

# Handreichung

## Biogasgewinnung und -nutzung



# Handreichung

## Biogasgewinnung und -nutzung

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e. V.

3., überarbeitete Auflage

Gülzow, 2006

Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR),  
Hofplatz 1, 18276 Gülzow, mit Förderung des Bundesministeriums für  
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22027200).

Die vorliegende Publikation wurde erstellt durch

**Institut für Energetik und Umwelt gGmbH**

Torgauer Str. 116  
04347 Leipzig  
Tel.: 03 41 - 24 34-412  
Fax: 03 41 - 24 34-433  
[www.ie-leipzig.de](http://www.ie-leipzig.de)

in Kooperation mit der

**Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft**

Institut für Technologie und Biosystemtechnik  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Tel.: 05 31 - 5 96-751  
Fax: 05 31 - 5 96-363  
[www.fal.de](http://www.fal.de)

und dem

**Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.**

Bartningstr. 49  
64289 Darmstadt  
Tel.: 0 61 51 - 7 00 10  
Fax: 0 61 51 - 70 01-123  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

**Herausgeber:**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.  
Hofplatz 1  
18276 Gülzow  
Tel.: (0 38 43) 69 30-0  
Fax: (0 38 43) 69 30-102  
E-Mail: [info@fnr.de](mailto:info@fnr.de)  
Internet: <http://www.fnr.de>

**Redaktion:**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.  
Abt. Öffentlichkeitsarbeit

**Gestaltung und Produktion:**

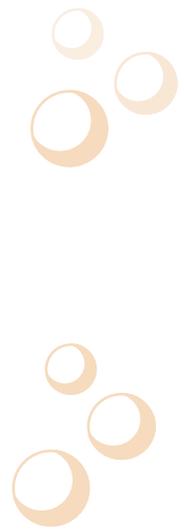
tangram documents, Bentwisch

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

ISBN 3-00-014333-5

# Inhaltsverzeichnis



## Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Glossar .....	17

## 1 Ziele der Handreichung ..... 21

M. KALTSCHMITT, F. SCHOLWIN

1.1 Aufgabenstellung.....	21
1.2 Lösungsansatz .....	21
1.3 Inhalt .....	22
1.4 Zielgruppen.....	22
1.5 Abgrenzung .....	24
1.5.1 Technik.....	24
1.5.2 Substrate.....	24
1.5.3 Datenumfang.....	24

## 2 Grundlagen der anaeroben Fermentation ..... 25

A. SCHATTAUER, P. WEILAND

2.1 Entstehung von Biogas.....	25
2.2 Milieubedingungen.....	26
2.2.1 Sauerstoff.....	26
2.2.2 Temperatur .....	26
2.2.3 pH-Wert.....	27
2.2.4 Nährstoffversorgung.....	27
2.2.5 Hemmstoffe .....	27
2.3 Betriebsparameter .....	28
2.3.1 Raumbelastung und Verweilzeit des Fermenters .....	28
2.3.2 Durchmischung.....	29
2.3.3 Gasbildungspotenzial und methanogene Aktivität.....	29
2.4 Ursachen für Prozessstörungen .....	32
2.4.1 Temperatur .....	32
2.4.2 Ammoniakbildung (NH <sub>3</sub> ) .....	32
2.4.3 Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S).....	33
2.4.4 Fehler bei der Substratzugabe.....	33
2.5 Literaturverzeichnis.....	35

### 3 Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung ..... 36

F. SCHOLWIN, T. WEIDELE, H. GATTERMANN, A. SCHATTAUER, P. WEILAND

3.1	Merkmale und Unterscheidung verschiedener Verfahrensvarianten (F. SCHOLWIN, T. WEIDELE, H. GATTERMANN) .....	36
3.1.1	Anzahl der Prozessstufen .....	36
3.1.2	Prozesstemperatur .....	37
3.1.3	Art der Beschickung .....	37
3.1.4	Trockensubstanzgehalt der Gärsubstrate .....	39
3.2	Verfahrenstechnik (F. SCHOLWIN, T. WEIDELE, H. GATTERMANN) .....	43
3.2.1	Substrathandling .....	45
3.2.2	Biogasgewinnung.....	59
3.2.3	Lagerung des vergorenen Substrates .....	74
3.2.4	Speicherung des gewonnenen Biogases .....	74
3.2.5	Prozessüberwachung und -steuerung .....	75
3.3	Sicherheitsregeln (A. SCHATTAUER, P. WEILAND) .....	82
3.3.1	Vergiftungs- und Erstickungsgefahr .....	82
3.3.2	Explosions- und Brandgefahr.....	83
3.3.3	Weitere Unfallgefahren .....	84
3.4	Literaturverzeichnis .....	85

### 4 Beschreibung ausgewählter Substrate..... 86

A. SCHATTAUER, P. WEILAND

4.1	Substrate aus der Landwirtschaft .....	86
4.1.1	Wirtschaftsdünger.....	86
4.1.2	Nachwachsende Rohstoffe .....	87
4.2	Substrate aus der weiterverarbeitenden Agroindustrie .....	90
4.2.1	Bierherstellung .....	90
4.2.2	Alkoholgewinnung .....	90
4.2.3	Kartoffelverarbeitung (Stärkeherstellung) .....	91
4.2.4	Zuckergewinnung.....	91
4.2.5	Nebenprodukte der Obstverarbeitung .....	92
4.3	Organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten.....	93
4.4	Grün- und Rasenschnitt.....	94
4.5	Anhang.....	95
4.6	Literaturverzeichnis .....	96

### 5 Gasaufbereitung und Verwertungsmöglichkeiten ..... 97

F. SCHOLWIN, T. WEIDELE, H. GATTERMANN

5.1	Gasaufbereitung .....	97
5.1.1	Entschwefelung .....	97
5.1.2	Trocknung .....	100
5.2	Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung.....	101
5.2.1	Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotoren.....	101
5.2.2	Nutzung in Stirlingmotoren .....	110
5.2.3	Nutzung in Mikrogasturbinen .....	111
5.2.4	Nutzung in Brennstoffzellen .....	112
5.3	Nutzung durch Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung .....	113
5.4	Weitere Nutzungsmöglichkeiten .....	114
5.4.1	Thermische Nutzung von Biogas .....	114
5.4.2	Einspeisung in das Erdgasnetz .....	114
5.4.3	Treibstoff für Kraftfahrzeuge .....	115
5.5	Literaturverzeichnis .....	116

<b>6</b>	<b>Modellanlagen .....</b>	<b>117</b>
	<b>A. NIEBAUM, H. DÖHLER</b>	
6.1	Aufgabe und Ziel .....	117
6.2	Modellanlagen – Charakteristika und Annahmen.....	117
6.2.1	Substrate.....	118
6.2.2	Anlagenleistung .....	119
6.2.3	Biologische und technische Auslegung.....	121
6.2.4	Annahmen für die Investitionsbedarfsberechnung.....	122
6.2.5	Betrieb der Modellanlagen .....	123
6.2.6	Genehmigung.....	123
6.3	Beschreibung und Darstellung der Modellanlagen .....	124
6.3.1	Input-Output-Übersicht der Modellanlagen .....	124
6.3.2	Verfahrensbeschreibung der Modellanlagen.....	124
6.3.3	Investitionsbedarf Modellanlagen.....	136
6.4	Literaturverzeichnis.....	136
<b>7</b>	<b>Rechtliche und administrative Rahmenbedingungen.....</b>	<b>137</b>
	<b>J. MATTHIAS</b>	
7.1	Strom aus Biomasse – Vergütung und Netzanschluss .....	137
7.2	Genehmigung von Biogasanlagen.....	140
7.2.1	Wesentliche Kriterien für die Anlagengenehmigung.....	141
7.3	Genehmigungsbeispiele .....	148
7.3.1	Modellanlage 1 – Einzelbetriebliche Anlage mit Rinderhaltung 120 GV, NaWaRo-Einsatz .....	148
7.3.2	Modellanlage 2 – Einzelbetriebliche Anlage mit Mastschweinehaltung 160 GV, NaWaRo-Einsatz .....	148
7.3.3	Modellanlage 3 – Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 250 GV und Mastschweinehaltung 160 GV und NaWaRo-Einsatz.....	149
7.3.4	Modellanlage 4 – Genossenschaftsanlage mit Rinderhaltung 2000 GV .....	149
7.3.5	Modellanlage 5 – Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 520 GV und Mastschweinehaltung 320 GV, NaWaRo-Einsatz .....	150
7.3.6	Modellanlage 6 – Gemeinschaftsanlage mit 520 GV Rinderhaltung und 320 GV Mastschweinehaltung, Einsatz von NaWaRos und Abfällen .....	150
7.4	Literaturverzeichnis.....	152
<b>8</b>	<b>Qualität und Verwertung des Gärrestes .....</b>	<b>153</b>
	<b>T. AMON, H. DÖHLER</b>	
8.1	Veränderungen der Substrateigenschaften durch den Gärprozess.....	153
8.2	Konsequenzen für die Lagerung des Gärrestes.....	156
8.2.1	Ammoniakemissionen .....	156
8.2.2	Klimarelevante Emissionen.....	156
8.3	Konsequenzen für die Düngewirkung des Gärrestes.....	159
8.3.1	Verfügbarkeit und Nährstoffwirkung von Stickstoff.....	159
8.3.2	Weitere Konsequenzen der Vergärung auf die pflanzenbauliche Nutzung.....	161
8.4	Günstige Einsatztermine für flüssige Wirtschaftsdünger und Gärreste.....	162
8.5	Applikationstechniken für den Gärrest .....	163
8.6	Anfallende Abwässer und Gärrestaufbereitung .....	164
8.7	Literaturverzeichnis.....	165

**9 Betriebsform, Arbeitszeit, Steuern ..... 166**

**P. JÄGER, M. SCHWAB, R. STEPHANY**

9.1	Umstrukturierung des Betriebes – Perspektiven und Ansätze zur Optimierung .....	166
9.2	Auswirkung auf die Fruchtfolge.....	167
9.3	Der Faktor Zeit.....	167
9.3.1	Faktor „Zeit“ in der Technik .....	167
9.3.2	Arbeitszeitbedarf.....	168
9.4	Steuerliche und rechtliche Anmerkungen .....	175
9.4.1	Steuerliche Behandlung des Betriebs von Biogasanlagen.....	175
9.4.2	Rechtsformwahl und die steuerlichen Auswirkungen.....	177
9.5	Literaturverzeichnis .....	181

**10 Grundsätze bei der Projektplanung ..... 182**

**U. KEYMER, G. REINHOLD**

10.1	Vorüberlegungen.....	182
10.1.1	Was will ich? .....	182
10.1.2	Was kann ich? .....	182
10.1.3	Was habe ich an Rohstoffen zur Verfügung? .....	183
10.2	Stromvergütung.....	183
10.2.1	Mindestvergütung .....	183
10.2.2	Vergütungszuschlag „NaWaRo-Bonus“ .....	184
10.2.3	Vergütungszuschlag „Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus“ .....	185
10.2.4	Vergütungszuschlag „Technologie-Bonus“ .....	187
10.3	Beurteilungsmaßstab für die Wirtschaftlichkeit .....	187
10.4	Erträge.....	187
10.5	Kosten.....	188
10.6	Arbeitszeitbedarf .....	188
10.6.1	Arbeitszeitbedarf für Anlagenbetreuung und Wartung .....	188
10.6.2	Arbeitszeitbedarf für die Rohstoffbereitstellung.....	189
10.7	Wichtige Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit .....	189
10.7.1	Anschaffungskosten .....	190
10.7.2	Gasausbeute.....	190
10.7.3	Gasqualität .....	191
10.7.4	BHKW .....	191
10.8	Kalkulationsbeispiel.....	193
10.9	Einsatz von Kofermenten.....	196
10.9.1	Berechnung der Gasausbeuten .....	196
10.9.2	Bereitstellungskosten von Kofermenten.....	198
10.9.3	Sensitivitätsanalyse.....	203
10.10	Modellanlagen .....	203
10.11	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit .....	203
10.12	Kalkulation der Modellanlagen.....	206
10.13	Sensitivitätsanalyse .....	209
10.14	Literaturverzeichnis .....	209

<b>11</b>	<b>Umsetzung eines Projektes .....</b>	<b>210</b>
	<b>F. SCHOLWIN, A. NIEBAUM, A. SCHATTAUER</b>	
11.1	Idee und Projektskizze .....	210
11.2	Feinplanungsphase .....	210
11.3	Genehmigungsplanung.....	213
11.4	Anlagenkauf.....	214
11.5	Anlagenbau .....	216
11.6	Anlagenbetrieb .....	219
11.7	Literaturverzeichnis.....	220
<b>12</b>	<b>Stellung und Bedeutung von Biogas als regenerativer Energieträger in Deutschland .....</b>	<b>221</b>
	<b>M. KALTSCHMITT, A. SCHEUERMANN, F. SCHOLWIN, R. WILFERT</b>	
12.1	Biogaserzeugung als Option einer Energiegewinnung aus Biomasse .....	221
12.2	Stand der Biogasgewinnung und -nutzung in Deutschland .....	221
	12.2.1 Anlagenbestand und Anlagenleistung.....	222
	12.2.2 Eingesetzte Substrate.....	224
12.3	Potenziale .....	224
12.4	Ausblick.....	227
12.5	Literaturverzeichnis.....	227
<b>13</b>	<b>Beispielprojekte .....</b>	<b>228</b>
	<b>A. SCHATTAUER, P. WEILAND</b>	
13.1	Beispiel 1 (bis 75 kW <sub>el</sub> ) .....	229
13.2	Beispiel 2 (75-500 kW <sub>el</sub> ) .....	230
13.3	Beispiel 3 (ab 500 kW <sub>el</sub> ) .....	231

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Wegweiser zum Inhalt der Handreichung .....	23
Abb. 2-1:	Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus .....	25
Abb. 2-2:	Hemmung der Methanbildung aus Essigsäure durch $\text{NH}_3$ (nach /2-11/) .....	32
Abb. 2-3:	Anteil von $\text{HS}^-$ und $\text{H}_2\text{S}$ in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach /2-11/) .....	33
Abb. 2-4:	Biogasausbeute und Gasbildungsrate in Abhängigkeit von der Verweilzeit (nach/2-12/) .....	34
Abb. 3-1:	Batchverfahren .....	37
Abb. 3-2:	Wechselbehälter-Verfahren .....	38
Abb. 3-3:	Durchfluss-Verfahren.....	38
Abb. 3-4:	Speicher-Verfahren .....	39
Abb. 3-5:	Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren .....	39
Abb. 3-6:	Pfropfenstromreaktor /3-4/ .....	40
Abb. 3-7:	Volldurchmischer Fermenter, Schnittdarstellung; Biogas Nord GmbH.....	40
Abb. 3-8:	Doppelkammer-Fermenter; Abbildung: ENTEC Environment Technology Umwelttechnik GmbH .	41
Abb. 3-9:	Einschub-Fermenter mit Abrollcontainer, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH.....	42
Abb. 3-10:	Boxen-Fermenter beim Befüllen, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH.....	42
Abb. 3-11:	Folienschlauchbefüllung; Foto: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim .....	42
Abb. 3-12:	Kombinierte Trockenfermentation mit dem 3-A-Verfahren, schematisch; Abbildung: S.I.G. - Dr.-Ing. Steffen GmbH.....	43
Abb. 3-13:	Pfropfenstromfermenter; Foto: Kompogas AG.....	43
Abb. 3-14:	Allgemeiner Verfahrensablauf bei der Biogasgewinnung; nach /3-3/ .....	44
Abb. 3-15:	Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Verwendung von Kosubstraten; Schema: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim .....	44
Abb. 3-16:	Hygienisierung mit Rückkühlung; Foto: TEWE Elektronik GmbH & Co. KG .....	47
Abb. 3-17:	Vorlagebehälter; Fotos: Konrad Pumpe GmbH.....	47
Abb. 3-18:	Tauchpumpe mit Schneidkanten am Rotor als Beispiel der Einheit aus Zerkleinerungs- und Förderaggregat; Fotos: ITT FLYGT Pumpen GmbH .....	48
Abb. 3-19:	Substratzerkleinerung in der Förderleitung; Fotos: Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH.....	48
Abb. 3-20:	Pumpen in einer Biogasanlage; Foto: WELtec BioPower GmbH .....	51
Abb. 3-21:	Exzentrerschneckenpumpe (links), nachstellbarer Stator (rechts); Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG .....	52
Abb. 3-22:	Drehkolben-Pumpprinzip; Bild: Vogelsang GmbH .....	53
Abb. 3-23:	Funktionsprinzip Balgpumpe; Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG.....	53
Abb. 3-24:	Vor- bzw. Annahmegrube bei der Beschickung; Fotos: Loick Bioenergie, ENR - Energiegesellschaft nachwachsender Rohstoffe mbH; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH.....	55
Abb. 3-25:	Verfahren zur Einbringung stapelbarer Biomasse; Bild: FAL Braunschweig .....	55
Abb. 3-27:	Einbringung stapelbarer Biomasse mit Förderschnecken; Foto: Pumpe GmbH.....	56
Abb. 3-26:	Einbringung stapelbarer Biomasse mit Eintragskolben; Foto: PlanET Energietechnik .....	58

Abb. 3-28:	Arbeitsbühne zwischen zwei Behältern mit Rohrleitungen und Drucksicherungen; Foto: MT-Energie GmbH.....	59
Abb. 3-29:	Schwerstoffabscheider in einer Rohrleitung; Foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH .....	59
Abb. 3-30:	Blick in einen Fermenter; Foto: Biogas Nord GmbH.....	59
Abb. 3-31:	Liegender Tankfermenter mit Paddelrührwerk /3-4/ .....	60
Abb. 3-32:	Stehender Fermenter mit Einbauten; Bild: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH .....	61
Abb. 3-33:	Bau eines Betonfermenters; Foto: Johann Wolf GmbH & Co Systembau KG .....	62
Abb. 3-34:	Im Bau befindliche Edelstahlfermenter; Foto: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH .....	64
Abb. 3-35:	Edelstahlheizrohre im Fermenter verlegt; Einbau von Heizschläuchen in die Fermenterwand; Fotos links und Mitte: Biogas Nord GmbH; Foto rechts: PlanET Energietechnik .....	65
Abb. 3-36:	Tauchmotor-Propellerrührwerk (links) und Führungsrohrsystem (rechts); Fotos: Agrartechnik Lothar Becker .....	67
Abb. 3-37:	Langachsührwerke mit zwei Rührwerkzeugen mit und ohne Lagerung am Fermenterboden; Foto: WELtec BioPower GmbH; Grafik: Armatec FTS-Armaturen GmbH & Co. KG .....	68
Abb. 3-38:	Axialrührwerk; Zeichnung: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH .....	69
Abb. 3-39:	Paddelrührwerk; Foto: PlanET Energietechnik .....	69
Abb. 3-40:	Schneckenseparator; Zeichnung: FAN Separator GmbH; Foto: PlanET Energietechnik .....	73
Abb. 3-41:	Folienspeicher; Zeichnungen: Linke, B.: Institut für Agrartechnik Bornim.....	75
Abb. 3-42:	Unterkonstruktion eines Tragluftdaches (links); Biogasanlage mit Tragluftdächern (rechts) Fotos: MT-Energie GmbH .....	76
Abb. 3-43:	Notfackel einer Biogasanlage; Foto: Haase Umwelttechnik AG .....	77
Abb. 3-44:	Computer-gestützte Anlagenführung; Foto: Agrartechnik Lothar Becker.....	77
Abb. 3-45:	Prozessvisualisierung und zentrale Messdatenerfassung; Bilder: Awite Bioenergie GbR .....	77
Abb. 3-46:	Gasanalysegerät; Foto: Schmack Biogas AG.....	81
Abb. 5-1:	Gasregelung für die Lufteinblasung in den Fermentergasraum; Foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH .....	98
Abb. 5-2:	Externe biologische Entschwefelungskolonnen, rechts neben einem Gasspeicher; Fotos: S&H GmbH & Co. Umweltengineering KG .....	98
Abb. 5-3:	Schematischer Aufbau eines BHKW; Schema: ASUE .....	102
Abb. 5-4:	Biogas-BHKW, Kompletmodul in Kompaktbauweise mit Notfackel; Abb.: Haase Energietechnik AG .....	102
Abb. 5-5:	Elektrischer Wirkungsgrad von Biogas-BHKW nach Herstellerangaben; nach /5-25/, erweitert ....	105
Abb. 5-6:	Heizverteiler; Foto: MT-Energie-GmbH .....	105
Abb. 5-7:	BHKW mit Gasregelstrecke (helle Leitungen); Foto: MT-Energie GmbH .....	106
Abb. 5-8:	BHKW-Container bzw. Aufbau eines BHKW in einem Gebäude; Fotos: Seva Energie AG.....	109
Abb. 5-9:	Spezifische Kosten von Biogas-BHKW .....	109
Abb. 5-10:	Richtpreise für Instandhaltungsverträge /5-12/ .....	110
Abb. 5-11:	Arbeitsweise eines Stirlingmotors aus /5-14/ nach /5-24/ .....	110
Abb. 5-12:	Aufbau einer Mikrogasturbine; Bild: G.A.S. Energietechnologie GmbH .....	111
Abb. 5-13:	Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle; Zeichnung: FAL Braunschweig.....	112
Abb. 5-14:	Funktionsschema einer Absorptionskältemaschine.....	113
Abb. 5-15:	Beispiel einer Absorptionskältemaschine an einer Biogasanlage; Foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH .....	113
Abb. 6-1:	Substratbeispiele, nach Stoffgruppen sortiert .....	119
Abb. 6-2:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 1.....	129
Abb. 6-3:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 2.....	130
Abb. 6-4:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 3.....	132
Abb. 6-5:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 4.....	133
Abb. 6-6:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 5.....	134
Abb. 6-7:	Verfahrensfließbild der Modellanlage 6.....	135

Abb. 7-1:	Kriterien und Verfahren der Genehmigung einer Biogasanlage, Quelle: Ratgeber für Genehmigungsverfahren bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, MUNLV ..	143
Abb. 8-1:	Ausbringzeiträume für Gärreste und flüssige Wirtschaftsdünger (/8-14/)	162
Abb. 9-1:	Arbeitsfolgen der Mais- und Anwelksilageproduktion	170
Abb. 9-2:	Darstellung des für die Modellanlage 5 erforderlichen Arbeitszeitbedarfes	174
Abb. 10-1:	Schematische Darstellung zum KWK-Bonus für Anlagen bis 2 Megawatt Leistung (geändert nach /10-1/)	187
Abb. 10-2:	Arbeitszeitbedarf für Anlagenbetreuung und Wartung (ergänzt nach /10-2/)	189
Abb. 10-3:	Spezifische Investitionskosten (ergänzt nach /10-3/)	191
Abb. 10-4:	Höherer Wirkungsgrad von Zündstrahlmotoren im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren	193
Abb. 10-5:	Wärmebilanz einer Biogasanlage (nach /10-4/)	195
Abb. 10-6:	Wirtschaftlichkeit von Kofermenten - ohne Ansatz von Nutzungskosten oder Pachtzahlungen	202
Abb. 11-1:	Realisierungsschritte eines Projektes zur Biogasgewinnung und -nutzung	210
Abb. 12-1:	Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse zu End-/Nutzenergiebereitstellung /12-1/	222
Abb. 12-2:	Entwicklung des Bestandes und der Leistung von Biogasanlagen seit Inkrafttreten von MAP und EEG (Datenbasis KfW) /12-2/	222
Abb. 12-3:	Spezifische elektrische Leistung (Durchschnittswerte) pro Biogasanlage in den Bundesländern; Darstellung IE Leipzig auf Datenbasis KfW /12-2/	223
Abb. 12-4:	Gegenüberstellung der Anteile von Leistung und Bestand der Biogasanlagen in den Bundesländern; Darstellung IE Leipzig auf Datenbasis KfW und eigene Erhebung /12-2/	223
Abb. 12-5:	Anteil der verschiedenen vergärbaren organischen Stoffströme am Gesamtpotenzial	226

# Tabellenverzeichnis



Tabelle 2-1: Hemmstoffe und deren schädigende Konzentrationen /2-1/ .....	28
Tabelle 2-2: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt.....	30
Tabelle 2-3: Silomais, Beginn Teigreife, körnerreich (Bsp.) .....	30
Tabelle 2-4: Biogasausbeute und Methanausbeute von Silomais (Mittelwerte).....	31
Tabelle 2-5: Durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas (nach /2-1/) .....	31
Tabelle 3-1: Einteilung der Verfahren zur Biogaserzeugung nach verschiedenen Kriterien .....	36
Tabelle 3-2: Eigenschaften von Biogasreaktoren mit Pfropfenströmung; nach /3-3/ und /3-1/ .....	39
Tabelle 3-3: Eigenschaften von volldurchmischten Biogasreaktoren; nach /3-3/ und /3-1/ .....	40
Tabelle 3-4: Eigenschaften der Trockenvergärung; nach /3-5/ .....	41
Tabelle 3-5: Lagerung von Substraten vor der Vergärung .....	46
Tabelle 3-6: Kennwerte und Einsatzparameter von Hygienisierungsbehältern.....	47
Tabelle 3-7: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten bei der direkten Feststoffdosierung.....	48
Tabelle 3-8: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten vor Aufgabe des Substrates in die Vorgrube.....	49
Tabelle 3-9: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsrührwerken in der Vorgrube .....	49
Tabelle 3-10: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten in der Förderleitung .....	49
Tabelle 3-11: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten, die mit der Fördertechnik eine Geräteeinheit bilden .....	50
Tabelle 3-12: Kennwerte und Einsatzparameter von Kreiselpumpen .....	52
Tabelle 3-13: Kennwerte und Einsatzparameter von Exzentrerschneckenpumpen.....	52
Tabelle 3-14: Kennwerte und Einsatzparameter von Drehkolbenpumpen.....	53
Tabelle 3-15: Kennwerte und Einsatzparameter von Balgpumpen.....	54
Tabelle 3-16: Kennwerte und Einsatzparameter von Vorgruben .....	54
Tabelle 3-17: Eigenschaften von Einspülschächten.....	56
Tabelle 3-18: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragschnecken /3-1/ .....	57
Tabelle 3-19: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragskolben.....	57
Tabelle 3-20: Kennwerte von Armaturen und Rohrleitungen; nach /3-1/ .....	58
Tabelle 3-21: Kennwerte und Einsatzparameter von liegenden Fermentern für Biogasanlagen.....	60
Tabelle 3-22: Kennwerte und Einsatzparameter von stehenden Fermentern.....	61
Tabelle 3-23: Kennwerte und Einsatzparameter von Trockenfermentationsbehältern.....	62
Tabelle 3-24: Kennwerte und Einsatzparameter von Beton für Behälter in Biogasanlagen /3-10/, /3-11/, /3-14/ .	63
Tabelle 3-25: Kennwerte und Einsatzparameter von Stahl für Behälter in Biogasanlagen.....	63
Tabelle 3-26: Kennwerte von Dämmstoffen /3-12/, /3-13/ .....	64
Tabelle 3-27: Kennwerte von Dämmstoffen - Beispiele.....	64
Tabelle 3-28: Kennwerte und Einsatzparameter von integrierten Heizungen /3-1/, /3-12/ .....	65
Tabelle 3-29: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Wärmetauschern /3-3/, /3-12/ .....	66
Tabelle 3-30: Kennwerte und Einsatzparameter von Tauchmotor-Propellerrührwerken /3-2/ .....	67

Tabelle 3-31: Kennwerte und Einsatzparameter von Langachsührwerken.....	68
Tabelle 3-32: Kennwerte und Einsatzparameter von axialen Rührwerken für Biogasanlagen.....	69
Tabelle 3-33: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in liegenden Fermentern.....	70
Tabelle 3-34: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in stehenden Fermentern.....	70
Tabelle 3-35: Kennwerte und Einsatzparameter der pneumatischen Fermenterdurchmischung.....	71
Tabelle 3-36: Kennwerte und Einsatzparameter der hydraulischen Fermenterdurchmischung.....	71
Tabelle 3-37: Technik von Sedimentaustragssystemen.....	72
Tabelle 3-38: Technik von Schneckenseparatoren.....	73
Tabelle 3-39: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Biogasspeichern, Daten z.T. aus /3-3/.....	75
Tabelle 3-40: Kennwerte und Einsatzparameter von Folienhauben, Daten z.T. aus /3-3/.....	76
Tabelle 3-41: Kennwerte und Einsatzparameter von Notfackeln.....	76
Tabelle 3-42: Kennwerte und Einsatzparameter von induktiven und kapazitiven Durchflussmessgeräten.....	78
Tabelle 3-43: Kennwerte und Einsatzparameter von Feststoffmasseerfassungssystemen.....	78
Tabelle 3-44: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für den Fermenterfüllstand.....	79
Tabelle 3-45: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für die Füllstandserfassung im Gasspeicher.....	79
Tabelle 3-46: Kennwerte und Einsatzparameter von Temperatursensoren.....	80
Tabelle 3-47: Kennwerte und Einsatzparameter von pH-Metern.....	80
Tabelle 3-48: Kennwerte und Einsatzparameter von Methoden zur Bestimmung der Substratzusammensetzung.....	81
Tabelle 3-49: Kennwerte und Einsatzparameter von Gaszählern.....	81
Tabelle 3-50: Kennwerte und Einsatzparameter von Sensoren für die Erfassung der Gaszusammensetzung.....	82
Tabelle 3-51: Eigenschaften von Gasen /3-16/, /3-17/.....	83
Tabelle 3-52: Eigenschaften der Biogaskomponenten /3-16/, /3-17/, /3-18/.....	83
Tabelle 3-53: Toxische Wirkung von Schwefelwasserstoff /3-17/.....	83
Tabelle 4-1: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach/4-1/).....	86
Tabelle 4-2: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach /4-3/).....	87
Tabelle 4-3: Gasertrag und Methangehalt von Wirtschaftsdüngern.....	87
Tabelle 4-4: Stoffeigenschaften Maissilage.....	88
Tabelle 4-5: Mineralstoffgehalte und Spurenelemente von Maissilage /4-9/, /4-10/.....	88
Tabelle 4-6: Stoffeigenschaften von Roggensilage (Ganzpflanze).....	88
Tabelle 4-7: Stoffeigenschaften von Rüben und Rübenblatt /4-12/.....	89
Tabelle 4-8: Schwermetallgehalte /4-1/.....	89
Tabelle 4-9: Stoffeigenschaften von Grassilage /4-1/, /4-13/, /4-14/.....	89
Tabelle 4-10: Schwermetallgehalte von Grassilage /4-10/.....	89
Tabelle 4-11: Stoffeigenschaften von Birtreber /4-1/, /4-15/.....	90
Tabelle 4-12: Schwermetallgehalte von Birtreber /4-10/.....	90
Tabelle 4-13: Stoffeigenschaften von Alkoholschlempen /4-1/, /4-15/.....	90
Tabelle 4-14: Stoffeigenschaften der Nebenprodukte der Stärkeerzeugung.....	91
Tabelle 4-15: Mineralstoffe und Spurenelemente.....	91
Tabelle 4-16: Stoffeigenschaften von Pressschnitzel und Melasse /4-1/, /4-15/, /4-17/.....	92
Tabelle 4-17: Gehalte an Schwermetallen /4-18/.....	92
Tabelle 4-18: Stoffeigenschaften von Trester /4-1/, /4-15/.....	92
Tabelle 4-19: Schwermetallgehalte von Trester /4-1/.....	92
Tabelle 4-20: Stoffeigenschaften organischer Reststoffe /4-1/, /4-14/.....	93
Tabelle 4-21: Stoffeigenschaften von Schlachtrückständen /4-1/, /4-14/.....	93
Tabelle 4-22: Schwermetallgehalte von organischen Reststoffen und Schlachtabfällen /4-1/.....	93
Tabelle 4-23: Stoffeigenschaften von Grünschnitt /4-1/, /4-15/.....	94
Tabelle 4-24: Schwermetallgehalte von Grünschnitt /4-1/.....	94
Tabelle 4-25: Zusammenfassung der Substrate.....	95

Tabelle 5-1:	Mindesteigenschaften für Brenngase, Bezugssauerstoffgehalt 5 % /5-1/ .....	98
Tabelle 5-2:	Kennwerte und Einsatzparameter der biologischen Entschwefelung im Fermenter.....	99
Tabelle 5-3:	Kennwerte und Einsatzparameter externer biologischer Entschwefelungsanlagen .....	99
Tabelle 5-4:	Kennwerte bei der internen chemischen Entschwefelung; nach /5-3/ .....	100
Tabelle 5-5:	Kennwerte und Einsatzparameter externer chemischer Entschwefelungsanlagen.....	101
Tabelle 5-6:	Kennwerte und Einsatzparameter von Gas-Otto-Motoren .....	102
Tabelle 5-7:	Kennwerte und Einsatzparameter von Zündstrahlmotoren.....	103
Tabelle 5-8:	Emissionsgrenzwerte der TA-Luft vom 30.07. 2002 für Verbrennungsmotoranlagen nach Nr. 1.4 (einschl. 1.1 u. 1.2) 4. BImSchV /5-6/ .....	104
Tabelle 6-1:	Charakteristika der Modellanlagen .....	117
Tabelle 6-2:	In den Modellen verwendete Substrate und substratspezifische Eigenschaften .....	118
Tabelle 6-3:	Häufigkeit und Massenanteil der häufigsten Kosubstrate in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; (verändert nach /6-4/.).....	119
Tabelle 6-4:	Einteilung der Leistungsklassen der Modellanlagen .....	120
Tabelle 6-5:	Technische und verfahrenstechnische Parameter der Modellanlagen .....	120
Tabelle 6-6:	Für die Modelle verwendete Baugruppen mit Charakterisierung.....	121
Tabelle 6-7:	Betriebsform der Modellanlagen .....	123
Tabelle 6-8:	Charakteristika der Modellanlagen .....	124
Tabelle 6-9:	Modellanlagen – Inputsubstrate, biologische- und verfahrenstechnische Kennwerte sowie Biogaserträge und Daten zur Verwertung .....	125
Tabelle 6-10:	Übersicht über Baugruppen der Modellanlage 1.....	129
Tabelle 6-11:	Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 2 .....	130
Tabelle 6-12:	Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 3 .....	132
Tabelle 6-13:	Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 4 .....	133
Tabelle 6-14:	Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 5 .....	134
Tabelle 6-15:	Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 6 .....	135
Tabelle 6-16:	Investitionsbedarf der Modellanlagen für Verfahrensschritte / Baugruppen .....	136
Tabelle 7-1:	Für den Anwendungsbereich des EEG anerkannte und nicht anerkannte Biomasse gem. BiomasseV (nach /7-2/.).....	137
Tabelle 7-2:	Stromvergütung nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) .....	138
Tabelle 7-3:	Derzeit gültige und lt. Gesetzesnovellierung vom 02.04.2004 diskutierte Vergütungssätze für Biogas .....	138
Tabelle 7-4:	Rechtliche Rahmenbedingungen für die Errichtung einer Biogasanlage .....	140
Tabelle 7-5:	Regelungsbereich unterschiedlicher für die Gärrestverwertung anzuwendender Rechtsvorgaben..	146
Tabelle 7-6:	Grenzwerte für Schwermetalle in Gärrückständen nach BioAbfV .....	147
Tabelle 7-7:	Schwermetall-Grenzwerte für Böden nach der BioAbfV [mg/kg TM] .....	147
Tabelle 8-1:	Stoffkennwerte von Gärrest unterschiedlicher Ausgangssubstrate (erweitert nach /8-1/) .....	154
Tabelle 8-2:	NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Milchvieh- und Schweinegülle (gerundet nach /8-8/) .....	157
Tabelle 8-3:	NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Milchviehflüssigmist (gerundet nach /8-8/) .....	157
Tabelle 8-4:	NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Schweineflüssigmist (gerundet nach /8-8/) .....	157
Tabelle 8-5:	Kumulierte NH <sub>3</sub> -, CH <sub>4</sub> -, N <sub>2</sub> O- und klimarelevante Gasemissionen (GHG) während der Lagerung von Milchviehflüssigmist gemessen im Winter und im Sommer (gerundet nach /8-8/)..	158
Tabelle 8-6:	Kalkulation zur Abschätzung des theoretisch verfügbaren Stickstoffs aus unvergorener und vergorener Rindergülle (Berechnung nach /8-19/ .....	160
Tabelle 8-7:	Kalkulation zur Abschätzung des theoretisch verfügbaren Stickstoffs aus unvergorener und vergorener Rindergülle und Rinderfestmist (Berechnung nach /8-19/.).....	161

Tabelle 8-8:	Exaktverteilerichtungen und Art der Flüssigkeitsablage (nach /8-20/ und /8-21/) .....	163
Tabelle 8-9:	Arbeitsbreite, Arbeitstiefe und Einsatzgebiete verschiedener Exaktverteilterchniken (nach /8-21/) .	163
Tabelle 9-1:	Durchschnittlicher Arbeitsaufwand für das Betreiben einer Biogasanlage .....	171
Tabelle 9-2:	Gliederung und Einteilung des Arbeitszeitbedarfes .....	171
Tabelle 9-3:	Elementzeiten für die Entnahme von Silagen aus Fahrsilos mit befestigter Wendeplatte mit Frontlader und Schneidzange an einem Standard-Traktor bzw. einer Schneidschaufel an einem Teleskoplader.....	172
Tabelle 9-4:	Erforderliche Ladezeiten bei der Verwendung unterschiedlicher Ladegeräte (nach /9-7/, /9-8/, /9-9/).....	173
Tabelle 9-5:	Kalkulation des Gesamtarbeitszeitbedarf/Jahr mit Rüstzeiten .....	173
Tabelle 9-6:	Arbeitszeitbedarf für Routinearbeiten und Substratbeschickung (Grundlagen aus Tabelle 9-1).....	173
Tabelle 9-7:	Steuerliche Einordnung des Betriebs bei der Produktion von Strom aus Biogas .....	175
Tabelle 9-8:	Die wichtigsten Rechtsformen im Überblick .....	180
Tabelle 10-1:	Berechnung der Stromvergütungen.....	184
Tabelle 10-2:	Einsatzstoffe, die zum Bezug des Vergütungszuschlages berechtigen .....	186
Tabelle 10-3:	Abschätzung der Gaserträge und Gasqualität .....	194
Tabelle 10-4:	Berechnung der Transmissionsverluste.....	194
Tabelle 10-5:	Kalkulationsbeispiel zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage.....	197
Tabelle 10-6:	Grassilage, 1. Schnitt, Mitte der Blüte - Roh Nährstoffgehalte und VQ pro 1000 g Trockenmasse.....	198
Tabelle 10-7:	Grassilage, 1. Schnitt, Mitte der Blüte - Gasausbeute in l/kg TS (ergänzt nach /10-7/) .....	198
Tabelle 10-8:	Maximale Kosten der Bereitstellung von Kofermenten frei Biogasanlage - bei nicht ausgelasteten Anlagen mit Zündstrahl-BHKW .....	199
Tabelle 10-9:	Maximale Bereitstellungskosten von Kofermenten frei Biogasanlage mit Ansatz von Festkosten - Zündstrahl-BHKW .....	201
Tabelle 10-10:	Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit von Substraten (vgl. Abb. 10-6).....	204
Tabelle 10-11:	In den Modellanlagen eingesetzte Substrate .....	204
Tabelle 10-12:	Erlöse/Kosten der Substrate .....	205
Tabelle 10-13:	Überschlägige Abschätzung der Wirtschaftlichkeit .....	205
Tabelle 10-14:	Kalkulation der Modellanlagen .....	207
Tabelle 10-15:	Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Modellanlagen.....	209

# Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	GHG	Greenhouse Gas; Klima schädigende Gase
AfA	Abschreibung für Anlagen	GPS	Ganzpflanzensilage
AKh	Arbeitskraftstunden	GV	Großvieheinheit
BHKW	Blockheizkraftwerk	H <sub>2</sub>	Wasserstoff
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz	H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung	HDPE	Polyethylen hoher Dichte
BioAbfV	Bioabfallverordnung	Hg	Quecksilber
BiomasseV	Biomasseverordnung	HRT	hydraulische Aufenthaltszeit (hydraulic retention time)
BSE	Bovine Spongiform Encephalopathy	IBN	Inbetriebnahmephase
bzw.	beziehungsweise	i.d.R.	in der Regel
C	Kohlenstoff	K	Kalium
ca.	circa	K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid
Ca	Kalzium	KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (umbenannt in Deutsche Mittelstandsbank)
CCM	Corn-Cob-Maize	KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Cd	Cadmium	LM	Lebensmittel
CH <sub>4</sub>	Methan	LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis	MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
CO	Kohlenstoffmonoxid	MAP	Marktanreizprogramm
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid	Mg	Magnesium
CO <sub>2</sub> eq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente	Mio	Millionen
Cr	Chrom	Mn	Mangan
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	N	Stickstoff
Cu	Kupfer	N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid, Lachgas
d.h.	das heißt	n.a.	nicht angegeben
DLG	Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft	Na	Natrium
DüMV	Düngemittelverordnung	NaWaRo	Nachwachsender Rohstoff
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches	NH <sub>3</sub>	Ammoniak
EAK	Europäischer Abfallkatalog	NH <sub>4</sub>	Ammonium
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz	Ni	Nickel
EG	Europäische Gemeinschaft	Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter (bei Normaldruck)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Copolymer	NO <sub>3</sub>	Nitrat
etc.	et cetera	NO <sub>x</sub>	Stickoxide
EU	Europäische Union	Nr.	Nummer
evtl.	eventuell	NRW	Nordrhein-Westfalen
Fe	Eisen		
FM	Frischmasse		
ggfs.	gegebenenfalls		

NTC	Heißleiter (mit negativem Temperaturkoeffizient)	TMR	Tauchmotor-Propeller-Rührwerk
o.	oder	TS	Trockensubstanz
o. a.	oben angegeben	u.	und
o.ä.	oder ähnliche	u. a.	unter Anderem
o. g.	oben genannt	u. U.	unter Umständen
OH	Hydroxid	usw.	und so weiter
oTS	organische Trockensubstanz	UV	Ultraviolett
P	Phosphor	v. H.	vom Hundert
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphat	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Pb	Blei	VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
PEOC	Produktname der HPG GmbH für ein Linear-Low-Density-Polyethylen-Rohr	vgl.	vergleiche
PVC	Polyvinylchlorid	Vol.-%	volumetrischer Raumanteil
S	Schwefel	WS	Wassersäule
Sn	Zinn	z. B.	zum Beispiel
sog.	sogenannt	Zn	Zink
TA	Technische Anleitung	z.T.	zum Teil

# Glossar



<b>Abbau /6/</b>	Die Zerlegung von aus vielen Atomen bestehenden org. Verbindungen in einfachere Verbindungen oder Moleküle durch biotische und abiotische Prozesse. Beim biotischen Abbau findet die Zersetzung durch biologische (z. B. durch Enzyme oder Mikroorganismen), bei der abiotischen Zersetzung durch chemische (z. B. langsame Oxidation, Verbrennung, Umwandlung) oder physikalische (z. B. UV-Strahlung) Prozesse statt.
<b>Abbaubarkeit /6/</b>	Die Eigenschaft eines Stoffes, durch biochemische, chemische oder physikalische Reaktionen umgewandelt werden zu können. Endprodukte der Reaktionen sind entweder andere Verbindungen (Metabolite) oder im Falle der vollständigen Mineralisierung $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NH}_3$ .
<b>Abbaugrad</b>	Der Grad des biologischen oder chemischen Abbaus organischer Verbindungen.
<b>Abfall, allgemein /6/</b>	Bewegliche Gegenstände, Stoffe, Rückstände oder Reste, deren sich der Besitzer entledigen will, nennt man Abfall. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz unterscheidet nach Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung (jene, die nicht verwertet werden können).
<b>Abfallentsorgung /6/</b>	Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz umfasst die Abfallentsorgung die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen sowie die hierzu erforderlichen Maßnahmen des Einsammelns, Beförderns, Lagerns und Behandeln sowie der Schadstoffminimierung.
<b>Ammoniak (<math>\text{NH}_3</math>)</b>	Stickstoffhaltiges Gas, entsteht aus dem Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen, wie z. B. Eiweiß, Harnstoff und Harnsäure.
<b>Anaerobe Bakterien /1/</b>	Mikroorganismen, die in einer Umgebung leben und sich reproduzieren, in der kein freier oder gelöster Sauerstoff vorkommt.
<b>Anaerober biologischer Abbau /1/</b>	Abbau organischer Substanzen durch anaerobe Bakterien, teilweise unter Freisetzung von Biogas.
<b>Aufbereitung</b>	Verfahrensschritt zur Vorbehandlung (z. B. Zerkleinern, Abtrennung von Störstoffen, Homogenisierung...)
<b>Basissubstrat</b>	Zur Vergärung bestimmte Wirtschaftsdünger.
<b>Biogas /1/</b>	Produkt des anaeroben biologischen Abbaus organischer Substrate. Enthält ca. 45-70 % Methan, 30-55 % Kohlendioxid, geringe Mengen an Stickstoff, Schwefelwasserstoff und anderer Spurengase.

