nicht betrachtet. Die Empfehlung bezieht sich auf eine Kaskadenanlage, die sowohl die energetische Nutzung durch die Erzeugung von Biogas als auch die stoffliche Nutzung durch die Produktion von Kompost möglich macht. Aufbauend auf dem Mengengerüst der Bioabfälle und unter Hinterlegung von Kosten-Nutzen-Bilanzierungen wurde die Empfehlung getroffen, zwei Anlagen für die Entsorgung der Bioabfälle vorzusehen. Dies würde jedoch eine Zusammenarbeit der Landkreise (diese sind die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger) bzw. der Abfallzweckverbände notwendig machen, um beispielsweise gemeinsam eigene Anlagen zu errichten und zu nutzen oder gemeinsam private Betreiber zu beauftragen.

Ein maßgeblicher Kostenfaktor für die Kosten-Nutzen-Bilanzierung ist die Sammlung der Bioabfälle. Bei überlassungspflichtigen Bioabfällen wären diese Kosten in die Abfallgebühren einzubeziehen, bei Bioabfällen ohne Überlassungspflicht wären sie notwendigerweise Teil der Entsorgungskosten.

Die energetische Verwertung von Bioabfällen trägt jedoch zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei und bildet damit auch abseits der Abfallwirtschaft einen wichtigen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz. Weiterhin wird die Restmüllentsorgung und auch dessen Verwertung mengenmäßig entlastet.

Hygienisierung

Beim Einsatz von Abfallstoffen in Biogasanlagen muss beachtet werden, dass eine Hygienisierung der Einsatzstoffe notwendig ist. Die Hygienisierung kann entweder durch Erhitzen des Materials auf 70 °C für eine Stunde oder durch eine thermophile Prozessführung erfolgen.

Der Einsatz von Abfällen, insbesondere mit tierischen Inhaltsstoffen, stellt erhöhte Anforderungen an die Anlagensicherheit, die Prozessführung und die Behandlung der Gärprodukte und sollte deshalb auf hierfür besonders eingerichtete Anlagen beschränkt bleiben, bzw. erfordert die Nachrüstung und den Umbau der vorhandenen Biogasanlage.

Tab. 3.4: Getrennt erfasste Bioabfälle in den Entsorgungsgebieten der öRE des Landes Brandenburg 2015

öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger	Bioabfälle gesamt		davon			
			Abfälle aus der Biotonne		kompostierbare Garten- und Parkabfälle	
	[Mg]	[kg/E]	[Mg]	[kg/E]	[Mg]	[kg/E]
Brandenburg an der Havel	6.239	88	1.424	20	4.815	68
Cottbus	7.264	73	-	-	7.264	73
Frankfurt (Oder)	4.207	73	2.041	35	2.166	38
Potsdam	7.778	47	737	4	7.041	43
Barnim	19.835	113	-	-	19.835	113
Havelland	576	4	-	-	576	4
Märkisch-Oderland	3.551	19	-	-	3.551	19
Oberhavel	8.227	40	-	-	8.227	40
Oder-Spree	4.042	23	-	-	4.042	23
Ostprignitz-Ruppin	6.288	64	650	7	5.639	57
Potsdam-Mittelmark	20.649	99	2.987	14	17.661	85
Prignitz	464	6	-	-	464	6
Spree-Neiße	6.311	54	-	-	6.311	54
Uckermark	14.928	124	-	-	14.928	124
SBAZV	20.563	74	-	-	20.563	74
KAEV "Niederlausitz"	3.710	43	-	-	3.710	43
AEV "Schwarze Elster"	7.233	41	-	-	7.233	41
Land Brandenburg	141.865	58	7.838	3	134.027	54

Quelle: Daten und Informationen zur Abfallwirtschaft 2016 - Land Brandenburg

4. Ökonomische und ökologische Optimierung bestehender Biogasanlagen

4.1 Einführung

Der Betrieb von Biogasanlagen kann und muss ein etabliertes, nachhaltiges und wirtschaftlich stabiles Geschäftsfeld der brandenburgischen Landwirtschaftsbetriebe sein. Die folgenden Darstellungen beruhen auf einer Analyse landwirtschaftlicher Biogasanlagen Brandenburgs, die von den Autoren in den Jahren 2013/2014 im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg durchgeführt wurde. Ein aktuelles Fortsetzungsprojekt knüpft an die Ergebnisse dieser Analysephase an und wird im Januar 2017 beendet sein. In der vorliegenden Untersuchung ging es insbesondere um das Identifizieren und Darstellen von möglichen Problemfällen im Hinblick auf Ressourceneffizienz, Klimaverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit. Gleichzeitig wurden Betreiberinnen und Betreiber über Modernisierungsoptionen, Kosteneinspar- und Effizienzsteigerungspotenziale informiert. Insgesamt nahmen 45 Anlagen das kostenlose Angebot für eine Initialberatung in Anspruch. Bei sechs ausgewählten Anlagen wurde darüber hinaus eine vertiefende Detailberatung durchgeführt.

Ein überaus positives Ergebnis der Analyse war, dass der Durchschnitt der Anlagen nach den KTBL-Werten zur Gasausbeute bei über 108 Prozent lag und damit über dem bundesdeutschen Durchschnitt von 103 Prozent. Dies darf aber nicht über die sehr unterschiedliche Situation vor Ort täuschen: Die Analyse ergab Anlagenwerte, welche konstant bei fast 135 Prozent lagen und andere, die nur knapp 80 Prozent erreichten. Zusammenfassend ist jedoch festzustellen, dass trotzdem viele Anlagen Optimierungsbedarf in mehreren Bereichen der Bioenergieerzeugungskette aufweisen. Oft sind erhebliche Verbesserungen des ökonomischen und ökologischen Betriebsergebnisses bereits mit ei-

nem überschaubaren betrieblichen Aufwand zu erzielen. Die vorhandenen Potenziale sind allerdings für jeden Einzelfall detailliert herauszuarbeiten, zu prüfen und in konkrete Projekte zu fassen.

Die Betreiber landwirtschaftlicher Biogasanlagen haben sich fachlich mit dem Thema beschäftigt und eine nach ihrem Kenntnisstand für sie optimale Anlage ausgewählt. Übereilt durchgeführte Planungen und Finanzierungen sowie die in vielen Fällen durchaus zu hinterfragende Art der Anlagenrealisierung stellten jedoch in der Folge die Betreiber von Biogasanlagen vor einige Probleme.

Das technische Verfahren der Biogasgewinnung, der praktische Anlagenbetrieb und der biologische Prozess des Gesamtsystems sind komplexer Natur. Hier sind nicht zu unterschätzende Kenntnisse und Erfahrungen erforderlich, um die Anlage optimal zu führen. Diese Kenntnisse werden selten ausreichend von Planern und Anlagenbauern an Betreiber vermittelt und in verschiedenem Umfang von den Betreibern erworben. Neben technisch bedingten Optimierungen wird in der Betriebsführung deshalb ein weiterer Schwerpunkt der Beratungstätigkeit gesehen.

4.2 Bestandsanalyse

Vorab eine Bemerkung zur Vergleichbarkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen und der vor Ort ermittelten bzw. zur Verfügung gestellten Werte. Auch unter der Voraussetzung eines systematischen Herangehens und Vergleichens sind stets die Besonderheiten des abzubildenden biologischen Prozesses mitzudenken. So ist bei der Bewertung dieser Anlagen ein höchst komplexes, in steter Veränderung begriffenes System zu beurteilen. Dessen Inputstoffe differieren von Tag zu Tag und von Silo zu Silo; selbst innerhalb des Silos herrschen heterogene Verhältnisse. Zur

Verdeutlichung mag eine der wichtigsten Komponenten der Anlagen – der Fermenter – dienen: Hier verfügt die Wissenschaft nach Expertenaussagen zu 20% über „sichere“ Erkenntnisse darüber, was tatsächlich in ihm passiert.

Hinzu kommt in der Praxis folgendes Problem: Die Biogasanlagen-Hersteller fungieren in der Regel als Generalunternehmer. An der Errichtung einer Anlage sind mehrere Firmen beteiligt, die nach unterschiedlichen Vorgaben arbeiten und Vorrichtungen einbauen, welche sie in der Regel im Detail verstehen, die sie aber nicht im Gesamtsystem betrachten und deren Wirkungen in diesem System sie nicht bzw. nicht vollständig beherrschen. Dies führt auch bei Anlagen des gleichen Herstellers zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich ihrer Güte und Funktionsfähigkeit und damit hinsichtlich der unter-

suchten Parameter für Ressourceneffizienz, Wirtschaftlichkeit und Klimaverträglichkeit.

An die Untersuchung der Anlagen war wie folgt heranzugehen.