<b>Biogasanlage /2/</b>	Anlage zur Erzeugung, Lagerung und Verwertung von Biogas unter Einschluss aller dem Betrieb dienenden Einrichtungen und Bauten. Die Erzeugung erfolgt aus der Vergärung organischer Stoffe.
<b>Blockheizkraftwerk (BHKW)</b>	Aggregat zur Erzeugung von Elektro- und Wärmeenergie auf der Basis eines Motors und eines daran gekoppelten Generators.
<b>C/N-Verhältnis /7/</b>	Verhältnis der Kohlenstoff- zur Stickstoffmenge. Das C/N-Verhältnis im zu vergärenden Gut ist für einen optimalen Gärprozess wichtig (ideal: 13/30). Das C/N-Verhältnis im vergorenen Gut lässt eine Aussage über die Stickstoffverfügbarkeit bei der Düngung zu (ideal ca. 13).
<b>Durchsatz /8/</b>	Die einer Anlage zugeführte und verarbeitete Menge je Zeiteinheit. Synonym: Input.
<b>Emission /3/</b>	Wenn etwas an die Umwelt abgegeben wird, bezeichnet man das als Emission. Emittiert werden können Rauch, Gase, Staub, Abwasser und Gerüche, aber auch Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme und Strahlen.
<b>Endenergie/-träger</b>	Unter Endenergieträgern, bzw. Endenergie werden Energieträger verstanden, die der Endverbraucher letztendlich bezieht. Das kann z. B. Heizöl im Öltank des Endverbrauchers sein. Die Endenergie resultiert aus Sekundär- und ggf. Aus Primärenergie, vermindert um die Umwandlungs- und Verteilungsverluste.
<b>Entschwefelung</b>	Verfahrensschritt (biologisch oder chemisch) zur Fällung des Schwefelanteils aus dem Biogas.
<b>explosionsgefährdete Bereiche /2/</b>	Räumliche Bereiche, in denen auf Grund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann.
<b>Fermenter (Reaktor, Gärbehälter, Faulbehälter) /2/</b>	Behälter, in dem der mikrobiologische Abbau des Substrates bei gleichzeitiger Biogasbildung stattfindet.
<b>Feststoffeinbringung</b>	Verfahren zur Einbringen von nicht pumpfähigen Substraten oder Substratgemischen direkt in den Fermenter.
<b>Fettabscheider</b>	Anlage zum Abscheiden nicht emulgierter organischer Öle und Fette, die z. B. in den Abwässern von Gaststätten, Großküchen, Schlacht- und Verarbeitungsbetrieben der Fleisch- und Fischindustrie, Margarinefabriken und Ölmühlen enthalten sind (vgl. DIN 4040).
<b>Gärrest</b>	Rückstand der Biogasgewinnung, Output des Fermenters.
<b>Gärrestlager (Güllelager) /2/</b>	Behälter oder Erdbecken, in dem Gülle, Jauche sowie das vergorene Substrat vor der weiteren Nutzung gelagert wird.
<b>Gasdom /2/</b>	Aufsatz auf Gärbehälter, in dem das Biogas gesammelt und abgezogen wird.
<b>Gaslager /2/</b>	Raum oder Bereich, in dem der Gasspeicher untergebracht ist.
<b>Gasspeicher /2/</b>	Gasdichter Behälter oder Foliensack, in dem das Biogas zwischengespeichert wird.
<b>Hygienisierung</b>	Verfahrensschritt zur Reduzierung und/oder Eliminierung von Seuchenerregern und/oder Phytopathogenen. Hinweise zu Verfahren geben BioAbfV oder EG-Hygiene-VO
<b>Inverkehrbringen</b>	Das Anbieten, Vorrätighalten zur Abgabe, Feilhalten und jedes Abgeben von Produkten an andere.

<b>k-Wert</b>	Der Wärmedurchgangskoeffizient, auch k-Wert genannt, ist ein Maß für die Güte der Wärmedämmung. Er gibt den Wärmestrom an, der bei einem Temperaturunterschied von einem Grad Celsius durch einen Quadratmeter eines Bauteils fließt. Je kleiner der k-Wert ist, desto geringer sind die Wärmeverluste.
<b>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) /3/</b>	farbloses, unbrennbares, leicht säuerlich riechendes, ungiftiges Gas, das neben Wasser als Endprodukt aller Verbrennungsvorgänge entsteht.
<b>Kondensat</b>	Im Fermenter entstandenes Biogas ist wasserdampfgesättigt und muss vor Verwertung im BHKW entwässert werden. Die gezielte Kondensation erfolgt über eine ausreichend angelegte Erdleitung in einen Kondensatabscheider oder über eine Trocknung des Biogases.
<b>Kosubstrat</b>	Zur Vergärung bestimmter organischer Stoff, der kein Wirtschaftsdünger ist.
<b>Kraft-Wärme-Kopplung</b>	Gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische (oder mechanische) Energie und in Wärme, die zur energetischen Nutzung bestimmt ist (Nutzwärme).
<b>Methan (CH<sub>4</sub>) /4/</b>	Farbloses, geruchsloses und ungiftiges Gas. Verbrennt zu Kohlendioxid und Wasser. Methan zählt zu den wichtigsten Treibhausgasen und ist Hauptbestandteil von Bio-, Klär-, Deponie- und Erdgas.
<b>Nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) /3/</b>	Sammelbegriff für stofflich und energetisch genutzte Biomasse (keine Futter- und Lebensmittel). Es handelt sich hierbei i.d.R. um land- und forstwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe wie Holz, Flachs, Raps, Zuckerstoffe und Stärke aus Rüben, Kartoffeln oder Mais, die nach der Aufbereitung einer weiteren stofflichen oder energetischen Anwendung zugeführt werden.
<b>organischer Trockenstoffanteil (oTS)</b>	um den Wasseranteil und die anorganische Substanz reduzierter Anteil eines Stoffgemisches, in der Regel durch Trocknung bei 105 °C und nachfolgendes Glühen bei 550 °C ermittelt.
<b>Primärenergie/-träger</b>	Unter Primärenergieträgern werden Stoffe und unter Primärenergie der Energieinhalt der Primärenergieträger verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden und aus denen direkt oder durch mehrere Umwandlungen Sekundärenergie oder Sekundärenergieträger werden können. Bei Primärenergieträgern handelt es sich beispielsweise um Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse usw.
<b>Raumbelastung</b>	Organischer Anteil des in den Fermenter eingebrachten Gutes, bezogen auf das nutzbare Fermenterraumvolumen pro Zeiteinheit; Einheit: kg oTS/m <sup>3</sup> *d.
<b>Schwefeldioxid /5/</b>	farbloses, stechend riechendes Gas, entsteht beim Verbrennen von Schwefel oder Rösten von Sulfiden. Seine wässrige Lösung ist die schweflige Säure.
<b>Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) /1/</b>	Brennbares, stark giftiges Gas mit einem unangenehm stechenden Geruch nach faulen Eiern, der jedoch nur in geringen Konzentrationen wahrnehmbar ist.
<b>Sekundärenergie/-träger</b>	Sekundärenergieträger, bzw. Sekundärenergie ist der Energiegehalt von Sekundärenergieträgern, die direkt oder aus mehreren Umwandlungen in technischen Anlagen aus Primär- oder aus anderen Sekundärenergieträgern bzw. -energien bereitgestellt werden. Als Beispiele sollen hier Benzin, Heizöl, elektrische Energie aufgezählt werden. Dabei fallen u. a. Umwandlungs- und Verteilungsverluste an.
<b>Silage</b>	Silage ist durch Milchsäuregärung konserviertes Pflanzenmaterial.
<b>Siloxane /5/</b>	Wasserstoff-Sauerstoffverbindungen des Siliziums.

<b>Stickoxid /4/</b>	Die Gase Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ) werden unter dem Begriff NO <sub>x</sub> (Stickoxide) zusammengefasst. Sie entstehen bei allen Verbrennungsvorgängen (vor allen bei hohen Temperaturen) als Verbindung zwischen dem Stickstoff der Luft und dem Sauerstoff, aber auch durch Oxidation von stickstoffhaltigen Verbindungen, die im Brennstoff enthalten sind.
<b>Substrat</b>	Zur Vergärung mit dem Ziel der Biogasgewinnung vorgesehenes organisches und biologisch abbaubares Material.
<b>Trockensubstanzanteil (TS)</b>	wasserfreier Anteil eines Stoffgemisches nach Trocknung bei 105 °C.
<b>Verweilzeit</b>	durchschnittliche Aufenthaltszeit des Substrates im Fermenter.
<b>Vollaststunden</b>	Zeitraum der Vollausslastung einer Anlage wenn die Gesamtnutzungsstunden und der durchschnittliche Nutzungsgrad innerhalb eines Jahres auf einen Nutzungsgrad von 100% umgerechnet werden.

Quellen:

- /1/ Harris, Paul: Definition of Terms; University of Adelaide, Faculty of Sciences, School of Earth and Environmental Sciences, Download am 16.1.2004 von:  
<http://www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/glossary.html>
- /2/ Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen
- /3/ Umweltlexikon; Download am 16.1.2004 von:  
<http://www.umweltministerium.bayern.de/service/lexikon/index.htm>
- /4/ Katalyse Umweltlexikon; Download am 16.1.2004 von: <http://www.umweltlexikon-online.de>
- /5/ Schülerduden: Die Chemie, Meyers Lexikonverlag, 1988
- /6/ Umweltbundesamt: Umweltfibel; Download am 16.1.2004 von: [www.umweltfibel.de](http://www.umweltfibel.de)
- /7/ Kuhn, E.: Kofermentation; KTBL-Schrift 219
- /8/ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (1995): Merkblatt M10
- /9/ KTBL-Arbeitspapier 219
- /10/ Schulz, H. und Eder, B. (2001): Biogas – Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. 2. überarb. Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg

# Ziele der Handreichung



Vor dem Hintergrund der Forderung nach der verstärkten Nutzung regenerativer Energien zur Reduktion der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen hat in den vergangenen Jahren die landwirtschaftliche Biogasgewinnung und -nutzung immer mehr zugenommen. Die Organisation, die Errichtung sowie der Betrieb einer Anlage zur Gewinnung und Nutzung von Biogas aus biogenen Substraten sind aus energie- und umweltpolitischer Sicht sinnvoll und lohnend. Die vorliegende Handreichung soll einen Beitrag leisten, erschöpfende und praxisnahe Antworten auf technische, organisatorische, rechtliche und wirtschaftliche Fragen der landwirtschaftlichen Biogas-erzeugung und -nutzung zu geben.

## 1.1 Aufgabenstellung

Die seit Jahren erkennbare Steigerung der Energieerzeugung aus Biogas ist im Wesentlichen auf die veränderte administrative Rahmensetzung (z. B. staatlich festgelegte Vergütungssätze für Strom aus regenerativen Energien, Investitionszulagen für die Errichtung von Biogasanlagen auf Bundes- und Landesebene) zurückzuführen. Auf Grund dieser wachsenden Nachfrage hat sich eine beachtliche Zahl von Biogasanlagenherstellern und Komponentenanbietern am Markt etabliert. Auf diese Weise konnte die Branche wichtige Erfahrungen sammeln, aus denen sich vier bedeutende Fragestellungen ergeben, deren Beantwortung die Aufgabe der vorliegenden Handreichung zur Biogasgewinnung und -nutzung sein soll:

- Trotz der erkennbaren Tendenz einer zukünftig weiter zunehmenden Biogaserzeugung fehlt in der Landwirtschaft oft noch das notwendige Know-how. Deshalb müssen Kenntnisse von der Landwirtschaft bis hin zur Energietechnik mit allen damit zusammenhängenden rechtlichen, ökologischen, administrativen, organisatorischen und logi-

stischen Aspekten vermittelt werden, um möglichst viele Biogas-Projekte zum Erfolg zu führen.

- Die Marktentwicklung hat zu einer Vielzahl technischer Lösungsvarianten und Einzellösungen geführt. Es fehlt aber ein frei von Firmeninteressen erarbeiteter und wissenschaftlich fundierter Überblick darüber, welche Technologien heute marktverfügbar und welche zukunftssträftig sind.
- Bei der Wahl der Substrate werden in vielen Anlagen aus Unkenntnis elementare biotechnologische Regeln verletzt. Deshalb muss Wissen bereitgestellt werden, um zu vermeiden, dass weiterhin viele Systeme weitab vom Optimum betrieben werden.
- Es bestehen große Unsicherheiten bei Fragen der Genehmigung von Biogasanlagen. Hier muss ein Überblick über notwendige Schritte bei der Umsetzung eines Biogas-Projektes unter Berücksichtigung der äußerst uneinheitlichen Praxis in den einzelnen Bundesländern erarbeitet werden.

Die regenerative Energiebereitstellung aus Biogas kann in idealer Weise mit einem verbesserten Stoffstrommanagement kombiniert werden. Deshalb würden viele Landwirte gerne in Biogasanlagen investieren. Sie sind jedoch teilweise verunsichert, weil Fakten und Wunschvorstellungen oft nur schwer zu unterscheiden sind. Aus diesem Grund ist dringend Handlungsbedarf geboten, damit das energetische und wirtschaftliche Potenzial, das die Branche zweifelsohne noch immer hat, nicht mangels verfügbarer Informationen ungenutzt bleibt.

## 1.2 Lösungsansatz

Die vorliegende Handreichung soll die bestehenden Informationslücken schließen und potenzielle Anlagenbetreiber und andere Beteiligte durch die Planungsphasen eines Biogasprojektes bis hin zur Umsetzung begleiten.

- Die Handreichung soll den Leser **MOTIVIEREN**, die Gegebenheiten in seinem Umfeld zu überdenken und zu prüfen, ob und auf welche Weise er in seinem Bereich einen Beitrag zur energetischen Nutzung von Biogas leisten kann.
- Auch soll die Handreichung **INFORMIEREN**. Potenzielle Betreiber und andere an der energetischen Nutzung von Biogas Interessierte sollen durch den Leitfaden alle notwendigen Informationen aus einer Quelle beziehen können.
- Die Handreichung soll darüber hinaus die entsprechenden Hilfsmittel bereitstellen, eine Projektidee zu **EVALUIEREN**. Es soll das Handwerkszeug vermittelt werden, das zur Prüfung vielversprechender Projektideen im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für die wirtschaftliche Umsetzung notwendig ist.
- Zusätzlich soll die Handreichung Anleitungen und Entscheidungshilfen geben, eine Projektidee zur Energiebereitstellung aus Biogas erfolgreich zu **REALISIEREN**.

### 1.3 Inhalt

Die vorliegende Handreichung bietet dem Leser einen Überblick über die komplexe Thematik der Biogasgewinnung und -nutzung. Sie kann als Leitfaden und Checkliste für alle notwendigen Überlegungen und Handlungen zur Vorbereitung, Planung, Errichtung und zum Betrieb einer Biogasanlage genutzt werden. Dabei werden nicht nur die technisch-planerischen Aspekte, sondern auch rechtliche, wirtschaftliche und organisatorische Gesichtspunkte berücksichtigt. Dies wird in den einzelnen Kapiteln des Leitfadens realisiert; deshalb werden im Folgenden zunächst deren Inhalte in einer Übersicht dargestellt.

Folgend aus den vier oben dargestellten Lösungsansätzen soll die Handreichung vor allem in Bezug auf die folgenden vier Themenkomplexe Unterstützung anbieten:

- Motivation zum Engagement
- Vermittlung von Basisinformation
- Evaluierung einer Projektidee
- Umsetzung eines Projektes

In ihren **Kapiteln 2 bis 10** liefert die Handreichung notwendige Basisinformationen zur Nutzung von Biogas aus der Vergärung und vermittelt ausreichend Sachkenntnis in naturwissenschaftlichen, technischen, rechtlichen, organisatorischen und finanziellen Bereichen.

**Kapitel 9 und 10** der Handreichung zeigen über die Bereitstellung von Basisinformationen hinaus das

Vorgehen bei der Erstellung einer Projektbeurteilung auf. Dabei sind die Erkenntnisse der letzten Jahre aus bereits bestehenden Anlagen berücksichtigt und es wird auf mögliche technische Entwicklungen hingewiesen.

Die Umsetzung oder Realisierung einer Anlage wird in **Kapitel 11** durch Planungsempfehlungen und Checklisten zum Anlagenbau, zum Anlagenbetrieb und zum Vertragsabschluss auf der Basis der Informationen der vorhergehenden Kapitel erleichtert.

**Kapitel 12** soll dazu anregen, Ideen zu entwickeln und Initiativen zu starten. Es werden aber auch Argumente für die Biogasgewinnung und -nutzung geliefert, um die Öffentlichkeitsarbeit zu unterstützen, die zur Verwirklichung einer Idee zur energetischen Nutzung organischer Substrate zur Biogasgewinnung notwendig ist.

Zur Veranschaulichung realisierter Biogasprojekte bei unterschiedlichen Konfigurationen der Biogasgewinnung und -nutzung werden in **Kapitel 13** mehrere Beispiele vorgestellt.

Ein Wegweiser zu den Antworten auf die wichtigen Fragen der vier Themenkomplexe ist in Abbildung 1-1 veranschaulicht.

### 1.4 Zielgruppen

Die Handreichung richtet sich grundsätzlich an alle Personen, die Interesse an der Biogasgewinnung und -nutzung haben und/oder von einem Biogasprojekt in irgendeiner Form betroffen sind. Die Handreichung wendet sich damit in erster Linie an Personen oder Einrichtungen, die ein Biogasprojekt umsetzen und realisieren.

Zur Zielgruppe der Personen, die ein Biogas-Projekt umsetzen wollen, zählen zunächst **Landwirte bzw. landwirtschaftliche Unternehmen**. Als Substraterzeuger und Energieerzeuger können sie Interesse an der energetischen Biogasgewinnung und -nutzung haben. Zudem stellen im landwirtschaftlichen Betrieb die Gärreste ein im Wert gesteigertes Düngemittel dar. Auf Grund des großen Biomassepotenzials im landwirtschaftlichen Bereich steht die landwirtschaftliche Biogaserzeugung im Mittelpunkt der Betrachtungen der vorliegenden Handreichung.

Zu den weiteren potenziellen Biogas-Erzeugern zählen andere **Produzenten oder Verwerter organischer Reststoffe**, wie beispielsweise Betriebe der lebensmittelverarbeitenden Industrie, Entsorgungsunternehmen oder Kommunen, zum Zielgruppenspektrum. **Private Investoren** zählen ebenfalls zur

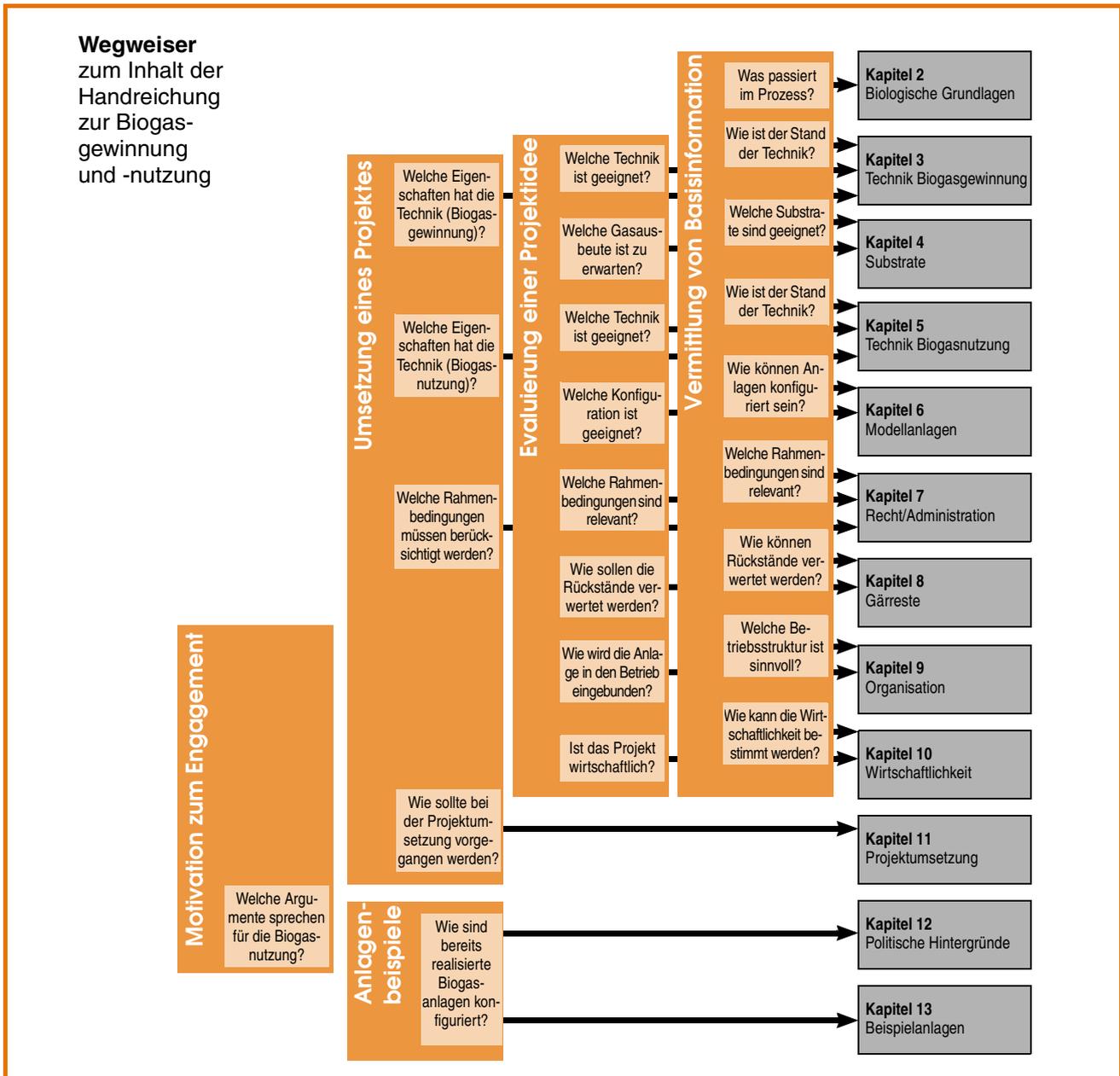


Abb. 1-1: Wegweiser zum Inhalt der Handreichung

Zielgruppe der potenziellen Realisierer. So existieren z. B. Beteiligungsgesellschaften, die speziell in ökologisch sinnvolle Projekte investieren.

Die zweite Zielgruppe sind Personen, die in irgendeiner Form an einem Biogasprojekt beteiligt sind, sei es als **Behördenmitarbeiter, Bankangestellter, landwirtschaftlicher Berater oder Planer**, aber auch als **Anlagen- und Komponentenbauer**. Darüber hinaus sind aber auch alle **Personen, die mittelbar oder unmittelbar** von der Umsetzung eines Biogasprojektes **betroffen sind**, angesprochen. Die Handreichung soll hier Informationsdefizite beseitigen und zum besseren Verständnis für die gegenseitigen Belange beitragen.

Ähnliches gilt auch für **regionale und überregionale Verbände und Organisationen**, die im Bereich der regenerativen Energien aktiv und unter Umständen beratend tätig sind. Für sie ist die Handreichung eine wesentliche Informationsquelle für ihre Beratungsaufgaben im Bereich der Nutzung von Biomasse zur Biogasgewinnung.

Die Handreichung ist ebenfalls als Motivation und Hilfe für **Entscheidungsträger** gedacht, die sich auf Grund ihrer Position in der Lage befinden, Biogasprojekte zu initiieren und/oder anzuschieben. Potenziellen **Fördergeldgebern und Energieagenturen** wird die Handreichung in ihrer Multiplikatoren-Funktion hilfreich sein.



### 1.5 Abgrenzung

Bei der vorliegenden Handreichung müssen, wie nachfolgend beschrieben, sowohl hinsichtlich der Technik und der betrachteten Substrate als auch im Hinblick auf den Datenumfang Abgrenzungen vorgenommen werden.

#### 1.5.1 Technik

Die Handreichung konzentriert sich ausschließlich auf die Verwertung von Biomasse zur Gewinnung und Nutzung von Biogas. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der landwirtschaftlichen Nassfermentation und der kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom mittels Kraft-Wärme-Kopplung.

U. a. auf Grund hoher Kosten und noch bestehender technischer Probleme werden die Verfahren der Trockenfermentation und der über die motorische Kraft-Wärme-Kopplung hinausgehenden Technologien zur Nutzung von Biogas (z. B. Mikrogasturbine, Brennstoffzelle, Treibstoffherstellung) nur erwähnt. Die Handreichung konzentriert sich damit ausschließlich auf die Biogaserzeugung in Nassvergärungsverfahren und die motorische Verbrennung des Biogases zur Elektroenergieproduktion mit marktgängiger Technik.

#### 1.5.2 Substrate

In der Handreichung werden die derzeit mit bedeutenden Anteilen in der Biogaswirtschaft eingesetzten Substrate unabhängig von ihrer Herkunft (Landwirtschaft, Landschaftspflege, Kommune, Industrie) berücksichtigt. Schwerpunktmäßig wird aber auf die landwirtschaftlichen Substrate eingegangen.

#### 1.5.3 Datenumfang

Auch hinsichtlich des Datenumfangs erfolgt eine Abgrenzung. Die hier vorliegende Handreichung enthält einerseits die Daten und Fakten, die zum Verständnis der entsprechenden Informationen und Vorgehensweisen notwendig sind, und andererseits diejenigen, die für die Durchführung erster Abschätzungen und Berechnungen erforderlich sind. Auf die Einbeziehung darüber hinaus gehenden Zahlenmaterials wurde zu Gunsten höherer Transparenz und Übersichtlichkeit verzichtet.

Die vorliegende Handreichung enthält die aus den sorgfältigen Recherchen und vielfältigen Fachgesprächen resultierenden Ergebnisse mit dem Stand Mitte 2003. Dabei kann kein Anspruch auf die absolute Vollständigkeit und Richtigkeit der Daten erhoben werden, wobei das Ziel der umfassenden und weitestgehend erschöpfenden Darstellung aller relevanten Teilbereiche der Biogasgewinnung und -nutzung erreicht scheint.

# Grundlagen der anaeroben Fermentation

# 2

## 2.1 Entstehung von Biogas

Wie schon der Name vermuten lässt, entsteht das „Bio“-Gas in einem biologischen Prozess. Unter Abschluss von Sauerstoff entsteht dabei aus organischer Masse ein Gasgemisch, das sogenannte Biogas. Dieser in der Natur weit verbreitete Prozess findet beispielsweise in Mooren, auf dem Grund von Seen, in der Güllegrube sowie im Pansen von Wiederkäuern statt. Hierbei wird die organische Masse fast vollständig zu Biogas umgewandelt und es entstehen nur geringe Mengen an neuer Biomasse oder Wärme.

Das gebildete Gasgemisch besteht zu ca. zwei Dritteln aus Methan und ca. einem Drittel aus Kohlendioxid. Daneben befinden sich im Biogas noch geringe Mengen an Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und anderen Spurengasen. Um den Entstehungsprozess des Biogases deutlich zu machen, kann dieser in mehrere Teilschritte unterteilt werden (siehe Abb. 2-1) /2-1/, /2-2/, /2-3/, /2-4/.

In dem ersten Schritt, der „**Hydrolyse**“, werden die komplexen Verbindungen des Ausgangsmaterials (z. B. Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette) in einfachere, organische Verbindungen (z. B. Aminosäuren, Zucker, Fettsäuren) zerlegt. Die daran beteiligten Bakterien setzen hierzu Enzyme frei, die das Material auf biochemischem Weg zersetzen.

Die gebildeten Zwischenprodukte werden dann in der sogenannten „**Versäuerungsphase**“ (Acidogenese) durch säurebildende Bakterien weiter zu niederen Fettsäuren (Essig-, Propion- und Buttersäure) sowie Kohlendioxid und Wasserstoff abgebaut. Daneben werden aber auch geringe Mengen an Milchsäure und Alkohole gebildet.

Diese Produkte werden anschließend in der Acetogenese, der „**Essigsäurebildung**“, durch Bakterien zu Vorläufersubstanzen des Biogases (Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid) umgesetzt. Da ein zu hoher Wasserstoffgehalt für die Bakterien der Essig-

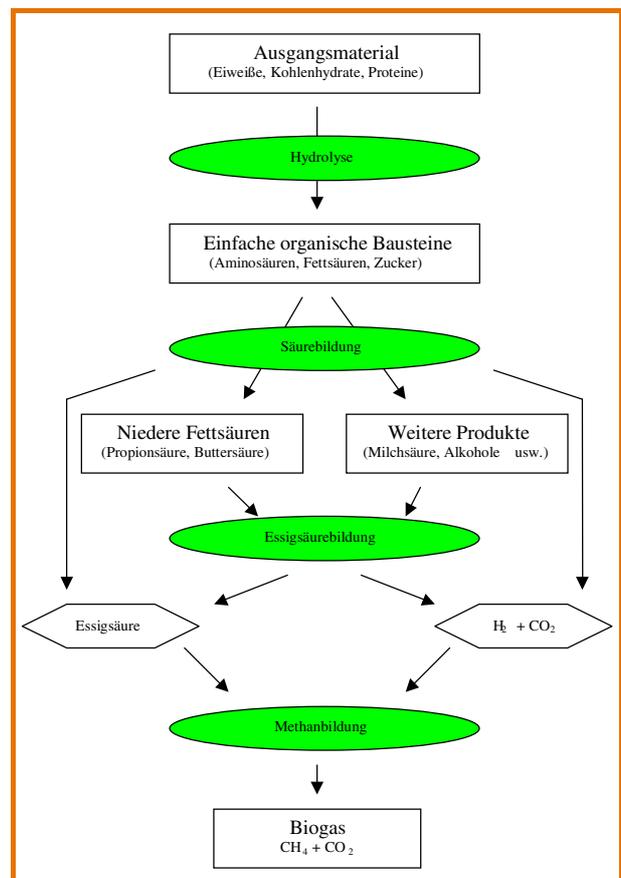


Abb. 2-1: Schematische Darstellung des anaeroben Abbaus

säurebildung schädlich ist, müssen die Essigsäurebildner mit den Bakterien der Methanogenese eine enge Lebensgemeinschaft bilden. Diese verbrauchen bei der Bildung von Methan den Wasserstoff und sorgen so für akzeptable Lebensbedingungen für die acetogenen Bakterien.

In der anschließenden „**Methanogenese**“, dem letzten Schritt der Biogasbildung, wird aus den Produkten der Acetogenese das Methan gebildet.

Laufen die vier Abbauschritte gemeinsam in einem Fermenter ab, spricht man von einstufigen Anlagen. Da die Bakterien der einzelnen Stufen aber

2 unterschiedliche Anforderungen an ihren Lebensraum stellen, muss hier ein Kompromiss gefunden werden. Da die Methanbakterien am empfindlichsten gegenüber Störungen sind und sich nur langsam vermehren, werden die Milieubedingungen in solchen Systemen normalerweise an sie angepasst. Hingegen werden in zweistufigen Anlagen die Hydrolyse und die Acidogenese von den nachfolgenden Abbaustufen räumlich getrennt. Dadurch können die Umgebungsbedingungen besser an die Bakteriengruppen angepasst werden und es lassen sich höhere Abbauleistungen erreichen.

## 2.2 Milieubedingungen

Bei der Beschreibung der Milieubedingungen muss zwischen Nassfermentation und Trockenfermentation unterschieden werden, da sich insbesondere im Hinblick auf den Wassergehalt Unterschiede zwischen den beiden Verfahren ergeben. Auf Grund der weiteren Verbreitung soll im Folgenden nur auf die Nassfermentation eingegangen werden.

### 2.2.1 Sauerstoff

Methanbakterien gehören zu den ältesten Lebewesen auf unserer Erde und entstanden vor etwa drei bis vier Milliarden Jahren, lange bevor sich die Atmosphäre, wie wir sie kennen, gebildet hatte. Aus diesem Grund sind diese Bakterien auch heute noch auf eine Lebensumgebung angewiesen, in der kein Sauerstoff vorkommt. Denn einige Arten werden schon durch geringe Sauerstoffmengen abgetötet. Oft lässt sich aber ein Sauerstoffeintrag in den Fermenter nicht vollkommen vermeiden. Der Grund, dass die Methanbakterien nicht sofort in ihrer Aktivität gehemmt werden oder sogar ganz absterben liegt darin, dass sie in Gemeinschaft mit Bakterien aus den vorhergehenden Abbauschritten leben /2-1/, /2-2/. Einige von ihnen sind sogenannte fakultativ anaerob lebende Bakterien, das heißt sie können sowohl unter Sauerstoffeinfluss als auch vollkommen ohne Sauerstoff überleben.

Solange der Sauerstoffeintrag nicht zu groß ist, können diese Bakterien den Sauerstoff verbrauchen, bevor er die Bakterien schädigt, die auf eine sauerstofffreie Umgebung zwingend angewiesen sind.

### 2.2.2 Temperatur

Man kann grundsätzlich sagen, dass chemische Reaktionen umso schneller ablaufen, je höher die Umge-

Eine strikte Unterteilung der Verfahren in Nass- und Trockenfermentation ist aus biologischer Sicht eigentlich irreführend, da die am Vergärungsprozess beteiligten Bakterien in jedem Fall ein flüssiges Medium für ihr Überleben benötigen.

Auch bei der Definition über den Trockenmassegehalt des zu vergärenden Substrates kommt es immer wieder zu Missverständnissen, da häufig mehrere Substrate mit unterschiedlichen Trockenmassegehalten eingesetzt werden. Hier muss dem Betreiber klar sein, dass nicht der Trockenmassegehalt der Einzelsubstrate maßgebend für die Einteilung des Verfahrens ist, sondern der Trockenmassegehalt des in den Fermenter eingebrachten Substratgemisches.

Deswegen erfolgt hier die Einteilung in Nass- oder Trockenfermentation über den Trockenmassegehalt des Fermenterinhalt.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Bakterien in ihrer unmittelbaren Umgebung in beiden Fällen ausreichend Wasser benötigen.

Zwar gibt es keine genaue Definition der Grenze zwischen Nass- und Trockenfermentation, jedoch hat es sich in der Praxis eingebürgert, dass man bis zu einem Trockenmassegehalt im Fermenter von 12-15 % von Nassfermentation spricht, da der Fermenterinhalt bei diesem Wassergehalt noch pumpbar ist. Steigt der Trockenmassegehalt im Fermenter auf über 16 %, so ist das Material in der Regel nicht mehr pumpbar und man bezeichnet den Prozess als Trockenvergärung.

bungstemperatur ist. Dies lässt sich aber nur bedingt auf biologische Abbau- und Umsetzungsprozesse anwenden. Es muss hier bedacht werden, dass für die an den Stoffwechselprozessen beteiligten Bakteriengruppen unterschiedliche Temperaturoptima existieren /2-1/. Werden diese optimalen Temperaturbereiche unter- bzw. überschritten, kann dies zu einer Hemmung und im Extremfall zur unwiderruflichen Schädigung der beteiligten Bakterien führen. Für den Biogasprozess hat dies folgende Auswirkungen:

Die am Abbau beteiligten Bakterien lassen sich auf Grund ihrer Temperaturoptima in drei Gruppen einteilen. Es wird hier zwischen psychrophilen, mesophilen und thermophilen Bakterien unterschieden /2-1/. - Psychrophile Bakterien haben ihr Optimum bei Temperaturen bis ca. 25 °C. Bei solchen Temperaturen entfällt das Aufheizen der Substrate bzw. des Fermenters, jedoch sind Abbauleistung und Gasproduktion stark vermindert.



- Der größte Teil der bekannten Methanbakterien hat sein Wachstumsoptimum im mesophilen Temperaturbereich zwischen 32 und 42 °C. Anlagen, die im mesophilen Bereich arbeiten, sind in der Praxis am weitesten verbreitet, da in diesem Temperaturbereich eine relativ hohe Gasausbeute sowie eine gute Prozessstabilität erreicht werden /2-5/.
- Sollen durch Hygienisierung (s. auch Kap. 4.3) des Substrates gesundheitsschädliche Keime abgetötet werden oder werden Substrate verwendet, die mit hoher Eigentemperatur anfallen (z. B. Prozesswasser), bieten sich thermophile Bakterienkulturen für die Vergärung an. Diese haben ihr Optimum im Temperaturbereich zwischen 50 und 57 °C. Es wird hier durch die hohe Prozesstemperatur eine höhere Gasausbeute erreicht. Jedoch ist zu bedenken, dass auch mehr Energie für das Aufheizen des Gärprozesses benötigt wird. Auch ist der Gärprozess in diesem Temperaturbereich empfindlicher gegenüber Störungen oder Unregelmäßigkeiten in der Substratzufuhr oder der Betriebsweise des Fermenters /2-4/.

Da die Bakterien bei ihrer „Arbeit“ nur geringe Mengen an Eigenwärme produzieren, die nicht für das Erreichen der nötigen Umgebungstemperatur ausreicht, muss bei mesophiler und thermophiler Betriebsweise des Fermenters dieser in jedem Fall isoliert und extern beheizt werden, damit die optimalen Temperaturbedingungen der Bakterien erreicht werden können.

### 2.2.3 pH-Wert

Für den pH-Wert gelten ähnliche Zusammenhänge wie für die Temperatur. Die Bakterien der einzelnen Prozessstufen haben unterschiedliche pH-Werte bei denen sie optimal wachsen können. So liegt das pH-Optimum der hydrolisierenden und säurebildenden Bakterien bei pH 4,5 bis 6,3 /2-6/. Sie sind aber nicht zwingend darauf angewiesen und können auch bei geringfügig höheren pH-Werten noch überleben, ihre Aktivität wird dadurch nur gering gehemmt. Dagegen benötigen die essigsäure- und methanbildenden Bakterien unbedingt einen pH-Wert im neutralen Bereich bei 6,8 bis 7,5 /2-2/. Findet der Gärprozess in nur einem Fermenter statt, muss demzufolge dieser pH-Bereich eingehalten werden.

Unabhängig davon, ob der Prozess ein- oder zweistufig ist, stellt sich der pH-Wert innerhalb des Systems meist automatisch durch die alkalischen und sauren Stoffwechselprodukte ein, die während des anaeroben Abbaus gebildet werden /2-1/. Wie empfindlich jedoch dieses Gleichgewicht ist, zeigt folgende Kettenreaktion.

Im Normalfall wird der pH-Wert durch das freigesetzte Kohlendioxid im neutralen Bereich gepuffert /2-1/. Sinkt der pH-Wert trotzdem ab, ist also die Pufferkapazität erschöpft, werden die Methanbakterien in ihrer Stoffwechselaktivität gehemmt. Da der methanogene Abbau nun aber nicht mehr schnell genug funktioniert, kommt es zu einer Anhäufung der Säuren aus der Acidogenese, was den pH-Wert noch weiter absinken lässt. Der Prozess versauert und die Methanbakterien stellen ihre Arbeit ganz ein. Wird ein solches Absinken des pH-Wertes bemerkt, muss die Substratzufuhr sofort gedrosselt oder gestoppt werden, um den Methanbakterien Zeit zu geben, die vorhandenen Säuren abzubauen.

### 2.2.4 Nährstoffversorgung

Die Prozesse im Fermenter lassen sich mit denen vergleichen, die im Verdauungstrakt von Wiederkäuern ablaufen. Deshalb reagieren die Bakterien genauso negativ wie die Tiere auf „Fütterungsfehler“. Zwar soll sich mit den verwendeten Substraten möglichst viel Methan produzieren lassen, jedoch sind Spurenelemente und Nährstoffe wie Eisen, Nickel, Kobalt, Selen, Molybdän und Wolfram für das Wachstum und Überleben der Bakterien gleichermaßen notwendig /2-2/. Wie viel Methan sich letztendlich aus den eingesetzten Substraten gewinnen lässt, wird durch die Anteile an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten bestimmt.

Weiterhin ist für den stabilen Prozessablauf ein ausgewogenes C/N-Verhältnis des eingesetzten Substrates wichtig. Ist dieses Verhältnis zu hoch (viel C und wenig N), kann der vorhandene Kohlenstoff nicht vollständig umgesetzt werden und es wird mögliches Methanpotenzial nicht genutzt. Im umgekehrten Fall kann es durch Stickstoffüberschuss zur Bildung von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) kommen, der schon in geringen Konzentrationen die Bakterien in ihrem Wachstum hemmt und sogar zum völligen Zusammenbruch der gesamten Bakterienpopulation führen kann /2-2/. Für einen ungestörten Prozessablauf muss das C/N-Verhältnis deswegen im Bereich 10-30 liegen. Um die Bakterien ausreichend mit Nährstoffen zu versorgen sollte das C:N:P:S-Verhältnis bei 600:15:5:1 liegen /2-7/.

### 2.2.5 Hemmstoffe

Ist die Gasproduktion bzw. der Prozessablauf gehemmt, kann dies unterschiedliche Gründe haben. Dies können zum Einen betriebstechnische Gründe



sein (vgl. Kapitel 2.4). Zum Anderen können Hemmstoffe den Prozessfortschritt verzögern. Dies sind Stoffe, die unter Umständen schon in geringen Mengen toxisch auf die Bakterien wirken und den Abbauprozess behindern. Will man diese Stoffe beschreiben, muss man zwischen Hemmstoffen unterscheiden, die durch die Substratzugabe in den Fermenter gelangen, und solchen, die als Zwischenprodukte aus den einzelnen Abbauschritten hervorgehen.

Bei der „Fütterung“ eines Fermenters muss man sich im Klaren sein, dass auch eine übermäßige Substratzugabe den Gärprozess hemmen kann, da sich grundsätzlich jeder Inhaltsstoff eines Substrates in zu hohen Konzentrationen schädlich auf die Bakterien auswirken kann. Dies gilt aber besonders für Substanzen wie Antibiotika, Desinfektions- oder Lösungsmittel, Herbizide, Salze oder Schwermetalle, die auch schon in geringen Mengen den Abbauprozess hemmen können. Aber auch essentielle Spurenelemente können in zu hohen Konzentrationen toxisch für die Bakterien sein. Da sich die Bakterien bis zu einem gewissen Maße auch an solche Stoffe anpassen können, ist die Konzentration, ab der ein Stoff die Bakterien schädigt, nur schwer zu bestimmen /2-1/, /2-2/. Auch existieren für einige Hemmstoffe Wechselwirkungen mit anderen Stoffen. So wirken Schwermetalle nur dann schädigend auf den Gärprozess, wenn sie in gelöster Form vorliegen. Sie werden aber durch Schwefelwasserstoff, der ebenfalls im Gärprozess gebildet wird, gebunden und ausgefällt /2-1/.

Auch während des Gärprozesses werden Stoffe gebildet, die den Prozess hemmen können. Insbesondere Ammoniak (NH<sub>3</sub>) wirkt schon in geringen Konzentrationen schädigend auf die Bakterien. Dieser steht im Gleichgewicht mit der Ammoniumkonzentration (NH<sub>4</sub>) des Fermenters (Ammoniak reagiert hierbei mit Wasser zu Ammonium und einem OH<sup>-</sup>-Ion und umgekehrt). Das bedeutet, dass sich bei einem zunehmend basischen pH-Wert, also bei zunehmender OH<sup>-</sup>-Ionen-Konzentration, das Gleichgewicht verschiebt und die Ammoniakkonzentration zunimmt. Während Ammonium den meisten Bakterien jedoch als N-Quelle dient, wirkt Ammoniak schon in geringen Konzentrationen (ab 0,15 g/l) hemmend auf die Mikroorganismen /2-2/. Darüber hinaus kann auch eine hohe Gesamtkonzentration an NH<sub>3</sub> und NH<sub>4</sub> ab ca. 3000 mg/l zu einer Hemmung des Biogasprozesses führen /2-6/.

Ein anderes Produkt des Gärprozesses ist Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), welcher in gelöster Form als Zellgift schon in Konzentrationen von ca. 50 mg/l den Abbauprozess hemmen kann. Schwefel ist allerdings

ebenfalls ein essentielles Spurenelement und damit ein wichtiger Mineralstoff der methanbildenden Bakterien. Außerdem werden Schwermetalle durch Sulfidionen (S<sup>2-</sup>) gebunden und ausgefällt /2-2/.

Eine mögliche Hemmwirkung verschiedener Stoffe hängt also von mehreren Faktoren ab und eine Festlegung auf feste Grenzwerte ist nur schwer durchzuführen. Eine Auflistung einiger Hemmstoffe ist in Tab. 2-1 abgebildet.

Tabellen 2-1: Hemmstoffe und deren schädigende Konzentrationen /2-1/

Hemmstoff:	Konzentration:
Natrium	zwischen 6-30 g/l (in adaptierten Kulturen bis zu 60 g/l)
Kalium	ab 3 g/l
Calcium	ab 2,8 g/l CaCl <sub>2</sub>
Magnesium	ab 2,4 g/l MgCl <sub>2</sub>
Ammonium	2,7-10 g/l
Ammoniak	ab 0,15 g/l
Schwefel	ab 50 mg/l H <sub>2</sub> S, 100 mg/l S <sup>2-</sup> , 160 mg/l Na <sub>2</sub> S (in adaptierten Kulturen bis zu 600 mg/l Na <sub>2</sub> S und 1000 mg/l H <sub>2</sub> S)
Schwermetalle	<u>Als freie Ionen:</u> ab 10mg/l Ni, ab 40 mg/l Cu, ab 130 mg/l Cr, ab 340 mg/l Pb, ab 400 mg/l Zn <u>In Carbonatform:</u> ab 160 mg/l Zn, ab 170 mg/l Cu, ab 180 mg/l Cd, ab 530 mg/l Cr <sup>3+</sup> , ab 1750 mg/l Fe Schwermetalle können durch Sulfid gefällt und neutralisiert werden
Verzweigte Fettsäuren	Iso-Buttersäure: schon ab 50 mg/l hemmend

## 2.3 Betriebsparameter

### 2.3.1 Raumbelastung und Verweilzeit des Fermenters

Beim Bau von Biogasanlagen stehen meistens ökonomische Überlegungen im Vordergrund. So wird auch bei der Wahl der Fermentergröße nicht unbedingt die maximale Gasausbeute bzw. der vollständige Abbau der im Substrat enthaltenen organischen Masse angestrebt. Würde man einen vollständigen Abbau der organischen Inhaltsstoffe realisieren wollen, müsste man mitunter mit sehr langen Aufenthaltszeiten des Substrates im Fermenter und damit auch entsprechenden Behältergrößen rechnen, da einige Stoffe – wenn überhaupt – erst nach längeren Zeiträumen abgebaut



werden. Es muss also angestrebt werden, bei vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand ein Optimum an Abbauleistung zu erreichen.

In dieser Hinsicht ist die Raumbelastung ein wichtiger Betriebsparameter. Sie gibt an, wie viel Kilogramm organischer Trockensubstanz (oTS) dem Fermenter je  $\text{m}^3$  Volumen und Zeiteinheit zugeführt werden kann /2-1/.

$$B_R = \frac{\dot{m} \times c}{V_R}$$

Gleichung 2-1: Raumbelastung  $B_R$   
 ( $\dot{m}$  = zugeführte Substratmenge  
 je Zeiteinheit [kg/d];  $c$  = Konzentration  
 der organischen Substanz [%];  
 $V_R$  = Reaktorvolumen [l])

Ein weiterer Parameter bei der Dimensionierung der Behältergröße ist die hydraulische Verweilzeit. Dies ist die Zeitdauer, die ein zugeführtes Substrat im Mittel bis zu seinem Austrag im Fermenter verbleibt /2-1/. Zur Berechnung setzt man das Reaktorvolumen ( $V_R$ ) ins Verhältnis zur zugeführten Substratmenge ( $\dot{V}$ ), es ergibt sich die hydraulische Verweilzeit (HRT; hydraulic retention time) des Fermenters /2-2/.

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

Gleichung 2-2: Hydraulische Verweilzeit

Zwischen diesen beiden Parametern besteht ein enger Zusammenhang, da mit steigender Raumbelastung mehr Substrat dem Fermenter zugeführt wird und somit die Verweilzeit zurück geht. Um den Gärprozess aufrecht halten zu können, muss die hydraulische Verweilzeit so gewählt werden, dass durch den ständigen Austausch des Reaktorinhalts nicht mehr Bakterien ausgespült werden als in dieser Zeit nachwachsen können (z. B. liegt die Verdopplungsrate einiger anaerober Bakterien bei 10 Tagen und länger) /2-1/. Außerdem muss man bedenken, dass bei geringer Verweilzeit den Bakterien nur wenig Zeit bleibt, das Substrat abzubauen und so zwar ein guter Substratdurchsatz, aber nur eine unzureichende Gasausbeute erzielt wird. Es ist also in gleichem Maße wichtig, die Verweilzeit an die spezifische Abbaugeschwindigkeit der verwendeten Substrate anzupassen. Bei bekannter täglicher Zugabemenge kann in

Verbindung mit der Abbaubarkeit des Substrates und der angestrebten Verweilzeit das benötigte Reaktorvolumen errechnet werden.

### 2.3.2 Durchmischung

Um eine hohe Biogasproduktion zu erreichen, ist ein intensiver Kontakt von Bakterien und Substrat erforderlich, welcher im Allgemeinen durch Durchmischen des Gärbehälters erreicht wird /2-1/.

In einem nicht-durchmischten Gärbehälter lässt sich nach einiger Zeit eine Entmischung des Inhaltes mit gleichzeitiger Schichtenbildung beobachten, was auf die Dichteunterschiede der einzelnen Inhaltsstoffe der eingesetzten Substrate zurückzuführen ist. Dabei findet sich der Großteil der Bakterienmasse, bedingt durch die hohe Dichte, im unteren Teil wieder, während sich das abzubauen Substrat häufig in der oberen Schicht ansammelt. In einem solchen Fall ist der Kontaktbereich auf den Grenzbereich dieser beiden Schichten beschränkt und es findet nur wenig Abbau statt. Zudem bildet sich aus aufschwimmenden Stoffen eine Schwimmschicht, welche den Gasaustritt erschwert /2-8/.

Es ist also wichtig, den Kontakt von Bakterien und Substrat durch Mischen des Gärbehälters zu fördern. Dennoch sollte ein zu starkes Durchmischen vermieden werden. Vor allem die Essigsäure-bildenden Bakterien (aktiv in der Acetogenese) und die Bakterien der Methanogenese bilden eine enge Lebensgemeinschaft, die für einen ungestörten Biogasbildungsprozess von großer Wichtigkeit ist. Wird diese Lebensgemeinschaft durch zu große Scherkräfte infolge intensiven Rührens zerstört, kann es im schlimmsten Fall zu einem völligen Erliegen des gesamten Prozesses kommen.

Es gilt also einen Kompromiss zu finden, der beiden Bedingungen hinreichend gerecht wird. In der Praxis wird dies zum Einen durch langsam rotierende Rührwerke erreicht, die nur sehr geringe Scherkräfte bewirken, und zum Anderen dadurch, dass der Reaktorinhalt in Intervallen (d. h. nur für eine kurze, vorher definierte Zeitspanne) durchmischt wird.

### 2.3.3 Gasbildungspotenzial und methanogene Aktivität

#### 2.3.3.1 Mögliche Gasausbeute

Wie viel Biogas in einer Biogasanlage produziert wird, hängt im Wesentlichen von der Zusammensetzung der eingesetzten Substrate ab.



In der Praxis ist eine entsprechende Berechnung des Biogasertrages kaum durchzuführen, da in der Regel die Konzentrationen der Einzelnährstoffe insbesondere bei Substratgemischen nicht bekannt sind. Zudem wird bei einer solchen Berechnung von einem hundertprozentigen Abbau der organischen Substanz ausgegangen, der in der Praxis nicht erreicht wird.

Da zwischen den Abbauvorgängen in einer Biogasanlage und den Verdauungsvorgängen bei Wiederkäuern Parallelen bestehen, kann anhand der Inhaltsstoffe sowie deren Verdaulichkeiten der theoretisch erreichbare Biogasertrag errechnet werden /2-9/. Die hierfür benötigten Kennzahlen können den DLG-Futterwerttabellen entnommen werden, in der die Gehalte an Asche (RA), Rohfaser (RF), Fett (RL), Eiweiß (RP) und N-freien Extraktstoffen (NfE) bezogen auf die Trockensubstanz (TS) aus der WEENDER FUTTERMITTEL-ANALYSE sowie deren Verdaulichkeiten (VQ) zusammengefasst werden. Die Anteile an RF und NfE ergeben zusammen den Gehalt an Kohlenhydraten.

Den einzelnen Stoffgruppen lassen sich spezifische Gaserträge sowie Methangehalte zuordnen, die sich aus den unterschiedlichen relativen Kohlenstoff-Anteilen ergeben (Tabelle 2-2) /2-7/:

Tabelle 2-2: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt

	Biogasertrag [l/kg oTS]	Methangehalt [Vol.-%]
Verdauliches Eiweiß (RP)	600-700	70-75
Verdauliches Fett (RL)	1.000-1.250	68-73
Verdauliche Kohlenhydrate (RF + NfE)	700-800	50-55

Aus diesen Vorgaben lassen sich nun die organische Trockensubstanz sowie die jeweilige Masse der verdaulichen Stoffgruppen je kg Trockensubstanz errechnen /2-9/:

- oTS-Gehalt:  $(1000 - \text{Rohasche}) / 10$  [% TS]
- Verdauliches Eiweiß:  $(\text{Rohprotein} \cdot VQ_{RP}) / 1000$  [kg/kg TS]
- Verdauliches Fett:  $(\text{Rohfett} \cdot VQ_{RL}) / 1000$  [kg/kg TS]
- Verdauliche Kohlenhydrate:  $((\text{Rohfaser} \cdot VQ_{RF}) + (\text{NfE} \cdot VQ_{NfE})) / 1000$  [kg/kg TS]

Wie schon am Anfang dieses Kapitels beschrieben, bestehen zwar durchaus Parallelen zwischen den Vorgängen im Pansen der Wiederkäuer und den Abbauvorgängen in einer Biogasanlage, jedoch sind beide Vorgänge nur bedingt vergleichbar, da es in beiden „Systemen“ zu unterschiedlichen Synergieeffekten kommen kann, die die Biogasproduktion beeinflussen.

Deswegen kann die eben vorgestellte Berechnungsmethode die tatsächliche Gas- bzw. Methan- ausbeute nur grob wiedergeben und darf deshalb **nicht** für betriebliche oder ökonomische Kalkulationen herangezogen werden!

Jedoch lässt die vorgestellte Methode eine tendenzielle Abschätzung der Biogausausbeute und einen Vergleich zwischen verschiedenen Substraten zu.

Die weitere Berechnung soll am Beispiel **Silomais** (Beginn Teigreife, körnerreich) verdeutlicht werden (Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Silomais, Beginn Teigreife, körnerreich (Bsp.)

TS [%]	Rohasche (RA) [g/kg TS]	Rohprotein (RP) [g/kg TS]	VQ <sub>RP</sub> [%]	Rohfett (RL) [g/kg TS]	VQ <sub>RL</sub> [%]	Rohfaser (RF) [g/kg TS]	VQ <sub>RF</sub> [%]	NfE [g/kg TS]	VQ <sub>NfE</sub> [%]
29	53	92	57	42	82	185	63	628	78

**Daraus errechnet sich:**

oTS-Gehalt:

$$(1000 - 53) / 10 = 94,7 \% \text{ (TS)}$$

Verdauliches Eiweiß:

$$(92 \cdot 57\%) / 1000 = 0,0524 \text{ kg/kg TS}$$

Verdauliches Fett:

$$(42 \cdot 87\%) / 1000 = 0,03654 \text{ kg/kg TS}$$

Verdauliche Kohlenhydrate:

$$((185 \cdot 63\%) + (628 \cdot 78\%)) / 1000 = 0,606 \text{ kg/kg TS}$$

**Die Massen der Stoffgruppen je kg oTS errechnen sich daraus wie folgt:**

Verdauliches Eiweiß:

$$0,0524 \text{ kg/kg TS} \cdot 94,7 \% \text{ oTS} = 0,0496 \text{ kg oTS}$$

Verdauliches Fett:

$$0,0365 \text{ kg/kg TS} \cdot 94,7 \% \text{ oTS} = 0,0346 \text{ kg oTS}$$

Verdauliche Kohlenhydrate:

$$0,606 \text{ kg/kg TS} \cdot 94,7 \% \text{ oTS} = 0,574 \text{ kg oTS}$$

Die Ergebnisse werden nun mit den Werten aus Tabelle 2-2 multipliziert und man erhält die in Tabelle 2-4 dargestellten Biogas- und Methan- ausbeuten.



Tabelle 2-4: Biogasausbeute und Methanausbeute von Silomais (Mittelwerte)

	Biogas [l/kg oTS]	Methan [l/kg oTS]
Verdauliches Eiweiß (RP)	34,72	25,2
Verdauliches Fett (RL)	43,25	30,5
Verdauliche Kohlenhydrate (RF + NfE)	453,46	238,1
<b>Summe (je kg oTS)</b>	<b>513,43</b>	<b>293,8</b>

Je kg Frischmasse ergeben sich daraus 145,9 Liter Biogas mit einem Methangehalt von ca. 57 %. Wie am Beispiel zu sehen, lässt sich auf relativ einfache Weise die zu erwartende Biogasausbeute sowie der Methangehalt im Biogas für beliebige Substrate errechnen.

Allerdings beeinflussen noch weitere Faktoren, wie die Verweilzeit der Substrate im Fermenter, der Trockensubstanzgehalt, evtl. vorhandene Hemmstoffe und die Gärtemperatur den erreichbaren Biogasertrag. So ergibt sich durch Steigerung der Verweilzeit eine bessere Abbauleistung und damit auch eine höhere Gasproduktion. Mit fortschreitender Verweilzeit wird mehr und mehr Methan freigesetzt, was dann den Heizwert des Gasgemisches steigert.

Durch eine Steigerung der Temperatur wird auch die Geschwindigkeit der Abbauvorgänge gesteigert. Dies ist allerdings nur in bestimmtem Maße möglich, da nach Überschreiten der Maximaltemperatur die Bakterien geschädigt werden können und der umgekehrte Effekt erreicht wird. Zusätzlich zur gesteigerten Gasproduktion wird allerdings auch mehr Kohlendioxid aus der flüssigen Phase freigesetzt, was wiederum zu einem schlechteren Heizwert des Gasgemisches führt.

Der Gehalt an Trockensubstanz im Fermenter (TS-Gehalt) kann die Gasausbeute in zweierlei Hinsicht beeinflussen. Zum Einen können sich die Bakterien bei hohen TS-Gehalten nur schlecht bewegen und so nur das Substrat in ihrem unmittelbarem Umfeld abbauen. Bei sehr hohen Trockensubstanzgehalten von 40 % und mehr kann die Gärung sogar ganz zum Erliegen kommen, da hier nicht mehr genügend Feuchtigkeit für ein Bakterienwachstum vorhanden ist. Zum Anderen kann es infolge der hohen Trockensubstanzgehalte zu Problemen mit Hemmstoffen kommen, da diese durch den niedrigen Wassergehalt in konzentrierter Form vorliegen können. Auch eine Vorbehandlung der eingesetzten Substrate (Zerkleinern, Homogenisieren etc.) kann die Ausbeute steigern, da das Substrat den Bakterien so besser zur Verfügung steht /2-4/.

### 2.3.3.2 Gasqualität

Biogas ist ein Gasgemisch, welches zu ca. einem Drittel aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und zu zwei Dritteln aus Methan (CH<sub>4</sub>) sowie Wasserdampf und diversen Spurengasen besteht.

Interessant für den Betreiber einer Biogasanlage ist jedoch in erster Linie der Methangehalt, also der prozentuale Anteil des Methans am Gasgemisch, da hieraus die zu gewinnende Energie resultiert. Zwar kann die Zusammensetzung des Biogases nur begrenzt beeinflusst werden. Jedoch hängt der Gehalt von Methan im Biogas von mehreren Faktoren wie Wassergehalt des Substrates, Gärtemperatur, Verweilzeit sowie Substrataufbereitung und dem Grad des Substratsaufschlusses ab /2-1/.

Die erzielbare Ausbeute an Methan ist dabei im wesentlichen durch die Zusammensetzung des eingesetzten Substrates, also durch die Anteile an Fetten, Proteinen und Kohlenhydraten bestimmt /2-10/. Hierbei nehmen die spezifischen Methanausbeuten der eben genannten Stoffgruppen in der genannten Reihenfolge ab. Bezogen auf die Masse lässt sich mit Fetten eine höhere Methanausbeute erreichen als mit Kohlenhydraten.

Im Hinblick auf die Reinheit des Gasgemisches ist die Konzentration des Spurengases Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) wichtig. Sie sollte zum Einen nicht zu hoch sein, da Schwefelwasserstoff schon in geringen Konzentrationen hemmend auf den Abbauprozess wirkt. Zum Anderen führen hohe H<sub>2</sub>S-Konzentrationen im Biogas zu Korrosionsschäden an Blockheizkraftwerken und Heizkesseln /2-1/.

Ein Überblick über die durchschnittliche Zusammensetzung des Biogases gibt Tabelle 2-5.

Tabelle 2-5: Durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas (nach /2-1/)

Bestandteil	Konzentration
Methan (CH <sub>4</sub> )	50-75 Vol.-%
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	25-45 Vol.-%
Wasser (H <sub>2</sub> O)	2-7 Vol.-% (20-40 °C)
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	20-20000 ppm
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	< 2 Vol.-%
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	< 2 Vol.-%
Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	< 1 Vol.-%

## 2.4 Ursachen für Prozessstörungen

### 2.4.1 Temperatur

Im praktischen Betrieb von Biogasanlagen gibt es viele Ursachen, warum es zu einem Abfall der Prozesstemperatur kommen kann. Der Heizung des Fermenters kommt gerade bei den gemäßigten Temperaturen in Deutschland eine zentrale Bedeutung zu und bei einem Ausfall kann die Gärtemperatur relativ schnell um mehrere Grad abfallen. Dabei muss nicht unbedingt die Heizung an sich defekt sein, was das folgende Szenario zeigt.

Durch Ausfall des BHKW fehlt nach einiger Zeit die nötige Abwärme für die Fermenterheizung. Der Temperaturabfall hemmt die Aktivität der Methanbakterien, da sie nur in einem engen Temperaturfenster überleben /2-3/. Die Bakterien der Hydrolyse und Acidogenese sind in dieser Hinsicht weniger spezialisiert und können auch bei einem Temperaturabfall zunächst überleben. Dadurch kommt es aber zu einer Anreicherung der Säuren im Fermenter, vor allem wenn die Substratzufuhr nicht rechtzeitig gedrosselt oder ausgesetzt wird.

In einem solchen Fall kommt zu der schon vorhandenen Temperaturhemmung auch noch ein Abfall des

pH-Wertes mit einer Versäuerung des gesamten Prozesses. Aber auch die Zugabe großer Mengen nicht vorgewärmten Substrates oder eine ungenügende Beheizung des Fermenters z.B. durch Ausfall der Temperatursensoren können einen Abfall der Fermentertemperatur zur Folge haben. Deswegen ist eine regelmäßige Kontrolle der Gärtemperatur von großer Wichtigkeit für einen erfolgreichen Anlagenbetrieb.

### 2.4.2 Ammoniakbildung ( $\text{NH}_3$ )

Wie schon in Kapitel 2.2.5 erläutert wurde, steht die Bildung von Ammoniak in enger Beziehung zu dem vorherrschenden pH-Wert in der Lösung. Das Gleichgewicht zwischen Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) wird dabei mit steigendem pH-Wert zugunsten des Ammoniak verschoben /2-11/. Darüber hinaus nimmt die Hemmwirkung des Ammoniaks mit steigender Temperatur zu, was sich insbesondere auf thermophil betriebene Biogasanlagen auswirkt (vgl. Abb. 2-2).

Aber auch die Wahl der Substrate wirkt sich auf die Ammoniakbildung aus, vor allem durch Vergärung von Substraten mit hohem Eiweißgehalt wird vermehrt Ammoniumstickstoff freigesetzt /2-7/.

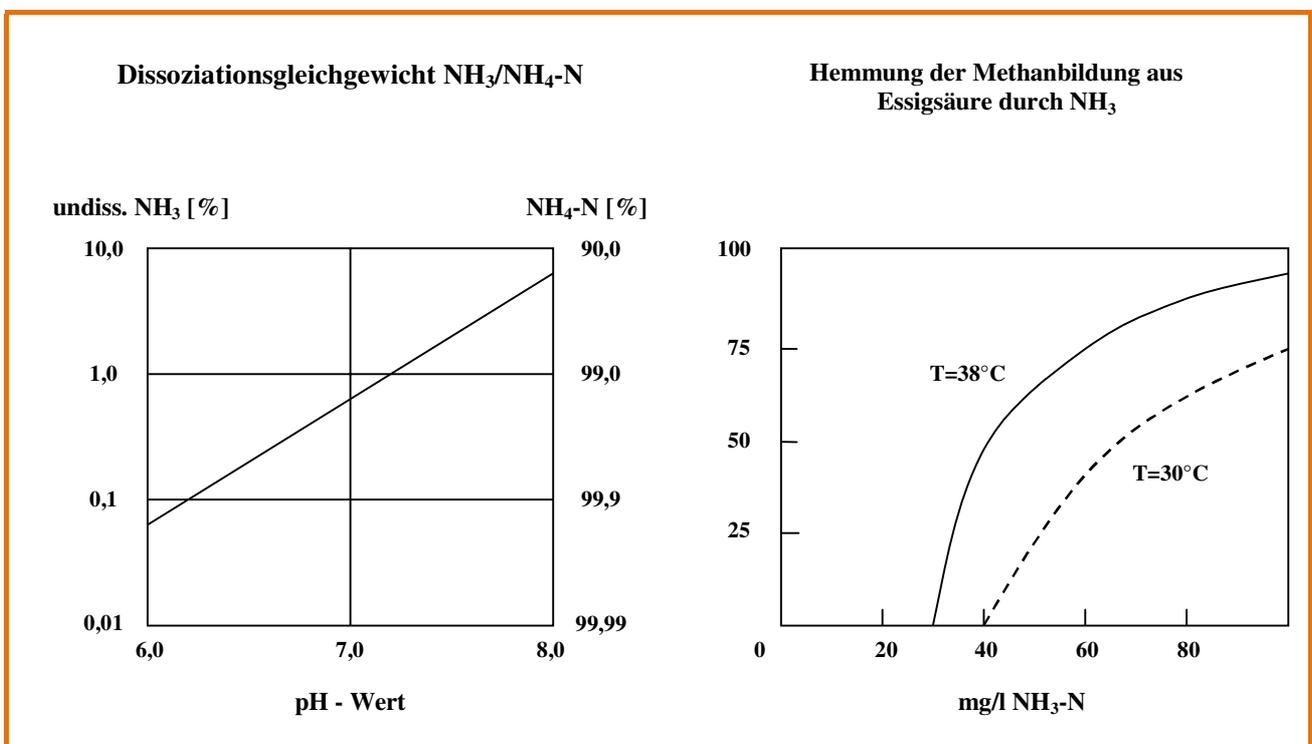


Abb. 2-2: Hemmung der Methanbildung aus Essigsäure durch  $\text{NH}_3$  (nach /2-11/)



### 2.4.3 Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S)

Für die Bildung von Schwefelwasserstoff gelten ähnliche Zusammenhänge wie für die Ammoniakbildung. Schwefel liegt hier entweder in undissoziierter Form (HS<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>) in der Flüssigphase oder als Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) im Gasmisch und in der Flüssigkeit vor (siehe Abb. 2-3) /2-11/.

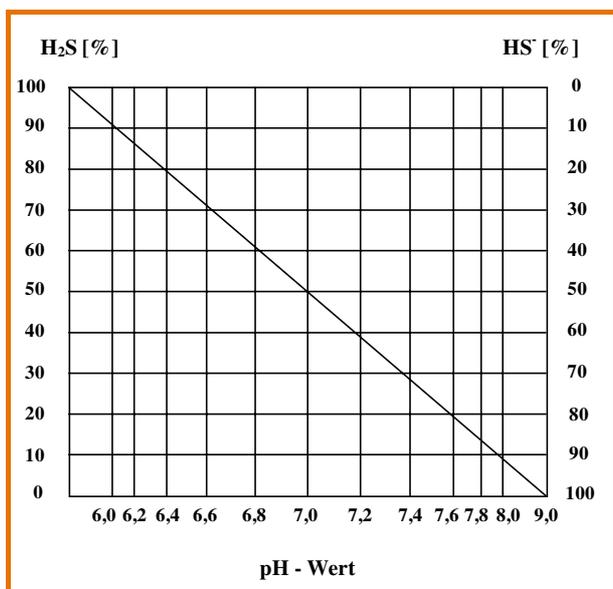


Abb. 2-3: Anteil von HS<sup>-</sup> und H<sub>2</sub>S in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach /2-11/)

Wie hoch der Anteil an gelöstem H<sub>2</sub>S in der Flüssigphase ist, hängt von der H<sub>2</sub>S-Konzentration in der Flüssigphase sowie vom Partialdruck des Schwefelwasserstoffs in der Gasphase ab (Henry'sches Gesetz). Darüber hinaus wird dieses Gleichgewicht aber noch durch andere Faktoren beeinflusst. Mit steigender Temperatur nimmt der Anteil an gelöstem H<sub>2</sub>S in der Flüssigphase ab, jedoch steigt mit der Gasproduktion auch der Partialdruck in der Gasphase und damit der Anteil an gelöstem H<sub>2</sub>S /2-7/, /2-11/. Wie aus Abb. 2-3 zu ersehen ist, besteht zudem ein Zusammenhang mit dem vorherrschenden pH-Wert. Die Konzentration an gelöstem H<sub>2</sub>S im Reaktor nimmt mit sinkendem pH-Wert zu.

### 2.4.4 Fehler bei der Substratzugabe

Oft kommt es bei neu gebauten Anlagen schon gleich in der Anfangsphase zu Problemen wie zu geringer Gasausbeute oder zu hohen Säurekonzentrationen, was im schlimmsten Fall den kompletten Austausch des Reaktorinhalts und ein erneutes Anfahren des Fermentationsprozesses nach sich ziehen kann.

### Animpfen des Fermenters

Gerade beim Animpfen eines Fermenters müssen einige Grundsätze beachtet werden, um später einen stabilen Prozess mit guter Gasausbeute zu erreichen. Das Animpfen geschieht bei den meisten Biogasanlagen mit vergorener Rindergülle, da in diesem Substrat schon eine genügende Konzentration der benötigten Bakterien vorhanden ist. Allerdings ist deren Aktivität durch das niedrige Nahrungsangebot nur gering und muss erst auf die maximale Abbauleistung gebracht werden /2-2/.

Wichtig während dieser sogenannten Anfahrphase ist, dass das zugegebene Substrat in seiner Zusammensetzung möglichst konstant bleibt, damit sich die Bakterien stabil entwickeln können. Starke Schwankungen in der Substratzusammensetzung bzw. ständig wechselnde Substrate bedeuten für die Bakterien auch ständig wechselnde Lebensbedingungen, an die sie sich in einem solchen Fall immer neu anpassen müssen. Und da sich die Bakterien substratspezifisch entwickeln, kann es so zu keinem stabilen Abbau kommen.

Gerade am Beginn der Anfahrphase ist es wichtig, dass die Menge an Substrat, also die Raumbelastung, nur langsam und in kleinen Schritten erhöht wird, um insbesondere den Methanbakterien genügend Zeit für ihr Wachstum zu geben /2-2/. Wird zu viel Substrat zugegeben, können auf Grund der nur langsam wachsenden Methanbakterien die in den vorhergehenden Abbaustufen gebildeten Zwischenprodukte nicht schnell genug abgebaut werden und es kommt zu einer Versäuerung des gesamten Prozesses.

### Kontinuierlicher Betrieb

Direkt an die Anfahrphase schließt sich der „reguläre“ Betrieb des Fermenters an (Abb. 2-4). Durch langsames Steigern der Substratzufuhr wurde innerhalb der Anfahrphase die maximale Wachstumsrate der Bakterien erreicht.

Die Verweilzeit gibt die Aufenthaltsdauer des zugegebenen Substrates bis zu seinem Austausch gegen neues Substrat wieder und ist damit auch ein indirektes Maß für die Belastung des Fermenters mit organischem Material, da den Bakterien mit kürzer werdender Verweilzeit weniger Zeit für den Abbau des Materials bleibt.

Abb. 2-4 zeigt, dass bei geringer Belastung (und damit hoher Verweilzeit) des Fermenters auch eine hohe Biogausausbeute je kg zugegebenem Substrat erreicht wird. Die abgebildete Gasbildungsrate als Maß der Produktivität ist bei dieser Betriebsweise niedrig.

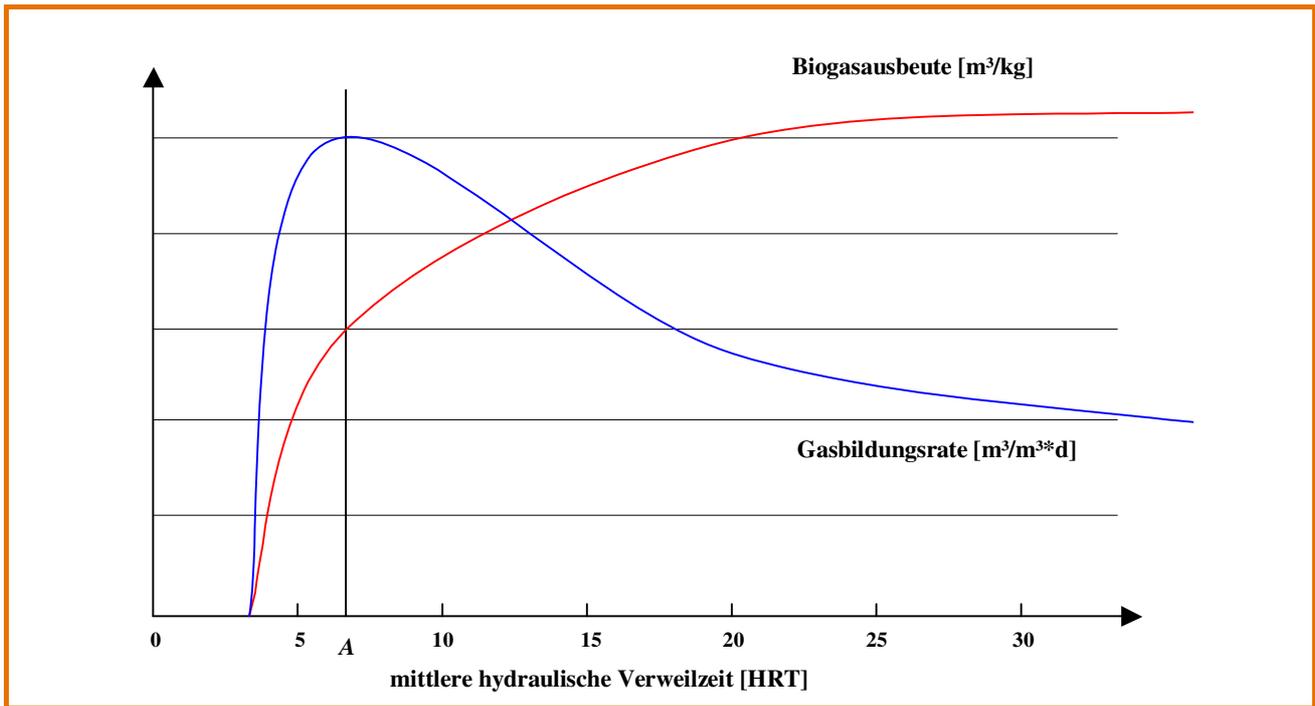


Abb. 2-4: Biogasausbeute und Gasbildungsrate in Abhängigkeit von der Verweilzeit (nach/2-12/)

Mit steigender Substratzufuhr bzw. kürzer werdender Verweilzeit nimmt allerdings die Produktivität der Bakterien zu, jedoch geht auf Grund der zunehmenden Belastung sowie der kürzeren Verweilzeit die Biogasausbeute leicht zurück. Die Gasbildungsrate steigt mit zunehmender Belastung des Fermenters zunächst auf ein Maximum (Punkt A) an. Auf Grund der steigenden Substratzugabe je Zeiteinheit kann das Material nicht mehr vollständig von den Bakterien abgebaut werden, weswegen die Gasbildungsrate zurückgeht.

Wird die Verweilzeit weiter verkürzt, kommt es sehr schnell zu einem Zusammenbruch der Gasproduktion, da in einem solchen Fall durch den schnellen Substrataustausch mehr Bakterienmasse mitausgespült wird als neu gebildet werden kann.

Es muss also auch beim Regelbetrieb des Fermenters darauf geachtet werden, dass die Substratzufuhr nur langsam gesteigert wird und dass die maximale Zufuhrmenge nicht überschritten wird. Auch plötzliche Veränderungen in der Substratzusammensetzung wirken sich negativ auf die Gasproduktion aus und sollten deshalb vermieden werden. Sollen neue Substrate verwendet werden, sollte die Änderung nur behutsam erfolgen, um den Bakterien ein Anpassung an die neuen Lebensbedingungen zu ermöglichen.

In der Praxis wird die maximale Produktion jedoch nicht erreicht und man bewegt sich im Bereich rechts neben Punkt A, da hier der Prozess weniger

anfällig für Schwankungen in der zugegebenen Substratmenge oder der Substratzusammensetzung ist. Je näher man sich Punkt A nähert, um so instabiler wird der Abbauprozess hinsichtlich Schwankungen und Unregelmäßigkeiten in der Betriebsführung. Hier können schon kleine Fehler zum völligen Zusammenbruch des Abbauprozesses führen. Es muss daher ein Kompromiss zwischen der Stabilität des Gärprozesses und der Gasproduktion gefunden werden.

#### Einfluss der Substrate auf den Gärprozess

Die Qualität des Substrates beeinflusst die Menge und die Qualität des erzeugten Biogases, weshalb gegebenenfalls eine Vorbehandlung des Substrates durchgeführt werden muss. Grundsätzlich muss darauf geachtet werden, dass die Substrate eine gute Qualität aufweisen. Beispielsweise kann der Einsatz von Futterresten oder Substraten, die stark verschimmelt oder verdorben sind, zu einem Einbruch der Gasproduktion und starker Schaumbildung führen. Die Einhaltung der Grundregel, nur die Substrate in die Biogasanlage einzubringen, die auch gut für die Viehfütterung geeignet sind, kann hier mögliche Probleme vermeiden helfen.

Durch eine vorhergehende Behandlung der eingesetzten Substrate wird die Verfügbarkeit des Materials für den biologischen Abbau und damit auch die erzielbare Gasausbeute beeinflusst. Aber auch für den störungsfreien Betrieb der Biogasanlage kann eine

Aufbereitung nötig sein. So müssen z. B. unerwünschte Fremdstoffe (Steine, Metallstücke, Plastik etc.) und nicht abbaubare Stoffe (Sand, Holz etc.) vorher entfernt werden.

Insbesondere Substrate wie Stroh oder Ernterückstände sollten vorher zerkleinert werden, da durch das Zerkleinern die Oberfläche des Substrates und damit auch die Angriffsfläche für die Bakterien vergrößert und der Abbau beschleunigt wird bzw. ein Abbau überhaupt ermöglicht wird. Ansonsten kann es bei einigen Substraten passieren, dass auf Grund der angestrebten kurzen Verweilzeiten das Substrat nur zum Teil abgebaut wird und so Biogaspotenzial teilweise ungenutzt bleibt.

Auch der pH-Wert der Substrate hat Einfluss auf den gesamten Prozess. Das ist darauf zurückzuführen, dass innerhalb des Prozesses ein empfindliches pH-Gleichgewicht besteht, welches nur bis zu einem gewissen Punkt Schwankungen ausgleichen kann.

Werden große Mengen Substrat mit niedrigem pH-Wert (z. B. saure Abwässer oder auch Silagen) in den Fermenter gegeben, kann dies zu einer Hemmung des Abbauprozesses führen. Hier muss dann vor der Einspeisung in den Fermenter eine pH-Wert Regulierung durch z. B. Laugen vorgenommen werden. Auch kann es durch starke pH-Wert-Unterschiede zwischen Fermenterinhalt und Substrat zu starker Schaumbildung kommen, da dann in der flüssigen Phase gelöstes CO<sub>2</sub> freigesetzt wird und auströmt.

Aber auch durch die Wahl der Substrate bzw. der Substratzusammensetzung kann es zu Störungen des Gärprozesses kommen. Da Gasausbeute und -qualität im Wesentlichen durch die Anteile an Fetten, Proteinen und Kohlenhydraten im verwendeten Substrat bestimmt werden, läge es nahe, möglichst Substrate zu verwenden, die besonders hohe Konzentrationen dieser Stoffgruppen enthalten. Dies kann in einigen Fällen oder auch über einen gewissen Zeitraum durchaus funktionieren. Da aber die Bakterien für ihr Überleben neben diesen Komponenten auch andere Nährstoffe sowie Spurenelemente benötigen, kann es durch die Unterversorgung der Bakterien zu einer völligen Verarmung des Prozesses kommen und der erwünschte Erfolg bleibt aus. Es muss also auch hier ein Kompromiss zwischen einer hohen Gasproduktion und guter Nährstoffversorgung gefunden werden.

## 2.5 Literaturverzeichnis

- /2-1/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- /2-2/ Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
- /2-3/ Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- /2-4/ Schattner, S.; Gronauer, A.: „Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen“, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, S. 28-38, Weimar 2000
- /2-5/ Weiland, P., „Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland“, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“, S. 8-27, Weimar 2000
- /2-6/ Wellinger, A.; Baserga, U.; Edelmann, W.; Egger, K.; Seiler, B., Biogas-Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen, Verlag Wurz – Aarau, 1991
- /2-7/ Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19-32; VDI-Verlag 2001
- /2-8/ Maurer, M.; Winkler, J-P., Biogas – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen, Verlag C.F.Müller, Karlsruhe, 1980
- /2-9/ Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe; Tagungsband; Barnstorfer Biogastagung 2000; Ländliche Erwachsenenbildung Niedersachsen (LEB)
- /2-10/ Merkblatt ATV-DVWK-M 363 „Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen“, ATV-DVWK, 2002
- /2-11/ Kroiss, H.: Anaerobe Abwasserreinigung; Wiener Mitteilungen Bd. 62; Technische Universität Wien, 1985
- /2-12/ Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg; Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Potsdam 2001

# 3

## Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung

Die Anlagentechnik zur Biogasbereitstellung weist ein sehr breites Spektrum auf. Dieses Spektrum wird in diesem Kapitel dargestellt. Die Möglichkeiten der Komponenten- und Aggregatkombinationen sind nahezu unbegrenzt. Aus diesem Grund werden die Einzelaggregate mit technischen Beispielen diskutiert. Für den konkreten Anwendungsfall muss jedoch eine fallspezifische Prüfung der Aggregat- und Systemeignung und eine Leistungsanpassung durch Fachpersonal durchgeführt werden.

Weit verbreitet ist bei der Biogasanlagenerrichtung die Übernahme des Auftrages für die Komplettanlage durch einen einzelnen Anbieter, was mit Vor- und Nachteilen für den Bauherrn verbunden ist. Bei einem Einzelanbieter kann als vorteilhaft angesehen werden, dass die eingesetzte Technik in der Regel aufeinander abgestimmt ist und Gewährleistung für die Einzelaggregate und die Gesamtanlage übernommen wird. Damit ist auch die Funktionalität eingeschlossen, die die Erzeugung des Biogases umfasst. Die Übergabe wird häufig erst nach der Inbetriebnahme vereinbart, womit das Risiko der relativ schwierigen Einfahrphase auf den Anlagenhersteller übergeht. Nachteilig ist der relativ geringe Einfluss des Bauherrn auf die Zusammenstellung der Technik im Detail, die eine Kostensenkung zur Folge haben kann.

### 3.1 Merkmale und Unterscheidung verschiedener Verfahrensvarianten

Die Erzeugung von Biogas durch anaerobe Fermentation wird in verschiedenen Verfahrensvarianten durchgeführt. Typische Varianten zeigt Tab. 3-1.

Tab. 3-1: Einteilung der Verfahren zur Biogaserzeugung nach verschiedenen Kriterien

Kriterium	Unterscheidungsmerkmale
Anzahl der Prozessstufen	- einstufig - zweistufig - mehrstufig
Prozesstemperatur	- psychrophil - mesophil - thermophil
Art der Beschickung	- diskontinuierlich - quasikontinuierlich - kontinuierlich
Trockensubstanzgehalt der Substrate	- Nassvergärung - Trockenvergärung

#### 3.1.1 Anzahl der Prozessstufen

Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommen meist ein- oder zweistufige Verfahren zur Anwendung, wobei der Schwerpunkt bei den einstufigen Anlagen liegt /3-1/.

Bei einstufigen Anlagen findet keine räumliche Trennung der verschiedenen Prozessphasen der Vergärung (Hydrolyse, Versäuerungsphase, Essigsäurebildung und Methanbildung) statt. Alle Prozessphasen werden in einem Behälter durchgeführt.

Bei zwei- bzw. mehrstufigen Verfahren wird eine räumliche Trennung der Phasen auf verschiedene Behälter vorgenommen. Bei den zweistufigen Verfahren werden beispielsweise die Hydrolyse und die Versäuerungsphase in einem externen Behälter durchgeführt.

### 3.1.2 Prozesstemperatur

Mesophile Biogasanlagen werden mit Temperaturen zwischen 32 und 38 °C, thermophile Anlagen zwischen 42 und 55 °C betrieben. Dabei sind die Grenzen schwimmend. Die Fermentertemperatur kann darüber hinaus in Abhängigkeit des eingesetzten Substrates optimiert werden. 85 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen arbeiten im mesophilen Bereich. Im thermophilen Bereich arbeitende Anlagen sind teilweise mit einer mesophilen Prozessstufe kombiniert /3-2/.

### 3.1.3 Art der Beschickung

Die Beschickung oder auch Fütterung der Biogasanlage bestimmt in hohem Maße die Verfügbarkeit von frischem Substrat für die Mikroorganismen und wirkt sich damit auf die Biogasfreisetzung aus. Es wird grundsätzlich zwischen kontinuierlicher, quasikontinuierlicher und diskontinuierlicher Beschickung unterschieden.