- Zunächst war das Gesamtsystem der Biogasanlage, bezogen auf die spezifischen Einsatzstoffe des jeweiligen Landwirtschaftsbetriebs, zu betrachten, zu verstehen und zu bewerten.
- Dann erst wurden die jeweiligen Bauteile und Baugruppen, wie Einbringtechnik, Rührwerke, Pumpen, Leitungen, Behältergrößen im Einzelnen erfasst und ihre Tauglichkeit bewertet.
- Und letztlich spielte der subjektive Faktor, d.h. die Beherrschung der Anlagentechnik und die Anlagenführung durch den Betreiber, eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Anlage.

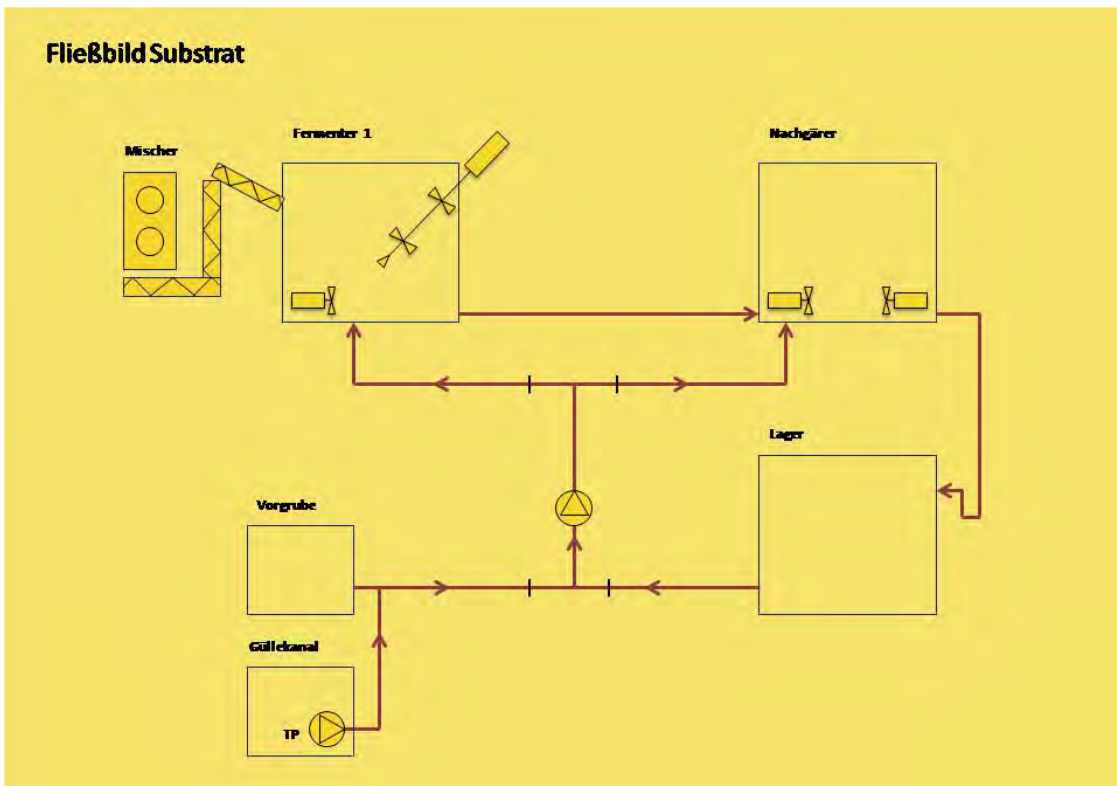


Abb. 4.1: Beispiel Fließbild Substrat

Auf dieser Grundlage konnten während der Analyse zwei Anlagen ein und desselben Anlagentyps im Extremfall völlig unterschiedliche Bewertungen erfahren.

Untersuchungsschritte für die Analyse der landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Alle Anlagen nahmen an einer Initialberatung mit vier Untersuchungsschritten teil, für ausgewählte Anlagen wurde ein fünfter Schritt zur Detailberatung durchgeführt.

Schritt 1

Die besuchten Anlagen wurden anhand eines 10-seitigen Fragebogens und der Fließbilder zur Gasstrecke und zur Substratstrecke aufgenommen. Zusätzlich erfolgte eine Fotodokumentation, insbesondere von Problemstellen. Die Analyse erfasste den gesamten Prozess der Bioenergiegewinnung von der Einsatzstoffbereitstellung bis zur Vermarktung

der Energie und eine Auswertung der vorhandenen Unterlagen inklusive der elektronischen Betriebstagebücher. Es wurden Art und Menge der Einsatzstoffe, die erzeugten Gas-mengen und die Strom- und Wärmeerzeugung der Anlagen erhoben. In den Gesprächen konnten teilweise bereits Maßnahmen zur Erhöhung der Anlageneffizienz angesprochen werden. Erkennbare Probleme der Ressourceneffizienz, Klimaverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit wurden benannt.

Schritt 2

Auf Grundlage der Ergebnis- und Kapazitäts-Parameter, wie Gasproduktion, Stromproduktion, Wärmeerzeugung, Gaslagerkapazität, Betriebsstunden und Arbeitsaufwand, wurden Effizienz-Parameter wie Wärmeverwertung, Stromgestehungskosten, Gasausbeute und Einsatzstoffrentabilität ermittelt und in ein Ergebnistableau für jede Anlage übertragen.

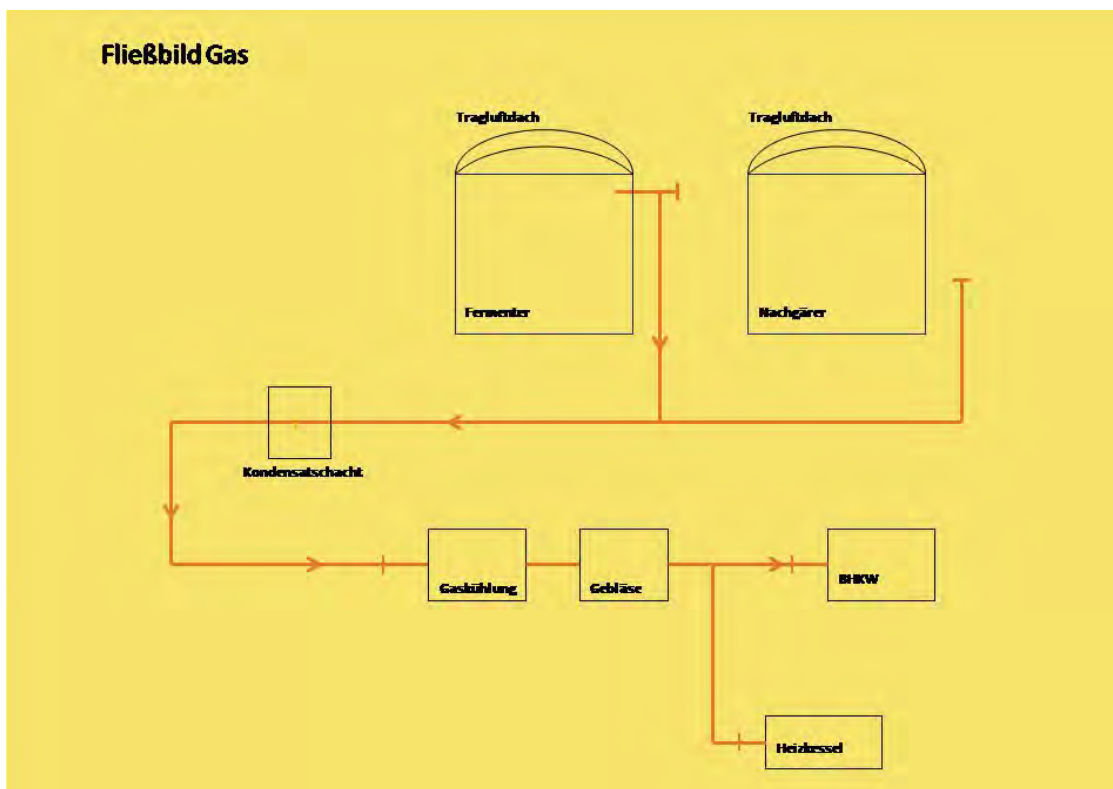


Abb. 4.2: Beispiel Fließbild Gas

Abb. 4.3 (a - b): Beispiel Fotodokumentation Problemstellen



(a) Ingenieurskunst am Bau: wegen falscher Lochbohrungen wurden Bögen eingebaut, welche zu Verstopfungen führten



(b) Leitung wurde von der Pumpe verjüngt: dies führt zu erhöhtem Energieverbrauch und Verstopfungen

Schritt 3

Zu jedem Bewertungskriterium wird aus den Werten der untersuchten Anlagen ein Mittelwert errechnet. Der mittlere Bereich, bestehend aus dem mittleren Drittel der erhobenen Werte, wurde mit einem nach Erfahrungswerten modifizierten Toleranzbereich an Abweichungen im Plus-/Minusbereich für die jeweiligen Effizienzparameter festgelegt. Der Toleranzbereich um den Mittelwert wurde auf Plausibilität mit vorhandenen wissenschaftlichen Arbeiten abgeglichen.