#### 3.1.3.1 Diskontinuierliche Beschickung

Bei der diskontinuierlichen Beschickung wird zwischen Batchverfahren und Wechselbehälterverfahren unterschieden. Die diskontinuierliche Beschickung hat die größte Bedeutung in der Trockenfermentation.

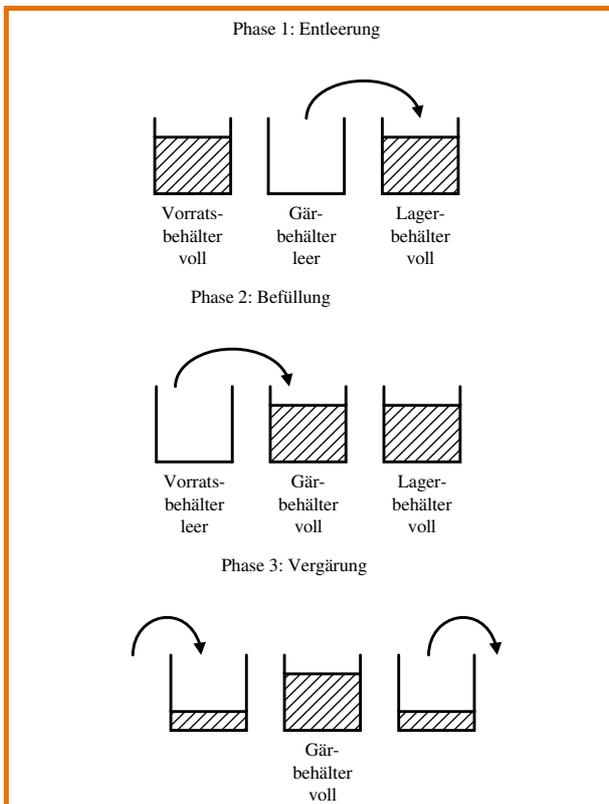


Abb. 3-1: Batchverfahren

#### Batchverfahren

Bei dem Batchverfahren wird der Fermenter komplett mit frischem Substrat gefüllt und luftdicht verschlossen. Das Substrat bleibt bis zum Ende der gewählten Verweilzeit in dem Behälter, ohne dass Substrat hinzugefügt oder entnommen wird. Nach Ablauf der Verweilzeit wird der Fermenter geleert und mit frischem Substrat befüllt, wobei ein geringer Teil des ausgefaulten Materials zur Animpfung im Behälter verbleiben kann. Zur zügigen Befüllung und Leerung des Batchbehälters wird zusätzlich ein Vorrats- und ein Lagerbehälter benötigt.

Bei dem Batchverfahren setzt die Gasproduktion nach der Befüllung langsam ein und nimmt nach Erreichen des Maximums wieder ab. Eine konstante Gasproduktion und -qualität ist somit nicht gegeben. Die Verweilzeit kann durch die Behältergröße eingestellt werden und wird sicher eingehalten /3-2/. Der Verfahrensablauf wird in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt.

### Wechselbehälter-Verfahren

Das Wechselbehälter-Verfahren arbeitet mit zwei Gärbehältern. Der erste Behälter wird langsam und gleichmäßig mit Substrat aus einer Vorgrube befüllt, während das Substrat im zweiten vollgefüllten Behälter ausfällt. Ist die Befüllung des ersten Behälters abgeschlossen, wird der zweite Behälter in einem Zug komplett in einen Lagerbehälter entleert und anschließend wieder langsam befüllt. Das Verfahren veranschaulicht Abbildung 3-2.

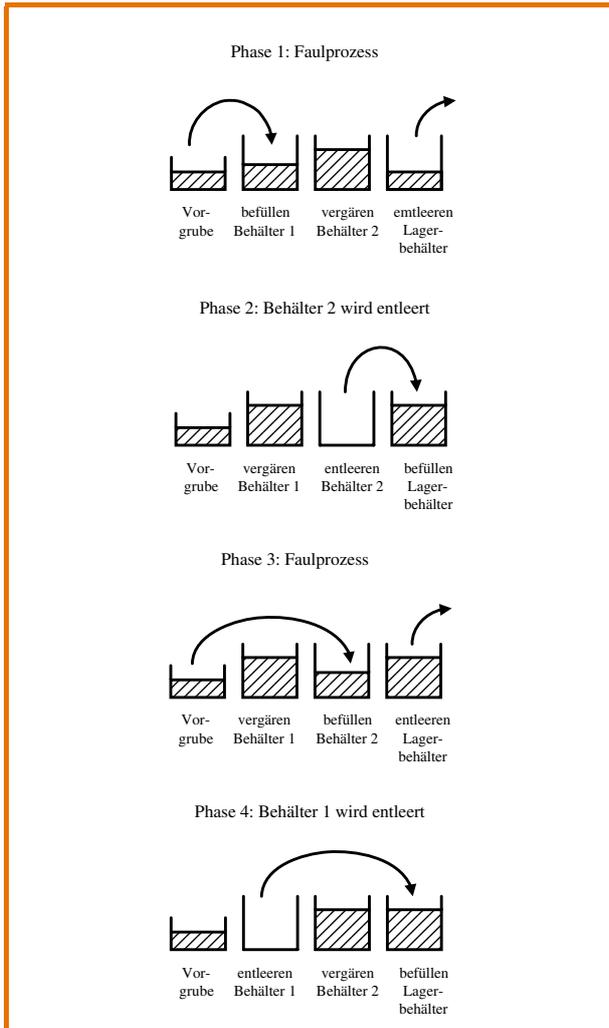


Abb. 3-2: Wechselbehälter-Verfahren

Durch die Verwendung mehrerer Behälter, ist eine gleichmäßige Gasproduktion möglich. Definierte Verweilzeiten können auch mit diesem Verfahren garantiert werden /3-2/.

### 3.1.3.2 Quasikontinuierliche und kontinuierliche Beschickung

Bei der quasikontinuierlichen und der kontinuierlichen Beschickung kann zwischen Durchflussverfahren, Speicherverfahren und dem kombinierten Speicher-Durchflussverfahren unterschieden werden. Im Gegensatz zur kontinuierlichen Beschickung wird bei der quasikontinuierlichen Beschickung mindestens einmal arbeitstäglich eine unvergorene Substratcharge in den Fermenter eingebracht. Vorteilhaft hat sich eine Beschickung in kleinen Chargen mehrmals täglich erwiesen.

#### Durchfluss-Verfahren

Die meisten Biogasanlagen arbeiten nach dem Durchflussverfahren. Aus einem Vorratsbehälter bzw. einer Vorgrube wird das Substrat mehrmals täglich in den Faulbehälter gepumpt. Die gleiche Menge, die dem Fermenter an frischem Substrat zugegeben wird, gelangt über Verdrängung oder Entnahme in das Gärrestlager (vergleiche Abb. 3-3).

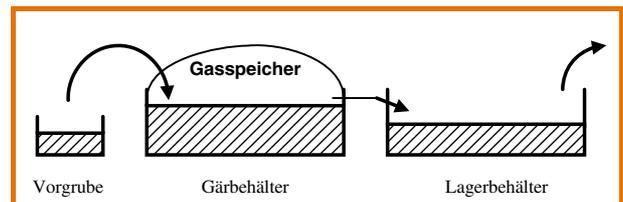


Abb. 3-3: Durchfluss-Verfahren

Der Fermenter ist bei diesem Verfahren somit immer gefüllt und wird nur für Reparaturarbeiten geleert. Dieses Verfahren weist eine gleichmäßige Gasproduktion und eine gute Faulraumauslastung auf. Es besteht jedoch die Gefahr der Kurzschlussströmung durch den Fermenter, d. h. es ist damit zu rechnen, dass ein geringer Teil des frisch eingebrachten Substrates sofort wieder ausgetragen wird /3-2/.

#### Speicher-Verfahren

Fermenter und Gärrestlager sind bei dem Speicherverfahren zu einem Behälter zusammengefasst. Beim Ausbringen des ausgefaulten Substrats wird der kombinierte Faul- und Lagerbehälter bis auf einen Rest, der zum Animpfen des frischen Substrates benötigt wird, geleert. Anschließend wird der Behälter aus einer Vorgrube durch ständige Substratzugabe langsam befüllt. Der Verfahrensverlauf kann Abb. 3-4 entnommen werden. Die Gasproduktion ist weniger gleichmäßig als beim Durchflussverfahren, dagegen können lange Verweilzeiten besser eingehalten werden /3-2/.

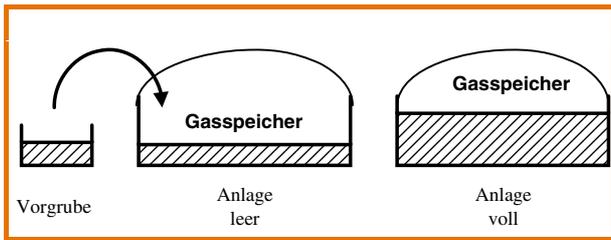


Abb. 3-4: Speicher-Verfahren

### Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren

Bei Biogasanlagen, die nach dem kombinierten Durchfluss-Speicher-Verfahren arbeiten, ist das Gärrestlager ebenfalls abgedeckt. So kann das hier anfängende Biogas aufgefangen und verwertet werden. Das Gärrestlager fungiert so als „Speicheranlage“. Diesem Speicheranlagenteil ist ein Durchflussfermenter vorgeschaltet. Auch aus dem Durchflussfermenter kann, wenn z. B. Bedarf an viel vergorenem Substrat zu Düngezwecken besteht, Substrat entnommen werden. Eine schematische Verfahrensübersicht zeigt Abb. 3-5. Das Verfahren erlaubt eine gleichmäßige Gasproduktion. Die Verweilzeit kann nicht exakt bestimmt werden, da Kurzschlussströmungen im Durchflussfermenter möglich sind [3-2/].

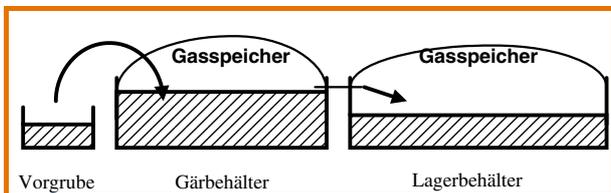


Abb. 3-5: Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren

Tabelle 3-2: Eigenschaften von Biogasreaktoren mit Pfropfenströmung; nach [3-3/ und [3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugröße bei liegenden Fermentern bis 800</li> <li>• aus Stahl oder Beton</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für pumpfähige Substrate mit hohem Trockensubstanzgehalt geeignet; Rühr- und Fördertechnik muss an Substrate angepasst werden</li> <li>• für quasikontinuierliche bzw. kontinuierliche Beschickung vorgesehen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kompakte, kostengünstige Bauweise bei Kleinanlagen</li> <li>+ Trennung der Gärstufen im Pflöfenstrom</li> <li>+ bauartbedingte Vermeidung von Schwimmdecken und Sinkschichten</li> <li>+ Einhaltung von Verweilzeiten durch weitgehende Vermeidung von Kurzschlussströmungen</li> <li>+ geringe Verweilzeiten</li> <li>+ effektiv beheizbar, auf Grund der kompakten Bauweise geringe Wärmeverluste</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nur in geringen Größen wirtschaftlich herstellbar</li> <li>- Wartungsarbeiten am Rührwerk erfordern die vollständige Entleerung des Gärbehälters</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• können horizontal liegend und vertikal stehend hergestellt werden, wobei sie meist liegend angewendet werden</li> <li>• in stehender Bauform wird die Pflöfenströmung meist durch vertikale, selten durch horizontale Einbauten realisiert</li> <li>• können mit und ohne Durchmischungseinrichtungen betrieben werden</li> </ul>

### 3.1.4 Trockensubstanzgehalt der Gärsubstrate

Die Konsistenz der Substrate ist von ihrem Trockensubstanzgehalt abhängig. Nassvergärungsverfahren arbeiten mit pumpfähigen Substraten. Bei der Trockenvergärung kommen stapelbare Substrate zum Einsatz.

Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen kommt fast ausschließlich die Nassvergärung zur Anwendung. Bei den ausgeführten Trockenvergärungsanlagen handelt es sich zum größten Teil um Versuchs- bzw. Pilotanlagen.

#### 3.1.4.1 Nassvergärungsverfahren

Für die Vergärung pumpfähiger Substrate können Pflöfenströmungsverfahren, Verfahren mit Voll- durchmischung und Sonderverfahren zum Einsatz kommen.

#### Pflöfenströmungsverfahren

Biogasanlagen mit Pflöfenströmung, die auch als Tank-Durchflussanlagen bekannt sind, nutzen den Verdrängungseffekt von zugeführtem frischem Substrat, um eine Pflöfenströmung durch einen in der Regel liegenden Fermenter mit rundem oder rechteckigem Querschnitt hervorzurufen. Eine Durchmischung quer zur Strömungsrichtung wird meist durch Paddelwellen oder eine speziell konstruierte Strömungsleitung realisiert. Die Eigenschaften solcher Anlagen sind in Tabelle 3-2 charakterisiert. Der schematische Aufbau wird durch das Beispiel in Abb. 3-6 veranschaulicht.



Tabelle 3-3: Eigenschaften von volldurchmischten Biogasreaktoren; nach [3-3] und [3-1]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugröße bis oberhalb von 6000 m<sup>3</sup> möglich, die Durchmischung und die Prozesskontrolle werden aber mit zunehmender Größe schwieriger zu realisieren</li> <li>• aus Stahl oder Beton</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für pumpfähige Substrate mit geringem und mittlerem Trockensubstanzgehalt geeignet; Rühr- und Fördertechnik muss an Substrate angepasst werden</li> <li>• für quasikontinuierliche, kontinuierliche und diskontinuierliche Beschickung geeignet</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kostengünstige Bauweise bei Reaktorvolumina oberhalb 300 m<sup>3</sup></li> <li>+ variabler Betrieb als Durchfluss-, Durchfluss-Speicher-, oder Speicherverfahren</li> <li>+ technische Aggregate können je nach Bauart meist ohne Fermenterleerung gewartet werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abdeckung der Fermenter ist bei großen Anlagen aufwändig</li> <li>- Kurzschlussströmungen sind möglich, dadurch keine Sicherheit bei der Verweilzeitangabe</li> <li>- Schwimmdecken- und Sinkschichtenbildung möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stehende zylindrische Behälter oberirdisch oder ebenerdig abschließend</li> <li>• können mit und ohne Durchmischung betrieben werden</li> <li>• die Durchmischungseinrichtungen müssen sehr leistungsfähig sein; bei ausschließlicher Güllevergärung kann auch eine pneumatische Umwälzung durch Biogaseinpressung eingesetzt werden</li> <li>• Umwälzungsmöglichkeiten: Rührwerke im freien Reaktorraum, axiales Rührwerk in einem zentralen vertikalen Leitrohr, hydraulische Umwälzung mit externen Pumpen, hydraulische Umwälzung durch Biogaseinpressung in ein vertikales Leitrohr, hydraulische Umwälzung durch flächige Biogaseinpressung durch Düsen am Reaktorboden</li> </ul>

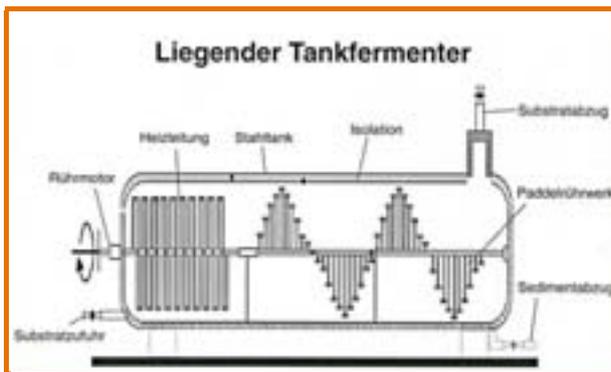


Abb. 3-6: Pfropfenstromreaktor [3-4]



Abb. 3-7: Volldurchmischter Fermenter, Schnittdarstellung: Biogas Nord GmbH

### Verfahren mit Volldurchmischung

Vorwiegend im Bereich der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung werden volldurchmischte Reaktoren in zylindrischer, stehender Bauform angewendet. Sie entsprechen im Wesentlichen Standardgüllelagern, die nach entsprechenden Umbauten auch genutzt werden können. Die Fermenter bestehen aus einem Behälter mit Betonboden und Wänden aus Stahl oder Stahlbeton. Der Behälter kann ganz oder teilweise im Boden versenkt oder vollständig oberirdisch errichtet werden. Auf den Behälter wird gasdicht eine Decke aufgebaut, die je nach Anforderungen und Konstruktionsweise verschiedenartig ausgeführt wird. Die Volldurchmischung wird durch Rührwerke im bzw. am Reaktor realisiert. Die spezifischen Eigenschaften werden in Tabelle 3-3 dargestellt, ein Schnittbild zeigt Abb. 3-7.

### Sonderverfahren

Abweichend von den oben genannten, sehr weit verbreiteten Verfahren für die Nassvergärung existieren weitere Verfahren, die nicht klar den oben genannten Kategorien zugeordnet werden können. Meist haben diese Verfahren lokale bzw. sehr geringe Bedeutung auf dem Markt.

Relativ weit verbreitet sind in Deutschland Vergärungsverfahren, die die Substratdurchmischung in **Doppelkammerverfahren** realisieren. Dabei wird die hydraulische Substratumwälzung durch automatischen Druckaufbau resultierend aus der Gasproduk-

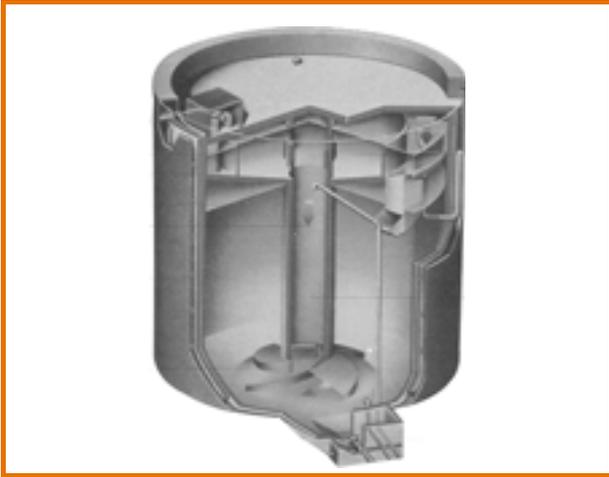


Abb. 3-8: Doppelkammer-Fermenter; Abbildung: ENTEC Environment Technology Umwelttechnik GmbH

tion und Druckablass bei Erreichen eines festgelegten Überdruckes erreicht. Dadurch kann auf den Einsatz elektrischer Energie für die Umwälzung verzichtet werden. Dafür ist der bauliche Aufwand für den Fermenter höher. Es wurden im landwirtschaftlichen Bereich über 50 auf dieser Technologie basierende Biogasanlagen mit Fermentervolumina zwischen 400 und 2500 m<sup>3</sup> im Wesentlichen für die reine Gülle- oder Klärschlammvergärung errichtet. Der Aufbau eines Doppelkammer-Fermenters wird in Abb. 3-8 veranschaulicht.

### 3.1.4.2 Trockenvergärungsverfahren

Für landwirtschaftliche Betriebe, denen keine Gülle als Basissubstrat zur Verfügung steht, ist die Biogasgewinnung durch Nassvergärung mit großem technischem Aufwand zu realisieren. Um die Substrate für die Nassvergärung aufzubereiten, müssen sie mit hohem Energie- und Wasserbedarf verflüssigt bzw. angemischt werden. Eine Alternative ist hier die im Versuchs- oder Prototypenstadium befindliche Biogasgewinnung durch Trockenvergärung. Die derzeit auf dem Markt angebotenen Verfahren haben die Entwicklung jedoch weitgehend noch nicht abgeschlossen. Aus diesem Grund wird die Darstellung der Trockenfermentationsverfahren relativ kurz gehalten /3-5/, /3-6/. Die Spezifika der Trockenvergärung sind in Tabelle 3-4 zusammengefasst. Bei einer Weiterentwicklung der Verfahren und nach dem Ausräumen der vorhandenen Probleme könnte die Trockenvergärung für viehlose landwirtschaftliche Betriebe eine Alternative zur Nassvergärung bieten.

#### Containerverfahren

Im Containerverfahren werden Mobil- oder Einschub-Fermenter mit Biomasse befüllt und luftdicht verschlossen. Die im Impfsupstrat, das dem frischen Substrat beigemischt wird, enthaltenen Mikroorganismen erwärmen das Substrat in einer ersten Phase, in der dem Fermenter Luft zugeführt wird. Es findet ein

Tabelle 3-4: Eigenschaften der Trockenvergärung; nach /3-5/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugröße durch modulare Bauweise nicht begrenzt</li> <li>• Konstruktion aus Stahl oder Beton</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für stapelbare Substrate geeignet</li> <li>• für quasikontinuierliche, kontinuierliche und diskontinuierliche Beschickung geeignet</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ modularer Aufbau ermöglicht flexible Anpassung der Anlage an den Bedarf</li> <li>+ verringerter Prozessenergiebedarf durch Einsparung von Fördertechnik</li> <li>+ dadurch verminderter Wartungsaufwand und Verschleiß</li> <li>+ Entstehung eines Biogases mit geringer Schwefelwasserstoffkonzentration und dadurch Einsparung der Gasreinigung</li> <li>+ überbetrieblicher Einsatz durch mobile Fermentertechnik</li> <li>+ Einsparung von Energie zur Erwärmung des Gärsubstrates durch Nutzung der biologischen Wärmefreisetzung bei kurzzeitigem aerobem Abbau des Materials</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eine kontinuierliche Gasproduktion erfordert den phasenversetzten Betrieb mehrerer Module</li> <li>- auf Grund fehlender Durchmischung können Zonen mit verminderter Gasbildung auftreten</li> <li>- um einen hohen Gasertrag zu erzielen, ist der Einsatz hoher Impfmateriallengen notwendig</li> <li>- für die explosions sichere Befüllung und Entleerung muss Sicherheitstechnik installiert werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Container, Boxen</li> <li>• Schläuche, Tunnel</li> <li>• liegende Pfropfenstromfermenter</li> </ul>





Abb. 3-9: Einschub-Fermenter mit Abrollcontainer, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH



Abb. 3-10: Boxen-Fermenter beim Befüllen, Prototypenstadium; Foto: Bioferm GmbH

mit Wärmefreisetzung verbundener Kompostierungsprozess statt. Nachdem die Betriebstemperatur erreicht ist, wird die Luftzufuhr abgeschaltet. Nachdem der eingetragene Sauerstoff verbraucht worden ist, werden Mikroorganismen aktiv, die wie in der Nassvergärung die Biomasse zu Biogas umsetzen. Das Biogas wird in an den Fermenter angeschlossenen Gassammelleitungen aufgefangen und der energetischen Nutzung zugeführt /3-1/. Ein Beispiel für ein Container-Trockenfermentationsverfahren ist in Abb. 3-9 dargestellt.

#### Boxen-Fermenter

Boxen-Fermenter ähneln geometrisch Containerfermentern, sie sind allerdings garagenartig aus Fertigbetonteilen aufgebaut /3-3/, /3-5/, /3-6/. Der Prozessablauf entspricht dem in Containerfermentern. Abb. 3-10 zeigt ein Beispiel.

#### Folienschlauch-Fermenter

Für Folienschlauch-Fermenter werden die aus der Siliertechnik bekannten Methoden der Folienschlauchsilierung verwendet. Auch hier wird der aerobe Kompostierungsprozess für die erste Erwärmung des

Substrates genutzt. Zur weiteren kontinuierlichen Wärmeeinbringung können die Schläuche auf einer Betonplatte, in der eine Fußbodenheizung integriert ist, verlegt werden. Zur Verminderung von Wärmeverlusten kann der Folienschlauch bei der Befüllung mit einer Wärmedämmung überzogen werden /3-5/. Über in den Schlauch integrierte Sammelleitungen wird das nach Verbrauch des Sauerstoffes gebildete Biogas gefasst und der Nutzung zugeführt. Ein Anwendungsbeispiel ist in Abb. 3-11 dargestellt.



Abb. 3-11: Folienschlauchbefüllung; Foto: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

### Wannen- bzw. Tunnelfermenter

Vergleichbar zu den Folienschlauchfermentern werden Vergärungssysteme entwickelt, die einen quasi-kontinuierlichen Prozess in Wannen bzw. Tunneln ermöglichen. Der Verfahrensablauf stimmt weitestgehend mit dem im Folienschlauch überein, lässt sich jedoch besser kontrollieren. Ein Beispiel für ein derartiges Verfahren wird in Abb. 3-12 dargestellt.

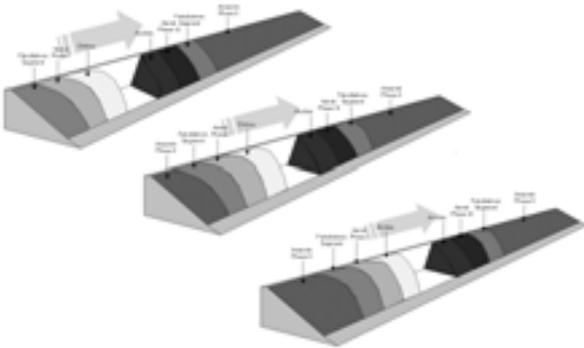


Abb. 3-12: Kombinierte Trockenfermentation mit dem 3-A-Verfahren, schematisch; Abbildung: S.I.G. - Dr.-Ing. Steffen GmbH

### Pfropfenstromfermenter

Im Bereich der Abfallwirtschaft werden bereits seit einiger Zeit erfolgreich Pfropfenstromfermenter für die Trockenvergärung eingesetzt. Sie werden als liegende und als stehende Fermenter konstruiert und kontinuierlich oder quasikontinuierlich beschickt. Teilweise integrierte Rührwellen dienen der leichteren Entgasung des Materiales. In der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung spielen diese Verfahren auf Grund des hohen technischen Aufwandes der kontinuierlichen Technik jedoch derzeit keine Rolle. Abb. 3-13 veranschaulicht beispielhaft die Technologie. Der Schnittdarstellung eines Pfropfenstromfermenters entspricht Abb. 3-6.



Abb. 3-13: Pfropfenstromfermenter; Foto: Kompogas AG

## 3.2 Verfahrenstechnik

Grundsätzlich kann eine landwirtschaftliche Biogasanlage unabhängig von der Betriebsweise in vier verschiedene Verfahrensschritte unterteilt werden:

1. Anlieferung, Lagerung, Aufbereitung, Transport und Einbringung der Substrate
  2. Biogasgewinnung
  3. Gärrestlagerung und evtl. -aufbereitung und Ausbringung
  4. Biogasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung
- Die einzelnen Schritte werden in Abb. 3-14 detailliert dargestellt.

Die vier Verfahrensschritte sind voneinander nicht unabhängig. Besonders zwischen Schritt 2 und Schritt 4 besteht eine enge Verbindung, da Schritt 4 normalerweise die in Schritt 2 benötigte Prozesswärme zur Verfügung stellt.

Die zu Schritt 4 gehörende Aufbereitung und Verwertung des Biogases ist in Kapitel 5 und die Aufbereitung und Behandlung des Gärrestes in Kapitel 8 gesondert dargestellt.

Welche verfahrenstechnische Ausrüstung für die Anlage gewählt wird, ist in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Substraten abhängig. Die Menge der Substrate bestimmt die Dimensionierung aller Aggregate und der Behältervolumina. Die Qualität der Substrate (TS-Gehalt, Struktur, Herkunft usw.) bestimmt die Auslegung der Verfahrenstechnik. Je nach Zusammensetzung der Substrate kann es notwendig sein, Störstoffe abzutrennen oder die Substrate durch Zugabe von Wasser anzumaischen, um sie in einen pumpfähigen Zustand zu überführen. Werden Stoffe verwendet, die einer Hygienisierung bedürfen, ist es notwendig, eine Hygienisierungsstufe einzuplanen. Das Substrat gelangt nach der Vorbehandlung in den Fermenter, wo es vergoren wird.

Bei der Nassvergärung kommen meistens einstufige Anlagen, die nach dem Durchflussverfahren arbeiten, zum Einsatz. Bei zweistufigen Verfahren ist dem eigentlichen Fermenter ein Vorfermenter vorgeschaltet. Im Vorfermenter werden die Bedingungen für die ersten zwei Stufen des Abbauprozesses (Hydrolyse und Säurebildung) optimal eingestellt. Das Substrat gelangt nach dem Vorfermenter in den Hauptfermenter, in dem die nachfolgenden Abbaustufen stattfinden. Der Gärrest wird in geschlossenen Nachfermentern mit Biogasnutzung oder offenen Gärrestbehältern gelagert und in der Regel als Flüssigdünger auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht.

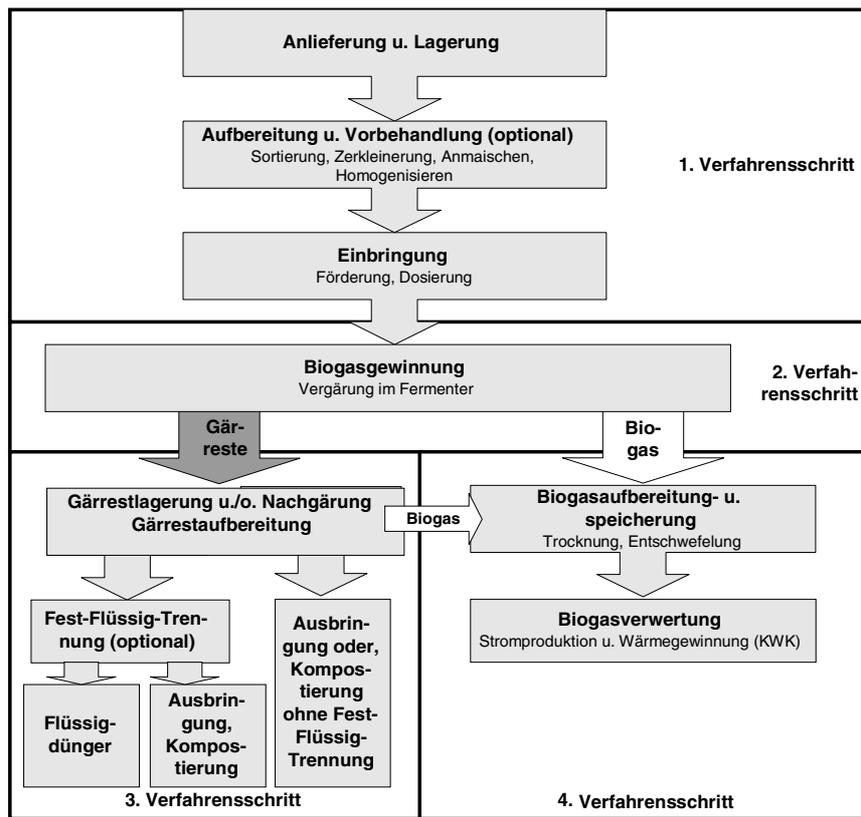


Abb. 3-14: Allgemeiner Verfahrensablauf bei der Biogasgewinnung; nach [3-3/]

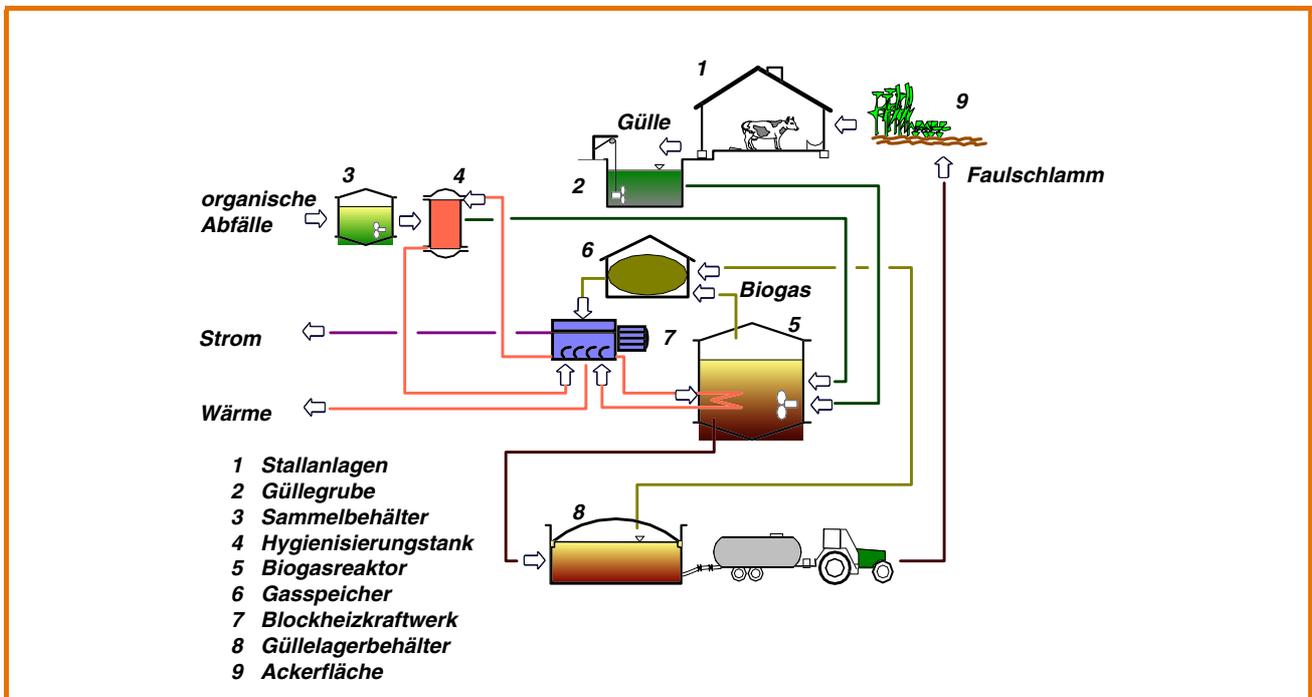


Abb. 3-15: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Verwendung von Kosubstraten; Schema: B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim

Das bei der Vergärung entstehende Biogas wird gespeichert und aufbereitet. Seine Verwertung erfolgt meistens in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme. In Abb. 3-15 sind die wesentlichen Anlagenkomponenten, Baugruppen und Aggregate einer einstufigen landwirtschaftlichen Biogasanlage bei Verwendung zu hygienisierender Kosubstrate dargestellt.

Die Verfahrensschritte stellen sich hier wie folgt dar: Zu dem ersten Verfahrensschritt (Lagerung, Aufbereitung, Transport und Einbringung der Substrate) gehören die Gülle- bzw. Vorgrube (2), der Sammelbehälter (3) und der Hygienisierungstank (4). Der zweite Verfahrensschritt (Biogasgewinnung) wird im Biogasreaktor (5), der auch als Fermenter bezeichnet wird, durchgeführt. Der dritte Verfahrensschritt wird durch den Güllelagerbehälter (8) bzw. das Gärrestlager und die Ausbringung des vergorenen Substrates auf die Ackerfläche (9) dargestellt. Der vierte Verfahrensschritt (Biogasspeicherung, -aufbereitung und -verwertung) wird in dem Gasspeicher (6) und dem Blockheizkraftwerk (7) durchgeführt. Die einzelnen Verfahrensschritte sollen im weiteren Verlauf genauer betrachtet werden.

### 3.2.1 Substrathandling

Die auf dem Weg der verschiedenen Substrate in den Biogasfermenter notwendigen Schritte werden unter dem Oberbegriff Substrathandling zusammengefasst. Im Einzelnen umfasst das Substrathandling die Anlieferung, die Lagerung, die Aufbereitung, den Transport und die Einbringung der Substrate.

#### 3.2.1.1 Anlieferung

Die Anlieferung spielt nur bei der Verwertung von betriebsfremden Kosubstraten eine wichtige Rolle. Für die Abrechnung und Nachweisführung ist bei der Anlieferung eine Eingangskontrolle des Substrates, die in der Regel visuell durchgeführt wird, unerlässlich. Gleichzeitig ist das Anlieferungsgewicht zu erfassen und alle Eingangsdaten zu protokollieren. Besondere Beachtung ist Substraten zu widmen, die als Abfall klassifiziert sind. Hier kann je nach Einstufung des Abfalls eine Nachweisführungspflicht bestehen oder von der zuständigen Behörde gefordert werden. Weitere Informationen zu rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen können in Kapitel 7 nachgelesen werden.

#### 3.2.1.2 Lagerung

Substratlager dienen in erster Linie dazu, Schwankungen bei der Bereitstellung und Anlieferung der verschiedenen Substrate und Kosubstrate auszugleichen. Die Gestaltung der Lager ist von den verwendeten Substraten abhängig. Die für die Lager benötigte Fläche richtet sich nach den zu erwartenden Stoffmengen und den auszugleichenden Zeiträumen. Werden betriebsfremde Kosubstrate verwendet, spielen vertragliche Bedingungen wie Abnahmemenge und Häufigkeit der Lieferung eine Rolle. Werden hygienisch bedenkliche Kosubstrate aus z. B. industrieller Herkunft verwendet, ist auf eine strikte Abtrennung der Annahmestation vom landwirtschaftlichen Betrieb zu achten. Es darf keine Vermischung von hygienisch bedenklichem und unbedenklichem Substrat vor dem Durchlauf durch die Hygienisierungseinrichtung möglich sein. Zur Minimierung von Gerüchen, aber auch aus praktischen Gesichtspunkten sollte die Annahme, Lagerung und Aufbereitung der Substrate in Hallen, deren Abluft über Biofilter gereinigt wird, durchgeführt werden. So ist die Technik geschützt und Bedien- sowie Kontrollarbeiten können witterungsunabhängig durchgeführt werden /3-1/. Tabelle 3-5 zeigt die Lagerung von Substraten im Überblick.

#### 3.2.1.3 Aufbereitung

Art und Umfang der Substrataufbereitung beeinflussen den Ablauf des Gärprozesses und damit die Ausnutzung des energetischen Potenziales der verwendeten Substrate. Ziel der Aufbereitung muss es sein, auf der einen Seite gesetzlichen Ansprüchen wie der Hygienisierung und auf der anderen Seite den Mikroorganismen als Erzeuger des Methans, also des beabsichtigten Produktes, weitestgehend gerecht zu werden. In der Substrataufbereitung liegt eines der beiden großen Potenziale der Optimierung der Gesamtanlage. Dabei bewegt man sich auf dem Grat zwischen Unter- und Überlastung der Biogasanlage.

In der Klärgasproduktion bereits im Einsatz, in der Biomassevergärung noch im Forschungsstadium, kann bei der Aufbereitung das organische Material durch Desintegration aufgeschlossen werden. Damit kann eine bessere Verfügbarkeit des Substrates für die Mikroorganismen erreicht werden, die zu erhöhten Abbauraten führen soll. Da sich die Desintegration noch im Versuchsstadium befindet, wird sie hier nicht weiter ausgeführt.



Tabelle 3-5: Lagerung von Substraten vor der Vergärung

Dimensionierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>abhängig von: Substrataufkommen, Fermenterleistung, auszugleichenden Lieferzeiträumen, Flächenausstattung und Ertrag bei Kosubstraten, Lieferverträgen bei betriebsfremden Substraten</li> <li>Betriebsstörungen müssen abgefangen werden können</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei nachwachsenden Rohstoffen, die auf Stilllegungsflächen angebaut wurden, ist eine Denaturierung durchzuführen</li> <li>es sollte das Einfrieren von technischen Einrichtungen bei der Lagerung vermieden werden, beispielsweise durch Isolierung, Aufstellung von Lagertanks in Hallen oder Nutzung von Gruben unter Geländeniveau</li> <li>Abbauprozesse, die den Gasertrag mindern, sollten vermieden werden</li> <li>Vermischung von hygienisch bedenklichen und hygienisch unbedenklichen Substraten muss vermieden werden</li> <li>Geruchsentwicklung sollte durch bauliche Maßnahmen minimiert werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>in der Landwirtschaft übliche Lager als Fahrsilo oder Grube, für flüssige Substrate Tanks</li> <li>Vorgruben können als kurzfristige Lager bis zu circa drei Tagen genutzt werden</li> </ul>
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>in der Regel sind Lager vorhanden, für Neubauten muss der Preis in Abhängigkeit der Vielzahl der oben genannten Einflussgrößen für den Einzelfall ermittelt werden</li> </ul>

### Sortierung und Störstoffabtrennung

Die Notwendigkeit einer Sortierung und Störstoffabtrennung hängt von der Herkunft und Zusammensetzung des Substrates ab. Steine, die den am häufigsten auftretenden Störstoff darstellen, werden meist in der Vorgrube abgetrennt, von deren Boden sie von Zeit zu Zeit entnommen werden müssen. Andere Störstoffe werden manuell bei der Substratanlieferung oder der Befüllung der Beschickungseinrichtungen aussortiert. Das größte Störstoffpotenzial haben Bioabfälle.

### Hygienisierung

Um die gesetzlich vorgeschriebenen Kriterien für einige aus Sicht der Seuchen- und Phytohygiene kritische Stoffgruppen zu erfüllen, ist es unter Umständen notwendig, eine thermische Vorbehandlung in die Biogasanlage zu integrieren. Die Vorbehandlung erfolgt durch Erwärmung der Stoffe auf eine Temperatur von 70 °C bei mindestens einer Stunde Verweilzeit /3-7/.

Da die Größen der zur Hygienisierung verwendeten Behälter und der Energieaufwand von der Durchsatzmenge abhängen, wird die Hygienisierung in der Regel vor der Einbringung bedenklicher Kosubstrate in den Fermenter durchgeführt. So ist es möglich, nur die bedenklichen Stoffe zu hygienisieren und damit die Hygienestufe wirtschaftlicher zu dimensionieren. Die Stoffe werden außerdem thermisch aufgeschlossen und sind dadurch besser vergärbar.

Die Hygienisierung kann in beheizbaren Edelstahlbehältern durchgeführt werden. Verwendet werden häufig Behälter aus der Fütterungstechnik. Die Hygienisierung wird mittels Füllstands-, Temperatur- und Druckmesseinrichtungen überwacht und doku-

mentiert. Die Temperatur des Substrates ist nach der Hygienisierung höher als die im Fermenter vorherrschende Prozesstemperatur. Soll das hygienisierte Substrat direkt in den Fermenter gegeben werden, ist eine Abkühlung auf eine Temperatur im Bereich der Fermentertemperatur notwendig. Beispielhaft werden Hygienisierungsbehälter in Abb. 3-16 dargestellt, spezifische Eigenschaften von Hygienisierungsbehältern werden in Tabelle 3-6 zusammengefasst.

### Zerkleinerung

Die Substratzerkleinerung erschließt Substratoberflächen für den biologischen Abbau und damit auch für die Methanproduktion. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass mit einem höheren Zerkleinerungsgrad die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus, aber nicht zwingend die Gasausbeute steigt. Die Methanproduktion folgt unter anderem aus dem Zusammenspiel von Aufenthaltszeit und Zerkleinerungsgrad. Daher muss großer Wert auf den richtigen Technikeinsatz gelegt werden. Die Zerkleinerung der Substrate kann vor der Einbringung bzw. Förderung installiert werden. Häufig ist jedoch eine direkte Kopplung von Zerkleinerung und Förderung oder sogar eine Vereinigung in einem einzelnen Aggregat zu verzeichnen. Der Antrieb der Aggregate erfolgt meist über einen Elektromotor, teilweise ist auch der Anschluss an die Antriebswelle eines Traktors möglich.

Für die direkte Feststoffeinbringung ist die Zerkleinerungstechnik meist im Vorlagebehälter installiert. Ein Beispiel zeigt Abb. 3-17. Eigenschaften von Zerkleinerungsaggregaten bei der direkten Feststoffdosierung werden in Tabelle 3-7 zusammengefasst.

Tabelle 3-6: Kennwerte und Einsatzparameter von Hygienisierungsbehältern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen: Hygienisierungsbehälter bis zu 50 m<sup>3</sup> Inhalt werden in Biogasanlagen eingesetzt</li> <li>• Heizung: innenliegend oder Doppelwandbehälter</li> <li>• Dauer: Es müssen zu der einen Stunde Hygienisierungszeit Befüllvorgang, Aufheizen und Entleeren für die Dimensionierung berücksichtigt werden</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für die üblichen Hygienisierungsbehälter muss das Substrat pumpfähig sein und daher gegebenenfalls vor der Hygienisierung vorbehandelt werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• automatische Registriervorrichtung für den Hygienisierungsverlauf ist zwingend vorzusehen</li> <li>• das heiße hygienisierte Substrat sollte nicht direkt in den Fermenter gegeben werden, da die Biologie die hohen Temperaturen nicht verträgt</li> <li>• es darf keine Vermischung von hygienisch bedenklichem und unbedenklichem Material möglich sein</li> <li>• je nach Substrat ist mit der Ablagerung von Sand und Schwerstoffen zu rechnen</li> <li>• Druckausgleich bei der Erwärmung muss möglich sein</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einwandige Edelstahlbehälter mit interner Heizung oder doppelwandige Edelstahlbehälter mit Wandheizung oder Gegenstromwärmetauschern bzw. außenliegenden Wärmetauschern</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es ist mindestens ein Mannloch im Behälter vorzusehen</li> <li>• je nach installierter Technik (Temperaturfühler, Rührwerke, Pumpen) ist Wartung notwendig, der Behälter selbst sollte ohne Wartung auskommen</li> </ul>



Abb. 3-16: Hygienisierung mit Rückkühlung  
Foto: TEWE Elektronik GmbH & Co. KG

Einige pumpfähige Substrate müssen vor dem Durchlauf durch die Beschickungseinrichtung zerkleinert werden, um deren Funktion nicht zu gefährden. Die Zerkleinerung wird entweder vor Aufgabe der Substrate in die Vorgrube, in der Vorgrube, in der Pumpleitung vor der Förderpumpe oder direkt in der Fördereinrichtung durchgeführt. Die Möglichkeiten der Zerkleinerung werden in den Abb. 3-18 und 3-19 sowie den Tabellen 3-8 bis 3-11 dargestellt und erläutert.



Abb. 3-17: Vorlagebehälter  
Fotos: Konrad Pumpe GmbH

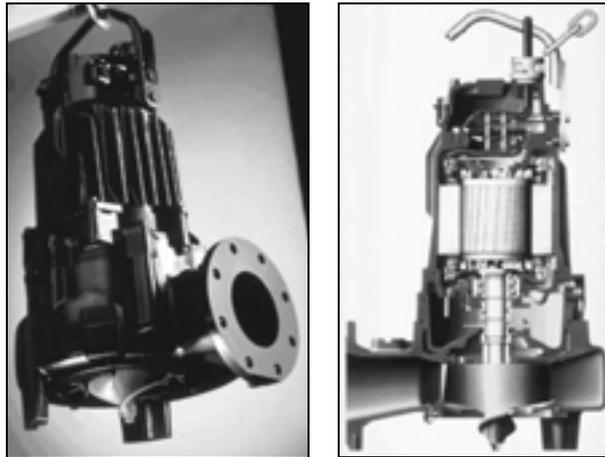


Abb. 3-18: Tauchpumpe mit Schneidkanten am Rotor als Beispiel der Einheit aus Zerkleinerungs- und Förderaggregat  
Fotos: ITT FLYGT Pumpen GmbH

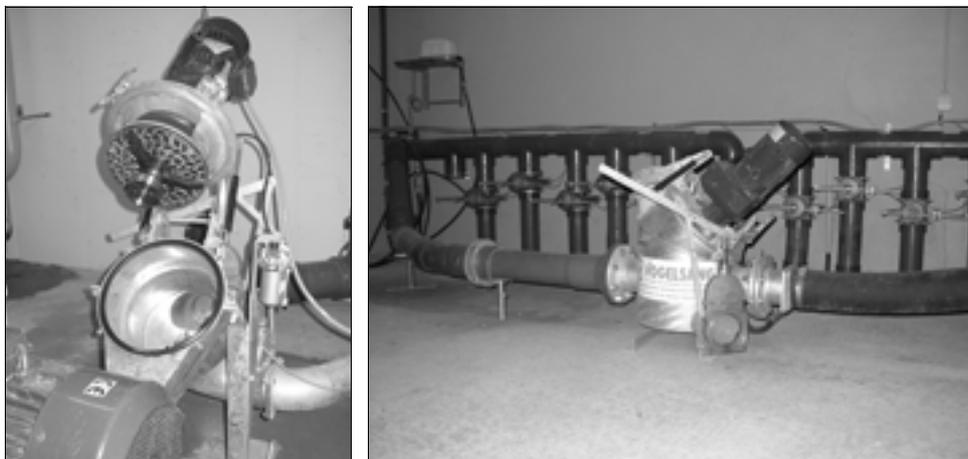


Abb. 3-19: Substratzerkleinerung in der Förderleitung; Fotos: Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Tabelle 3-7: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten bei der direkten Feststoffdosierung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zu 50 t täglich können mit marktüblichen Einzelaggregaten zerkleinert werden</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• übliche Silagen, CCM, Mist aus der Viehhaltung (auch Geflügel), Altbrot, Gemüse</li> <li>• für langfaserige Stoffe sind Zahnwalzen eher geeignet</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ große Durchsatzmengen</li> <li>+ einfache Befüllung mit Radlader oder Greifer</li> <li>+ großes Vorratsvolumen zur automatisierten Steuerung von Zerkleinerung und Beschickung</li> <li>+ Einsatz robuster Technik</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mögliche Brückenbildung über dem Zerkleinerungswerkzeug, die aber stark von der Geometrie des Vorlagebehälters abhängt</li> <li>- vollständiger manueller Materialausbau im Havariefall</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paddelwellen vermindern die Gefahr der Brückenbildung über dem Zerkleinerungswerkzeug</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Futtermischwagen mit installierten Schneidmessern als Feststoffdosierer</li> <li>• Vorlagebehälter mit schneidenden Schnecken zur Zerkleinerung und Förderung</li> <li>• Vorlagebehälter mit reißenden Paddelwellen zur Zerkleinerung und Förderung</li> <li>• Vorlagebehälter mit Dosierung des stapelfähigen Substrates durch ein Fräswerk</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nach Herstellerangaben sind die Geräte wartungsarm, Wartungsverträge werden angeboten</li> <li>• die Wartung sollte innerhalb der Beschickungspausen möglich sein</li> </ul>

Tabelle 3-8: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten vor Aufgabe des Substrates in die Vorgrube

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistung: z.B. 1 m<sup>3</sup> pro Stunde und Kilowatt in der Mühle</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kartoffeln mit Steinen, Rüben, Grünabfälle (Mühle)</li> <li>• übliche Silagen, CCM, Mist aus der Viehhaltung (auch Geflügel), Altbrot, Gemüse; für langfaserige Stoffe sind Zahnwalzen eher geeignet (Futtermischwagen)</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien</li> <li>+ es kann ein Vorrat an zerkleinertem Substrat vorbereitet und vorgehalten werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei Verstopfungen o.ä. muss das Aggregat mit der Hand entleert werden</li> <li>- manuelle Befüllung des Aggregates</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlagebehälter in verschiedenen Größen können installiert werden</li> <li>• die Höhe der Vorlagebehälter sollte an die verfügbare Maschinenteknik angepasst sein</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• freistehende Feststoffmühle</li> <li>• Einsatz von Futtermischwagen mit Schneid- oder Reißwerkzeugen möglich</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kann vertraglich mit dem Hersteller vereinbart werden und ist in Abhängigkeit der verarbeiteten Substrate notwendig</li> <li>• für Überbrückung von Wartungsintervallen kann ein Vorrat an zerkleinertem Material vorgehalten werden</li> </ul>

Tabelle 3-9: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsrührwerken in der Vorgrube

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsaufnahme: in den üblichen Größenordnungen der Rührwerkstechnik mit einem Leistungszuschlag um 6 kW bei Rührwerken mit 5-15 kW</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festmist, Speisereste, Grünschnitt, Stroh</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ direkte Feststoffaufnahme in die Vorgrube</li> <li>+ keine zusätzlichen Aggregate notwendig</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich</li> <li>- Gefahr der Schwimmdeckenbildung und Sinkschichtenbildung in Abhängigkeit des Substrates</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei direkter Feststoffeinbringung in den Fermenter, z. B. über Einspülschächte können Zerkleinerungsrührwerke auch im Fermenter eingesetzt werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in der Regel als Rührwerksflügel mit Schneidmessern bzw. zusätzlicher Montage von Schneidmessern auf der Rührwerksachse</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• je nach Rührwerkstyp kann die Wartung ohne Prozessunterbrechung außerhalb der Vorgrube oder des Fermenters durchgeführt werden</li> </ul>

Tabelle 3-10: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten in der Förderleitung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerkleinerer bis 150 m<sup>3</sup>/h Förderleistung bei 5 % TS (bei 1,5 - 11 kW)</li> <li>• Kenndaten der Aggregate hängen sehr stark vom Trockensubstanzgehalt ab, die Leistungen sinken mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt stark</li> <li>• Drehkolbenpumpen: bis 350 m<sup>3</sup>/h Zerkleinerungsleistung</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerkleinerer: Substrate dürfen keine Steine enthalten, ansonsten für stapelbare und faserige Substrate</li> <li>• Drehkolbenpumpen: pumpfähige Substrate ohne größere Steine</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien</li> <li>+ bei Verstopfungen können die Aggregate leicht geöffnet und gewartet werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Aggregate sollten durch Schieber von der Substratleitung getrennt werden können</li> <li>• für den Havariefall kann eine über Schieber zu bedienende Umgehung sinnvoll sein</li> <li>• erreichbare Partikelgrößen werden durch Auswahl der Schneid- oder Reißtechnik bestimmt</li> <li>• Zerkleinerer können mit Schwerstoffabscheidern ausgestattet werden</li> <li>• vor dem Aggregat sollte eine Schwerstoffabscheidung erfolgen</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerkleinerer mit rotierenden Messern vor einem Schneidsieb</li> <li>• Drehkolbenpumpenbauweise; Drehkolben können als Schneid- oder Reißwerkzeuge ausgeformt sein</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• freistehende Aggregate können schnell ohne lange Ausfallzeiten gewartet werden, Tauchpumpen können dafür leicht aus dem Substrat entnommen werden</li> <li>• Reinigungsöffnungen beschleunigen die Arbeiten erheblich</li> </ul>

Tabelle 3-11: Kennwerte und Einsatzparameter von Zerkleinerungsaggregaten, die mit der Fördertechnik eine Geräteeinheit bilden

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderströme bis 350 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Förderhöhe bis 25 m</li> <li>• Leistungsaufnahme: 7,5 - 15 kW</li> </ul>
Eignung	• pumpfähige Substrate mit langfaserigen Bestandteilen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ leichte Zugänglichkeit des Aggregates bei Havarien</li> <li>+ bei Verstopfungen können die Aggregate leicht geöffnet und gewartet werden</li> <li>+ keine zusätzlichen Förderaggregate notwendig</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter ist nur bis zur Grenze der Pumpfähigkeit des Substrates möglich</li> <li>- es lässt sich nur ein kleiner Teil des Stoffstroms zerkleinern; durch mehrmaliges Umpumpen kann der Anteil an geschnittenem Gut erhöht werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Aggregate sollten durch Schieber von der Substratleitung getrennt werden können</li> <li>• für den Havariefall kann eine über Schieber zu bedienende Umgehung sinnvoll sein</li> <li>• erreichbare Partikelgrößen werden durch Auswahl der Schneid- oder Reißtechnik bestimmt</li> </ul>
Bauformen	• Kreiselpumpen; Laufrad mit Schneidkanten als trocken stehende Pumpe oder Tauchpumpe
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• freistehende Pumpen können schnell ohne lange Ausfallzeiten gewartet werden, Tauchpumpen können dafür leicht aus dem Substrat entnommen werden</li> <li>• Wartungsöffnungen verkürzen die Stillstandszeiten stark</li> </ul>

### Anmaischen, Homogenisieren

Das Anmaischen von Substraten ist notwendig, um in der Nassvergärung pumpfähige Substrate durch Erhöhung des Wassergehaltes herzustellen und diese dann in den Fermenter zu fördern. Es erfolgt in der Regel in der Vorgrube kurz vor Einbringung des Substrates in den Gärprozess. Als Flüssigkeit zum Anmaischen werden je nach Verfügbarkeit Gülle, bereits vergorene Biogasgülle, Prozesswasser oder im Ausnahmefall auch Frischwasser genutzt. Die Anwendung bereits vergorener Biogasgülle kann den Frischwasserbedarf senken und hat den Vorteil, dass das Substrat bereits vor Erreichen des Fermenters mit den Bakterien des Gärprozesses angeimpft wird. Daher bietet sich diese Vorgehensweise nach einer Hygienisierungsstufe oder in Pfropfenstromverfahren besonders an. Es ist allerdings darauf zu achten, dass durch Güllerrückführung die ANreicherung von Salz- und Nährstofffrachten möglich ist und der Prozessbiologie schaden kann. Auf die Nutzung von Frischwasser sollte aufgrund der hohen Kosten nach Möglichkeit verzichtet werden. Falls für das Anmaischen Wasser aus Reinigungsprozessen verwendet werden soll, ist zu bedenken, dass Desinfektionsmittel den Vergärungsprozess beeinträchtigen können, da die Wirkung solcher Mittel auch auf die Mikroorganismengemeinschaft im Fermenter negativ ist. Die für das Anmaischen verwendete Pumpentechnik wird im Abschnitt *Anmaischen* dargestellt.

Die Homogenität der zugeführten Substrate ist für die Stabilität des Vergärungsprozesses von hoher Bedeutung. Bei stark schwankender Belastung und

wechselnder Substratzusammensetzung müssen die Mikroorganismen sich an die veränderten Bedingungen anpassen, was meist mit einer Einbuße bei der Gasausbeute verbunden ist. Die Homogenisierung pumpfähiger Substrate wird meist in der Vorgrube mit Rührwerken durchgeführt. Die Technik der Rührwerke wird im Abschnitt *Rührwerke* vorgestellt. Die Vermischung entspricht in etwa den Systemen der volldurchmischten Fermenter (siehe Abschnitt *Verfahren mit Volldurchmischung*).

#### 3.2.1.4 Substrattransport und -einbringung

Für einen stabilen Gärprozess ist aus prozessbiologischer Sicht ein kontinuierlicher Substratstrom durch die Biogasanlage der Idealfall. Da dieser in der Praxis kaum realisiert werden kann, ist eine quasikontinuierliche Zugabe des Substrates in den Fermenter der Regelfall. Die Zugabe des Substrates erfolgt in mehreren Chargen über den Tag verteilt. Daraus folgend werden alle Aggregate, die für den Substrattransport notwendig sind, nicht kontinuierlich betrieben. Dies spielt für die Auslegung eine sehr große Rolle.

Die Anlagentechnik für den Transport und die Einbringung hängt im Wesentlichen von der Beschaffenheit des Substrates ab. Es muss zwischen Technik für pumpfähige und stapelbare Substrate unterschieden werden.

Bei der Einbringung der Substrate ist deren Temperatur zu beachten. Bei großen Differenzen zwischen Material- und Fermentertemperatur (beispielsweise bei Einbringung nach einer Hygienisierungsstufe

oder im Winter) wird die Prozessbiologie stark gestört, was zur Verminderung des Gasertrages führen kann. Als technische Lösungen werden hier zuweilen Wärmetauscher und beheizte Vorgruben angewendet.

### Transport pumpfähiger Substrate

Zum Transport pumpfähiger Substrate innerhalb der Biogasanlage werden hauptsächlich über Elektromotoren angetriebene Pumpen verwendet. Sie können über Zeitschaltuhren oder Prozessrechner angesteuert werden, wodurch der Gesamtprozess ganz oder teilweise automatisiert werden kann. In vielen Fällen wird der gesamte Substrattransport innerhalb der Biogasanlage über ein oder zwei zentral in einem Pump- oder Steuerhaus positionierte Pumpen realisiert. Die Verlegung der benötigten Rohrleitungen erfolgt dann so, dass alle eintretenden Betriebsfälle (z. B. Beschicken, vollständiges Entleeren von Behältern, Havariefälle etc.) über gut zugängliche oder automatische Schieber gesteuert werden können. Ein Beispiel für die Pumpen- und Rohrleitungsinstallation in einer Biogasanlage zeigt Abb. 3-20.

Es sollte darauf geachtet werden, dass die Pumpen gut zugänglich sind und ausreichend Arbeitsraum um sie herum freigehalten wird. Trotz getroffener Vorsichtsmaßnahmen und guter Substrataufbereitung kann es passieren, dass es zu Verstopfungen der Pumpen kommt, die schnell beseitigt werden müssen. Außerdem ist zu beachten, dass die beweglichen Teile der Pumpen Verschleißteile sind, die in Biogasanlagen hohen Beanspruchungen unterliegen und von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden müssen, ohne dass die Bio-



Abb. 3-20: Pumpen in einer Biogasanlage;  
Foto: WELtec BioPower GmbH

gasanlage außer Betrieb genommen werden muss. Die Pumpen müssen daher über Absperrschieber zum Ausführen von Wartungsarbeiten vom Leitungsnetz trennbar sein. Verwendet werden fast ausschließlich Kreiselpumpen oder Verdrängerpumpen, die auch in der Gülletechnik zur Anwendung kommen.

Die Auswahl geeigneter Pumpen hinsichtlich Leistung und Fördereigenschaften ist in hohem Maß von den eingesetzten Substraten und deren Aufbereitungsgrad bzw. Trockensubstanzgehalt abhängig. Zum Schutz der Pumpen können Schneid- und Zerkleinerungsapparate sowie Fremdkörperabscheider direkt vor die Pumpe eingebaut werden oder Pumpen, deren Fördererlemente mit Zerkleinerungseinrichtungen versehen sind, zum Einsatz kommen.

### Kreiselpumpen

Bei Kreiselpumpen dreht sich ein Laufrad in einem feststehenden Gehäuse mit meist konstanter Drehzahl. Das zu fördernde Medium wird mit Hilfe des Laufrades beschleunigt und die daraus resultierende Geschwindigkeitserhöhung im Druckstutzen der Kreiselpumpe in Förderhöhe bzw. Förderdruck umgesetzt. Kreiselpumpen sind in der Gülletechnik weit verbreitet. Beispiele werden in Abb. 3-19 im Abschnitt Zerkleinerungstechnik gezeigt. Kennwerte und Einsatzparameter sind in Tabelle 3-12 enthalten.

### Verdrängerpumpen

Zum Transport dickflüssiger Substrate mit hohen Trockensubstanzgehalten werden Verdrängerpumpen eingesetzt. Bei Verdrängerpumpen kann die geförderte Menge über die Drehzahl bestimmt werden. Dadurch wird eine bessere Steuerung der Pumpen in Verbindung mit einer genaueren Dosierung des Substrates erreicht. Sie sind selbstansaugend und druckstabiler als Kreiselpumpen, das heißt, die Fördermenge ist sehr viel weniger von der Förderhöhe abhängig. Verdrängerpumpen sind relativ stör anfällig gegenüber Störstoffen, weswegen es sinnvoll ist, die Pumpen mit Zerkleinerungsaggregaten und Fremdkörperabscheidern vor grobstückigen und faserigen Bestandteilen zu schützen.

Zum Einsatz kommen größtenteils Drehkolben- und Exzentrerschneckenpumpen. Exzentrerschneckenpumpen haben einen korkenzieherförmigen Rotor, der in einem Stator aus elastischem Material läuft. Durch die Drehung des Rotors entsteht ein wandernder Hohlraum, in dem das Substrat transportiert wird. Ein Beispiel ist in Abb. 3-21 dargestellt. Kennwerte und Einsatzparameter können Tabelle 3-13 entnommen werden.

Tabelle 3-12: Kennwerte und Einsatzparameter von Kreiselpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderdruck: bis zu 20 bar</li> <li>• Fördermenge ab 2 m<sup>3</sup>/min aufwärts</li> <li>• Leistungsaufnahme: z.B. 3 kW bei 2 m<sup>3</sup>/min; 15 kW bei 6 m<sup>3</sup>/min, stark substratabhängig</li> </ul>
Eignung	• dünnflüssige Substrate mit niedrigen Trockensubstanzgehalten; Strohanteile sind zulässig
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfacher, kompakter und robuster Aufbau</li> <li>+ hohe Förderleistung</li> <li>+ flexibler Einsatz</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nicht selbstansaugend, Aufstellung unterhalb des anzusaugenden Substratspiegels, z. B. in einem Schacht notwendig</li> <li>- nicht zur Substratdosierung geeignet</li> </ul>
Besonderheiten	• starke Abhängigkeit der Förderleistung vom Förderdruck bzw. der Förderhöhe
Bauformen	• als Tauchpumpe oder Pumpe in Trockenaufstellung; auch als Schneidpumpe lieferbar (siehe Seite 46); als Tauchpumpe mit Antrieb unter oder über Substratoberfläche verfügbar
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Tauchpumpen erschwert, jedoch über Entnahmeöffnungen relativ leicht erreichbar</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> <li>• Betriebsunterbrechungen sind geringfügig länger als bei anderen Pumpentypen</li> </ul>

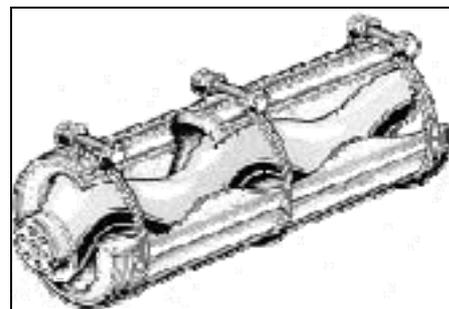
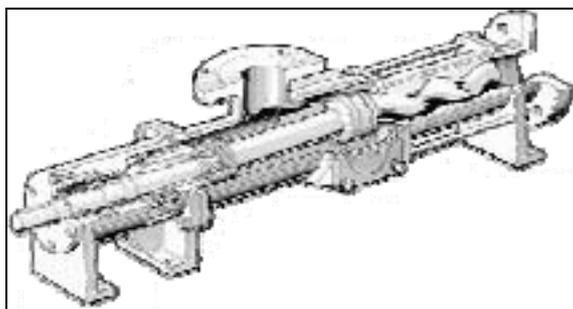


Abb. 3-21: Exzentrerschneckenpumpe (links), nachstellbarer Stator (rechts); Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabelle 3-13: Kennwerte und Einsatzparameter von Exzentrerschneckenpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderdruck: bis zu 25 bar</li> <li>• Fördermenge ab 0,055 m<sup>3</sup>/min aufwärts</li> <li>• Leistungsaufnahme: z.B. 7,5 kW bei 0,5 m<sup>3</sup>/min; 55 kW bei 4 m<sup>3</sup>/min, stark substratabhängig</li> </ul>
Eignung	• dickflüssige pumpfähige Substrate mit geringen Störstoffanteilen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ selbst ansaugend</li> <li>+ einfacher, robuster Aufbau</li> <li>+ zur Substratdosierung geeignet</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringere Förderleistungen als Kreiselpumpen</li> <li>- empfindlich gegen Trockenlauf</li> <li>- empfindlich gegen Störstoffe (Steine, langfaserige Stoffe, Metallteile)</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• starke Abhängigkeit der Förderleistung von der Viskosität, stabile Förderung bei schwankenden Drücken</li> <li>• Trockenlaufschutz kann integriert sein</li> <li>• sehr häufige Anwendung in der Klärtechnik</li> <li>• der Stator kann zum Teil in Abhängigkeit der Förderleistung, des Substrates und der Abnutzung meist nachgestellt werden</li> <li>• Förderrichtungsänderung als Sonderbauform möglich</li> <li>• zum Schutz Druckabschaltung vorsehen</li> </ul>
Bauformen	• als Pumpe in Trockenaufstellung
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr langlebig</li> <li>• aufgrund des Aufbaues wartungsfreundlich, es werden durch Kolbenschnellwechselsysteme nur kurze Betriebsunterbrechungen notwendig</li> </ul>

Tabelle 3-14: Kennwerte und Einsatzparameter von Drehkolbenpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderdruck: bis zu 16 bar</li> <li>• Fördermenge ab 0,1 m<sup>3</sup>/min aufwärts</li> </ul>
Eignung	• dünnflüssige und dickflüssige pumpfähige Substrate
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfacher, robuster Aufbau</li> <li>+ selbstansaugend bis 10 m Wassersäule</li> <li>+ zur Substratdosierung geeignet</li> <li>+ Förderung größerer Fremd- und Faserstoffe als Exzentrerschneckenpumpen</li> <li>+ trockenlaufunempfindlich</li> <li>+ geringer Platzbedarf</li> <li>+ Förderrichtungsänderung serienmäßig</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Drehzahlen bis 1300 U/min sind günstig für die Leistungsoptimierung</li> <li>• nachstellbare Halbschalen optimieren Wirkungsgrad und Standzeit durch Verminderung des Spiels</li> <li>• zum Schutz Druckabschaltung vorsehen</li> </ul>
Bauformen	• als Pumpe in Trockenaufstellung
Wartung	• aufgrund des Aufbaues wartungsfreundlich, es werden nur kurze Betriebsunterbrechungen notwendig

**Drehkolbenpumpen** besitzen zwei gegenläufig rotierende zwei- bis vierflügelige Drehkolben in einem ovalen Gehäuse. Die beiden Drehkolben wälzen sich gegenläufig mit geringem axialen und radialen Spiel aufeinander ab, wobei sie weder das Gehäuse noch sich untereinander berühren und so ausgebildet sind, dass in jeder Stellung der Saug- gegen den Druckraum abgesperrt wird. Zum Transport des Mediums werden die im Saugraum auftretenden Lücken mit dem Fördermedium gefüllt und zur Druckseite transportiert. Das Funktionsprinzip von Drehkolbenpumpen kann Abb. 3-22 entnommen werden. Kennwerte und Einsatzparameter werden in Tabelle 3-14 zusammengefasst.

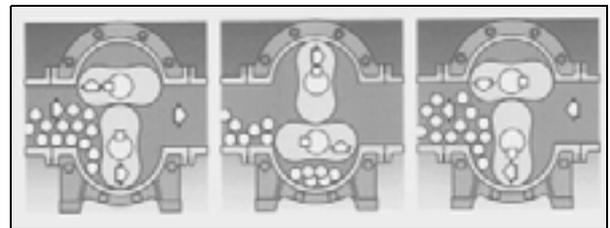


Abb. 3-22: Drehkolben-Pumpprinzip; Bild: Vogelsang GmbH

*Balgpumpen*

Balgpumpen können zur Förderung von Dickstoffen mit großen Fremdkörperanteilen verwendet werden. Der Antrieb erfolgt über einen Getriebemotor mittels Exzenter und Pleuel. Der Pleuel bewegt den unteren

Flansch (siehe Abb. 3-23) auf und nieder. Durch die abwechselnde Ansaugung und den Druckaufbau werden die Ventile automatisch bewegt, so dass das Substrat vom Einlass zum Auslass gefördert wird. Als Fördererelement dient ein Reifen. Kraftbedarf und Verschleiß sind aufgrund wenig beweglicher Teile gering. Der Balg arbeitet reibungsfrei. Zwei druckmittelgesteuerte Ventile dienen bei Stillstand der Pumpe als Rücklaufsicherung. Kennwerte und Einsatzparameter von Balgpumpen werden in Tabelle 3-15 zusammengefasst.

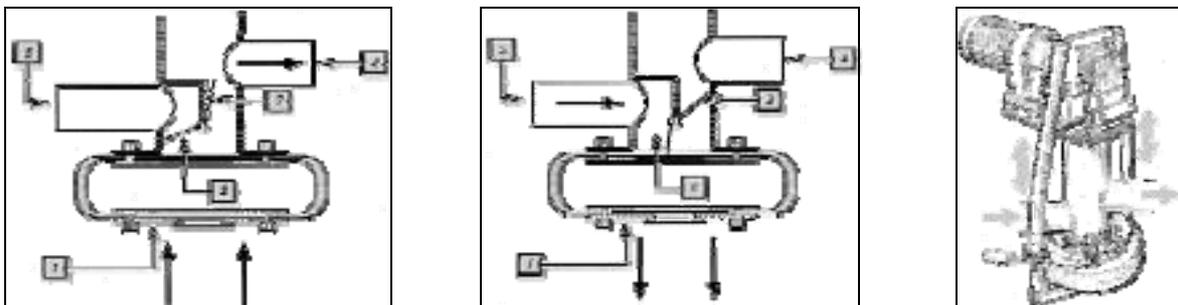


Abb. 3-23: Funktionsprinzip Balgpumpe (Flansch (1), Ventile (2 und 3), Auslass (4), Einlass (5))  
 Bilder: Armatec-FTS-Armaturen GmbH & Co. KG



Tabelle 3-15: Kennwerte und Einsatzparameter von Balgpumpen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderdruck: bis zu 5 bar</li> <li>• Fördermenge unterhalb 1 m<sup>3</sup>/min</li> <li>• Leistungsaufnahme: z.B. 3 kW bei 0,25 m<sup>3</sup>/min, stark substratabhängig</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dickflüssige pumpfähige Substrate mit hohen Störstoffanteilen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfacher, robuster Aufbau</li> <li>+ selbstansaugend bis 3 m WS</li> <li>+ zur Substratdosierung geeignet</li> <li>+ Förderung größerer Fremdstoffe</li> <li>+ trockenlaufunempfindlich</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geringe Fördermenge</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als Pumpe in Trockenaufstellung</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgrund wenig beweglicher Teile verschleißarm, daher wartungsfreundlich</li> </ul>

### Transport von stapelbaren Substraten

Stapelbare Substrate müssen in der Nassvergärung bis zur Materialeinbringung bzw. bis zur Anmischung transportiert werden. Die meisten Wege werden mit einem üblichen Lader zurückgelegt. Erst für die automatisierte Beschickung werden Kratzböden, Overhead-Schubstangen und Förderschnecken eingesetzt. Kratzböden und Overhead-Schubstangen sind in der Lage, nahezu alle stapelbaren Substrate horizontal oder mit einer leichten Steigung zu fördern. Sie können jedoch nicht für die Dosierung verwendet werden. Sie ermöglichen die Anwendung von sehr großen Vorlagebehältern. Förderschnecken können stapelbare Substrate in nahezu alle Richtungen transportieren. Vorbedingung ist hier nur die Freiheit von großen Steinen und die Zerkleinerung des Substrates, dass es von der Schnecke ergriffen werden kann und

in die Schneckenwindungen passt. Automatische Fördersysteme für stapelbare Substrate stellen in der Regel eine Einheit mit den Einbringungsaggregaten an der Biogasanlage dar.

In den bekannten Versuchs- und Pilotanlagen der Trockenvergärung werden die stapelfähigen Substrate ausschließlich mit dem Radlader bewegt.

### Einbringung pumpfähiger Substrate

Pumpfähige Substrate werden in der Regel über in den Boden eingelassene substratdichte Vorgruben aus Beton, in denen die anfallende Gülle zwischengespeichert und homogenisiert wird, eingebracht. Die Vorgruben sollten so ausgelegt sein, dass mindestens ein bis zwei Tagesmengen in ihnen gespeichert werden können. Häufig werden vorhandene Güllesammelgruben im landwirtschaftlichen Betrieb genutzt.

Tabelle 3-16: Kennwerte und Einsatzparameter von Vorgruben

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung aus wasserdichtem Beton, meist aus Stahlbeton</li> <li>• das Volumen sollte ein bis zwei Tagesmengen an Substrat aufnehmen können</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pumpfähige, rührbare Substrate</li> <li>• bei Einsatz von Zerkleinerungstechnik auch stapelbare Substrate</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Homogenisierung und Vermischung der Substrate möglich</li> <li>• Bildung von Sinkschichten aus Steinen möglich</li> <li>• Sinkschichtentnahme sollte über Pumpensumpf, Sammelgruben oder über Räumaggregate ermöglicht werden</li> <li>• die Abdeckung der Vorgrube ist wegen Geruchsemissionen empfehlenswert</li> <li>• Feststoffeinbringung kann zu Verstopfungen, Sink- und Schwimmschichten oder zur Entmischung führen</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• runde oder viereckige ebenerdig abschließende Behälter oder Behälter, deren Befüllungseinrichtung noch mit einem Radlader erreicht werden kann</li> <li>• höherliegende Gruben im Vergleich zum Fermenter sind vorteilhaft, da durch das entstehende hydraulische Gefälle auf den Einsatz von Fördertechnik verzichtet werden kann</li> <li>• die Umwälzung kann mit gleichen Technologien realisiert werden, wie in den Fermentern</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei fehlender Sinkschichtentnahme manuelle Sinkschichtentfernung notwendig</li> <li>• ansonsten kaum Wartungsaufwand; die Wartung der technischen Aggregate wird in den jeweiligen Kapiteln beschrieben</li> </ul>



Abb. 3-24: Vor- bzw. Annahmegrube bei der Beschickung; Fotos: Loick Bioenergie, ENR - Energiegesellschaft nachwachsender Rohstoffe mbH; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

Verfügt die Biogasanlage nicht über eine getrennte Zugabemöglichkeit zur Direkteinbringung von Kosubstraten, werden auch stapelbare Substrate in der Vorgrube gemischt, zerkleinert, homogenisiert und wenn nötig zur Herstellung pumpfähiger Gemische angemaischt. Aus diesem Grund sind Vorgruben mit Rührwerken, wenn nötig in Kombination mit Reiß- und Schneidwerkzeugen zur Zerkleinerung der Substrate, ausgestattet. Werden störstoffhaltige Substrate verarbeitet, dient die Vorgrube auch zur Abtrennung von Steinen und Sinkschichten, sie können z. B. mittels Kratzböden und Förderschnecken konzentriert und ausgetragen werden /3-3/. Zur Vermeidung von Geruchsemissionen sollten Vorgruben abgedeckt werden. Die Abdeckung sollte allerdings so ausgeführt sein, dass ein Öffnen der Vorgrube und damit eine problemlose Entnahme von abgesetzten Sinkstoffen weiterhin möglich ist. Die Kenndaten von Vorgruben werden in Tabelle 3-16 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-24 dargestellt.

**Einbringung von stapelbaren Substraten**

Durch die Einbringung von stapelbaren Substraten in die Vorgrube und die damit verbundenen Probleme kann eine kontinuierliche und automatisierte Einbringung der Substrate in den Vergärungsprozess erschwert werden und ein erhöhter Arbeitsaufwand die Folge sein. Aus diesen Gründen werden Feststoffe meist unter Umgehung der Vorgrube direkt in den Fermenter eingebracht. Kofermente können so unabhängig von der Gülle und in regelmäßigen Abständen eingespeist werden /3-8/. Außerdem ist es möglich, den Trockensubstanzgehalt im Fermenter zu erhöhen und damit die Biogausausbeute zu verbessern. Schematisch werden die Verfahren der Einbringung stapelbarer Substrate in Abb. 3-25 veranschaulicht.

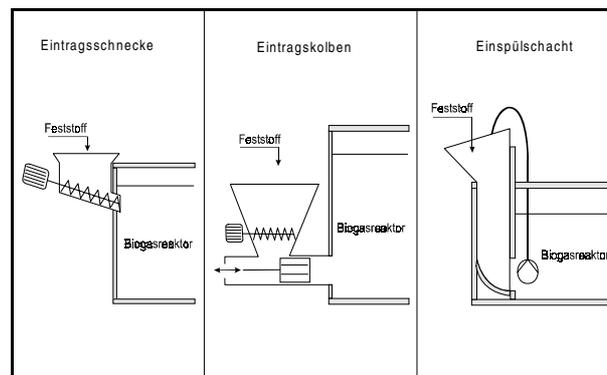


Abb. 3-25: Verfahren zur Einbringung stapelbarer Biomasse; Bild: FAL Braunschweig



Tabelle 3-17: Eigenschaften von Einspülschächten

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öffnungsgröße und -höhe sollte dem vorhandenen Radladertyp entsprechen</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle mit dem Radlader transportierbaren Substrate</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ geringer baulicher Aufwand</li> <li>+ geringe Investitions- und laufende Kosten</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- starke Geruchsemissionen</li> <li>- keine Dosierung und nur wenige Beschickungsvorgänge am Tag möglich</li> <li>- es sind in der Praxis Verstopfungen aufgetreten</li> <li>- es kann kein temperiertes Substrat zugegeben werden</li> <li>- Sauerstoffeintrag in den Gärprozess</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Ladehöhe sollte an Radlader angepasst sein</li> <li>• ohne Vorzerkleinerung ist Zerkleinerungstechnik im Fermenter notwendig</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stahlblech- oder Edelstahlkonstruktionen, die die Feststoffeinbringung unter die Substratoberfläche im Fermenter ermöglichen; die Nachspülung wird durch Kreislaufpumpen des Gärsubstrates aus dem Fermenter in den Schacht gewährleistet</li> <li>• im Einspülschacht können Rühraggregate integriert sein</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaum notwendig, bei Verstopfungen muss der Einspülschacht manuell geleert werden</li> <li>• durch frei stehenden Substratspiegel im Schacht erschwert</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Einspülschächte

Der Eintrag über Einspülschächte oder Einspülschleusen ermöglicht es, mittels Front- oder Radlader jederzeit größere Mengen Feststoffe direkt in den Fermenter einzubringen. Tabelle 3-17 zeigt einen Überblick über die Eigenschaften.

### Eintragskolben

Bei der Einbringung mittels Eintragskolben werden die Kosubstrate mittels Hydraulikzylinder durch eine Öffnung in der Fermenterwand nahe der Fermentersohle direkt in den Fermenter eingebracht. Durch die bodennahe Einbringung werden sie mit Gülle durchtränkt und so die Gefahr der Schwimmschichtenbildung reduziert. Das System ist mit gegeneinander laufenden Mischwalzen ausgestattet, die die Kosubstrate in den unterhalb liegenden Zylinder befördern und gleichzeitig langfaserige Stoffe zerkleinern /3-1/. Kennwerte von Eintragskolben werden in Tabelle 3-18 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-26 veranschaulicht.

### Einbringung über Eintragschnecken

Bei der Einspeisung der Kosubstrate mittels Eintrags- bzw. Förderschnecken wird das Kosubstrat durch Stopfschnecken unterhalb des im Fermenter befindlichen Flüssigkeitsspiegels gedrückt. So ist gesichert, dass kein Gas austreten kann. Im einfachsten Fall steht bei dieser Methode der Dosierer auf dem Fermenter, so dass nur eine Schnecke zur Einbringung notwendig ist. Ansonsten muss die Höhe des Fermenters

mit Steigschnecken überwunden werden. Zur Beschickung der Schnecke werden Vorlagebehälter mit und ohne Zerkleinerungswerkzeuge eingesetzt /3-8/. Kennwerte von Einbringungssystemen mit Förderschnecken werden in Tabelle 3-19 zusammengefasst, ein Beispiel wird in Abb. 3-27 veranschaulicht.

### Vermusung der Biomasse

Die Kofermente (z. B. Rüben) werden mit in der Rübenverarbeitung üblichen Zerkleinerungsaggregaten aufbereitet, dass sie einen pumpfähigen Zustand erreichen. Der dabei verbleibende Trockensubstanzgehalt beträgt bis zu 18 %. Die verflüssigten Substrate werden in entsprechenden Behältern gelagert und unter Umgehung der Vorgrube direkt mit den in Abschnitt Subs-



Abb. 3-27: Einbringung stapelbarer Biomasse mit Förderschnecken; Foto: Pumpe GmbH

Tabelle 3-18: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragschnecken /3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlagebehälter bis 40 m<sup>3</sup>, Futtermischwagen bis 16 m<sup>3</sup></li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle üblichen stapelbaren Kosubstrate mit Steinen, die kleiner als die Schneckenwindungen sind</li> <li>• bei Vorlagebehältern mit Rührarm keine langfaserigen Substrate</li> <li>• bei Futtermischwagen auch sehr strohiger Mist und Großballen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Förderrichtung spielt keine Rolle</li> <li>+ automatisierbar</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrieb in den Schneckengehäusen und an den Schnecken</li> <li>- Mögliche Materialbrückenbildung am Übergang von Vorlagebehälter zur Schnecke in Behältern ohne Rührarm</li> <li>- Empfindlichkeit gegenüber Steinen</li> <li>- hoher Kraftbedarf bei Einsatz von Futtermischwagen</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anmischen mit Gülle aus dem Fermenter ist möglich</li> <li>• Gasaustritt durch die Schnecken muss verhindert werden</li> <li>• gewichtsabhängige Dosierung bei Installation von Wiegetechnik ist möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stopfschnecke aus Vorlagebehälter senkrecht in den Fermenter</li> <li>• Stopfschnecke aus Vorlagebehälter waagrecht in den Fermenter</li> <li>• Schneckensystem zur Überwindung der Fermenterhöhe und zur Einbringung unter den Flüssigkeitsspiegel im Fermenter</li> <li>• Vorlagebehälter mit Schwerkraftzuführung des Materiales zur Schnecke</li> <li>• Vorlagebehälter mit Flachboden und Rührarm über offener Schnecke</li> <li>• Vorlagebehälter als Futtermischwagen mit Kratzboden und Vertikalmischer mit Gegenschneide</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der beweglichen Technik ist mit regelmäßigem Wartungsaufwand zu rechnen</li> <li>• Vorlagebehälter müssen in der Regel von Hand geleert werden, wenn Havarien eintreten, daher stellen größere Behälter nicht immer einen Vorteil dar</li> <li>• Wartung der Schnecke, die die Förderung in den Fermenter realisiert, ist mit einer z.T. erheblichen Prozessunterbrechung verbunden</li> </ul>

Tabelle 3-19: Kennwerte und Einsatzparameter von Eintragskolben

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlagebehälter bis zu 15 m<sup>3</sup></li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle üblichen stapelbaren Kosubstrate, je nach Schneckentechnik auch mit Steinen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ weitgehend geruchsfrei</li> <li>+ sehr gute Dosierbarkeit</li> <li>+ automatisierbar</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gefahr der Sinkschichtenbildung</li> <li>- Gefahr der Verklumpung des eingepressten Substrates, damit nicht optimal zugänglich für die Mikroorganismen im Fermenter</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuführung muss flüssigkeitsdicht ausgeführt sein</li> <li>• Einfüllhöhe und -größe sind mit der vorhandenen Fülltechnik im Betrieb abzustimmen</li> <li>• Presszylinder muss durch Schieber vom Fermenter abtrennbar sein</li> <li>• Zerteilung des Presspfropfens durch ein Messerkreuz wird angeboten und erscheint aufgrund der Verklumpungsgefahr sehr sinnvoll</li> <li>• Platzbedarf direkt neben dem Fermenter</li> <li>• z.T. gewichtsdozierte Zugabe durch Installation von Wiegetechnik möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulikzylinder mit hydraulisch oder elektrisch angetriebenen Zuführungsschnecken</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der beweglichen Technik ist mit regelmäßigem Wartungsaufwand zu rechnen</li> <li>• Vorlagebehälter müssen in der Regel von Hand geleert werden, wenn Havarien eintreten, daher stellen größere Behälter nicht immer einen Vorteil dar</li> <li>• Wartung des Kolbens ist mit einer z.T. erheblichen Prozessunterbrechung, evtl. auch mit einer Leerung des Fermenters verbunden</li> </ul>

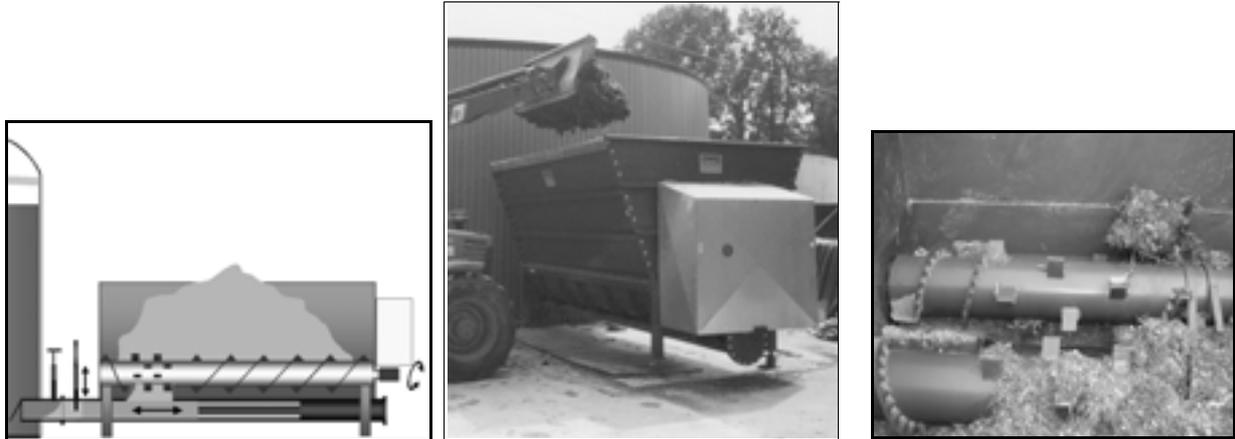


Abb. 3-26: Einbringung stapelbarer Biomasse mit Eintragskolben; Foto: PlanET Energietechnik

transport- und -einbringung erläuterten Aggregaten in den Fermenter gepumpt. Durch dieses Verfahren lässt sich beim Einsatz von Gülle als Grundsubstrat keine Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Fermenter erzielen /3-8/.