Die Anlagenwerte ließen sich entsprechend der ermittelten quantitativen Werte nach dem Ampelprinzip einordnen. Rot bedeutet eine Abweichung nach unten (unterdurchschnittliche Ergebnisse), gelb entsprach dem mittleren Bereich, und grün bedeutete eine Abweichung nach oben (überdurchschnittliche Ergebnisse). Dies gestattete es, für jede Anlage ein Profil mit signifikanten Abweichungen in einzelnen Parametern zu erstellen. Die so entstandene Auswertungstabelle zeigt Tab. 4.1 beispielhaft für einige der untersuchten Anlagen.

Schritt 4

In diesem Schritt wurde die quantitative Auswertung durch eine qualitative Einschätzung aufgrund der Erkenntnisse aus dem Besuch vor Ort ergänzt. Unter Berücksichtigung aller bekannten Kriterien wurde eine Punktbewertung von 1 bis 3 zu folgenden fachlichen Kriterien vorgenommen:

- Qualität und Lagerung der Einsatzstoffe und des Düngers
- Biogasanlagentechnik
- Biologischer Prozess
- Biogas / Energieverwertung
- Personal
- Wirtschaftlichkeit

Ein hoher Anlagenstandard wurde mit der Punktzahl 3 bewertet, ein vergleichsweise niedriges Anlagenniveau mit der Punktzahl 1, das mittlere Anlagenniveau entsprach der Punktzahl 2. Für die Bewertung musste die Anlage in ihrer technischen und sonstigen Besonderheit (Lage und andere örtliche Voraussetzungen) begutachtet werden. Für alle fachlichen Kriterien erfolgte außerdem eine ökologische Bewertung nach folgenden Kriterien:

- Fruchtfolgen und der Einsatz unterschiedlicher Energiepflanzen sowie organischer Reststoffe des Landwirtschaftsbetriebs

- die Qualität der Fahrhilfen, Feldmieten und zurückzulegende Transportwege
- Lagervolumina und ihre gasdichte Abdeckung
- die Ausbringtechnik bei der Düngernutzung
- Anmischgruben und/oder eine gasdichte Einbringung, die Variabilität und der Energieverbrauch bei der Beschickung
- Volumen, Bauart (Material) Variabilität und Energieverbrauch der Gärbehälter sowie der Rührwerke, Pumpen und Leitungen
- BHKW, elektrischer und thermischer Wirkungsgrad, Wärmenutzung, Abgas
- die Beherrschung des biologischen Prozesses.

Als wichtigstes ökologisches Kriterium für die Einschätzung des Modernisierungsbedarfs einer Anlage sind die von ihr ausgehenden Emissionen anzusehen. Die Bewertungsmatrix (Tab. 4.2) ist für eine bessere Lesbarkeit gegenüber dem Original gekürzt.

In der rechten Spalte „Summe“ ist eine niedrige Zahl mit großen Problemen gleichzusetzen. Ein konkretes Beispiel für die Auswertung anhand des Parameters Gaslager: Die Sortierung nach Gaslager (rot markiert) lässt den Vergleich der Anlage 25 mit weiteren Anlagen zu und macht sichtbar, welche Anlagen hier eine besondere Problematik aufweisen (Tab. 4.3). So wies unsere Beispielanlage ein Problem auf, dass in ähnlicher Form auf mehreren bau- und verfahrensähnlichen Anlagen auftrat. Das Thema Gaslager war somit ein wesentlicher Grund für die Einbeziehung dieser Anlage in die Detailberatung. Daneben trug aber auch die Umsetzbarkeit der Maßnahme zur Entscheidung bei.

Schritt 5

In der Detailberatung, an der sechs Anlagen mit gut umsetzbarem Modernisierungspotenzial und hohen Effekten hinsichtlich einer Erhöhung von Wirtschaftlichkeit, Ökologie und

Effizienz teilnahmen, wurden die Ergebnisse aus der Initialberatung detailliert untersetzt. So ließen sich konkrete Modernisierungsschritte für die ausgewählten Anlagen ableiten.

Durchführung:

Mittels einer Sensitivitätsanalyse wurden die Modernisierungsvarianten mit den größten wirtschaftlichen und ökologischen Effekten ausgewählt.

Konkrete Einzelmaßnahmen wurden auf ihre Umsetzungsfähigkeit geprüft. Dazu wurden folgende Untersuchungen angestellt:

- Analyse der Prozessbiologie
- Untersuchungen zur Nährstoffversorgung im biologischen Prozess und zu ihrer optimalen Gestaltung
- Aufdeckung bestehender Leckagen in der Biogaslager- und transportstrecke und von Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung
- Optimierung der Energieausnutzung des produzierten Biogases und Aufdeckung der Möglichkeiten für eine bedarfsgerechte Stromproduktion (Stichwort Direktvermarktung)
- Offenlegung von Potenzialen zur Erhöhung des thermischen und elektrischen Wirkungsgrades
- Untersuchung von Verwertungsmöglichkeiten für den organischen Dünger
- Technische Optimierung des Gesamtsystems

Dem Anlagenbetreiber wurden nach Abschluss der Detailberatung konkrete Vorschläge mit Kostenvorschlägen zu Modernisierungsmaßnahmen, Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen im Betrieb sowie zu den entsprechenden Finanzierungsmöglichkeiten unterbreitet.

Optimierungsbedarf der Bioenergieerzeugungskette
Es ließen sich vier allgemeine Problemfelder hinsichtlich der Anlagentechnik identifizieren, die entscheidend für ihre Ergebnisparameter

Tab. 4.2: qualitative Bewertungsmatrix für ausgewählte Anlagen

Biogasanlage:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Summe		
Bewertete Bereiche																																	
Qualität und Lagerung der Einsatzstoffe und Dünger																																	
Qualität Einsatzstoffe	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	77		
Lager Einsatzstoffe	3	2	2	3	3	1	1	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	79		
Gärrestlager	1	1	1	2	3	1	3	2	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	3	59		
Düngernutzung	3	2	1	2	0	1	3	0	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	2	0	1	2	3	1	0	1	2	42		
Summe	10	8	6	9	9	6	9	8	7	6	7	10	10	10	9	10	9	8	8	10	11	9	9	8	10	7	7	8	10	11			
Ökologische Bewertung	2	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	0	1	2	2		
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	2	3	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	2	3	3	0	3	1	2		
Biogasanlagentechnik																																	
Beschickung	3	3	3	2	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	1	1	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2	63		
Gärbehälter	3	2	3	2	3	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	64	
Rührwerke	3	2	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	66	
Pumpen und Leitungen	3	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	1	1	2	2	2	54		
Gaslager	1	2	1	1	3	2	3	1	3	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	1	3	1	3	3	1	58		
Summe	13	10	10	14	13	12	7	11	11	11	10	10	10	13	10	12	6	7	8	10	10	11	12	11	8	7	11	9	9	11	8		
Ökologische Bewertung	1	2	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	2	2	3	1	1	2	0	1	3	1			
Umsetzbarkeit Modernisierung	3	2	3	3	1	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	1	3	3	3	3	2	1	2	3	1	2	3	1	3		
Biologischer Prozess																																	
Verweilzeit	3	3	2	1	3	3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	3	2	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	59	
Raumbelastung	3	1	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2	1	1	1	3	2	2	2	58		
Gasausbeute	3	2	2	2	2	1	3	1	2	2	3	3	1	1	3	2	1	2	2	2	2	3	3	3	1	1	3	2	3	2	64		
Prozessführung	3	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2	2	66	
Gasqualität	3	2	2	3	1	0	2	1	2	1	3	3	3	3	3	3	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	59	
Summe	15	10	8	11	10	8	9	8	8	10	12	12	10	10	10	14	9	8	10	9	11	12	11	9	10	11	9	10	11	11	10		
Ökologische Bewertung	3	2	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1		
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	1	2	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	0	2	3	3		
Biogas/Energieverwertung																																	
Reinigung / Aufbereitung	2	3	2	3	3	0	2	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	64	
BHKW	2	3	3	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	63	
Wärmenutzung	1	3	1	2	3	2	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	3	1	2	2	2	3	68	
Stromvermarktung	3	1	2	1	0	0	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	0	1	2	2	48	
Eigenstromverbrauch	3	0	2	0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	2	1	3	2	41	
Summe	11	10	9	8	4	12	8	9	8	9	10	10	13	10	10	11	9	9	7	8	11	11	11	9	11	9	11	7	8	11	12		
Ökologische Bewertung	1	2	1	2	3	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	3	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	2	
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	2	2	2	1	0	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	2	2	2	2	3	3	0	3	2	1		
Personal																																	
Qualifikation/Bildung	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	0	3	3	3	80	
Arbeitsaufwand	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	0	2	2	1	57	
Arbeitsorganisation	2	2	2	3	1	3	1	3	1	3	3	3	2	3	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	0	2	2	3	65	
Summe	8	6	7	8	6	6	8	6	9	7	8	8	7	8	8	7	6	4	7	5	6	5	7	8	8	8	8	0	7	7	7		
Umsetzbarkeit Modernisierung	2	2	1	2	2	2	2	3	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	0	2	2	3		
Wirtschaftlichkeit																																	
Stromgestehungskosten Futtermittel	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	3		
Summe	49	38	34	39	41	31	42	31	34	34	38	39	45	40	43	44	40	31	32	34	40	45	43	38	35	39	33	36	43	41			
Summe Ökologische Bewertung	7	7	4	7	10	5	4	5	4	5	7	6	4	4	9	7	5	4	4	4	4	6	8	10	5	4	5	0	4	7	6		
Summe Umsetzbarkeit (ohne Person)	6	8	11	9	6	7	11	11	9	11	8	8	9	9	7	10	11	12	12	10	8	8	8	8	9	12	10	0	11	7	9		
Bauhähnlichkeit	1	2	2	4	5	5	0	6	5	2	2	2	2	0	1	7	8	6	1	0	7	9	7	0	5	10	11	1	7	6			