### Einbringung von stapelbaren Substraten in der Trockenvergärung

Aufgrund des einfachen Aufbaues der Fermentertechnik in der Trockenfermentation ist bei den im Pilotmaßstab betriebenen Anlagen keine Automatisierung der Beschickung vorgesehen. Sowohl Beschickung als auch Entleerung werden mit der in der Landwirtschaft üblichen Transporttechnik, meist mit Radladern, durchgeführt.

### Armaturen und Rohrleitungen

Die eingesetzten Armaturen und Rohrleitungen müssen medien- und korrosionsbeständig sein. Armaturen wie Kupplungen, Absperrschieber, Rückschlagklappen, Re-

nigungsöffnungen und Manometer müssen gut erreichbar und bedienbar sein sowie frostfrei verbaut werden. Die „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ enthalten die an Rohrleitungen und Armaturen gestellten Anforderungen. Die hier vorgeschriebenen Materialeigenschaften, Sicherheitsvorkehrungen und Dichtigkeitsprüfungen sind als Mindestanforderungen für einen sicheren Betrieb der Biogasanlage einzuhalten. Als **außerordentlich bedeutender Faktor** hat sich herausgestellt, dass **aus allen Gasleitungen an allen Stellen die Möglichkeit bestehen muss, Kondensat abzulassen** beziehungsweise die Leitungen mit soviel Gefälle gebaut werden müssen, dass auch leichte Setzungen noch nicht zu nicht vorgesehenen Hoch- und Tiefpunkten in den Leitungen führen. Aufgrund der geringen Drücke im System können bereits sehr geringe Kondenswassermengen zu einer vollständigen Leitungsverstopfung führen. Die wichtigsten Kenngrößen sind in Tabelle 3-20 zusammengefasst. Einen Eindruck vermitteln Abb. 3-28 und Abb. 3-29.

Tabelle 3-20: Kennwerte von Armaturen und Rohrleitungen; nach /3-1/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrleitungsmaterial: PVC, HDPE, Stahl oder Edelstahl, je nach Medienbelastung und Druckstufe</li> <li>• keine Gusseisenleitungen wegen der Bildung von Ablagerungen installieren</li> <li>• Substratleitungen sollten 300 mm Durchmesser haben</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schieber dichten als Keilflachschieber sehr gut ab, sind aber störstoffempfindlich</li> <li>• Messerschieber trennen faserhaltige Stoffe durch</li> <li>• für schnell lösbare Rohrverbindungen sollten Kugelkopfschnellverschlüsse verwendet werden</li> <li>• bei allen Armaturen und Rohrleitungen ist auf Frostfreiheit zu achten, bei warmem Substrat sollte eine Isolierung angebracht werden</li> <li>• Rohrverlegung immer mit 1-2% Gefälle, um Entleerung zu ermöglichen</li> <li>• Rücklauf von Substrat aus dem Fermenter in die Vorgrube durch Leitungsverlegung verhindern</li> <li>• bei Rohrverlegung im Boden auf gute Verdichtung vor der Installation achten</li> <li>• Vor Rückschlagklappen sind Schieber zu installieren, falls die Rückschlagklappe durch Störstoffe nicht mehr schließt</li> <li>• Kondensat muss aus allen Gasleitungen abgelassen werden können</li> <li>• bei langen und verwinkelten Leitungen auf Druckverluste achten</li> </ul>



Abb. 3-28: Arbeitsbühne zwischen zwei Behältern mit Rohrleitungen und Drucksicherungen;  
Foto: MT-Energie GmbH



Abb. 3-29: Schwerstoffabscheider in einer Rohrleitung;  
Foto: Institut für Energetik und Umwelt  
gGmbH



Abb. 3-30: Blick in einen Fermenter;  
Foto: Biogas Nord GmbH

### 3.2.2 Biogasgewinnung

Das Biogas wird durch Vergärung der Substrate in Fermentern gewonnen. Der Fermenter ist, inklusive dazu gehöriger Peripherie, das eigentliche Kernstück der Biogasanlage. Die verschiedenen Ausführungen der Fermenter werden hinsichtlich Materialien und Bauweise häufig von landwirtschaftlichen Güllelagern abgeleitet und an die spezifischen Anforderungen der Biogastechnik angepasst. Substratmenge und die gewählte hydraulische Verweilzeit bestimmen das Volumen der Fermenter. Abhängig von den zur Verfügung stehenden Substraten, dem gewählten Gärverfahren und den örtlichen Gegebenheiten können Fermenter unterschiedlich ausgeführt werden. Unabhängig von ihrer Ausführung müssen Fermenter einige Grundvoraussetzungen erfüllen, sie müssen:

- gas- und flüssigkeitsdicht sein,
- die Möglichkeit besitzen, die erforderliche Prozesstemperatur durch Wärmeeintrag (Heizung) zur Verfügung zu stellen,
- Wärmeverluste und Temperaturschwankungen z. B. durch Wärmeisolierung verhindern,
- eine Möglichkeit zur Durchmischung des Substrates besitzen, um Temperaturgefälle, Schwimm- und Sinkschichtenbildung, ein Gefälle der Nährstoffkonzentration im Substrat und eine schlechte Ausgasung des Substrates zu vermeiden sowie die Homogenisierung des Substrates sicherzustellen,
- Einrichtungen oder Möglichkeiten zur Sedimentaustragung besitzen,
- Einrichtungen zur Ableitung des gewonnenen Biogases besitzen und
- Möglichkeiten zur Probenahme aus dem Fermenter besitzen.

Daneben gehören Schaugläser mit Reinigungsanlagen zur Sichtprüfung des Gärprozesses (ein Beispiel zeigt Abb. 3-30) und Revisionsschächte für mögliche anfallende Wartungs- und Reparaturarbeiten zur Ausstattung der Fermenter. Des Weiteren sind Sicherheitsarmaturen sowie Über- und Unterdrucksicherungen zur Einhaltung vorgeschriebener Sicherheitsregeln vorzusehen.

Neben den technischen und baulichen Anforderungen werden zusätzliche Anforderungen an verwendete Baumaterialien gestellt. So sollte darauf geachtet werden, dass die verwendeten Materialien für das im Fermenter herrschende Milieu geeignet sind. Als besonders problematisch haben sich die Übergangszone vom Flüssigkeitsspiegel zum Gasraum und der Gasraum selbst herauskristallisiert.



Hier ist es notwendig, nur Materialien einzusetzen, die gegen Säuren und Korrosion resistent sind.

Um Fehler beim Bau und damit verbundene Schädigungen bzw. Zerstörungen der Fermenter zu vermeiden, muss die Planung und Erstellung von qualifizierten Fachfirmen durchgeführt werden. Neben der Statik der Behälter müssen auch Schutzmaßnahmen für Baumaterialien (Korrosionsschutz usw.) mit berücksichtigt werden. Im Fall der Missachtung grundlegender Regeln und Mindestanforderungen sind schwerwiegende und vor allem kostenintensive Schädigungen der Fermenter bzw. der gesamten Biogasanlage möglich. Im Weiteren werden die Bauteile, die für die Fermentation eingesetzt werden, näher betrachtet.

### 3.2.2.1 Fermenterbauformen

Aufgrund der Verfahrensweise weisen Fermenter für die Nass- und Trockenfermentation grundsätzliche Unterschiede auf.

#### Nassvergärung

Die Nassvergärung wird in mit Tanks vergleichbaren Behältern durchgeführt. Prinzipiell wird zwischen liegenden und stehenden Fermentern unterschieden.

#### Liegende Fermenter

Liegende Fermenter haben eine zylindrische Form und sind hinsichtlich ihres Volumens begrenzt, da sie häufig nicht vor Ort gefertigt werden. Der dadurch notwendige Transport der Fermenter zu ihrem Einsatzort ist jedoch nur bis zu einer gewissen Behälter-

größe möglich. Häufig werden sie als Stahltanks ausgeführt und kommen als Hauptfermenter für kleinere Anlagen oder als Vorfermenter für größere Anlagen mit stehenden Hauptfermentern in Frage. Liegende Fermenter werden auch parallel betrieben, um größere Durchsatzmengen zu realisieren.

Weil liegende Behälter in der Regel um ein mehrfaches länger als hoch sind, stellt sich automatisch die sogenannte Pfropfendurchströmung ein. Das Substrat wandert hierbei langsam von der Eintrags- zur Austragsseite, wobei sich ein Pfropfen bildet, der durch den Fermenter strömt. Die Möglichkeit, nicht ausgegorenes Substrat ungewollt aus dem Fermenter auszutragen, wird dadurch verringert und die Aufenthaltszeit kann für das gesamte Material mit höherer Sicherheit gewährleistet werden [3-3]. Kennwerte und Besonderheiten liegender Fermenter werden in Tabelle 3-21 zusammengefasst, Abb. 3-31 zeigt ein Beispiel für einen liegenden Fermenter.

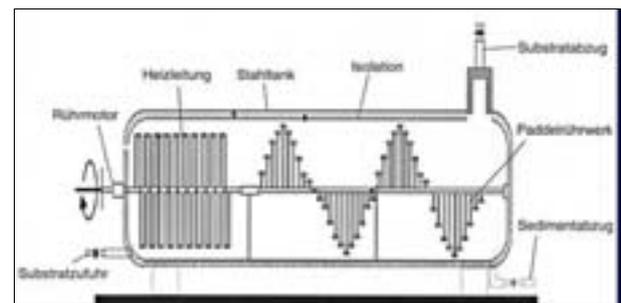


Abb. 3-31: Liegender Tankfermenter mit Paddelrührwerk [3-4]

Tabelle 3-21: Kennwerte und Einsatzparameter von liegenden Fermentern für Biogasanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: vorwiegend Stahl und Edelstahl, auch aus Stahlbeton möglich</li> <li>• Volumen: bis ca. 800 m<sup>3</sup> möglich</li> </ul>
Eignung	• alle Substrattypen, die Anpassung der technischen Aggregate bestimmt die Eignung
Vorteile	+ es können leistungsfähige, funktionssichere und energiesparende Rührwerke eingesetzt werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platzbedarf der Behälter</li> <li>- hohe Wärmeverluste aufgrund einer großen Oberfläche im Vergleich zum Volumen</li> <li>- Animpfung des Frischmaterials fehlt oder muss durch Rückführung von Gärsubstrat realisiert werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öffnungen für alle anzuschließenden Aggregate und Rohrleitungen sind vorzusehen</li> <li>• zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden</li> </ul>
Bauformen	• als Pfropfenstromreaktor mit rundem oder eckigem Querschnitt
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es ist mindestens ein Mannloch vorzusehen, um den Reaktor im Havariefall begehen zu können</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

**Stehende Fermenter**

Stehende Fermenter sind überwiegend als Rundbehälter ausgeführt und werden vor Ort erstellt. Sie können vollständig durchmischt (Rührkesselprinzip) oder als Pfropfenstromreaktor betrieben werden.

Stehende Fermenter sind die in der Praxis vornehmlich ausgeführten Fermenter. Kennwerte stehender Fermenter zeigt Tabelle 3-22, ein Beispiel veranschaulicht Abb. 3-32.

Tabelle 3-22: Kennwerte und Einsatzparameter von stehenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Stahlbeton, Stahl und Edelstahl</li> <li>• Volumen: theoretisch unbegrenzt, bis 30.000 m<sup>3</sup> möglich, aber meist nicht größer als 6.000 m<sup>3</sup> da sich größere Fermenter schwierig durchmischen lassen</li> </ul>
Eignung	• alle Substrattypen, die Anpassung der technischen Aggregate bestimmt die Eignung
Vorteile	+ Günstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis, damit geringe Wärmeverluste
Nachteile	- bei volldurchmischten Reaktoren besteht die Gefahr der Kurzschlussströmung - es können Schwimm- und Sinkschichten entstehen
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Reaktor muss gasdicht ausgeführt werden</li> <li>• eine Dachneigung aufgrund der möglichen Schneelast ist empfehlenswert</li> <li>• Baugrund muss sehr tragfähig sein, da keine Setzungen auftreten sollten</li> <li>• Öffnungen für alle anzuschließenden Aggregate und Rohrleitungen sind vorzusehen</li> <li>• der Boden kann mit Gefälle zum Zentrum oder zum Rand hergestellt werden, um einen effektiven Sedimentaustrag zu ermöglichen</li> <li>• zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterirdisch mit ebenerdigem befahrbarem Dach, teilweise in der Erde versenkt oder auf dem Boden stehend</li> <li>• mit fester Betondecke oder Decke als Gasmembran mit oder ohne Wetterschutzdach</li> <li>• volldurchmischt oder Sonderbauform als Pfropfenstromreaktor</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es ist mindestens ein Mannloch vorzusehen, um den Reaktor im Havariefall begehen zu können</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

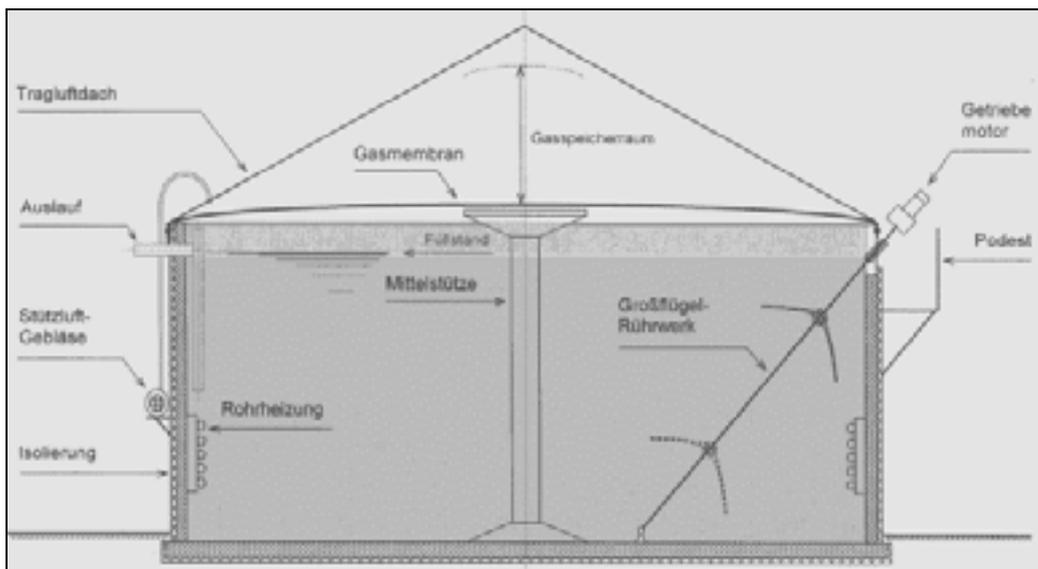


Abb. 3-32: Stehender Fermenter mit Einbauten; Bild: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH



Tabelle 3-23: Kennwerte und Einsatzparameter von Trockenfermentationsbehältern

Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stapelbare Substrate</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ effektive Raumauslastung durch hohen Trockensubstanzgehalt</li> <li>+ dadurch geringe Investitionskosten und geringer Platzbedarf</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei nicht durchmischten Reaktoren Behinderung der Ausgasung durch Setzung</li> <li>- Gefahr der Zonenbildung mit zu hohen oder zu niedrigen Wassergehalten</li> <li>- Gefahr der Bildung von Versäuerungszonen ohne Methanproduktion</li> <li>- bei Batchverfahren ungleichmäßige Gasproduktion</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Reaktor muss gasdicht ausgeführt werden, dies gilt besonders für Beschickungs- und Entnahmeöffnungen</li> <li>• Beschickung und Entnahme müssen ohne die Gefahr der Beschädigung von Dichtungen oder anderen Fermentereinrichtungen möglich sein</li> <li>• zur Sicherheit muss ein Überdruckventil für den Gasraum installiert werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• siehe Kapitel 3.1.4.2</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Trockenvergärung

Die konstruktive Ausführung der Trockenfermentationsverfahren ist sehr verschiedenartig (siehe Kapitel 3.1.4.2). Aus diesem Grund werden in Tabelle 3-23 die allgemein notwendigen Randbedingungen und die zu beachtenden Kennwerte für Fermenter zur Trockenfermentation erwähnt.

#### 3.2.2.2 Konstruktion der Fermenter

Die Fermenter bestehen im Wesentlichen aus einem Behälter, der wärmegeklärt errichtet wird, einem Heizsystem, Mischaggregaten und Austragssystemen für Sedimente und das vergorene Substrat.

#### Behälterkonstruktion

Fermenter werden entweder aus Stahl, Edelstahl oder Stahlbeton konstruiert.

**Stahlbeton** wird durch Wassersättigung ausreichend gasdicht, wobei die dafür benötigte Feuchte in Substrat und Biogas enthalten ist. Die Fermenter werden vor Ort aus Beton gegossen oder, wenn auch seltener, aus Fertigteilen zusammengesetzt. Bei Betonbehältern besteht die Möglichkeit, wenn dies die Untergrundbeschaffenheit zulässt, sie ganz oder teilweise in den Boden abzusenken. Die Behälterdecke kann aus Beton, bei abgesenkten Behältern auch befahrbar, ausgeführt sein, wobei das Biogas in einem externen Gasspeicher gespeichert wird. Soll der Fermenter gleichzeitig als Gasspeicher dienen, kommen gasdichte Foliendächer zum Einsatz. Ab einer gewissen Behältergröße ist es notwendig, bei Betondecken Mittelstützen zu verwenden. Hier besteht bei unsachgemäßer Ausführung die Gefahr der Rissbildung in der Decke. In der Vergangenheit kam es nicht selten



Abb. 3-33: Bau eines Betonfermenters

Foto: Johann Wolf GmbH & Co Systembau KG

zu Rissbildungen, Undichtigkeiten und Betonkorrosion, was im Extremfall zum Abriss des Fermenters geführt hat. Diese Probleme müssen durch eine ausreichende Betonqualität und professionelle Planung der Fermenter vermieden werden. Vom Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V. ist das Zement-Merkblatt „Beton für Behälter in Biogasanlagen“ herausgegeben worden. Hier sind Empfehlungen an die Anforderungen der Betongüte für Stahlbetonfermenter definiert. Die wichtigsten Eckdaten für Beton im spezifischen Anwendungsfall Biogasanlagenbau sind in Tabelle 3-24 zusammengefasst. Zusätzliche Informationen können den Zementmerkblättern Landwirtschaft LB 3 /3-10/ und LB 13 /3-11/ entnommen werden. Ein Beispiel für einen im Bau befindlichen Stahlbetonfermenter zeigt Abb. 3-33.

Tabelle 3-24: Kennwerte und Einsatzparameter von Beton für Behälter in Biogasanlagen /3-10/, /3-11/, /3-14/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für Fermenter <math>\geq</math> B 35; für Vorgruben und Güllelager <math>\geq</math> B 25</li> <li>• Wasserzementwert <math>\leq</math> 0,5; für Vorgruben und Güllelager <math>\leq</math> 0,6</li> <li>• Rissbreitenbeschränkung rechnerisch auf <math>\leq</math> 0,15 mm</li> <li>• Betondeckung der Bewehrung, Mindestmaß innen 4 cm</li> <li>• Mindestnachbehandlungszeit nach der Fertigstellung sollte verdoppelt werden</li> </ul>
Eignung	• für alle Fermentertypen (liegend und stehend) sowie Gruben
Vorteile	+ Fundament und Fermenter können ein Bauteil sein + Fertigteilmontage z.T. möglich
Nachteile	- nur in frostfreien Perioden herstellbar - Bauzeit länger als bei Stahlfermentern
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Fussbodenheizungen müssen die aus der Beheizung resultierenden Spannungen berücksichtigt werden</li> <li>• Gasdichtigkeit muss gewährleistet sein</li> <li>• notwendige Fensteröffnungen müssen exakt geplant sein</li> <li>• Spannungen, die aus z.T. großen Temperaturunterschieden innerhalb des Bauwerks herrühren können, müssen bei der Bewehrung beachtet werden, um Schäden zu vermeiden</li> <li>• Insbesondere die nicht ständig von Substrat bedeckten Betonflächen (Gasraum) müssen vor Korrosion durch Säuren durch Beschichtungen geschützt werden (z.B. mit Epoxid)</li> <li>• behördlicherseits wird oft ein Leckerkennungssystem gefordert</li> <li>• Sulfatbeständigkeit sollte gewährleistet sein (Einsatz von HS-Zement)</li> <li>• die Behälterstatik sollte sehr gründlich standortspezifisch geplant werden, um Risse und Schäden zu vermeiden</li> </ul>

Tabelle 3-25: Kennwerte und Einsatzparameter von Stahl für Behälter in Biogasanlagen

Kennwerte	• verzinkter / emaillierter Baustahl St 37 oder Edelstahl V2A, im korrosiven Gasraum V4A
Eignung	• für alle liegenden und stehenden Fermenter und Gruben
Vorteile	+ Vorfertigung und kurze Bauzeit möglich + flexibel in der Herstellung von Öffnungen
Nachteile	- Fundament, Dichtungen und andere Bauteile sind nur in frostfreien Perioden herstellbar - für Rühraggregate ist meist eine zusätzliche Abstützung notwendig
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insbesondere die nicht ständig von Substrat bedeckten Materialflächen (Gasraum) sollten aus höherwertigem Material oder mit Schutzbeschichtung aufgrund der Korrosion hergestellt werden</li> <li>• Gasdichtigkeit, insbesondere der Anschlüsse an Fundament und Dach muss gewährleistet sein</li> <li>• behördlicherseits wird oft ein Leckerkennungssystem gefordert</li> <li>• Beschädigungen der Beschichtungen bei Baustahl-Behältern müssen unbedingt vermieden werden</li> </ul>

Behälter aus **Stahl und Edelstahl** werden auf ein Betonfundament gesetzt, mit dem sie verbunden werden. Zum Einsatz kommen gewickelte Blechbahnen und verschweißte oder verschraubte Stahlplatten. Die Verschraubungen müssen anschließend abgedichtet werden. Stahlfermenter werden immer überirdisch hergestellt. In der Regel wird die Dachkonstruktion als Gasspeicher verwendet und mit einer gasdichten Folie gearbeitet. Kennwerte und Eigenschaften von Stahlbehältern werden in Tabelle 3-25 dargestellt. Beispiele zeigt Abb. 3-34.

### Wärmedämmung des Fermenters

Um Wärmeverluste zu verringern, müssen die Fermenter zusätzlich mit Wärmedämmmaterial versehen werden. Zur Wärmedämmung können handelsübliche Materialien verwendet werden, die je nach Einsatzbereich (Bodennähe usw.) unterschiedliche Eigenschaften haben sollten (vergleiche Tabelle 3-26). Eine Übersicht der Parameter kann Tabelle 3-27 entnommen werden, die Beispiele für Dämmstoffe enthält. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen wird das Dämmmaterial mit Trapezblechen oder Holz verkleidet.



Abb. 3-34: Im Bau befindliche Edelstahlfermenter; Foto: Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH

Tabelle 3-26: Kennwerte von Dämmstoffen [3-12], [3-13]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material im Fermenter oder unter der Erdoberfläche: geschlossenporige Stoffe wie PU-Hartschaum und Schaumglas, die ein Eindringen von Feuchtigkeit verhindern</li> <li>• Material über der Erdoberfläche: Mineralwolle, Mineralfasermatten, Hartschaummatten, Extruderschäum, Styrodur, Kunstschaumstoffe, Polystyrol</li> <li>• Materialstärke: 5-10 cm werden verwendet, unter 6 cm ist die Dämmwirkung aber gering; die Praxiswerte basieren eher auf Erfahrungen als auf Berechnungen; in der Literatur wird von Dämmstärken bis 20 cm berichtet</li> <li>• k-Werte liegen im Bereich von 0,03 - 0,05 W/mK</li> <li>• Belastbarkeit des Dämmstoffes im Bodenbereich muss die gesamte voll gefüllte Fermenterlast tragen können</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Wärmedämmung kann innen- oder außenliegend eingebaut werden, wobei generell keiner dieser Varianten der Vorzug gegeben werden kann</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Dämmmaterialien sollen nagerfest sein</li> </ul>

Tabelle 3-27: Kennwerte von Dämmstoffen - Beispiele

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit	Anwendungstyp
Mineralfaser- Dämmstoffe ca. 40- 120 kg/m <sup>3</sup>	0,030-0,040	WV, WL, W, WD
Perlite-Dämmplatten 150-210 kg/m <sup>3</sup>	0,045-0,055	W,WD,WS
Polystyrol- Partikelschaum EPS 15 kg/m <sup>3</sup> < Rohdichte	0,030-0,040	W
Polystyrol- Partikelschaum EPS 20 kg/m <sup>3</sup> < Rohdichte	0,020-0,040	W, WD
Polystyrol- Extruderschäum XPS 25 kg/m <sup>3</sup> < Rohdichte	0,030-0,04	WD, W
Polyurethan- Hartschaum PUR 30 kg/m <sup>3</sup> < Rohdichte	0,020-0,035	WD, W, WS
Schaumglas	0,04-0,06	W, WD, WDS, WDH

Anwendungstypen: WV mit Beanspruchung auf Abreiß- und Scherfestigkeit; WL, W ohne Beanspruchung auf Druck; WD mit Beanspruchung auf Druck; WS Dämmstoffe für Sondereinsatzgebiete

### Fermenterheizung

Um einen optimalen Vergärungsprozess sicherzustellen, muss eine gleichmäßige Temperatur im Fermenter vorherrschen. Hierbei ist nicht die Einhaltung der vorgegebenen Temperatur auf ein zehntel Grad genau ausschlaggebend, sondern dass Temperaturschwankungen gering gehalten werden.

Das betrifft sowohl zeitliche Temperaturschwankungen als auch die Temperaturverteilung in verschiedenen Fermenterbereichen [3-3]. Starke Schwankungen und die Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Temperaturwerte können zur Hemmung des Gärprozesses oder im schlimmsten Fall zum Erliegen des

Prozesses führen. Die Ursachen für Temperaturschwankungen können vielschichtig sein:

- Zufuhr von Frischsubstrat
- Temperaturschichten- oder Temperaturzonenbildung aufgrund unzureichender Wärmedämmung, ineffektiver oder falsch dimensionierter Heizung, unzureichender Durchmischung
- Lage der Heizungen
- Extremaußentemperaturen in Sommer und Winter
- Ausfall von Aggregaten.

Zur Bereitstellung der benötigten Prozesstemperaturen und zum Ausgleich von Wärmeverlusten muss das Substrat erwärmt werden, was durch externe oder durch in den Fermenter integrierte Wärmetauscher bzw. Heizungen geschehen kann.

Im Fermenter **integrierte Heizungen** erwärmen das Gärsubstrat im Fermenter. Tabelle 3-28 vermittelt eine Übersicht der eingesetzten Technologien, Abb. 3-35 zeigt Beispiele.



Abb. 3-35: Edelstahlheizrohre im Fermenter verlegt (links); Einbau von Heizschläuchen in die Fermenterwand (Mitte und rechts); Fotos links und Mitte: Biogas Nord GmbH; Foto rechts: PlanET Energietechnik

Tabelle 3-28: Kennwerte und Einsatzparameter von integrierten Heizungen [3-1], [3-12]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: bei Verlegung im Gärraum oder als Rühraggregat Edelstahlrohre, VPC oder PE (Kunststoffe müssen aufgrund der geringeren Wärmeleitung eng verlegt werden), bei Verlegung im Beton übliche Fußbodenheizungsleitungen</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandheizungen: alle Betonfermentertypen</li> <li>• Fußbodenheizung: alle stehenden Fermenter</li> <li>• innenliegende Heizung: alle Fermentertypen, aber eher bei stehenden zu finden</li> <li>• mit Rühraggregaten verbundene Heizungen: alle Fermentertypen, aber eher bei liegenden zu finden</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ im Fermenter liegende und mit Rührwerken verbundene Heizungen haben eine gute Wärmeübertragung</li> <li>+ Fußboden- und Wandheizungen führen nicht zu Ablagerungen</li> <li>+ in Rühraggregaten integrierte Heizungen erreichen sehr viel Material zur Erwärmung</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirkung von Fußbodenheizungen kann durch Sinkschichtenbildung stark vermindert sein</li> <li>- Heizungen im Fermenterraum können zu Ablagerungen führen, daher sollten sie mit einem Abstand zur Wand verlegt werden</li> <li>- Fußboden- und Wandheizungen haben eine geringe Wärmeübertragung</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizrohre müssen entlüftet werden können, dazu werden sie von unten nach oben durchströmt</li> <li>• im Beton verlegte Heizleitungen verursachen Wärmespannungen</li> <li>• je nach Fermentergröße in zwei oder mehr Heizkreisen verlegt</li> <li>• Heizeinrichtungen dürfen andere Aggregate nicht behindern (z. B. Räumler)</li> <li>• für thermophilen Betrieb sind in der Wand oder im Boden liegende Heizungen ungeeignet</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fussbodenheizungen</li> <li>• in der Wand liegende Heizungen (bei Stahlfermentern auch an der Außenwand möglich)</li> <li>• vor der Wand angebrachte Heizungen</li> <li>• in die Rühraggregat integriert oder mit ihnen kombinierte Heizung</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizungen sollten zur Gewährleistung der Wärmeübertragung regelmäßig gereinigt werden</li> <li>• im Fermenter oder im Bauwerk integrierte Heizungen sind sehr schlecht oder gar nicht zugänglich</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>



Tabelle 3-29: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Wärmetauschern /3-3/, /3-12/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: in der Regel Edelstahl</li> <li>• Durchsatzleistungen orientieren sich an der Anlagenkapazität und der Prozesstemperatur</li> <li>• Rohrdurchmesser entsprechen den üblichen Substrateleitungen in Biogasanlagen</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Fermentertypen, häufiger Einsatz in Pfropfenstromfermentern</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ es kann eine sehr gute Wärmeübertragung gewährleistet werden</li> <li>+ Frischmaterial führt nicht zum Temperaturschock im Fermenter</li> <li>+ es wird das gesamte Materialvolumen durch die Heizung erreicht</li> <li>+ externe Wärmetauscher können leicht gereinigt und gewartet werden</li> <li>+ gute Regelbarkeit der Temperatur</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unter Umständen ist eine zusätzliche Fermenterheizung vorzusehen</li> <li>- der externe Wärmetauscher stellt ein zusätzliches Aggregat dar, das mit Zusatzkosten verbunden ist</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmetauscher müssen entlüftet werden können, dazu werden sie von unten nach oben durchströmt</li> <li>• für thermophilen Prozessbetrieb gut geeignet</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spiral- oder Doppelrohrwärmeübertrager</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute Zugänglichkeit für Wartung und Reinigung</li> </ul>

**Externe Wärmetauscher** erwärmen das Gärsubstrat vor dem Eintrag in den Fermenter, wodurch es bereits vorgewärmt in den Fermenter gelangt. So können Temperaturschwankungen bei der Substrateinbringung vermieden werden. Bei Einsatz von externen Wärmetauschern muss entweder eine kontinuierliche Substratumwälzung durch den Wärmetauscher realisiert werden oder es kann auf eine zusätzliche interne Heizung im Fermenter nicht verzichtet werden, um eine konstante Fermentertemperatur aufrechtzuerhalten. Eigenschaften externer Wärmetauscher können Tabelle 3-29 entnommen werden.

### Mischaggregate

Eine gute Durchmischung des Fermenterinhalt muss aus mehreren Gründen gewährleistet sein:

- Vermischen von frischem und ausgefautem Substrat, wodurch das frische Substrat angeimpft wird,
  - eine gleichmäßige Verteilung von Wärme und Nährstoffen innerhalb des Fermenters,
  - die Vermeidung und Zerstörung von Sink- und Schwimmschichten,
  - ein gutes Ausgasen des Biogases aus dem Gärsubstrat.
- Eine minimale Durchmischung des Gärsubstrates findet durch das Einbringen von Frischsubstrat, thermische Konvektionsströmungen und das Aufsteigen von Gasblasen statt. Diese passive Durchmischung ist allerdings nicht ausreichend, weshalb der Durchmischungsprozess aktiv unterstützt werden muss.

Das Durchmischen kann durch mechanische Einrichtungen im Faulbehälter wie z.B. Rührwerke, hydraulisch durch außerhalb des Fermenters angeordnete Pumpen oder pneumatisch durch Einblasung von Biogas in den Fermenter durchgeführt werden.

Die beiden letztgenannten Möglichkeiten spielen eine eher untergeordnete Rolle. In Deutschland werden in etwa 85 bis 90 % der Anlagen mechanische Einrichtungen bzw. Rührwerke eingesetzt /3-1/.

### Mechanische Durchmischung

Die mechanische Durchmischung des Gärsubstrates wird durch Verwendung von Rührwerken realisiert.

Unterschieden werden kann zwischen

- schnell laufenden und intensiv wirkenden Rührwerken,
- mittelschnell laufenden Rührwerken,
- langsam laufenden Rührwerken.

Die Rührwerke werden in Dauer- oder Intervallbetrieb betrieben. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Rührintervalle an die spezifischen Eigenschaften jeder Biogasanlage, wie Substrateigenschaften, Behältergrößen, Neigung zur Schwimmdeckenbildung usw. empirisch optimiert werden müssen. Nachdem die Anlage in Betrieb genommen wurde, wird sicherheitshalber länger und häufiger gerührt. Die gemachten Erfahrungen werden dann zur Optimierung der Dauer und Häufigkeit der Intervalle sowie der Einstellungen der Rührwerke verwendet. Zum Einsatz können hierbei unterschiedliche Rührwerkstypen kommen.

In stehenden, nach dem Rührkesselprinzip arbeitenden Fermentern kommen häufig **Tauchmotor-Propellerrührwerke** (TMR) zum Einsatz. Angetrieben werden TMR durch getriebelose Elektromotoren, deren Gehäuse druckwasserdicht und korrosionsfest ummantelt sind und durch das Umgebungsmedium gekühlt werden /3-1/. Sie werden komplett in das Substrat eingetaucht und besitzen meistens

Tabelle 3-30: Kennwerte und Einsatzparameter von Tauchmotor-Propellerrührwerken [3-2]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schnell laufende Rührwerke im Intervallbetrieb (300-1500 U/min)</li> <li>• Leistungsbedarf: um die 10 kW pro 1000 m<sup>3</sup> Fermentervolumen bei recht flüssigen Substraten; abhängig von Substratzähigkeit und Fermentergeometrie</li> <li>• verfügbare Leistungsbereiche: 0,25-35 kW</li> <li>• Einsatzdauer abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden</li> <li>• in großen Fermentern werden häufig zwei Rührwerke installiert</li> <li>• Material: korrosionsfest, meist Edelstahl</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Substrate in der Nassvergärung, meist in stehenden Fermentern</li> <li>• mesophile Vergärung</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr gute Durchmischung im Fermenter erreichbar</li> <li>+ aufgrund der sehr guten Beweglichkeit gezielte Erreichung aller Fermenterbereiche bei der Durchmischung möglich</li> <li>+ Zerstörung von Schwimmdecken und Sinkschichten sehr gut möglich</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoher Energieaufwand bei jedem Anlauf, um Fermenterinhalt in Bewegung zu bringen</li> <li>- daher auch hohe Aggregatleistung erforderlich</li> <li>- durch Führungsschienen viele bewegliche Teile im Fermenter</li> <li>- aufgrund der Intervalldurchmischung Absetz- und Aufschwimmvorgänge möglich</li> <li>- Wartung erfordert die Öffnung des Fermenters</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung der Führungsrohre durch Fermenterdecke muss gasdicht sein</li> <li>• Intervallsteuerung z.B. über Zeitschaltuhren</li> <li>• Motorgehäuse müssen vollkommen flüssigkeitsdicht sein</li> <li>• Motorkühlung muss auch bei hohen Fermentertemperaturen gewährleistet sein</li> <li>• automatische Leckerkennung im Motorgehäuse wird z.T. angeboten</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tauchfähige getriebelose Elektromotoren mit Propeller, z.T. auch mit einstufigem Getriebe</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• z.T. schwierig, da der Motor aus dem Fermenter genommen werden muss</li> <li>• Wartungs- und Motorentnahmeöffnungen müssen im Fermenter integriert sein</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

geometrisch optimierte zwei- oder dreiflügelige Propeller. Durch ihr Führungsrohrsystem, bestehend aus Galgen, Seilwinde und Leitprofil, lassen sich die Rührwerke meist von außen in ihrer Höhe, seitlich und in ihrer Neigung verstellen. Einsatzdaten und ein Beispiel sind in Tabelle 3-30 und Abb. 3-36 dargestellt.

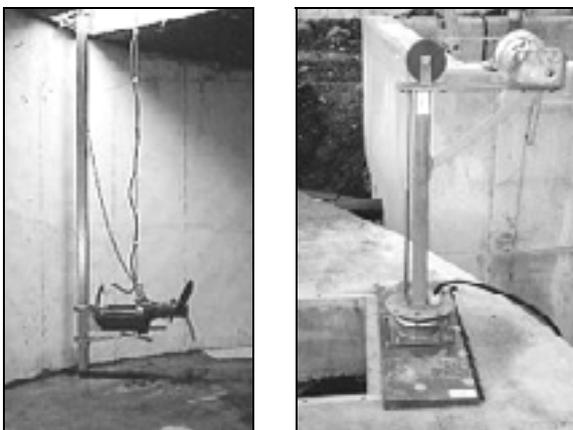


Abb. 3-36: Tauchmotor-Propellerrührwerk (links) und Führungsrohrsystem (rechts);  
Fotos: Agrartechnik Lothar Becker

Alternativ sitzt bei **Langachsührwerken** der Motor am Ende einer Rührwelle, die schräg in den Fermenter eingebaut wird. Der Motor ist außerhalb des Fermenters angeordnet, wobei die Wellendurchführung durch die Fermenterdecke oder bei Foliendächern im oberen Wandbereich vorgenommen wird und gasdicht ausgeführt ist. Die Wellen können zusätzlich am Fermenterboden gelagert sein und sind mit einem oder mehreren großflächigen, paddelförmigen Rührwerkzeugen ausgestattet.

Tabelle 3-31 vermittelt die Kennwerte von Langachsührwerken, Abb. 3-37 zeigt Beispiele.

Eine weitere Möglichkeit der mechanischen Durchmischung des Fermenters bieten **axiale Rührwerke**. Sie werden oft kontinuierlich betrieben. Axiale Rührwerke sind an meist zentrisch an der Fermenterdecke montierten Wellen angebracht. Die Geschwindigkeit des Antriebsmotors, der sich außerhalb des Fermenters befindet, wird durch ein Getriebe auf wenige Umdrehungen pro Minute herabgesetzt. Sie sollen im Inneren des Fermenters eine ständige Strömung erzeugen, die innen nach unten und an den Wänden nach oben gerichtet ist. Kennwerte und Einsatzparameter von axialen Rührwerken sind in



Tabelle 3-31: Kennwerte und Einsatzparameter von Langachsührwerken

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittelschnell (100-300 U/min) oder langsam (10-50 U/min) laufende Rührwerke im Intervallbetrieb oder kontinuierlich</li> <li>• Leistungsbedarf: um die 10 kW pro 1000 m<sup>3</sup> Fermentervolumen bei recht flüssigen Substraten und Intervallbetrieb; abhängig von Substratzähigkeit und Fermentergeometrie; im kontinuierlichen Betrieb geringer Energieverbrauch</li> <li>• verfügbare Leistungsbereiche: 2-30 kW</li> <li>• Einsatzdauer und Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden</li> <li>• Material: korrosionsfest, meist Edelstahl</li> </ul>
Eignung	• alle Substrate in der Nassvergärung, nur in stehenden Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr gute Durchmischung im Fermenter erreichbar</li> <li>+ kaum bewegliche Teile im Fermenter</li> <li>+ Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters</li> <li>+ bei kontinuierlichem Betrieb können Absetz- und Aufschwimmvorgänge vermieden werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unvollständige Durchmischung ist aufgrund der stationären Installation möglich</li> <li>- dadurch sind Bereiche mit Sink- und Schwimmschichtenbildung möglich</li> <li>- im Intervallbetrieb hoher Energieaufwand bei jedem Anlauf, um Fermenterinhalt in Bewegung zu bringen; daher auch hohe Aggregatleistung erforderlich</li> <li>- bei Intervalldurchmischung Absetz- und Aufschwimmvorgänge möglich</li> <li>- bei außenliegenden Motoren kann es zu Problemen wegen Motor- und Getriebegeräuschen kommen</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein</li> <li>• Intervallsteuerung z.B. über Zeitschaltuhren</li> <li>• Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit ein oder mehreren Propellern und ggfs. Zerkleinerungswerkzeugen (siehe Kapitel Zerkleinerung)</li> <li>• z.T. Achsende am Boden fixiert, schwimmend oder schwenkbar ausgeführt</li> <li>• Zapfwellenanschluss möglich</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich</li> <li>• Reparatur von Flügeln und Achse schwierig, da sie aus dem Fermenter genommen werden müssen oder der Fermenter abgelassen werden muss</li> <li>• Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>



Abb. 3-37: Langachsührwerke mit zwei Rührwerkzeugen mit und ohne Lagerung am Fermenterboden;  
Foto: WELtec BioPower GmbH; Grafik: Armatec FTS-Armaturen GmbH & Co. KG

Tabelle 3-32 zusammengefasst, ein Beispiel stellt Abb. 3-38 dar.

**Paddel- oder Haspelrührwerke** sind langsam laufende Rührwerke, die bauartbedingt meist in *liegenden*

Fermentern, die nach dem Pfropfenstromprinzip arbeiten, eingesetzt werden. Auf der horizontalen Rührachse sind Paddel angebaut, die die Durchmischung realisieren. Die Rührwirkung soll nur eine

Tabelle 3-32: Kennwerte und Einsatzparameter von axialen Rührwerken für Biogasanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• langsam laufende Rührwerke im kontinuierlichen Betrieb</li> <li>• verfügbare Leistungsbereiche: bis 25 kW und 22m Durchmesser im Angebot</li> <li>• Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden</li> <li>• Material: korrosionsfest, meist Edelstahl</li> <li>• Leistungsbedarf: z.B. 5,5 kW bei 3000 m<sup>3</sup>, meist darüber</li> </ul>
Eignung	• alle Substrate in der Nassvergärung, nur in stehenden größeren Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ gute Durchmischung im Fermenter erreichbar</li> <li>+ kaum bewegliche Teile im Fermenter</li> <li>+ Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters</li> <li>+ geringe Schwimmdecken können nach unten abgesaugt werden</li> <li>+ kontinuierliche Absetz- und Aufschwimmvorgänge werden weitgehend verhindert</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unvollständige Durchmischung ist aufgrund der stationären Installation möglich</li> <li>- dadurch sind Bereiche mit Sink- und Schwimmschichtenbildung möglich, insbesondere die Fermenterrandbereiche neigen dazu</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein</li> <li>• Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit einem oder mehreren Propellern bzw. Paddeln, als stehende oder hängende Rührwerke</li> <li>• Propellermontage kann in einem Leitrohr für die Strömungsausbildung erfolgen</li> <li>• exzentrische Anordnung ist möglich</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich</li> <li>• Reparatur von Flügeln und Achse schwierig, da sie aus dem Fermenter genommen werden müssen oder der Fermenter abgelassen werden muss</li> <li>• Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

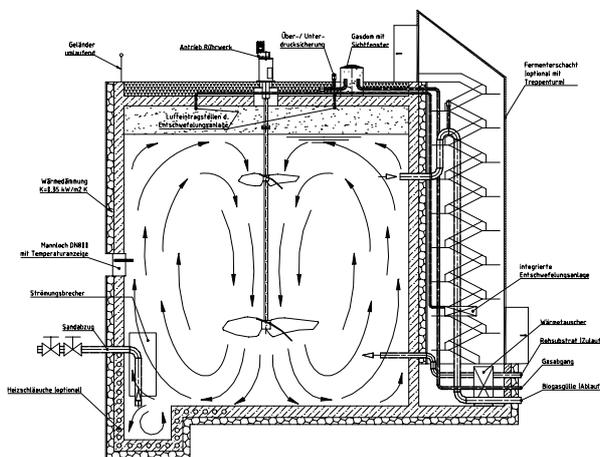


Abb. 3-38: Axialrührwerk; Zeichnung: ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH

vertikale Durchmischung des Substrates erreichen. Der horizontale Pfropfenstrom wird durch die Nachlieferung von Material in den Fermenter gewährleistet. In den Laufwellen und auch in den Rührarmen der Rührwerke sind oftmals Heizschlangen integriert (vgl. Abb. 3-31), mit denen das Gärsubstrat erwärmt wird. Sie werden mehrmals am Tag für einen kurzen

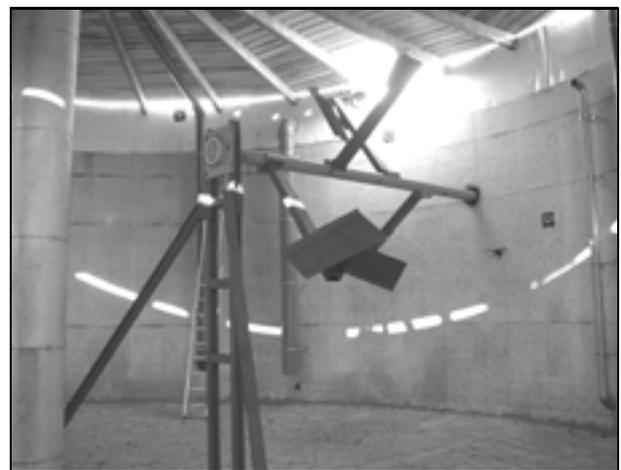


Abb. 3-39: Paddelrührwerk; Foto: PlanET Energietechnik

Zeitraum mit geringer Drehzahl in Betrieb genommen. Kennwerte enthält Tabelle 3-33.

**Paddel- oder Haspelrührwerke** können auch in *stehenden* Fermentern installiert werden. Ein Beispiel wird in Abb. 3-39 dargestellt. Die Eigenschaften können Tabelle 3-34 entnommen werden.

Tabelle 3-33: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in liegenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• langsam laufende Rührwerke im Intervallbetrieb</li> <li>• Leistungsbedarf: stark vom individuellen Einsatzort und Substrat abhängig, in der Trockenfermentation aufgrund des hohen Substratwiderstandes erheblich höher</li> <li>• Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden</li> <li>• Material: korrosionsfest, meist Edelstahl</li> </ul>
Eignung	• alle Substrate in der Nass- und Trockenvergärung, nur in liegenden Fermentern
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ gute Durchmischung im Fermenter erreichbar</li> <li>+ trotzdem Gewährleistung des Pfropfenstromes</li> <li>+ Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters, auch Zapfwellenanschluss möglich</li> <li>+ kontinuierliche Absetz- und Aufschwimmvorgänge werden verhindert</li> </ul>
Nachteile	- für Paddelwartungen muss der Fermenter entleert werden, bei Havarien in der Trockenfermentation ist eine manuelle Entleerung des gesamten Fermenters notwendig
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein</li> <li>• Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich</li> </ul>
Bauformen	• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit mehreren Paddeln, z.T. Montage von Wärmetauscherrohren als zusätzliche Mischaggregate auf der Achse bzw. als Einheit mit den Paddeln
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich</li> <li>• Reparatur von Paddeln und Achse schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss</li> <li>• Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

Tabelle 3-34: Kennwerte und Einsatzparameter von Paddel-/Haspelrührwerken in stehenden Fermentern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• langsam laufende Rührwerke im Intervallbetrieb</li> <li>• Leistungsbedarf: stark vom individuellen Einsatzort und Substrat abhängig</li> <li>• Drehzahl abhängig vom Substrat, muss in der Einfahrphase ermittelt werden</li> <li>• Material: korrosionsfest, meist Edelstahl</li> </ul>
Eignung	• alle Substrate in der Nassvergärung
Vorteile	+ Antrieb wartungsfreundlich außerhalb des Fermenters
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- für Paddelwartungen muss der Fermenter entleert werden</li> <li>- unvollständige Durchmischung aufgrund der stationären Installation möglich</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung der Rührwerksachse muss gasdicht sein</li> <li>• Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern möglich</li> </ul>
Bauformen	• Außenliegende Elektromotoren mit Getriebe, innenliegende Rührwerksachse mit mehreren Paddeln
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorwartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich</li> <li>• Reparatur von Paddeln und Achse schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss</li> <li>• Wartungsöffnungen müssen im Fermenter integriert sein</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Pneumatische Durchmischung

Die pneumatische Durchmischung des Gärsubstrates wird zwar von einigen Herstellern angeboten, spielt allerdings bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen eine untergeordnete Rolle.

Bei der pneumatischen Durchmischung wird Biogas über den Fermenterboden in den Fermenter eingeblasen. Dadurch kommt es durch die aufsteigenden Gasblasen zu einer vertikalen Bewegung und Durchmischung des Substrates.

Die Systeme haben den Vorteil, dass die für die Durchmischung benötigten mechanischen Teile (Pumpen und Verdichter) außerhalb des Fermenters angeordnet sind und so einem geringeren Verschleiß unterliegen. Zur Zerstörung von Schwimmschichten eignen sich diese Techniken nicht, weswegen sie nur für dünnflüssige Substrate mit geringer Neigung zur Schwimmschichtenbildung eingesetzt werden können. Kennwerte von Systemen zur pneumatischen Durchmischung enthält Tabelle 3-35.

Tabelle 3-35: Kennwerte und Einsatzparameter der pneumatischen Fermenterdurchmischung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsbedarf: z.B. 15 kW Verdichter für einen 1400 m<sup>3</sup> Fermenter, quasikontinuierlicher Betrieb</li> <li>• verfügbare Leistungsbereiche: ab 0,5 kW alle Bereiche für Biogasanlagen möglich</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr dünnflüssige Substrate mit geringer Schwimmdeckenbildung</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ gute Durchmischung im Fermenter erreichbar</li> <li>+ wartungsfreundlicher Standort von Gasverdichtern außerhalb des Fermenters</li> <li>+ Sinkschichten werden verhindert</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- für Wartungen der Biogaseintragseinrichtungen muss der Fermenter entleert werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichtertechnik muss für die Zusammensetzung des Biogases geeignet sein</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gleichmäßige Düsenverteilung über den gesamten Fermenterboden oder Mammutpumpenprinzip der Einpressung des Biogases in ein vertikales Leitrohr</li> <li>• Kombination mit hydraulischer oder mechanischer Durchmischung wird angewendet</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasverdichtervartung aufgrund der fermenterexternen Montage einfach und ohne Prozessunterbrechung möglich</li> <li>• Reparatur Biogaseinpressungsbauteilen schwierig, da der Fermenter abgelassen werden muss</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Hydraulische Durchmischung

Bei der hydraulischen Durchmischung wird Substrat über Pumpen und waagrecht oder zusätzlich senkrecht schwenkbare Rührdüsen in den Fermenter eingedrückt. Das Absaugen und Einleiten des Gärsubstrates muss so erfolgen, dass der Fermenterinhalt möglichst vollständig durchmischt wird.

Auch hydraulisch durchmischte Systeme haben den Vorteil, dass die für die Durchmischung benötigten mechanischen Teile außerhalb des Fermenters angeordnet sind und so einem geringeren Verschleiß unterliegen und leicht gewartet werden können.

Zur Zerstörung von Schwimmschichten eignet sich auch die hydraulische Durchmischung nur bedingt, weswegen sie nur für dünnflüssige Substrate mit geringer Neigung zur Schwimmschichtenbildung eingesetzt werden kann. Zur Beurteilung der Pumpentechnik sind zusätzlich die Angaben in Kapitel Substrattransport und -einbringung zu beachten. Tabelle 3-36 zeigt eine Übersicht der Kennwerte und Einsatzparameter der hydraulischen Durchmischung.

Tabelle 3-36: Kennwerte und Einsatzparameter der hydraulischen Fermenterdurchmischung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz von Pumpen hoher Förderleistung</li> <li>• Leistungsdaten: entsprechen den üblichen Pumpenleistungen wie in Kapitel 3.2.1.4</li> <li>• Material: wie bei Pumpen</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle leicht pumpfähigen Substrate in der Nassvergärung</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ gute Durchmischung im Fermenter mit verstellbaren Tauchkreislumpen oder Leitrohren erreichbar, damit auch Zerstörung von Sink- und Schwimmschichten möglich</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mit externen Pumpen ohne gezielte Strömungsleitung ist die Bildung von Sink- und Schwimmschichten möglich</li> <li>- mit externen Pumpen ohne gezielte Strömungsleitung können Sink- und Schwimmschichten nicht entfernt werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aggregatbesonderheiten siehe Kapitel 3.2.1.4</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tauchkreislumpenpumpe oder trocken aufgestellte Kreisel-, Exzentrerschneckenpumpe oder Drehkolbenpumpe, siehe Kapitel 3.2.1.4</li> <li>• bei externen Pumpen können die Eintrittsstellen mit beweglichen Leitrohren oder Düsen versehen sein; Umschaltung verschiedener Einlassstellen möglich</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es gelten die gleichen aggregatspezifischen Wartungsangaben wie in Kapitel 3.2.1.4</li> </ul>

### Sedimentausttrag aus dem Fermenter

Sedimente bzw. Sinkschichten bilden sich durch das Absetzen von Schwerstoffen wie beispielsweise Sand in der Nassvergärung. Zur Abscheidung von Schwerstoffen werden Vorgruben mit Schwerstoffabscheidern versehen, jedoch kann Sand, beispielsweise bei Hühnerkot, sehr stark an die organische Substanz gebunden sein, so dass in Vorgruben meist nur Steine und andere grobe Schwerstoffe abgeschieden werden können. Ein Großteil des Sandes wird erst während des biologischen Abbauprozesses im Fermenter freigesetzt.

Bestimmte Substrate wie z. B. Schweinegülle oder Hühnerkot können die Bildung solcher Schichten fördern. Die Sinkschichten können im Laufe der Zeit sehr mächtig werden, wodurch das nutzbare Volumen

des Fermenters verkleinert wird. Es sind bereits bis zur Hälfte mit Sand gefüllte Fermenter aufgetreten. Außerdem können die Sinkschichten sehr stark verhärten, so dass sie nur noch mit Spaten oder Baggern zu entfernen sind. Der Austrag der Sinkschichten aus dem Fermenter wird über Bodenräumer oder einen Bodenablass möglich. Bei starker Sinkschichtenbildung ist die Funktionalität der Sedimentausttragssysteme allerdings nicht in jeden Fall gegeben, weswegen es nötig sein kann, den Fermenter zu öffnen, um die Sinkschichten per Hand oder maschinell zu entfernen. Mögliche Techniken des Sedimentaustrages werden in Tabelle 3-37 dargestellt. Bei sehr hohen Fermentern über 10 m Höhe kann der statische Druck ausreichen, um Sand, Kalk und Schlamm auszutragen.

Tabelle 3-37: Technik von Sedimentausttragssystemen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennwerte der für Sedimentausttragssysteme verwendeten Aggregate entsprechen denen der Einzelaggregate, die weiter oben beschrieben wurden</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenräumer nur in stehenden Fermentern mit runder und ebener Grundfläche</li> <li>• Austragsschnecken in liegenden und stehenden Fermentern</li> <li>• konische Fermenterböden in stehenden Fermentern</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonderheiten der für Sedimentausttragssysteme verwendeten Aggregate entsprechen denen der Einzelaggregate, die weiter oben beschrieben wurden</li> <li>• Austragsschnecken müssen entweder flüssigkeitsdicht durch die Fermenterwand oder gasdicht über die Fermenterwand geführt werden</li> <li>• der Austrag kann starke Gerüche verursachen</li> <li>• für Austragsschnecken muss ein Pumpensumpf o.ä. im Fermenter integriert sein</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenräumer mit außenliegendem Antrieb zur Förderung der Sinkschicht nach außen</li> <li>• Austragsschnecken am Fermenterboden</li> <li>• konischer Fermenterboden mit Entnahmepumpe und Sinkschichtaufrührung oder Spüleinrichtung</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Wartung ist bei fest installierten Systemen mit dem Ablass des Fermenters verbunden, daher sind außenliegende Antriebe oder entnehmbare Aggregate von Vorteil</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Schaumfalle

Je nach verwendetem Substrat bzw. verwendeter Substratzusammensetzung kann es zur Schaumbildung bei der Nassfermentation im Fermenter kommen. Dieser Schaum kann die Gasleitungen zur Biogasentnahme verstopfen, weswegen die Gasableitung möglichst hoch im Fermenter verlegt werden sollte. Zusätzliche Schaumfallen sollen das Eindringen von Schaum in die Substratleitungen zu den nachgeschalteten Fermentern oder Lagerbecken verhindern. Außerdem kann im Gasraum des Fermenters ein Schaumsensor angebracht werden, der bei zuviel Schaumentstehung einen Alarm auslöst. Weiterhin besteht die Möglichkeit, bei zu starker Schaumbildung schaumhemmende Stoffe in den Fermenter einzu-

sprühen, wofür allerdings die entsprechende Vorrichtung im Fermenter vorhanden sein muss. Schaumhemmer sind allerdings Silikatverbindungen, die das BHKW bei der Gasnutzung schädigen können.

### Austrag des vergorenen Materials

Bei liegenden Fermentern wird das vergorene Material durch die Pfropfenströmung aufgrund des in den Fermenter geförderten Substrateintrages über einen Überlauf oder ein unterhalb des Substratspiegels gelegenes Austragsrohr ausgetragen. Stehende Fermenter haben normalerweise einen Überlauf, der nach dem Siphonprinzip arbeitet, um einen Gasaustritt zu verhindern. Das vergorene Substrat kann auch mittels Pumpen abgezogen werden.

### 3.2.2.3 Fest-Flüssig-Trennung

Mit der Erhöhung der Anteile an stapelfähigen Substraten in der Biogasgewinnung muss mehr Augenmerk auf die Herkunft der Anmaischflüssigkeit und die Kapazität des Gärrestlagers geworfen werden. Das Lager ist häufig für die anfallende Gülle geplant, kann aber zusätzliche Substrate nach der Vergärung nicht mehr aufnehmen. Für diesen Fall kann der Einsatz einer Fest-Flüssig-Trennung wirtschaftlich und technologisch sinnvoll sein. Das Presswasser kann als Anmaischwasser oder auch als Flüssigdünger wiederverwendet werden und die feste Fraktion ist in wenig Volumen lagerfähig oder kann kompostiert werden.

Zur Fest-Flüssig-Trennung können Siebbandpressen, Zentrifugen oder Schrauben- bzw. Schnecken-separatoren verwendet werden. Aufgrund des vorwiegenden Einsatzes von Separatoren werden deren Kennwerte in Tabelle 3-38 vorgestellt. Einen Schnitt und ein Anwendungsbeispiel eines Separators zeigt Abb. 3-40.

Bei der Prozesswasser-Kreislaufführung ist allerdings zu beachten, dass sich Salze und Nährstoffe bis zu für die Prozessbiologie schädlichen Konzentrationen anreichern können.

### 3.2.2.4 Überwachung und Steuerung der Biogasgewinnung

Aufgrund der engen Zusammenhänge der Teile des komplexen Gesamtsystems Biogasanlage wird die Überwachung und Steuerung der Gesamtanlage zentral durchgeführt.

Aus diesem Grund werden Überwachung und Steuerung der Biogasgewinnung gemeinsam mit den anderen Aggregaten im Kapitel 3.2.5 diskutiert.

Tabelle 3-38: Technik von Schneckenseparatoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substrate von &lt; 1% Trockensubstanz bis ca. 20 % Trockensubstanz</li> <li>• Produkt: bis über 40 % Trockensubstanz</li> <li>• Leistung: beispielsweise bei 5,5 kW und ca. 35 m<sup>3</sup>/h Input von 5 auf 25 % Trockensubstanz</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für pumpfähige Substrate, die von Förderschnecken bewegt werden können</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusatzoptionen wie beispielsweise Oszillatoren können die Entwässerung effektiver machen</li> <li>• vollautomatischer Betrieb möglich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• freistehendes Aggregat</li> <li>• Installation nach der Fermentation um Anmaischwasser zurückzuführen und Rührwerke im Gärrestlager einzusparen</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut zugängliches Aggregat, Wartung ohne Gesamtprozessunterbrechung möglich</li> </ul>

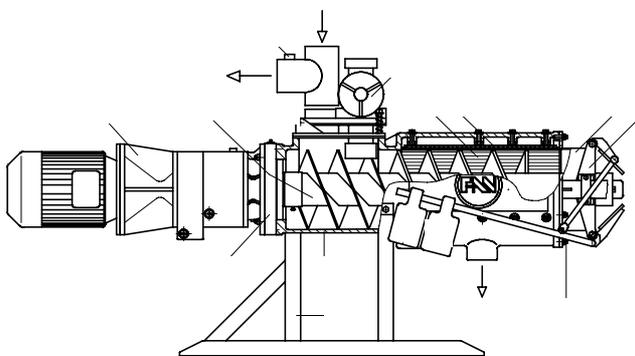


Abb. 3-40: Schneckenseparator; Zeichnung: FAN Separator GmbH; Foto: PlanET Energietechnik



### 3.2.3 Lagerung des vergorenen Substrates

Das vergorene Substrat (Gärrest, Biogasgülle) gelangt aus dem Fermenter in ein Gärrestlager. Hier wird es bis zu seiner Ausbringung zwischengelagert und abgekühlt was je nach Jahreszeit bis zu einem halben Jahr realisiert werden muss und dementsprechend ausgelegt wird. Als Gärrestlager können alte Güllebehälter bzw. -becken verwendet oder neue angelegt werden. Die Speicherkapazität der Lager sollte so bemessen sein, dass Zeiträume, in denen ein witterungsabhängiges Ausbringen der Gärreste nicht möglich ist, ausreichend abgedeckt sind. Die Dimensionierung ist hier von der Verfahrensführung und den eingesetzten Substraten abhängig. Meist werden stehende Rundbehälter verwendet. Aufbau und installierte Technik entsprechen weitgehend dem Grundaufbau der Fermenter (siehe Kapitel 3.2.2.2). Es wird allerdings oft auf Rührwerktechnik, Sandräumung, Beheizung und Wärmedämmung verzichtet.

Da die im Gärsubstrat enthaltene organische Substanz im Fermenter nicht zu 100 % abgebaut wird, finden auch bei der Lagerung der Gärreste weiterhin Gärprozesse statt. Wird das Gärrestlager gasdicht abgedeckt, kann das hierbei entstehende Biogas aufgefangen werden. Dies ist bei Lagerneubauten vorgeschrieben. In diesem Fall fungiert das Gärrestlager als Nachgärbehälter. Das so zusätzlich gewonnene Biogas kann bis zu 20 % der Gesamtausbeute betragen. Neben der zusätzlichen Gasausbeute können so auch Geruchsemissionen verringert werden. Aus diesen Gründen ist ein abgedecktes Gärrestlager einem nicht abgedeckten vorzuziehen /3-3/.

### 3.2.4 Speicherung des gewonnenen Biogases

Das Biogas fällt in schwankender Menge und z. T. mit Leistungsspitzen an. Aus diesem Grund und wegen der weitestgehend konstanten Nutzungsmenge muss es in dafür geeigneten Speichern zwischengespeichert werden. Die Gasspeicher müssen gasdicht, druckfest, medien-, UV-, temperatur- und witterungsbeständig sein. Vor Inbetriebnahme sind die Gasspeicher auf ihre Dichtigkeit zu prüfen. Aus Sicherheitsgründen müssen Gasspeicher mit Über- und Unterdrucksicherungen ausgestattet sein, um eine unzulässig hohe Änderung des Innendrucks im Speicher zu verhindern. Weitere Sicherheitsanforderungen und -vorschriften für Gasspeicher sind in den „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ enthalten. Die Speicher sollten so ausgelegt sein, dass ca. eine viertel Tagesproduktion Biogas gespeichert

werden kann, empfohlen wird häufig ein Volumen von ein bis zwei Tagesproduktionen. Unterschieden werden kann zwischen Nieder-, Mittel- und Hochdruckspeichern.

#### Niederdruckspeicher

Am gebräuchlichsten sind Niederdruckspeicher mit einem Überdruckbereich von 0,05 bis 0,5 mbar. Niederdruckspeicher bestehen aus Folien, die den Sicherheitsanforderungen gerecht werden müssen. Folienpeicher werden als externe Gasspeicher oder als Gashauben auf dem Fermenter installiert.

Externe Niederdruckspeicher können in Form von Folienkissen ausgeführt werden. Die Folienkissen werden zum Schutz vor Witterungseinflüssen in geeigneten Gebäuden untergebracht oder mit einer zweiten Folie versehen (Abb. 3-41). Die Spezifikationen von externen Gasspeichern werden in Tabelle 3-39 dargestellt.

Wird der Fermenter selbst bzw. der Nachgärbehälter als Gasspeicher verwendet, kommen sogenannte Folienhauben zum Einsatz. Die Folie wird gasdicht an der Oberkante des Behälters angebracht. Im Behälter wird ein Traggestell eingebaut, auf dem die Folie bei leerem Gasspeicher aufliegen kann. Je nach Füllstand des Gasspeichers dehnt sich die Folie aus. Kennwerte können Tabelle 3-40 entnommen werden, Beispiele werden in Abb. 3-42 gezeigt.

#### Mittel- und Hochdruckspeicher

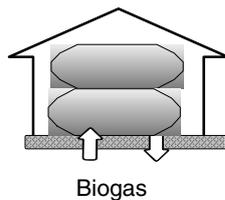
Mittel- und Hochdruckspeicher speichern das Biogas bei Betriebsdrücken zwischen 5 und 250 bar in Stahl-druckbehältern und -flaschen /3-1/. Sie sind sehr betriebs- und kostenaufwändig. Bei Druckspeichern bis 10 bar muss mit einem Energiebedarf bis zu 0,22 kWh/m<sup>3</sup> und bei Hochdruckspeichern mit 200-300 bar mit ca. 0,31 kWh/m<sup>3</sup> gerechnet werden /3-3/. Deshalb kommen sie bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen praktisch nicht zum Einsatz.

#### Notfackel

Für den Fall, dass die Gasspeicher kein zusätzliches Biogas mehr aufnehmen können und/oder das Gas z. B. aufgrund von Wartungsarbeiten am BHKW oder extrem schlechter Qualität nicht verwertet werden kann, muss der nicht nutzbare Teil schadlos entsorgt werden. Die Vorgaben zur Betriebsgenehmigung werden hier bundeslandspezifisch unterschiedlich gehandhabt, wobei ab Gasströmen von 20 m<sup>3</sup>/h die Installation einer Verwertungsalternative zum BHKW vorgeschrieben ist. Dies kann in der Form eines zweiten BHKW erfolgen (beispielsweise zwei kleinere

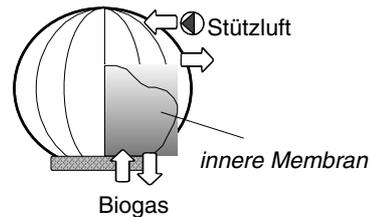
Tabelle 3-39: Kennwerte und Einsatzparameter von externen Biogasspeichern, Daten z.T. aus [3-3]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasspeichervolumen bis 2000 m<sup>3</sup> lieferbar</li> <li>• Überdruck: 0-100 mbar</li> <li>• Foliendurchlässigkeit: es muss mit 1-5 ‰ Biogasverlust am Tag gerechnet werden</li> <li>• Materialien: PVC (nicht sehr langlebig), Butylkautschuk, Polyäthylen-Polypropylen-Gemisch</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Biogasanlagen</li> </ul>
Vorteile	+ Methankonzentration des aktuell gebildeten Biogases kann im Gasraum des Fermenters gemessen werden (aufgrund der geringen Gasmenge ist dort die Vermischung klein) und spiegelt die Aktivität der Mikroorganismen wider
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ggfs. zusätzlicher Platzbedarf</li> <li>- ggfs. zusätzliches Gebäude</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• durch Auflegen von Gewichten kann der Druck zur Beschickung des BHKW erhöht werden</li> <li>• Bei Unterbringung in Gebäuden muss auf eine sehr gute Luftzufuhr zum Gebäude geachtet werden um explosionsfähige Gemische zu vermeiden</li> <li>• in Abhängigkeit vom Füllstand kann die Motorleistung des BHKW angepasst werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• freiliegendes und fixiertes Folienkissen</li> <li>• eingehaustes Folienkissen in Extragebäude oder Tank</li> <li>• Folienkissen auf einer Zwischendecke über dem Fermenter</li> <li>• Foliensack, hängend in einem Gebäude (z. B. ungenutzte Scheune)</li> <li>• Folienspeicher unter Tragluftdach</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitestgehend wartungsfrei</li> </ul>



Biogas

Folienkissenspeicher



Biogas

Doppelmembranspeicher

Abb. 3-41: Folienspeicher; Zeichnungen: Linke, B.: Institut für Agrartechnik Bornim

BHKW statt eines großen). Mit der Installation einer Notfackel ist man hier auf jeden Fall auf der sicheren Seite, um die Möglichkeit der Gasentsorgung nachweisen zu können. Meist wird dies auch von den Behörden gefordert. Kennwerte von Notfackeln, die im Biogasbereich eingesetzt werden, zeigt Tabelle 3-41. Ein Beispiel zeigt Abb. 3-43.

### 3.2.5 Prozessüberwachung und -steuerung

Neben einer fachmännischen Planung der Biogasanlage sollte ein betriebsbegleitender Service der Anlagenhersteller die Regel sein. Durch Laboruntersuchungen wird eine Optimierung des Gärprozesses angestrebt. So kann eine ausreichende Biogasproduktion gewährleistet und dem größtmöglichen Störfall einer Biogasanlage, dem Zusammenbrechen des Biogasprozesses, vorgebeugt werden.

Um eine effektive Prozessführung und -kontrolle durchführen zu können, ist es notwendig, bestimmte

Parameter des Vergärungsprozesses zu überwachen. Zur Beurteilung und Steuerung des Gärprozesses ist eine Überwachung folgender Werte empfehlenswert, wobei zumindest die Bestimmung der ersten vier genannten Werte täglich erfolgen sollte:

- Art und Menge der zugeführten Substrate,
- Prozesstemperatur,
- pH-Wert,
- Gasmenge und -zusammensetzung,
- kurzkettige Fettsäuren,
- Füllstand.

Eine Standardisierung und Weiterentwicklung des Gärprozesses und damit der Produktivität der Biogasanlage ist nur durch eine regelmäßige Überwachung und Dokumentation (z. B. in Betriebstagebüchern) der Messdaten möglich. Überwachung und Dokumentation sind auch bei stabil laufenden Prozessen notwendig, um Abweichungen von Normalwerten rechtzeitig erkennen zu können. Nur so besteht die Möglichkeit eines frühzeitigen Eingriffs und einer da-

Tabelle 3-40: Kennwerte und Einsatzparameter von Folienhauben, Daten z.T. aus [3-3]

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasspeichervolumen bis 4000 m<sup>3</sup> lieferbar</li> <li>• Überdruck: 5-100 mbar</li> <li>• Foliendurchlässigkeit: es muss mit 1-5 ‰ Biogasverlust am Tag gerechnet werden</li> <li>• Materialien: Butylkautschuk, Polyäthylen-Polypropylen-Gemisch, EPDM-Kautschuk</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Biogasanlagen mit stehendem Fermenter und Nachgärer mit möglichst hohen Durchmessern</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kein zusätzliches Gebäude notwendig</li> <li>+ kein zusätzlicher Platz notwendig</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die aktuelle Methankonzentration im Gasraum des Fermenters kann aufgrund der starken Gasvermischung im großen Gasraum nicht gemessen werden und kann daher die Aktivität der Mikroorganismen nicht widerspiegeln</li> <li>- Wärmedämmung zum Gasraum ist ohne zusätzliches Dach nur gering</li> <li>- ohne zusätzliches Dach wind- und schneeempfindlich</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedämmung durch Doppelfolie mit Lufteinblasung (Tragluftdach) möglich</li> <li>• Rührwerke können nicht auf der Fermenterdecke montiert werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folie als Dach über dem Fermenter</li> <li>• Folie unter einem Tragluftdach</li> <li>• Folie unter einer festen Dach auf einem höher gezogenen Fermenter</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitestgehend wartungsfrei</li> </ul>

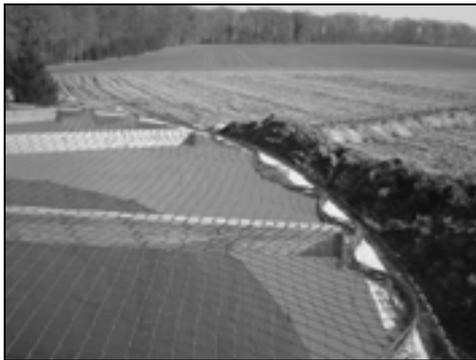


Abb. 3-42: Unterkonstruktion eines Tragluftdaches (links); Biogasanlage mit Tragluftdächern (rechts)  
Fotos: MT-Energie GmbH

Tabelle 3-41: Kennwerte und Einsatzparameter von Notfackeln

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumenströme bis 1000 m<sup>3</sup>/h möglich</li> <li>• Verbrennungstemperatur 800-1000 °C</li> <li>• Material: Stahl oder Edelstahl</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Biogasanlagen</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit offener oder verdeckter Verbrennung möglich</li> <li>• mit isolierter Brennkammer auch Einhaltung der Vorgaben nach TA Luft möglich, wobei dies bei Notfackeln nicht zwingend vorgeschrieben ist</li> <li>• mit Naturzug oder Gebläse verfügbar</li> <li>• Sicherheitshinweise, insbesondere in Bezug auf den Abstand zum nächsten Gebäude sind zu beachten</li> <li>• Druckerhöhung des Biogases vor der Brennerdüse notwendig</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelaggregat auf eigenem kleinen Betonfundament im Handbetrieb oder automatisierbar</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weitestgehend wartungsfrei</li> </ul>



Abb. 3-43: Notfackel einer Biogasanlage;  
Foto: Haase Umwelttechnik AG

mit verbundenen Korrektur des Gärprozesses. Automatische Messsysteme zur Überwachung der Prozessbiologie befinden sich in der Entwicklung, sind aber derzeit noch nicht marktreif. Wird eine computergestützte Steuerung der Biogasanlage verwendet, können die Messwerte über entsprechende Systeme per Computer aufgenommen und visualisiert werden. Kern der automatischen Überwachung ist nach wie vor die Funktionskontrolle aller Aggregate. Neben einer automatischen Steuerung der Anlage sind auch Datenfernübertragungen realisierbar. Abb. 3-44 zeigt ein Beispiel für die Computerüberwachung einer Biogasanlage.



Abb. 3-44: Computer-gestützte Anlagenführung;  
Foto: Agrartechnik Lothar Becker

Die Automatisierung von Biogasanlagen nimmt in immer stärkerem Maß zu. Durch Prozessleitsysteme können die meisten Aggregate einer Biogasanlage automatisch gesteuert werden. Bekannt sind Steuerung für folgende Komponenten:

- Substratbeschickung,
- Hygienisierung,
- Fermenterheizung,
- Mischaggregate,
- Sedimentaustag,
- Substrattransport durch die Anlage,
- Fest-Flüssig-Trennung,
- Entschwefelung,
- Blockheizkraftwerk.

Die Art der Steuerung variiert von Zeitschaltuhren bis hin zu visualisierten computergestützten Regelungen mit Fernüberwachung durch einen Anlagenservice. Die Anlagensteuerung wird individuell für jede Anlage geplant und geliefert. Die Abb. 3-45 zeigt Beispiele für die Prozessvisualisierung und eine zentrale Messdatenerfassung.

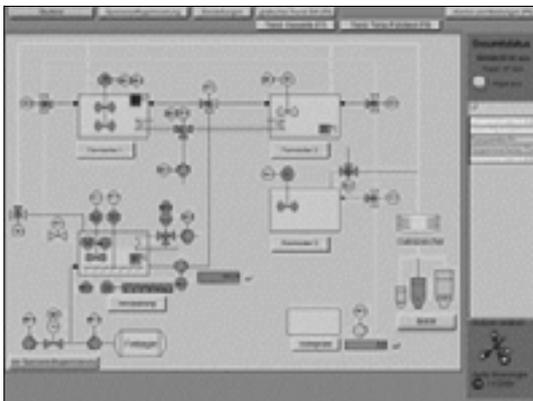


Abb. 3-45: Prozessvisualisierung und zentrale Messdatenerfassung; Bilder: Awite Bioenergie GbR



In der Praxis ist die mess- und regeltechnische Ausstattung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich meist sehr einfach. Dies kann im Wesentlichen darauf zurückgeführt werden, dass kaum kostengünstige, wartungsarme und preisgünstige Messfühler, die für die Biogastechnik geeignet sind, auf dem Markt verfügbar sind. Die einzigen nahezu uneingeschränkt einsetzbaren Sensoren sind Temperatur- und Druckfühler, die nahezu in jeder Anlage genutzt werden.

Nachfolgend wird die Messung der einzelnen Messgrößen, die an Biogasanlagen erfasst werden, im Detail dargestellt.

**Zugegebene Menge pumpfähiger Substrate**

Die Menge pumpfähiger Substrate, die dem Fermenter zugegeben wurde, kann über eine Durchflussmessung bestimmt werden. Die Durchflussmesser müssen unempfindlich gegen Verschmutzungen sein. Durchflussmesser, die mit mechanischen Teilen arbeiten, haben sich aus diesem Grund nicht bewährt. Verwendet werden vorwiegend induktiv und kapazitiv arbeitende Durchflussmessgeräte. Inzwischen kom-

men vereinzelt Ultraschall- und Wärmeleitfähigkeitsverfahren zum Einsatz, deren Kennwerte mit denen der induktiven und kapazitiven Sensoren weitestgehend übereinstimmen. Einsatzparameter werden in Tabelle 3-42 dargestellt.

**Zugegebene Feststoffmenge**

Zur Bestimmung der eingetragenen Feststoffmenge bzw. Kosubstratmenge (Silomais, Ernterückstände usw.) sollten entsprechende Wiegevorrichtungen vorhanden sein. So ist eine definierte Dosierung der Feststoffe möglich. Kennwerte können aus Tabelle 3-43 entnommen werden.

**Fermenterfüllstand**

Für die Überwachung des Füllstandes im Fermenter und in den Lagerbehältern werden Systeme, die den hydrostatischen Druck am Boden des Fermenters oder den Abstand zur Oberfläche der Flüssigkeit mit Ultraschall oder Radar messen, verwendet. Kennwerte für Füllstandsmessanordnungen sind in Tabelle 3-44 zusammengefasst.

*Tabelle 3-42: Kennwerte und Einsatzparameter von induktiven und kapazitiven Durchflussmessgeräten*

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle in Biogasanlagen üblichen Durchflussströme können gemessen werden</li> <li>• Die Sensoren sollten aus Edelstahl hergestellt sein um Korrosion zu vermeiden</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle pumpfähigen Substrate</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgrund des Aufbaues ohne mechanische Teile im Stoffstrom keine Behinderungen im Stoffstrom trotz exakter Messung</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Rohrleitungen integrierbare Sensoren</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr leicht von außen ohne Eingriff in den Materialstrom möglich</li> </ul>

*Tabelle 3-43: Kennwerte und Einsatzparameter von Feststoffmasseerfassungssystemen*

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drucksensoren sind für alle Gewichtsklassen verfügbar, alle für die Biogastechnik bekannten Vorlagebehälter können aus Sicht der Drucksensoren gewogen werden</li> <li>• die Sensoren müssen wetterfest und wasserdicht sein</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle stapelbaren Substrate, die von Aggregaten gefördert werden, die nicht fest mit dem Fermenter verbunden sein müssen</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Wägung muss immer frei schwebend möglich sein, Verschmutzungen im Bereich der Drucksensoren und unter dem Vorlagebehälter sind zu vermeiden,</li> <li>• die Nachfüllung der Vorlagebehälter während der Beschickung muss vermieden werden</li> <li>• Wiegeeinrichtungen am Radlader können üblicherweise nicht automatisch für die Prozesssteuerung erfasst werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit Drucksensoren ausgestattete Vorlagebehälter für die Feststoffeinbringung</li> <li>• mit Wiegeeinrichtungen ausgestattete Radlader</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit geringen Beschickungsunterbrechungen von außen möglich</li> </ul>

Tabelle 3-44: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für den Fermenterfüllstand

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hydrostatische Drücke können bis auf 10 cm Wassersäule genau für alle bekannten Fermenterhöhen gemessen werden</li> <li>• die Messung des Abstandes des Flüssigkeitsspiegels von der Fermenterdecke ist für alle Fermenterhöhen genauer als 1 cm möglich</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für alle Fermentertypen in der Nassfermentation</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren im Gasraum können stark korrodieren und verschmutzen, was zu Fehlmessungen und zur Sensorzerstörung führen kann</li> <li>• Sensoren im Fermenter können nicht oder schlecht gewartet werden</li> <li>• Explosionsschutz beachten</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messung des hydrostatischen Druckes am Fermenterboden mit Druckmessdosen (Regelfall)</li> <li>• Messung des Abstandes von der Fermenterdecke zur Flüssigkeitsoberfläche mit Radar oder Ultraschall</li> <li>• U-Rohr-Manometer als manuell ablesbares Einfachstinstrument</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit der Wartung oder dem Sensoraustausch ist eine Öffnung des Fermenters, möglicherweise der Ablass des Gesamtfermenters notwendig</li> <li>• Sensoren an von außen entnehmbaren Bauteilen erleichtern das Vorgehen erheblich</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> <li>• im Einzelfall wird auch das Gewicht des Fermenters mit Druckaufnehmern gemessen</li> </ul>

Tabelle 3-45: Kennwerte und Einsatzparameter von Messeinrichtungen für die Füllstandserfassung im Gasspeicher

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Druckmessung im Gas ist auf wenige Millibar genau möglich</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Niederdruckgasspeicher geeignet</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Sensoren müssen korrosionsfest sein und hohe Luftfeuchten ertragen können</li> <li>• Explosionsschutz beachten</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messung des Gasdruckes mit Druckdosen</li> <li>• U-Rohr-Manometer zur manuellen Ablesung</li> <li>• Längengeber am Folienspeicher zur manuellen Ablesung</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Installation von Drucksensoren, die nach außen aus dem Gasraum entnommen werden können, einfach möglich</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Füllstand des Gasspeichers

Über Füllstandserfassungen im Gasspeicher können die nachgeschalteten Blockheizkraftwerke gesteuert werden. So ist es möglich, bei zu geringer Biogasproduktion die BHKW abzuschalten und bei ausreichend gespeicherter Biogasmenge wieder in Betrieb zu nehmen. Die Füllstandsmessung erfolgt mit Drucksensoren oder Längengebern. Der Druck im Gasspeicher kann zur Steuerung des Verdichters vor dem Blockheizkraftwerk genutzt werden. Kennwerte für Messeinrichtungen für die Füllstandserfassung des Gasspeichers sind in Tabelle 3-45 zusammengestellt.

### Prozesstemperatur

Die Temperatur im Fermenter muss zur Gewährleistung einer konstanten Prozesstemperatur gemessen werden. Für die Temperaturüberwachung des Prozesses sollten mehrere Messstellen im Fermenter vorgesehen werden. Es können PT100- oder NTC-Messele-

mente verwendet werden. Die gemessenen Werte müssen anschließend dokumentiert werden. Durch Aufgabe der Messwerte auf Leitsysteme können sie per Computer gespeichert und visualisiert werden. Bei Verwendung entsprechender Ventile ist so auch eine automatische Steuerung des Heizkreislaufes möglich. Temperatursensoren für die Biogastechnik sind in Tabelle 3-46 charakterisiert.

### pH-Wert

Der pH-Wert gibt wichtige Hinweise auf den Zustand des Gärprozesses. Er kann in regelmäßigen Abständen durch Entnahme einer repräsentativen Probe aus dem Fermenter mit handelsüblichen pH-Metern gemessen werden. Zur Erstellung eines Trends müssen die Messergebnisse dokumentiert werden. Eine Zusammenstellung der Kennwerte von pH-Metern erfolgt in Tabelle 3-47.

Tabelle 3-46: Kennwerte und Einsatzparameter von Temperatursensoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen können mit Thermoelementen auf <math>\pm 1,5^{\circ}\text{C}</math> genau gemessen werden, NTC-Elemente erlauben die Messung auf <math>\pm 0,2^{\circ}\text{C}</math> genau</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Fermentertypen geeignet</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermoelemente müssen über sog. Ausgleichsleitungen mit der Messwerterfassung verbunden werden</li> <li>• die Sensoren dürfen nicht zu nah an der Wand oder an der Fermenterheizung installiert werden, um Fehlmessungen zu vermeiden</li> <li>• die Temperaturverteilung im Fermenter ist nicht immer homogen, daher ist die Nutzung mehrerer Messstellen empfehlenswert</li> <li>• weitere Messstellen in Heizaggregaten und an Verbrauchern</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• meist als Mantelthermoelemente, bzw. ummantelte NTC-Sensoren</li> <li>• Fühler zur manuellen Ablesung an Fermentern und Rohrleitungen</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatursensoren müssen je nach Typ regelmäßig kalibriert werden</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

Tabelle 3-47: Kennwerte und Einsatzparameter von pH-Metern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-Werte zwischen 0 und 12 können erfasst werden, Werte zwischen 5 und 8 sind aber nur zu erwarten</li> <li>• Sonden sind in der Regel aus Glas gefertigt</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle pumpfähigen Substrate</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Drift der Sensoren erfordert eine häufige Kalibrierung</li> <li>• die Sonden müssen immer in Salzlösung aufbewahrt werden</li> <li>• die Messung muss an einer frischen Probe sofort durchgeführt werden</li> <li>• es muss eine Probenahmeöffnung im Fermenter vorgesehen sein</li> <li>• wenn sehr geringe pH-Werte gemessen werden, droht der Fermenter „umzukippen“, zum Zeitpunkt der Messung des geringen Wertes muss ein Prozesseingriff sehr schnell erfolgen</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• üblich ist eine Handsonde, die in das Substrat getaucht wird</li> <li>• es sind auch kontinuierlich im Fermenter installierte Sonden möglich</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eine Kalibrierung ist vor jeder Messung notwendig</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### Fettsäurebestimmung/ Substratzusammensetzung

Die Überwachung der Fettsäuren ermöglicht eine sichere Beurteilung des Gärprozesses. Bei der Messung wird das Spektrum und die Konzentration der kurzkettigen Fettsäuren, die bei dem Gärprozess entstehen, bestimmt. Die kontinuierliche Messung ist aufgrund des hohen Messaufwands und der aufwändigen Analysetechnik schwer vor Ort durchzuführen. Werden die Proben im Labor untersucht, kann der Zeitabstand zwischen Probenahme und Analyseergebnis relativ groß sein. Eine Aussage über den momentan vorherrschenden Prozesszustand ist daher schwierig. Viele Hersteller und Beratungsunternehmen von Biogasanlagen bieten die Fettsäurebestimmung innerhalb der weiterführenden Betreuung der Biogasanlage an.