Tab. 4.3: Bewertungsmatrix Gaslager für ausgewählte Anlagen

Biogasanlage:	1	3	4	8	12	13	18	19	25	27	30	31	36	38	39	43
Bewertete Bereiche																
Qualität und Lagerung der Einsatzstoffe und Dünger																
Qualität Einsatzstoffe	3	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Lager Einsatzstoffe	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Gärrestlager	1	1	2	2	1	1	2	3	1	1	3	1	2	2	2	1
Düngernutzung	3	1	2	0	1	3	1	1	3	0	2	2	2	2	2	2
Summe	10	6	9	8	7	10	8	8	10	7	11	9	10	10	10	9
Ökologische Bewertung	2	1	3	2	1	1	1	1	1	0	2	1	2	2	2	2
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	3	1	2	3	3	3	3	3	0	2	3	2	2	2	2
Biogasanlagentechnik																
Beschickung	3	3	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Gärbehälter	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Rührwerke	3	2	3	1	3	3	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2
Pumpen und Leitungen	3	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2
Gaslager	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe	13	10	10	7	10	10	6	7	7	9	8	7	8	9	9	9
Ökologische Bewertung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Umsetzbarkeit Modernisierung	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	2	3	3	3
Biologischer Prozess																
Verweilzeit	3	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
Raumbelastung	3	1	2	1	1	1	2	3	1	2	2	2	3	2	1	3
Gasausbeute	3	2	3	3	3	3	1	2	1	3	2	2	3	1	1	1
Prozessführung	3	1	3	2	3	3	2	2	2	1	2	2	3	1	1	2
Gasqualität	3	2	3	1	3	3	2	1	3	2	2	1	1	1	2	2
Summe	15	8	11	8	12	12	8	10	9	10	10	8	11	7	7	10
Ökologische Bewertung	3	1	1	1	3	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	3	3	3	1	2	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3
Biogas/Energieverwertung																
Reinigung / Aufbereitung	2	2	3	1	3	3	2	2	2	2	3	1	1	2	2	2
BHKW	2	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Wärmenutzung	1	1	2	3	3	3	2	1	3	1	3	2	3	2	3	3
Stromvermarktung	3	2	1	1	2	3	2	1	1	0	2	2	2	0	2	1
Eigenstromverbrauch	3	2	0	1	0	2	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2
Summe	11	10	9	8	10	13	9	7	9	7	12	9	11	8	11	10
Ökologische Bewertung	1	1	2	1	2	2	2	1	1	0	2	1	2	1	1	1
Umsetzbarkeit Modernisierung	1	2	2	3	1	1	2	3	3	0	1	3	3	3	3	3

hinsichtlich Ressourceneffizienz, Klimaverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit waren. Sie markierten zugleich den jeweiligen wichtigsten Modernisierungsbedarf. Diese Problemfelder sind

1. Verweilzeit
2. Gaslager
3. Gärrestelager und
4. BHKW

Zu diesen „Technik“-Themen kam als ein weiterer Punkt die Beherrschung des biologischen Prozesses über all seine Phasen hinzu. Diese entscheidet letztlich über die Gesamteffizienz der Anlage.

Für die Modernisierung und Effizienzerhöhung einer Anlage sind zunächst die Faktoren zu benennen, die auf den biologischen Prozess und seinen Biogasertrag Einfluss nehmen. Für die Optimierung einer Anlage ist es vor allem notwendig, die jeweils vorhandenen Hemmnisse der Technik und der Betriebsweise auf die Biologie zu beseitigen. Im Folgenden werden die wichtigsten technisch-anlagenbedingten und betriebsbedingten Einflüsse dargestellt, die untersucht wurden.

1. Technisch-anlagenbedingte Einflüsse auf den biologischen Prozess

Verweilzeit

Der Abbau der Einsatzstoffe und die Gasausbeute werden mit zunehmender Verweilzeit besser. Dabei hängt die optimale Verweilzeit von den Einsatzstoffen ab.

Beschickung

Ein gleichmäßiges Zuführen des möglichst zerkleinerten Futters ist für den kontinuierlichen Prozess von Vorteil.

Rührwerke

In gleichmäßig, mit geringen Scherkräften gerührtem Substrat werden die Bakterien weniger oft von ihrem Futter und aus Sym-

biose-Konglomeraten getrennt. Sie arbeiten effektiver als in Prozessen mit schnell laufenden Rührwerken, von denen sie durchgemischt und „geschlagen“ werden.

Pumpen und Leitungen

Ähnlich wie bei den Rührwerken ist eine Anlage mit großvolumigen, langsamer laufenden Pumpen und größeren Leitungsquerschnitten für das „Wohlbefinden“ der Bakterien besser. Hinzu kommt eine höhere technische Betriebssicherheit da es speziell bei zähflüssigem Material weniger zu Verstopfungen kommt.

2. Betriebsbedingte Einflüsse auf den biologischen Prozess

Verweilzeit

Durch Rezirkulat aus den im Verfahren hinter dem Fermenter liegenden Behältern wird die technische Verweilzeit verkürzt.

Temperatur

Es gilt: Je höher die Temperatur umso schneller der Abbau. Gleichzeitig steigt jedoch auch die Empfindlichkeit des biologischen Prozesses. Daher sind Schwankungen in der Temperatur zu vermeiden. Grundsätzlich kann sich die Biologie an einen großen Temperaturbereich anpassen.

Rührdauer

Bei schnell laufenden Rührwerken wirken während des Rührens hohe Scherkräfte. Diese bedeuten Störungen für den biologischen Prozess und dies wiederum bedeutet, dass die Rührdauer möglichst kurz sein sollte.

Pumpzeiten und -mengen

Die Pumpzeiten und die Menge des Substrates, das zirkuliert, beeinflussen die Verweilzeit. Es werden auch mit Pumpen enorme Drücke und Scherkräfte auf das Substrat ausgeübt. Wenn die Behälter unterschiedliche Temperaturen haben, muss sich die Biologie an die neue Temperatur anpassen.

Nährstoffversorgung

Ein optimales Wachstum und Arbeiten sowie eine möglichst hohe „Stress-Resistenz“ der Bakterien sind nur möglich, wenn die Biologie mit allen notwendigen Nährstoffen gut versorgt ist.

In der Praxis sind folgende Punkte besonders relevant:

- Allgemein sind die Konstruktionen der Beschickung und der Rührwerke zu unflexibel und lassen sich an veränderte Prozessbedarfe nur schwer bzw. gar nicht anpassen.
- Pumpen und Leitungen sind in vielen Fällen nicht optimal gestaltet. Eine Änderung der Einsatzstoffe stößt hier schnell an Grenzen. Veränderungen sind jedoch auf diesem Gebiet schwer umsetzbar bzw. aufwändig.
- Grenzen einer Einflussnahme durch Modernisierung zeigen sich insbesondere bei den Gärbehältern, welche oft nicht veränderbar sind. Dies ist für die Anpassung der biologischen Prozessgestaltung unbefriedigend. So sind die Verweilzeiten in der Regel nur durch die Veränderung der Gärbehälter oder Abdeckungen zu verlängern. Auch die Umrüstung auf Einsatzstoff-flexiblere Beschickung und Rührwerke ist bei Stahl- und Segmentbetonbehältern nicht oder nur schwer möglich.
- Die Gasausbeute, auf die es letztlich ankommt, ist abhängig von der Anlagenkonstruktion und von der Prozessführung. Hierbei spielt auch das jeweilige Fabrikat der Anlage (Bau- und Verfahrensähnlichkeit) eine wichtige Rolle.
- Bei vielen Anlagen ist die Dimensionierung des Gärproduktelagers bzw. die nicht gasdichte Abdeckung dessen ein Problem. Schafft man hier Abhilfe, steigt die Gasausbeute.
- Bei der Gasreinigung und -aufbereitung gibt es herstellerabhängige Unterschiede in der Effektivität.

Bei fast allen Anlagen gibt es Handlungsbedarf zum Thema Betriebsorganisation. Häufig liegt ein fehlendes Verständnis für das komplexe Gesamtsystem (technisches Verfahren, biologischer Prozess) vor. Umfassende betriebswirtschaftliche Analysen waren oft nicht möglich, da bei vielen Anlagen lediglich der Anteil der Einsatzstoff-Kosten (Futter) an den Stromgestehungskosten ermittelbar ist. Doch gibt es auch hier Verzerrungen und Unschärfen aufgrund der oft willkürlichen monetären Bewertung der Einsatzstoffe bei interner Verrechnung. Die wirtschaftliche Bewertung der Anlagen ist meist nur indirekt durch die errechneten Effizienzkennzahlen möglich.

In den üblichen Sensitivitätsanalysen zu Biogasanlagen werden als wichtigste Parameter Anschaffungskosten, Änderung der Einsatzstoffpreise, Gasertrag und elektrischer Wirkungsgrad genannt. Betrachtet werden in der Regel Modellanlagen. Die jeweiligen Veränderungen bei den wichtigsten Parametern um 10 % führen zu einem in etwa gleich gesteigerten wirtschaftlichen Gewinn. Für den Bereich Gasertrag und -verwertung geht man jedoch von maximal 5 % möglicher Veränderung aus.

In der hier dargestellten Untersuchung wurden die Biogasanlagen einer Sensitivitätsanalyse mit dem Schwerpunkt Gestaltung und Beherrschung des technischen Verfahrens und des biologischen Prozesses unterzogen. Da bei vorhandenen Anlagen die Anschaffungskosten bereits getätigt sind und die Vergütungen fest und nicht beeinflussbar sind, werden hier

- die Veränderung in der Zusammensetzung der Einsatzstoffe
- die Einsparung von Einsatzstoffen
- der Gasertrag und die Gasverwertung
- der Arbeitsaufwand
- die Wartungs-/Reparaturkosten sowie
- der Eigenstrombedarf

betrachtet. Die Parameter fließen als monetäre Bewertung ein. Somit wird die entsprechende Entwicklung der jährlichen Kosten und des unternehmerischen Gewinns darstellbar.

Bei den untersuchten Anlagen fanden sich mehrere, die im Bereich Gasertrag und -verwertung aufgrund der veränderten Gestaltung und Beherrschung des biologischen Prozesses durch entsprechende Modernisierungsmaßnahmen weit über 10 % Steigerung der Gaserzeugung und des unternehmerischen Gewinns erzielen können bzw. inzwischen bereits konnten.

In der Regel führen Optimierungsmaßnahmen zu einer geringeren Einsatzstoffmenge und weniger Eigenstromverbrauch bei gleicher Jahresarbeit. Die Untersuchungen der sechs Anlagen in der Detailberatung haben ein Energieeffizienzsteigerungspotential zwischen 15 % und 27 % für diese Anlagen ergeben. Diese Werte lassen sich jeweils auf bau- oder verfahrensähnliche Biogasanlagen übertragen.

Fallbeispiel Anlage D

1. Ergebnisse der Initialberatung

Die Anlage wies im Vergleich zu den 44 anderen untersuchten Anlagen bei zwei Parametern gute Werte (grüne Markierung) auf. Dies waren die Verweilzeit im Fermenter und die Gasqualität.

Der Eigenstrombedarf und die Arbeitszeit waren vergleichsweise durchschnittlich (gelbe Markierung) zu bewerten. Die Gasausbeute, die Gaslagerkapazität, die Gesamtverweilzeit, die Stromproduktion und die BHKW- Auslastung waren vergleichsweise gering (rote Markierung).

Für eine Modernisierung wurde auf die Potenziale in den Bereichen der Gesamtverweil-

zeit, des Gaslagers, der Stromproduktion und der Gasausbeute hingewiesen.

2. Ergebnisse der Detailberatung

Nach Auswertung dieser Werte wurden als sinnvollste Maßnahmen für die Modernisierung identifiziert:

- das gasdichte Abdecken des zweiten Behälters und die technische Einbindung in das Verfahren, inklusive Isolierung und Beheizen
- die Verbesserung des Verfahrens und der Prozessbiologie sowie
- der Austausch des BHKW.

Für die ersten beiden Maßnahmen wurden Modernisierungskosten in Höhe von 54.000 € errechnet. Der Austausch des BHKW wurde zurückgestellt.

3. Maßnahmenbeschreibung mit den erwarteten Effekten

Im Folgenden werden die erwarteten Effekte jeder Maßnahme beschrieben:

- gasdichtes Abdecken des zweiten Behälters und die technische Einbindung ins Verfahren, inklusive Isolieren und Beheizen

Diese Maßnahmen dienen der Erhöhung der Substratausnutzung und der Emissionsminderung. Die vorgeschlagenen Modernisierungen zielen auf eine Erhöhung der Verweilzeit des Substrates, insbesondere durch die gasdichte Einbindung des zweiten Behälters in den Gesamtprozess. Der zweite Behälter kann ohne großen Aufwand modernisiert werden.

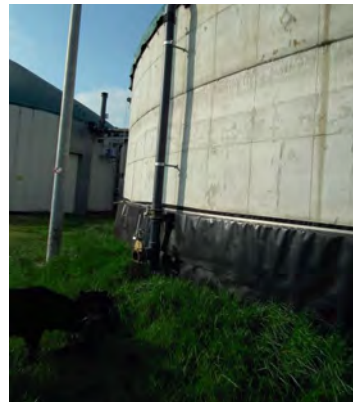
- Optimieren der Prozessbiologie

Durch Analysen des Fermentersubstrats wurden trotz Zugabe eines Spurennährstoffpräparates Mängel bei der Versorgung mit Kobalt und Selen festgestellt. Wegen der geringen

Abb. 4.4 (a - k): Fotodokumentation des Fallbeispiels



(a) nicht angeschlossene alte Heizleitung



(b) Behälterwand ohne Dämmung



(c) offene Bohrungen in der Behälterwand



(d) Steuerungsmonitor



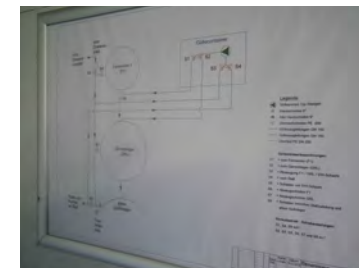
(e) Rührwerkssteuerung



(f) Fermenter vor der Optimierung



(g) nicht eingebundener Behälter (rechts)



(h) Fließschema



(i) BHKW vor der Erüchtigung



(j) BHKW-Container mit Zusatzheizung



(k) altes BHKW 35% Wirkungsgrad

Raumbelastung von 2,5 kg oTM m⁻³ war bei den Gärsäuren noch keine Hemmung festzustellen. Diese fehlenden Elemente sind für den Abbau des Futters bis zur Essigsäure notwendig. Wenn dieser Abbau nicht optimal erfolgen kann, kommt es zu geringeren Gasausbeuten, ohne dass es zu hohen Säuremengen im Substrat führt. Um die Versorgung

des biologischen Prozesses zu sichern, wäre auf eine anlagenspezifische Spurenelementmischung umzustellen.

Die Erhöhung der Verweilzeit von 67 auf 175 Tage (warm) und die optimale Versorgung der Bakterien mit Nährstoffen würde eine gute Vergärung auch von schwierigen Ein-

Tab. 4.4: Auswertungsmatrix aus der Detailberatung Anlage D

Anlage	D		Anlagengröße kW inst.	180
Maßnahmen:	Erhöhung des Gärvolumens und des Gasspeichers			
	Investition:	54.000 €		
Effekte:	Ist		Soll	
Gärvolumen gesamt	1600	m ³	4200	m ³
Gasproduktion/Gasverwertung:				
Gasausbeuten nach KTBL	83,8	%	108	%
Raumbelastung	2,5	kgTS/m ³	3,0	kgTS/m ³
Verweilzeit Fermenter	67	Tage	67	Tage
Verweilzeit gesamt	67	Tage	175	Tage
Gaslagerkapazität	3,3	h	9,9	h
Stromproduktion:	1.653.232	kWh/a	1.914.060	kWh/a
Auslastung BHKW	82	%	95	%
Eigenstrombedarf:	120.000	kWh/a	139.700	kWh/a
	7,3	%	7,3	%
	13,7	kW/h	15,9	kW/h
Arbeitsaufwand:				
Routinearbeiten und	28	h/Woche		
Störungsbehebung	1456	h/a		
Wärmeverwertung:				
Fremdabnehmer	784.000	kWh/a		
Gesamt	1.173.735	kWh/a		
Bilanz:	10,15	€/m ³		
Düngewert Gärsubstrat				

satzstoffen (Gras, Mist) mit guten Abbauraten ermöglichen. Es kann mit einer Verbesserung der Abbauraten um 22 % gerechnet werden.

- BHKW

Der Austausch des bisherigen gegen ein neues BHKW mit höherem (43 %) elektrischem Wirkungsgrad würde die Wirtschaftlichkeit wesentlich verbessern. Da die bisherige Wirtschaftlichkeit der Anlage aus Sicht der Banken die hohe Investition für ein neues BHKW noch nicht zulässt, sind die Prüfung des Austauschs und die Finanzierbarkeit bei der nächsten Generalüberholung des BHKW dringend zu empfehlen.

Ökonomische Auswertung

Bei gleichen oder geringeren Einsatzstoffmengen wird eine Leistungserhöhung möglich. Die Gasausbeute steigt von 86 % nach KTBL auf den Durchschnitt von 108 % der betrachteten Anlagen. Nach der Modernisierung kann das im Betrieb vorhandene Gras vom Dauergrünland komplett verarbeitet werden. Dieser gegenüber der Maissilage kostengünstigere Einsatzstoff ergibt bei gleicher Leistung geringere Gesamtkosten für Einsatzstoffe.

Durch das gasdichte Abdecken des zweiten Behälters und der Optimierung der Prozessbiologie käme es zu einer hohen Kostensen-

Tab. 4.5: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Anlage D⁴

					Soll	Ist
Modernisierungsinvestition					54.300 €	
Gesamtinvestition					767.800 €	713.500 €
Summe Erträge					430.632 €	380.286 €
Gesamtsumme der Jahreskosten					329.010 €	335.338 €
Unternehmerischer Gewinn in € a ⁻¹					101.622 €	44.948 €
Verwendbare elektrische Energie in kWh a ⁻¹					1.914.203	1.646.405
Rohstoffkosten für die Co-Fermentation						
			Soll	Ist		
Maissilage	40 € t ⁻¹	2.000	2.920	t a ⁻¹	80.000 €	116.800 €
GPS	40 € t ⁻¹	0	1.387	t a ⁻¹	- €	55.480 €
Grassilage	30 € t ⁻¹	2.370	0	t a ⁻¹	71.100 €	- €
Rinderfestmist	4 € t ⁻¹	0	0	t a ⁻¹	- €	- €
Gesamtsubstratkosten					151.100 €	172.280 €
Notw. Elektrische Prozessenergie	Zukaufspreis 0,20 € kWh ⁻¹				26.880 €	25.440 €
Kosten ohne AfA					240.542 €	254.061 €
AfA					65.434 €	59.871 €
Substratkosten					151.100 €	172.280 €
Reparaturen/Wartung					30.316 €	27.190 €

⁶Die Daten dienen nur dem Vergleich. Interne Verrechnungskosten wurden nicht berücksichtigt. Folgende Modernisierungsfelder fanden Berücksichtigung: Gaslager, Rührtechnik, Prozessbiologie

kung auf der Substratseite und höheren Gasausbeuten. Daraus ergibt sich eine erhebliche Steigerung des unternehmerischen Gewinns.

Die weit höhere Gasausbeute in Verbindung mit einem neuen BHKW ließe eine Leistungssteigerung auf ca. 400 kW_{el} zu. Bei der aktuellen Kapazität von 180 kW_{el}, kann oft nicht genug Wärme in das Fernwärmenetz geliefert werden. Somit wäre die Erweiterung des BHKW auch aus ökonomischer und ökologischer Sicht eine sinnvolle Modernisierungsmaßnahme. Nach den EEG-Bestimmungen 2014 war die Leistungssteigerung jedoch nicht zulässig. Es muss die Höchstbemessungsgrenze eingehalten werden (Abb. 4.5).

Ökologische Auswertung

Durch das gasdichte Abdecken des Lagers wird die Methanemission von diesem Behälter verhindert. Die Prozessoptimierung verbessert die Ausnutzung der Einsatzstoffe. Der verminderte Einsatz und die verbesserte Aus-

nutzung der Einsatzstoffe minimieren die Treibhausgasemissionen. Mais wird durch das im Betrieb anfallende Gras substituiert.

Ergebnis

Die Anlage wurde mit der gasdichten Abdeckung, Isolierung des zweiten Behälters sowie einem Heizungseinbau und auf Eigeninitiative mit neuer Rührtechnik erfolgreich modernisiert. Die geschätzten Kosten von 54.000 € wurden um 4.000 € überschritten, da der Betreiber anstatt einer Heizung mit Kunststoffrohren Edelstahl einsetzte. Mit den Modernisierungsmaßnahmen und der Optimierung der Prozessbiologie durch Einsatz einer spezifischen Spurenelementmischung wurde die prognostizierte Ertragssteigerung sogar übertroffen.

Fazit und Empfehlungen

Auch die begrenzten Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten der bereits untersuchten Brandenburger Anlagen unter dem Fokus ih-

Abb. 4.5: Sensitivitätsanalyse Anlage D

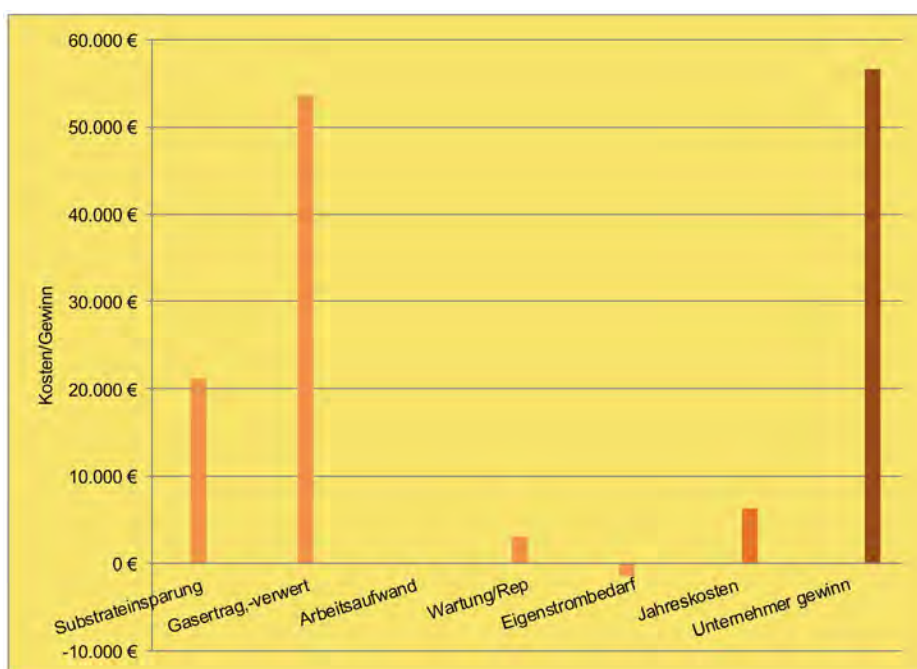




Abb. 4.6: Bauphase - Isolierung des zweiten Behälters, der Heizungseinbau und die gasdichte Einbindung in das System

rer Wirkungen auf die Treibhausgasbilanz bestätigen zum Einen die bisher bekannten Forschungsergebnisse: Die wesentlichsten Emissionsquellen sind die nicht gasdichte Gärrestlagerung, nicht ausgeschöpfte Optimierungspotenziale innerhalb des technischen Verfahrens und des biologischen Prozesses und die Gaserzeugung und -verwertung (BHKW). In diese Richtung wirken die empfohlenen Modernisierungsmaßnahmen. Detailliertere Untersuchungen zur Ökobilanz stehen noch aus.

Zum Anderen hat die Analyse bestätigt, dass die Konstellationen in jeder Biogasanlage, entsprechend ihrer individuellen Gegebenheiten, insbesondere in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Futterzusammensetzungen, sehr spezifisch sind. Erst durch eine umfassende Bestands- und Verfahrensaufnahme sowie eine entsprechende Analyse des Ganzen kann der wirkungsvollste Ansatzpunkt für

eine ökonomische und ökologische Modernisierung identifiziert werden.

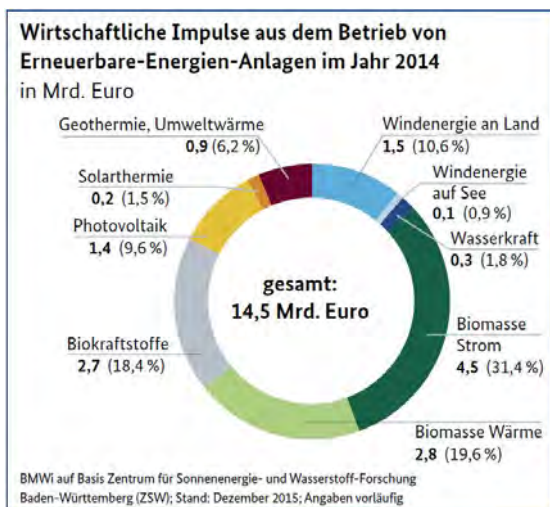
Wegen der komplexen technischen und biologischen Verfahren in Biogasanlagen können diese Modernisierungsmöglichkeiten in aller Regel von den Betreibern der Biogasanlagen ohne externe Unterstützung nicht erkannt und nicht realisiert werden. Diese Unterstützung ist durch unabhängige Beratung und wissenschaftliche Forschung, Lehre und Begleitung zu gewährleisten.

Unserer Ansicht nach kann auf Dauer ein effizienter und ökologisch optimierter Anlagenbetrieb nur mit den folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- landesweites Programm zur Anlagenoptimierung und Effizienzsteigerung
- Information der landwirtschaftlichen Biogasanlagenbetreiber über die Ergebnisse dieser Untersuchung mit Hilfe der Verbände und Organisationen
- moderierter, Themen orientierter Erfahrungsaustausch zwischen den Betreibern
- Aufbau von Netzwerken entlang der Wertschöpfungskette in den Regionen mit dem Schwerpunkt Wartung und Service
- eine neutrale, Hersteller unabhängige Fachberatung und
- Gewährleistung des Prozesses eines moderierten, organisierten Lernens.

5. Chancen und Risiken für die Nutzung von Biogas

Die energetische Nutzung der Biomasse ist fest in der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg verankert. Bis zum Jahr 2030 soll der Anteil an Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch auf 32 % steigen. Davon soll der Anteil aus Biomasse ca. 34 % betragen und 58 PJ erreichen.



Das Bundesministerium für Wirtschaft hat festgestellt, dass Biomasse etwa zwei Drittel der Wirtschaftsleistung im Bereich der Erneuerbaren Energie erbringt.

In der Biomassestrategie 2010 wurde für das Land Brandenburg bereits ein Fahrplan für die Entwicklung der Biomassenutzung, sowohl stofflich als auch energetisch festgelegt. Für die Biomassenutzung sollte folgende Rangfolge der Kaskadennutzung gelten: Ernährung, Futtermittelversorgung, Rohstoffversorgung, energetische Nutzung.

In diesem Leitfaden wurden die potenziellen Einsatzstoffe für Biogas beschrieben und ihr mögliches Potenzial benannt. Außerdem wurde aufgezeigt, welches Optimierungspotenzial in den bestehenden Biogasanlagen existiert. Bei der Biogasproduktion und -nutzung sind sowohl ökonomische und ökologische, aber auch gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen zu beachten. Für die

weitere Entwicklung des Biogassektors stehen technische Optionen sowohl innerhalb des Rahmens des EEG als auch Entwicklungen jenseits des EEG zur Auswahl. Im Folgenden sollen einige hiervon beleuchtet werden.

Umstieg von Energiepflanzen auf Reststoffe und Wirtschaftsdünger

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, aber auch der gesellschaftlichen Akzeptanz und der ökologischen Bilanz, ist ein Umstieg auf Reststoffe und Wirtschaftsdünger als Einsatzstoffe für die Biogasanlagen unumgänglich. Mittlerweile liegen in Deutschland, Österreich, Frankreich und einigen anderen Ländern umfangreiche Erfahrungen beim Einsatz von Maisstroh, Rapsstroh, Rinderfestmist, Pferdemist und ähnlich schwer abbaubaren Stoffen vor. Es kann gezeigt werden, dass deren Verwertung in Biogasanlagen sowohl technisch als auch biologisch machbar ist und die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage deutlich verbessert werden kann. Langjährige Untersuchungen, z.B. an der Humboldt Universität zu Berlin oder der TU München Weihenstephan, belegen, dass die Rückführung der Gärprodukte mit den langsam abbauenden Kohlenstoffverbindungen zu einer Verbesserung der Humusbilanz und der Bodeneigenschaften führt.



Abb. 5.1: Pferdemist als Einsatzstoff

Flexibilisierung und Verstromung vor Ort
Biogasstrom und Strom aus anderen Biomassequellen können und sollen eine wichtige Rolle im Ausgleich der volatilen Stromquellen Wind und Sonne spielen. Biogas ist sowohl speicherbar als auch kurzfristig einsetzbar. Strom aus Biogas kann somit ausgeschaltet werden, wenn Wind und Sonne genügend Energie liefern und zugeschaltet werden, wenn Lücken in der Energieversorgung aus diesen beiden Quellen bestehen.

Für die Flexibilisierung sind Erweiterungen der BHKW-Kapazität, der Gasspeicherung und evtl. der Wärmespeicherung nötig. Es bestehen aber auch Möglichkeiten, die Fütterung der Biogasanlage in einem gewissen Umfang so anzupassen, dass die Biogasproduktion dem Bedarf annähernd folgt. Der Umbau und die Erweiterung der Biogasanlage werden durch die Flexibilitätsprämie gefördert. Außerdem eröffnet eine solche Umstellung das Mitbewerben in der Ausschreibung, die ab 2017 Bestandteil des EEG wird und somit die Chance für einen wirtschaftlichen Betrieb der Biogasanlage um 10 Jahre über das gegenwärtige Ende der EEG-Vergütung hinaus.

Ist eine Flexibilisierung beabsichtigt, sollte mit Anbietern, die den Strom vermarkten und mit einer neutralen Beratungsinstitution Kontakt aufgenommen werden.

Biogasleitungen und Verbesserung des Wärmeabsatzes

Die Wirtschaftlichkeit und die ökologische Bilanz von Biogasanlagen kann auch durch einen verbesserten Wärmeabsatzerreicht werden. Jedoch liegen die Wärmesenken meist nicht in unmittelbarer Nähe der Biogasanlagen. Die Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und Einspeisung in das Erdgasnetz ist technisch aufwändig und auch mit hohen Kosten verbunden. Als Alternative bietet sich hier die Verlegung von gesonderten Biogasleitungen von der Anlage zu den Orten, an denen ein geeigneter Wärmebedarf besteht. Dort werden dann entsprechend BHKWs installiert, die bei Bedarf und Möglichkeiten auch flexibel betrieben werden können.

Für diesen Weg bietet sich die Zusammenarbeit mit Unternehmen an, die Erfahrung in der Bereitstellung und dem Verkauf von Wärme



Abb. 5.2: Satelliten-BHKW zur Wärmeversorgung eines Hotelkomplexes

haben. Wo die Schnittstelle für den Betreiber der Biogasanlage liegt, ob direkt mit dem Verkauf des Biogases oder mit dem Betrieb des BHKW, muss sich aus den Verhandlungen und den technischen Gestaltungsmöglichkeiten ergeben.

Biogasanlagen im ökologischen Landbau

Ein Grundproblem des ökologischen Landbaus liegt in der problematischen und oft geringen Versorgung mit Nährstoffen. Dem versuchen einige Richtlinien mit der Forderung des parallelen Pflanzenbau- und Tierhaltungsbetriebs entgegen zu wirken. Jedoch nimmt die Zahl der ökologischen Betriebe mit ausschließlichem Pflanzenbau stetig zu. In diesen Betrieben wird dem Nährstoffproblem mit dem Anbau von stickstofffixierenden Fruchtarten als Zwischenfrüchte, aber auch im Hauptanbau, begegnet. Diese einseitige Ausrichtung auf Stickstofffixierung kann zur Überversorgung und damit zu Nitratverlusten führen.

Eine umfassendere Lösung für die Versorgung mit ausreichend Nährstoffen in der öko-

logischen Landwirtschaft besteht im Betrieb von Biogasanlagen und der Nutzung der Gärprodukte als organischer Dünger. Die Gärprodukte haben ein breites, in der Regel dem Pflanzenwachstum zuträgliches, Nährstoffspektrum. Am Lehrstuhl für den ökologischen Landbau an der TU München Weihenstephan wird in langjährigen Versuchen belegt, dass die Ertragsfähigkeit von ökologischen Betrieben bei der Verwendung von Gärprodukten als Dünger erheblich steigt bei gleichzeitiger Verbesserung des Humusgehalts im Boden.

Die Vermarktung von Strom und Wärme erscheint unter diesen Gesichtspunkten schon fast als willkommenes Nebenprodukt bei ökologischen Landbaubetrieben.

Biogas als Kraftstoff

Die erste Biogastankstelle in Deutschland ist mittlerweile über 10 Jahre alt. Sie wurde im September 2005 im Wendland eröffnet. Aber bereits lange vorher, schon vor dem Jahr 2000, wurde Biogas zu Biomethan aufbereitet und als Kraftstoff genutzt. Vorreiter hierzu ist Schweden, wo in vielen Gemeinden Busse und PKWs mit Biogas betrieben werden. Selbst ein Regionalzug fährt mit Biogas als Kraftstoff.

In Finnland hat auch bereits im Jahr 2007 ein Bauer mit seinem selbsthergestellten Biogas und einer selbstgebauten Aufbereitungsanlage den Kraftstoff für seinen Volvo-PKW produziert (Abb. 5.3). Mittlerweile gibt es von mehreren Herstellern Biogasaufbereitungsanlagen mit angeschlossener Tankstelle. Insbesondere die Einführung der Membrantrennungstechnologie für Biogas hat dazu geführt, dass auch mit kleineren Biogasanlagen eine Aufbereitung zu Biomethan wirtschaftlich möglich ist. Der direkt angeschlossene Betrieb einer Gastankstelle ist überall sinnvoll, wo keine Erdgasnetzstruktur vorhanden ist. Ansonsten kann die übliche



Abb. 5.3: selbstgebaute Anlage zur Aufbereitung von Biogas zu Kraftstoff

Technik, d.h. die Einspeisung ins Netz und der Anschluss der Tankstelle ans Netz, machbar sein.

Power to Gas

Biogasanlagen sind in der Lage, aus Wasserstoff, der durch Überschussstrom aus Wind und Sonne gewonnen wird, dem Kohlendioxid aus dem Biogas und dem biologischen Prozess Methan zu bilden. Auf diese Weise kann Biogas gewonnen werden, das zu über 90 % aus Methan besteht.

Zur Zeit sind die notwendigen technischen Änderungen noch erheblich. So muss ein separater Reaktor gebaut werden, in dem Wasserstoff und Kohlendioxid biologisch, aber unter Druck zu Methan umgesetzt wird. Eine erste großtechnische Anlage hierzu existiert bereits seit 2015. Es gibt jedoch eine Reihe von Entwicklungsansätzen, die an einer einfacheren Integration dieses Prozessschritts in die Biogasanlage hinein arbeiten.

Biogas für die stoffliche Nutzung

Methan ist eine extrem reaktionsträge Verbindung. Nur mit erheblichem energetischen Aufwand kann bisher Methan in Methanol umgewandelt werden, welches als Rohstoff für weitere Synthesen organischer Stoffe genutzt werden kann.

Der bisherige Weg ist die Dampfreformation des Methans zu Syngas, einer Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, das dann zu Methanol reagiert. Deutlich eleganter wäre eine katalytische Umwandlung des Methans zu Methanol, die sich an der biologischen Oxidation orientiert. Wissenschaftlern am Paul Scherrer Institut in der Schweiz ist es gelungen einen zeolithischen Katalysator zu entwickeln, der bei niedrigem Energieeinsatz eine quantitative Umwandlung von Methan zu Methanol ermöglicht. Bis dieser Prozess den Weg aus dem Labor in die Praxis findet, dürfte jedoch noch einige Zeit dauern.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	ELKE	Naturschutz durch extensiven Energiepflanzenanbau, Forschungsprojekt
AF	Ackerfläche	EU	Europäische Union
ATB	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.	EVA	Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen, Forschungsprojekt
AZ	Ackerzahl	Fe	Eisen
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	FOS	Flüchtige Organische Säuren
BioAbfV	Bioabfall-Verordnung	FOS/TAC	Quotient zur Beurteilung der Anlagenstabilität (vgl. FOS und TAC)
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	g	Gramm
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	GIS	Geografisches Informationssystem
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	GPS	Ganzpflanzensilage
BR	Raumbelastung, Fütterungsrate	GV	Großvieheinheit
°C	Grad Celsius	H₂	Wasserstoff
C	Kohlenstoff	H₂CO₃	Kohlensäure
C4-Pflanze	Pflanzen wie Mais, Hirse, Amarant haben einen Mechanismus zur Entkopplung von Photosynthese und Transpiration und haben daher bei trockenen Verhältnissen einen Vorteil gegenüber C3-Pflanzen wie Roggen, Gerste oder Weizen	H₂O	Wasser
CaCO₃	Kalziumkarbonat	H₂S	Schwefelwasserstoff
CH₄	Methan	H₂SO₄	Schwefelsäure
Co	Kobalt	ha	Hektar
CO₂	Kohlendioxid	HNE(E)	Hochschule für Nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	IHK	Industrie- und Handelskammer
d	Tag	kg	Kilogramm
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum Leipzig	KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
dt	Dezitonne	kW	Kilowatt
DüG	Düngegesetz	kWel	Kilowatt, elektrische Leistung
DüMV	Düngemittel-Verordnung	kWh	Kilowattstunde
DüV	Düngeverordnung	KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V.	KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz	kWth	Kilowatt, thermische Leistung
		L	Liter
		LELF	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung

LG	Landbaugebiet	P	Phosphor
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg	pH	Wasserstoffionenkonzentration als negativer dekadischer Logarithmus
m	Meter	PJ	Petajoule (1 PJ sind ca. 277.778 MWh)
m³	Kubikmeter	PKW	Personenkraftwagen
mbar	Millibar	Q-PCR	Quantitative Polymerase Ketten- reaktion (Methode zur Analyse von DANN)
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent	rDNA	Ribosomale Desoxyribonukleinsäure
mg	Milligramm	S	Schwefel
MIL	Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (bis 2014)	t	Tonne (entspricht Mg = Mega- gramm)
MIR	Ministerium für Infrastruktur und Raumordnung des Landes Brandenburg (bis 2009)	TAC	Totales Anorganisches Karbonat
mL	Milliliter	TM	Trockenmasse (auch TS)
MLUL	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg	VAUwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefähr- denden Stoffen des Bundes
mm	Millimeter	VAwS	Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe
Mo	Molybdän	VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Mol	Stoffmenge, 6,022 mal 10 ²³ Moleküle	VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
MUGV	Ministerium für Umwelt, Gesund- heit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (bis 2014)	WDüngV	Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern
MW	Megawatt	y	Biogasausbeute
MW_{el}	Megawatt, elektrische Leistung	y_{max}	Maximale Biogasausbeute
MWh	Megawattstunde	Zn	Zink
N	normal, Konzentrationsangabe für Säuren und Basen		
N	Stickstoff		
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe		
NH₃	Ammoniak		
NH₄⁺	Ammonium		
Ni	Nickel		
ORC	Organic Rankine Cycle, organischer Rankine Kreislauf		
oTM	organische Trockenmasse (auch oTS)		

Autorenverzeichnis

Sabine **Blossey** (Kap. 1)
Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
Albert-Einstein-Straße 42 - 46
14473 Potsdam

Dr. Gunter **Ebel** (Kap. 3)
Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
Referat Ackerbau und Grünland
Stahnsdorfer Damm 1
14532 Stahnsdorf OT Güterfelde

Rebekka **Graef** (Kap. 3)
GfBU-Consult Gesellschaft für Umwelt-
und Managementberatung mbH
Mahlsdorfer Str. 61b
15366 Hoppegarten / OT Hönow

Gerd **Hampel** (Kap. 4)
Büro für Kommunalberatung
Goethestraße 16
16225 Eberswalde

Dr. Christiane **Herrmann** (Kap. 2)
Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e.V.
Abteilung Technikbewertung und
Stoffkreisläufe
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Prof. Dr. Bernd **Linke** (Kap. 2)
Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e.V.
Abteilung Bioverfahrenstechnik
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Wolfgang **Peters** (Kap. 3)
Bosch & Partner GmbH
Kantstraße 63a
10627 Berlin

Dr. Matthias **Plöchl** (Kap. 2, 3 und 5)
BioenergieBeratungBornim GmbH
Max-Eyth-Allee 101
14469 Potsdam

Sven **Schicketanz** (Kap. 3)
Bosch & Partner GmbH
Kantstraße 63a
10627 Berlin

Martin **Schulze** (Kap. 4)
Naturenergie
Ausbau 8
15306 Lindendorf, Dolgeln

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht während eines Wahlkampfs zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments. Unabhängig davon wann, auf welchem Wege und in welcher Anzahl der Empfängerin/dem Empfänger diese zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

**Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt
und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg**

Henning-von-Tresckow-Straße 2 - 13, Haus S
14467 Potsdam

Telefon: 0331 / 866 72 37
pressestelle@mlul.brandenburg.de
Internet: www.mlul.brandenburg.de

**Brandenburgische Energie Technologie Initiative
(ETI)**

c/o IHK Potsdam
Breite Straße 2 a - c
14467 Potsdam

Telefon: 0331 / 2786 - 168
eti@ihk-potsdam.de
Internet: www.eti-brandenburg.de