Alternativ oder zusätzlich zu den Fettsäurekonzentrationen wird die Konzentration des CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) kontinuierlich oder diskontinuierlich überwacht. Vorteilhaft ist die Möglichkeit

der Vor-Ort- und der automatischen Analyse, die sogar die Prozessregelung erlaubt. Eigenschaften von Methoden zur Bestimmung der Substratzusammensetzung sind in Tabelle 3-48 zusammengefasst.

### Gasmenge

Die Messung der anfallenden Biogasmenge ist aus Gründen der Prozessüberwachung notwendig. Unregelmäßigkeiten in der Gasproduktion können auf Störungen im Prozess hinweisen, auf die reagiert werden muss. Installiert sind die Gaszähler in der Gasleitung direkt im Anschluss an den Fermenter. Die gemessenen Biogasmengen sollten zur Erstellung von Trends aufgezeichnet werden. Kennwerte enthält Tabelle 3-49.

### Gaszusammensetzung

Durch Gasanalysen kann bei Verwendung entsprechender Messgeräte die Gaszusammensetzung kontinuierlich kontrolliert werden. Die Ergebnisse können

Tabelle 3-48: Kennwerte und Einsatzparameter von Methoden zur Bestimmung der Substratzusammensetzung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fettsäurekonzentrationen bis zu einem CSB von 10.000 mg/l können durchgeführt werden</li> <li>• CSB-Konzentrationsmessungen zwischen 10 und 50.000 mg/l sind möglich</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut für alle pumpfähigen Substrate geeignet</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Probentransport sollte möglichst kurz gehalten werden, um die frische Probe zu analysieren, da der Abbauprozess im Probengefäß fortgesetzt wird</li> <li>• es muss eine Probenahmeöffnung im Fermenter vorgesehen sein</li> <li>• für die Verfahren entsteht ein Chemikalienbedarf</li> <li>• Messtechnik recht teuer</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fettsäuren werden in Gaschromatographen im Labor ermittelt</li> <li>• der CSB kann durch Oxidation ermittelt werden, ein Online-Messverfahren wird angeboten</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßige Kalibrierungen sind notwendig</li> <li>• Wartungsarbeiten entfallen für den Biogasanlagenbetreiber</li> </ul>

Tabelle 3-49: Kennwerte und Einsatzparameter von Gaszählern

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es stehen für alle möglichen Volumenströme Durchflussmessgeräte zur Verfügung</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Biogasanlagen geeignet</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaszähler müssen unempfindlich gegenüber dem korrosiven Biogas sein</li> <li>• Gaszähler sind meist sehr feuchteempfindlich</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drehkolbenzähler, Wirbel- und Dralldurchflussmesser in Abhängigkeit des Gasdurchflusses</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aufgrund der Installation in der Gasleitung ist die Wartung leicht möglich</li> <li>• während der Wartungszeit muss das BHKW abgeschaltet werden</li> </ul>

zur Steuerung des Gärprozesses oder nachfolgender Prozesse wie z. B. der Gasreinigung verwendet werden. Zur Bestimmung der Gaszusammensetzung können Sensoren auf der Basis von Wärmetönung, Wärmeleitung, Infrarotstrahlungsabsorption, Chemosorption oder elektrochemischer Bestimmung zum Einsatz kommen. Bei der Auswahl der Methoden sollte die Messgenauigkeit, Selektivität, Linearität, Messbereich und die Empfindlichkeit der Sensoren bzw. Analysemethoden berücksichtigt werden. Zur Bestimmung von Methan und Kohlenstoffdioxid haben sich Infrarotsensoren, von Wasserstoff, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff elektrochemische Sensoren als geeignet herausgestellt.

Die Messung auf Biogasanlagen erfolgt mit Handmessgeräten oder stationären Messgeräten. Über Handmessgeräte können zwar Aussagen über die Gaszusammensetzung getroffen werden, eine Integration der Messwerte in eine computergestützte Anlagensteuerung ist gegenüber stationär arbeitenden Geräten nur schwer möglich. Sensoren für die Messung der Gaszusammensetzung sind in Tabelle 3-50 charakterisiert. Ein Beispiel für ein Gasmessgerät zeigt Abb. 3-46.



Abb. 3-46: Gasanalysegerät; Foto: Schmack Biogas AG

Tabelle 3-50: Kennwerte und Einsatzparameter von Sensoren für die Erfassung der Gaszusammensetzung

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Konzentrationsbereiche lassen sich erfassen</li> <li>• die Genauigkeit der Messgeräte hängt von der Art der Sensoren und den gewählten Messbereichen ab</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für alle Biogasanlagen nach Entfeuchtung des Biogases</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren können durch kondensierende Feuchtigkeit im Gas zerstört werden, daher ist eine Entfeuchtung des Gases vor die Sensorik zu schalten</li> <li>• Sensoren können, um ihre Standzeit zu verlängern, intermittierend mit Biogas beschickt werden, um beispielsweise stündliche Messwerte zu erfassen</li> <li>• elektrochemische Sensoren sind kostengünstig, müssen aber ein- bis zweijährig ausgetauscht und häufig kalibriert werden</li> <li>• bei der Messung ist zu berücksichtigen, dass sich das aktuell gebildete Biogas mit dem im Gasraum über dem Fermenter befindlichen Gas vermischt und damit nur ein Mittelwert der Gaskonzentrationen erfasst werden kann</li> <li>• alle mit Biogas in Berührung kommenden Bauteile müssen widerstandsfähig gegen Biogas sein</li> <li>• Messungen mit Handgeräten können nur schwer Trends in der Gaszusammensetzung widerspiegeln</li> <li>• bei Messungen mit Handgeräten ist die Anlaufphase zu beachten, in der nach Einschalten der Geräte bis zu 30 Minuten keine zuverlässigen Messwerte ermittelt werden</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrochemische Sensoren für Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Methan</li> <li>• Infrarotsensoren für Kohlendioxid und Methan</li> <li>• Messgeräte können als Handgeräte oder fest installiert erworben werden</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regelmäßige Prüfungen und Kalibrierungen sind notwendig</li> <li>• Sicherheitsvorschriften bei Arbeiten im Fermenter müssen beachtet werden</li> </ul>

### 3.3 Sicherheitsregeln

Biogas ist ein Gasgemisch und besteht im wesentlichen aus Methan (50-80 Vol.-%), Kohlendioxid (20-50 Vol.-%), Schwefelwasserstoff (0,01-0,4 Vol.-%) sowie weiteren Spurengasen /3-15/, /3-16/. Die Eigenschaften von Biogas werden anderen Gasen in Tabelle 3-51 gegenübergestellt. Tabelle 3-52 fasst die Eigenschaften der einzelnen Biogaskomponenten zusammen. In Verbindung mit Luftsauerstoff ist das Gasgemisch Biogas in bestimmten Grenzen explosionsfähig, weswegen bei der Errichtung und beim Betrieb einer Biogasanlage besondere Sicherheitsvorschriften beachtet werden müssen.

Darüber hinaus bestehen weitere Gefahren z.B. der Erstickung oder Vergiftung sowie mechanischer Art.

Diese vielfältigen Sicherheitsvorschriften sind in verschiedenen Regelwerken beschrieben. Hervorzuheben sind hier die „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ (Arbeitsunterlage 69) des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften /3-16/, in denen die Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Biogasanlagen im Sinne der Durchführungsanweisung zu §1 der Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1) /3-19/ der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften beschrieben werden.

Dieses Kapitel soll dem Leser einen Überblick über die potenziellen Gefahren während des Betriebes einer Biogasanlage vermitteln und ihn dahingehend sensibilisieren. Es kann daher keinesfalls die gültigen Fassungen der zitierten Regeln /3-16/, /3-18/, /3-19/, /3-20/ ersetzen.

#### 3.3.1 Vergiftungs- und Erstickungsgefahr

Die Freisetzung von Biogasen ist bekanntlich ein natürlicher Prozess und deswegen nicht ausschließlich auf Biogasanlagen beschränkt. Insbesondere in der tierhaltenden Landwirtschaft ist es in der Vergangenheit immer wieder zu teilweise tödlichen Unfällen im Zusammenhang mit Biogasen gekommen (z.B. Güllekeller, Futtersilos etc.).

Liegt Biogas in genügend hohen Konzentrationen vor, kann es beim Einatmen zu Vergiftungs- oder Erstickungserscheinungen bis hin zum Tod führen. Insbesondere der enthaltene Anteil an Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) in nicht entschwefeltem Biogas wirkt schon in geringen Konzentrationen stark toxisch (siehe Tabelle 3-53).

Darüber hinaus kann es insbesondere in geschlossenen oder tiefer gelegenen Räumen zu Erstickungen durch Verdrängen des Sauerstoff durch Biogas kommen. Zwar ist Biogas mit einer relativen Dichte von ca. 1,2 kg pro Nm<sup>3</sup> leichter als Luft, jedoch neigt es zur Entmischung. Dabei sammelt sich das schwerere Koh-

Tabelle 3-51: Eigenschaften von Gasen /3-16/, /3-17/

		Biogas <sup>a</sup>	Erdgas	Propan	Methan	Wasserstoff
Heizwert	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Dichteverhältnis zu Luft		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zündtemperatur	°C	700	650	470	600	585
Explosionsbereich	Vol.-%	6 - 12	4,4 - 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77

a. Beispiel: Methan 60 Vol.-%, Kohlendioxid 38 Vol.-% und Restgase 2 Vol.-%

Tabelle 3-52: Eigenschaften der Biogaskomponenten /3-16/, /3-17/, /3-18/

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	H
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Dichteverhältnis zu Luft		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Zündtemperatur	°C	600	-	270	605	585
Explosionsbereich	Vol.-%	4,4 - 16,5	-	4,3 - 45,5	10,9 - 75,6	4 - 77
MAK-Wert <sup>a</sup>	ppm	n.a.	5000	10	30	n.a.

a. MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration

lendioxid (D = 1,85 kg/m<sup>3</sup>) im Bodenbereich an, während das leichtere Methan (D = 0,72 kg/m<sup>3</sup>) nach oben steigt.

Aus diesen Gründen muss in geschlossenen Räumen, z. B. umbaute Gasspeicher, jederzeit für eine ausreichende Belüftung gesorgt werden. Darüber hinaus muss bei Arbeiten in potenziellen Gefahrenbereichen (Fermenter, Wartungsschächte, Gaslager etc.) die persönliche Schutzausrüstung (z. B. Gaswarngeräte, Atemschutz usw.) getragen werden.

Tabelle 3-53: Toxische Wirkung von Schwefelwasserstoff /3-17/

Konzentration (in der Luft)	Wirkung
0,03 - 0,15 ppm <sup>a</sup>	Wahrnehmungsschwelle (Geruch von faulen Eiern)
15 - 75 ppm	Reizung der Augen und der Atemwege, Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Bewusstlosigkeit
150 - 300 ppm (0,015 - 0,03 %)	Lähmung der Geruchsnerven
> 375 ppm (0,038 %)	Tod durch Vergiftung (nach mehreren Stunden)
> 750 ppm (0,075 %)	Bewusstlosigkeit und Tod durch Atemstillstand innerhalb 30-60 Minuten
ab 1000 ppm (0,1 %)	schneller Tod durch Atemlähmung innerhalb weniger Minuten

a. ppm = Parts Per Million (1ppm = 0,0001%)

### 3.3.2 Explosions- und Brandgefahr

Wie schon erwähnt wurde, kann es unter bestimmten Bedingungen vorkommen, dass Biogas in Verbindung mit Luft ein explosionsfähiges Gasgemisch bildet (siehe Tabelle 3-52). Oberhalb der Explosionsgrenzen besteht zwar keine Explosionsgefahr, dennoch können durch offenes Feuer, Schaltfunken elektrischer Geräte oder auch Blitzschlag Brände ausgelöst werden.

Beim Betrieb von Biogasanlagen muss daher insbesondere in der näheren Umgebung von Gärbehältern und Gasspeichern mit der Entstehung von explosionsfähigen Gas/Luft-Gemischen sowie mit erhöhter Brandgefahr gerechnet werden. Abhängig von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre werden die verschiedenen Anlagenbereiche durch die „BGR 104 – Explosionschutz-Regeln“ in sogenannte „Explosionsgefährdete Bereiche“ (Ex-Zonen) eingeteilt /3-19/, in denen entsprechende Vorsorge- und Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden müssen.

#### Zone 0

In Bereichen der Zone 0 tritt eine explosionsfähige Atmosphäre **ständig, langfristig** oder **zeitlich überwiegend** auf /3-16/, /3-19/. Solche Bereiche sind jedoch im Normalfall bei Biogasanlagen nicht zu finden. Auch der/die Gärbehälter stellen keinen solchen Bereich dar.



### Zone 1

Die Zone 1 beschreibt Bereiche, in denen **gelegentlich** eine explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Dies können Bereiche in der näheren Umgebung von Einstiegsöffnungen des Gasspeichers oder auf der gasführenden Seite des Gärbehälters sowie in der Nähe von Abblaseeinrichtungen, Überdrucksicherungen oder Gasfackeln sein /3-16/. Um diese Bereiche sind im Umkreis von 1 m (bei freier Lüftung) die Sicherheitsmaßnahmen der Zone 1 zu realisieren. Der Umkreis erweitert sich in geschlossenen Räumen auf 4,5 m /3-19/.

### Zone 2

In diesen Bereichen ist im Normalfall nicht damit zu rechnen, dass explosionsfähige Gas/Luftgemische auftreten. Kommt dies aber dennoch vor, so kann man davon ausgehen, dass dies nur selten der Fall und nicht von zeitlich langer Dauer ist (z. B. bei Servicearbeiten oder im Störfall) /3-16/, /3-19/.

Dies betrifft z.B. Einstiegsöffnungen sowie das Innere des Fermenters und bei Gasspeichern die nähere Umgebung der Be- und Entlüftungsöffnungen. In den betreffenden Bereichen müssen im Umkreis von 1 bis 3 m die Maßnahmen der Zone 2 umgesetzt werden /3-19/.

In den explosionsgefährdeten Bereichen müssen Maßnahmen gemäß BRG 104, Abschnitt E2 zur Vermeidung von Zündquellen getroffen werden. Zusätzlich sind solche Bereiche mit den entsprechenden Warn- und Hinweisschildern zu versehen.

### 3.3.3 Weitere Unfallgefahren

Neben den bisher beschriebenen Gefahrenquellen bestehen weitere Unfallquellen, z. B. Absturzgefahr an Leitern oder nicht abgedeckten Gruben (Einspültrichter, Wartungsschächte etc.). Zudem stellen bewegte Anlagenteile (Rührwellen etc.) weitere Gefahrenquellen dar.

Im Bereich der Blockheizkraftwerke kann es durch unsachgemäße Bedienung oder durch Defekte zu tödlichen Stromschlägen kommen, da hier elektrische Energie mit Spannungen von mehreren hundert Volt und Stromstärken im dreistelligen Amperebereich erzeugt werden. Dieselbe Gefahr geht auch von Rührwerken, Pumpen, Zuführeinrichtungen etc. aus, da hier ebenfalls mit hohen elektrischen Leistungen gearbeitet wird.

Weiterhin besteht durch die Heiz- bzw. Kühlsysteme (Motorkühler, Fermenterheizung, Wärmetauscher etc.) einer Biogasanlage Verbrühungsgefahr im Fall von Störungen. Dies trifft auch auf Teile der BHKW bzw. evtl. vorhandener Notsysteme (z. B. Gasfackel) zu.

Um Unfälle dieser Art zu vermeiden, müssen an den entsprechenden Anlagenteilen gut sichtbare Warnhinweise angebracht und das Betriebspersonal dementsprechend eingewiesen sein.

### 3.4 Literaturverzeichnis

- /3-1/ Schulz, H.; Eder, B.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, 2001
- /3-2/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie und Systemtechnik/Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001
- /3-3/ Jäkel, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- /3-4/ Neubarth, J.; Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien in Österreich - Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Wien, 2000
- /3-5/ Hoffmann, M.: Trockenfermentation in der Landwirtschaft – Entwicklung und Stand, Biogas – Energieträger der Zukunft, VDI-Berichte 1751, Tagung Leipzig 11 und 12. März 2003
- /3-6/ Aschmann, V.; Mitterleitner, H.: Trockenvergären: Es geht auch ohne Gülle, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-7/ Beratungsempfehlungen Biogas, Verband der Landwirtschaftskammern e.V., VLK-Beratungsempfehlungen 2002
- /3-8/ Block, K.: Feststoffe direkt in den Fermenter, Landwirtschaftliches Wochenblatt, S. 33-35, 27/2002
- /3-9/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse; DBU Projekt 15071; Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- /3-10/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben, Bauberatung Zement
- /3-11/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft, Bauberatung Zement
- /3-12/ Gers-Grapperhaus, C.: Die richtige Technik für ihre Biogasanlage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /3-13/ Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14: Beton für Behälter in Biogasanlagen, Bauberatung Zement
- /3-14/ Kretzschmar, F.; Markert, H. (2002): Qualitätssicherung bei Stahlbeton-Fermentern; in: Biogasjournal Nr. 1/2002
- /3-15/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- /3-16/ Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen (Arbeitsunterlage 69); Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2002
- /3-17/ Falbe, J. et al. (Hrsg); Römpf Chemie Lexikon; Georg Thieme Verlag; 9. Auflage; Stuttgart, 1992
- /3-18/ Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 900); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Download vom 17.09.03; <http://www.baua.de/prax/ags/trgs.htm>
- /3-19/ „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1); Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Download vom 28.08.03; [http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv\\_bera/vsg/index.html](http://www.lsv-d.de/verbaende/01blb/02serv_bera/vsg/index.html)
- /3-20/ BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln; Carl Heymanns Verlag KG; Köln, 2002





# Beschreibung ausgewählter Substrate

In diesem Kapitel sollen ausgewählte Substrate näher betrachtet werden. Es wird sowohl auf die Herkunft der Substrate als auch auf deren wichtigste Eigenschaften wie Trockensubstanz (TS), organische Trockensubstanz (oTS), Nährstoffe (N, P, K) oder vorhandene organische Schadstoffe eingegangen. Außerdem werden Aussagen über die zu erwartenden Gaserträge und die Gasqualität sowie die Handhabung der Substrate getroffen.

Da es nicht möglich ist, die gesamte Bandbreite der möglichen Substrate zu beschreiben, hat dieses Kapitel keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch unterliegen die hier dargestellten Substrate jährlichen Qualitätsschwankungen, weshalb die in diesem Kapitel aufgeführten Stoffdaten keine absoluten Werte darstellen.

## 4.1 Substrate aus der Landwirtschaft

### 4.1.1 Wirtschaftsdünger

Nimmt man die Statistiken über die Nutztierhaltung in Deutschland als Grundlage, so ergibt sich gerade in der Rinder- und Schweinehaltung ein enormes Substratpotenzial, welches für eine Verwendung in Biogasanlagen

geeignet ist. Insbesondere durch die wachsenden Betriebsgrößen in der Tierhaltung und die gestiegenen Umwelanforderungen an die weitere Nutzung der Exkrementen müssen alternative Verwertungswege für die anfallende Gülle bzw. den anfallenden Festmist gefunden werden. Die Nährstoffe von Wirtschaftsdüngern lassen sich aus Tabelle 4-1 entnehmen.

Im Zusammenhang der Initiative „Gute Qualität und sichere Erträge“ des Umwelt- und des Verbraucherschutzministeriums vom Juni 2002 wurden vom Umweltbundesamt Berlin die folgenden mittleren Schwermetallgehalte ermittelt (Tabelle 4-2).

Der Biogasertrag von Rindergülle liegt mit 20-30 m<sup>3</sup> je t Substrat leicht unter dem der Schweinegülle (vgl. Tabelle 4-3). Zudem weist das Gas aus Rindergülle im Vergleich zu dem aus Schweinegülle einen deutlich niedrigeren durchschnittlichen Methangehalt auf /4-4/. Dies liegt daran, dass der Magen des Rindes ähnlich wie eine Biogasanlage arbeitet, die Gülle also schon vorvergoren wurde.

Rinder- und Schweinegülle lassen sich auf Grund ihres relativ niedrigen Trockensubstanzgehaltes gut mit anderen Substraten (Kosubstrate) kombinieren. Anders sieht dies beim Festmist aus, da er wegen des hohen Trockensubstanzanteils in der Regel verdünnt werden muss, um pumpfähig zu sein; zudem muss

Tabelle 4-1: Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach/4-1/)

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
	[%]	[% TS]			[% TS]		
Rindergülle	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10	0,3-0,7
Schweinegülle	ca.7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5	0,6-1,5
Rindermist	ca. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5	1,3
Schweinemist	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	2,5-3	n.a.
Hühnermist	ca. 32	63-80	5,4	0,39	n.a.	n.a.	n.a.

Tabelle 4-2: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern (nach /4-3/)

Substrat	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	0,3	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,4	9,4	309	0,02	10,3	6,2	858
Rindermist	0,29	12,9	39,0	0,03	5,2	30,0	190
Schweinemist	0,33	10,3	450	0,04	9,5	5,1	1068
Hühnermist	0,25	4,4	52,6	0,02	8,1	7,2	336

Tabelle 4-3: Gasertrag und Methangehalt von Wirtschaftsdüngern

Substrat	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt [Vol.-%]
	[m <sup>3</sup> /t Substrat]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	
Rindergülle	20-30	200-500	60
Schweinegülle	20-35	300-700	60-70
Rindermist	40-50	210-300	60
Schweinemist	55-65	270-450	60
Hühnermist	70-90	250-450	60

der Festmist homogenisiert werden. Als eventuelle Kosubstrate kommen hier in erster Linie solche mit einem hohen Wasser- oder Energiegehalt in Betracht (Schlempen, Fette etc.).

Das Handling und die Lagerung von Rinder- bzw. Schweinegülle ist relativ unproblematisch. Im Normalfall kann die Gülle direkt oder über eine Vorgrube der Biogasanlage zugeführt werden.

#### 4.1.2 Nachwachsende Rohstoffe

Bei Einhaltung bestimmter rechtlicher Vorgaben ist der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen zur Verwendung in Biogasanlagen möglich. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind durch die EU-Verordnung Nr. 1251 vom 17. Mai 1999 /4-5/ sowie die dazugehörige Durchführungsbestimmung /4-6/ gegeben. Zusätzlich hat die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung „Merkblätter zur Verwendungskontrolle Nachwachsender Rohstoffe“ /4-7/, /4-8/ herausgegeben, die als Hilfestellung dienen sollen.<sup>1</sup>

##### 4.1.2.1 Mais

Mais als nachwachsender Rohstoff eignet sich durch seinen hohen Energieertrag je Hektar für die Verwen-

Sollen auf Stilllegungsflächen nachwachsende Rohstoffe zur Verwendung in Biogasanlagen angebaut werden, so wird gemäß der Verordnung (EG) Nr. 2461/99 zwischen dem Anbau zur Verwertung in hofeigenen und nicht-hofeigenen Biogasanlagen unterschieden.

Bei hofeigenen Biogasanlagen muss eine Anbauerklärung bei der zuständigen Behörde eingereicht werden. Jedoch muss bei nicht-hofeigenen Biogasanlagen ein Anbau- und Abnahmevertrag zwischen dem Erzeuger und dem Betreiber der Biogasanlage abgeschlossen und eingereicht werden. In beiden Fällen sind die nachwachsenden Rohstoffe vollständig zu ernten und einzulagern. Zusätzlich müssen die Rohstoffe denaturiert werden, damit sie als Futter- oder Nahrungsmittel unbrauchbar werden. Hierzu sind derzeit Gülle oder Festmist sowie Tieröl oder Bitterlupinenschrot zugelassen, zudem kann bei Körnergetreide auch der Farbstoff „Dispers-Blau“ eingesetzt werden.

Ausführliche Informationen zu den Genehmigungsverfahren können den „Merkblättern zur Verwendungskontrolle von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen“ des Bundesamtes für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) entnommen werden.

derung in Biogasanlagen. Besonders in viehhaltenden Betrieben steht jedoch die bisherige Nutzung der Maissilage als Futter in direkter Konkurrenz zur Verwendung in Biogasanlagen. Die Ernteerträge je Hektar schwanken zwar von Jahr zu Jahr, liegen im Mittel aber bei ca. 45 t Frischmasse. Weitere Kenndaten der Maissilage sowie der Biogasertrag und der Methangehalt sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Angaben über organische Schadstoffe sowie über eventuelle Schwermetallfrachten liegen zur Zeit nicht

1. Siehe hierzu: <http://www.ble.de> unter „Pflanzliche Erzeugnisse – Nachwachsende Rohstoffe“

Tabelle 4-4: Stoffeigenschaften Maissilage

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Maissilage	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55

Tabelle 4-5: Mineralstoffgehalte und Spurenelemente von Maissilage /4-9/, /4-10/

Substrat	Ca	P	Na	Mg	K	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Fe
	[% TS]					[mg/kg TS]							
Maissilage	0,18	0,24	0,03	0,12	1,13	0,2	0,5	4,5-5	5	2	35-56	31	67

Tabelle 4-6: Stoffeigenschaften von Roggensilage (Ganzpflanze)

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Roggen-GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ca. 55

vor. Die Anteile an Spurenelementen lassen sich aus Tabelle 4-5 ersehen. Fremd- oder Störstoffe kommen in der Maissilage kaum vor.

Die Maissilage kann unproblematisch gelagert werden, da sie in der Regel als Fahrsilo angelegt und mit einer Plastikfolie abgedeckt wird. Nach Abschluss der Silierphase (4-6 Wochen) kann sie direkt in der Biogasanlage verwendet werden.

Zwar ist auch eine Monovergärung von Maissilage möglich, dennoch empfiehlt es sich, Maissilage als Kosubstrat mit Gülle zu vergären, da der Prozessablauf hierbei stabiler ist und sich bei Kofermentation Synergieeffekte ergeben können, die die Abbaubarkeit bzw. den Methanertrag erhöhen können.

#### 4.1.2.2 Roggen-Ganzpflanzensilage (GPS)

Stellvertretend für weitere mögliche Ganzpflanzensilagen (GPS) soll an dieser Stelle Roggen-GPS vorgestellt werden. Roggen stellt nur geringe Ansprüche an die Bodengüte und an das Klima und kann deshalb auch in kühleren Regionen bzw. auf leichten Böden angebaut werden. Beim Anbau als nachwachsender Rohstoff auf Stilllegungsflächen gelten die gleichen vertraglichen Regelungen wie beim Mais (siehe Kapitel 4.1.2.1). Der Kornertrag des Roggens liegt bei ungefähr 5-6 t je Hektar, das Korn:Stroh-Verhältnis bei ca. 1:1,6. Dies ergibt einen Gesamtertrag von 13-15 t FM je Hektar /4-11/.

Da Roggen nur einmal jährlich geerntet werden kann, also nur saisonal anfällt, ist eine Silierung sinnvoll, um für das ganze Jahr ein möglichst gleichblei-

bendes Substrat zu haben. Die wichtigsten Kenndaten der Roggensilage sind in Tabelle 4-6 dargestellt.

Angaben über Schwermetallkonzentrationen liegen zurzeit nicht vor, sie liegen aber in der Regel unter den zulässigen Höchstgrenzen für Lebensmittel.

Eine ganzjährige Lagerung ist wie schon angesprochen durch Silieren des Materials möglich, besondere Anforderungen hinsichtlich Hygiene oder Störstoffen bestehen nicht.

#### 4.1.2.3 Rüben

Auf Grund ihres hohen Massewachstums eignet sich die Rübe (Futter- oder Zuckerrübe) gut zum Anbau als nachwachsender Rohstoff. Anders als Roggen stellt die Rübe spezielle Ansprüche an Boden und Klima, sie braucht ein eher mildes Klima und tiefgründige humose Böden.

Die Erträge sind je nach Bodenvoraussetzungen unterschiedlich und bewegen sich bei der Zuckerrübe um 500-600 dt/ha. Bei den Erträgen der Futterrüben ergeben sich zusätzlich noch Sortenunterschiede, so liegt der Ertrag von Masserüben bei ca. 900 dt/ha und der der Gehaltsrüben bei ungefähr 600-700 dt/ha /4-11/. Bei den Erträgen der Blattmasse ergeben sich ebenfalls sortenspezifische Unterschiede. So liegt die Relation von Rübenmasse zu Blattmasse bei der Zuckerrübe bei 1:0,8 und die der Gehaltsrübe bei 1:0,5. Die Massenrübe hat auf Grund ihres hohen Massewachstums „nur“ eine Rübe-Blatt-Relation von 1:0,3-0,4 /4-11/. Weitere stoffliche Daten sind in den Tabellen 4-7 und 4-8 aufgeführt.

Tabelle 4-7: Stoffeigenschaften von Rüben und Rübenblatt [4-12]

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogasertag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Zuckerrübe	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Masserübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Gehaltsrübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Rübenblatt	16	75-80	0,2-0,4	n.a.	0,7-0,9	ca. 70	550-600	54-55

Tabelle 4-8: Schwermetallgehalte [4-1]

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Rübenblatt	0,2	<1	10	5	0,5	28

Zwar fehlen genaue Werte über die Konzentrationen an Schwermetallen in den Rübenkörpern, doch kann davon ausgegangen werden, dass diese relativ gering sind (s. auch Kap. 4.2.4). Die Abbaubarkeit der Rüben ist relativ hoch, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Rüben vorher gut zerkleinert worden sind.

Probleme treten jedoch bei der Trockenreinigung der Rüben auf. Anhaftende Erde muss möglichst vollständig entfernt werden, da sie sich sonst am Fermenterboden absetzt und ansammelt, wodurch wertvoller Gärraum verloren geht. Auch müssen Steine vor dem Zerkleinern entfernt werden. Da Rüben sowie Rübenblatt nur saisonal geerntet werden, ist eine Lagerung notwendig, um das Substrat das ganze Jahr verfügbar zu machen, was in der Regel durch Silieren der zerkleinerten Pflanze geschieht. Allerdings muss hier beachtet werden, dass eine Lagerung als Fahrsilo auf Grund der breiigen Konsistenz der zerkleinerten Rübe nicht möglich ist, weswegen hier ein fest umschlossenes Lager benutzt werden muss.

Tabelle 4-9: Stoffeigenschaften von Grassilage [4-1], [4-13], [4-14]

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Grassilage	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55

Tabelle 4-10: Schwermetallgehalte von Grassilage [4-10]

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Grassilage	0,2	1,4	8,1-9,5	2,1	3,9	38-53

#### 4.1.2.4 Grassilage

Der Anbau und die Ernte von Gras bzw. die Nutzung von Grassilage ist wie auch beim Mais gut mechanisierbar und relativ unproblematisch. Je nach Witterung und Klimabedingungen kann mit drei bis fünf Ernten im Jahr gerechnet werden. Die Menge an Grassilage, die letztlich für eine Verwertung in Biogasanlagen verbleibt, hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind im Wesentlichen:

- Bodenqualität
- Klimabedingungen
- Pflanzenart und -sorte
- Reifegrad zum Erntezeitpunkt
- Art der Konservierung und Lagerung

Auf Grund der Vielfalt dieser Faktoren ist eine verlässliche Angabe von Ernteträgen nicht möglich. Nachfolgend sind deshalb nur die spezifischen Stoffdaten (Tabelle 4-9) sowie die Gehalte an Schwermetallen (Tabelle 4-10) aufgeführt.

Es sei noch angemerkt, dass die Grassilage in den Milchviehregionen den Hauptbestandteil des Winterfutters darstellt. Eine Verwertung der Grassilage als Rohstoff für Biogasanlagen kann hier also nur von Grünlandflächen erfolgen, die nicht zur Futtergewinnung benötigt werden. Jedoch können auch Stilllegungsflächen zum Anbau von Ackergras genutzt werden.



## 4.2 Substrate aus der weiterverarbeitenden Agroindustrie

### 4.2.1 Bierherstellung

Bei der Produktion von Bier fallen verschiedene Nebenprodukte an, von denen Treber mit 75 % den Hauptanteil ausmacht. Je Hektoliter Bier fallen ca. 19,2 kg Treber, 2,4 kg Hefe und Geläger, 1,8 kg Heißtrub, 0,6 kg Kühltrub, 0,5 kg Kieselgurschlamm und 0,1 kg Malzstaub an /4-15/.

In diesem Kapitel wird nur der Treber näher betrachtet, da er die mengenmäßig größte Fraktion darstellt. Dennoch sind die übrigen Fraktionen bis auf den Kieselgurschlamm ebenso gut für eine Verwen-

dung in Biogasanlagen geeignet. Allerdings ist derzeit nur ein Teil der anfallenden Mengen auch tatsächlich nutzbar, da die anfallenden Produkte auch anderweitig, z. B. in der Lebensmittelindustrie (Bierhefe) oder als Tierfutter (Treber, Malzstaub) eingesetzt werden.

In Tabelle 4-11 sind Kenndaten des Trebers aufgezeigt.

Die Schadstoffgehalte des Trebers lassen sich aus Tabelle 4-12 ersehen.

Die Lagerung und das Handling sind relativ unproblematisch. Allerdings treten bei längerer Lagerung beachtliche Energieverluste und Schimmelpilzbefall auf, weswegen in einem solchen Fall eine Silierung empfehlenswert ist.

Tabelle 4-11: Stoffeigenschaften von Biertreber /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	OTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Biertreber	20-25	70-80	4-5	n.a.	1,5	105-130	580-750	59-60

Tabelle 4-12: Schwermetallgehalte von Biertreber /4-10/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Biertreber	0,1-0,2	0,5	15	0,5	0,3	76

### 4.2.2 Alkoholgewinnung

Schlempen entstehen als Nebenprodukt bei der Alkoholherstellung aus Getreide, Kartoffeln oder Obst.

Bei der Alkoholerzeugung fällt je Liter Alkohol etwa die 12-fache Menge Schlempe an, welche derzeit hauptsächlich als Viehfutter oder als Düngemittel eingesetzt wird /4-15/.

In Tabelle 4-13 sind die Stoffdaten einzelner Schlempen sowie deren Gasausbeuten und Methan-gehalte aufgeführt. Allerdings liegen nur unvollständige Analysewerte vor.

Besondere Anforderungen an Hygienemaßnahmen bestehen im Allgemeinen nicht, auch weisen Schlempen in der Regel nur geringe Konzentrationen an Schadstoffen oder Schwermetallen auf.

Tabelle 4-13: Stoffeigenschaften von Alkoholschlempen /4-1/, /4-15/

	TS	oTS	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]			[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Getreideschlempe	6 - 8	83-88	6-10	3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartoffelschlempe	6 - 7	85-95	5-13	0,9	36-42	400-700	58-65
Obstschlempe	2 - 3	ca. 95	n.a.	0,73	10-20	300-650	58-65

### 4.2.3 Kartoffelverarbeitung (Stärkeherstellung)

Bei der Stärkeherstellung aus Kartoffeln fällt neben organisch belasteten Abwässern auch sogenannte Kartoffelpülpe als Nebenprodukt an. Diese besteht hauptsächlich aus Schalen, Zellwänden und nicht aufgeschlossenen Stärkezellen, welche nach der Stärkegewinnung übrigbleiben. Je Tonne verarbeiteter Kartoffeln fallen ungefähr 240 kg Pülpe sowie 760 Liter Kartoffelfruchtwasser und 400-600 Liter sogenanntes Prozesswasser /4-16/ an.

Derzeit wird ein Teil der Pülpe als Viehfutter wieder an die Landwirte abgegeben und der größte Teil des Fruchtwassers als Dünger auf die Felder ausgebracht. Da aber die Verfütterung nur einen kleinen Teil der anfallenden Menge ausmacht und das Ausbringen des Fruchtwassers zu einer Überdüngung der Flächen und zur Versalzung des Grundwassers führen kann, müssen mittelfristig alternative Verwertungsmöglichkeiten gefunden werden.

Eine Möglichkeit ist die Verwertung in Biogasanlagen, da es sich bei den Nebenprodukten um gut vergärbare Substrate handelt. Die stofflichen Eigenschaften sind in Tabelle 4-14 dargestellt.

In Tabelle 4-15 sind die Konzentrationen an Spurenelementen im Substrat angegeben. Zu beachten sind die relativ hohen Kalium- und Chloridgehalte, welche unter Umständen zu einer Hemmung des Gärprozesses führen können.

Fremd- und Störstoffe sind nicht zu erwarten, da diese schon vor oder während der Stärkegewinnung abgetrennt wurden.

Besondere Anforderungen an Hygienemaßnahmen oder die Lagerung bestehen nicht, es sollte jedoch beachtet werden, dass Frucht- und Prozesswasser bei Lagerung in Vorratsbehältern für den Gärprozess wieder erwärmt werden muss, was zusätzliche Energie benötigt.

Tabelle 4-14: Stoffeigenschaften der Nebenprodukte der Stärkeherzeugung

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]				[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	
Pülpe (frisch)	ca. 13	ca.90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Fruchtwasser	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Prozesswasser	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60

Tabelle 4-15: Mineralstoffe und Spurenelemente

Substrat	K <sub>2</sub> O	Ca	Cl	Na	Mg	NO <sub>3</sub> -N
	[mg/kg FM]					
Kartoffelpülpe (frisch)	1814	19,3	4,8	262,5	154,1	0,56
Fruchtwasser	5557,8	34,2	1320	39,9	222,1	85,93
Prozesswasser	2196	18	235,5	60,1	66,1	14,48

### 4.2.4 Zuckergewinnung

Bei der Verarbeitung von Zuckerrüben zur Herstellung von Kristallzucker fallen verschiedene Nebenprodukte an, die hauptsächlich als Viehfutter verwendet werden. Dies sind zum Einen sogenannte Nass-Schnitzel, die nach dem Zerkleinern der Rüben und der anschließenden Extraktion des Zuckers anfallen, und zum Anderen die Melasse, die durch Abtrennen der Zuckerkrystalle von dem eingedickten Zuckersirup gewonnen wird. Ein Teil der Schnitzel wird durch Einmischen von Melasse und durch Abpressen

des enthaltenen Wassers zu Melasseschnitzel weiterverarbeitet und ebenfalls als Tierfutter eingesetzt.

Die Melasse wird neben der Verwendung als Tierfutter auch als Rohstoff in Hefefabriken oder Brennerien eingesetzt. Zwar ist dadurch die verfügbare Menge stark eingeschränkt, jedoch stellen Rübenschnitzel und Melasse auf Grund des Restzuckergehaltes ein gutes Kosubstrat für die Biogasproduktion dar (vgl. Tabelle 4-16).



Tabelle 4-16: Stoffeigenschaften von Pressschnitzel und Melasse /4-1/, /4-15/, /4-17/

Substrat	TS	oTS	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Pressschnitzel	22 - 26	ca. 95	n.a.	n.a.	60-75	250-350	70-75
Melasse	80 - 90	85-90	1,5	0,3	290-340	360-490	70-75

Tabelle 4-17: Gehalte an Schwermetallen /4-18/

Substrat	Cd	Cr	Hg	Mn	Zn	Sn	Ni	Cu	Fe
	[mg/kg Frischmasse]								
Pressschnitzel	0,35	4,40	0,01	25,6	22,4	0,16	2,0	4,31	194
Melasse	0,12	0,20	<0,01	29,6	32,0	0,18	2,99	2,69	32,3

Als Substrat für Biogasanlagen sind, wie zu ersehen ist, die Nebenprodukte der Zuckerindustrie gut geeignet. Allerdings eignen sich die Substrate auf Grund des hohen Trockenmassegehalts nicht für eine Monovergärung. In Verbindung mit z.B. Gülle stellen sie aber ein gutes Kosubstrat dar. Die Schwermetallgehalte der Nebenprodukte zeigt Tabelle 4-17.

Bedingt durch den Entzuckerungsprozess können Fremd- und Störstoffe praktisch ausgeschlossen werden. Besondere hygienische Anforderungen an Lagerung und Verwendung bestehen derzeit nicht.

Die Pressschnitzel werden zur längeren Haltbarkeit einsiliert, die Melasse in entsprechenden Vorratsbehältern gelagert. Dies ist auch vor dem Hintergrund der saisonalen Verfügbarkeit der Zuckerrüben bzw. der Nebenprodukte (September bis Dezember) notwendig, um eine ganzjährige Versorgung zu sichern.

#### 4.2.5 Nebenprodukte der Obstverarbeitung

Bei der Verarbeitung von Trauben und Obst zu Wein und Fruchtsaft fallen sogenannte Trester als Nebenprodukte an. Diese werden wegen ihrer noch hohen Gehalte an Zucker bevorzugt als Rohstoff für die Alkoholherstellung genutzt. Aber auch als Viehfutter oder als Grundstoff für die Pektinherstellung finden die Trester Verwendung. Je Hektoliter Wein bzw. Fruchtsaft fallen ca. 25 kg Trester und je Hektoliter Fruchtnektar rund 10 kg Trester an /4-15/. Die wichtigsten Stoffdaten sind in den Tabellen 4-18 und 4-19 aufgeführt.

Fremd- oder Störstoffe sind auf Grund des vorhergehenden Produktionsprozesses nicht zu erwarten, auch ist eine Hygienisierung nicht notwendig. Bei längerer Lagerung ist auch eine Silierung der Substrate möglich.

Tabelle 4-18: Stoffeigenschaften von Trester /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	oTS	N	P	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Apfeltrester	25-45	85-90	1,1	0,3	145-150	660-680	65-70
Obsttrester	25-45	90-95	1-1,2	0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Rebentrester	40-50	80-90	1,5-3	0,8-1,7	250-270	640-690	65-70

Tabelle 4-19: Schwermetallgehalte von Trester /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Apfeltrester	0,3	1,6	7,8	n.a.	3,4	6,7
Obsttrester	n.a.	0,06	7,8	3	0,7	25
Rebentrester	0,5	5	150	2,5	n.a.	75



### 4.3 Organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten

In diesem Kapitel sind eine Reihe von Stoffen zusammengefasst, die zwar im Allgemeinen als Abfall nicht weiter beachtet werden, sich aber auf Grund der organischen Herkunft gut als Substrate in Biogasanlagen einsetzen lassen. Es werden an dieser Stelle folgende Stoffe berücksichtigt: die Biotonne aus der kommunalen Abfallentsorgung, Speisereste und überlagerte Lebensmittel vor allem aus Großküchen, Marktabfälle, Schlachtrückstände sowie Fettabscheiderrückstände.

Um eine Ausbreitung von Krankheiten oder Seuchen zu verhindern, müssen bei den hier betrachteten Stoffgruppen besondere hygienische Anforderungen

erfüllt werden. Diese werden durch die Bioabfallverordnung (BioAbfV) und die EU-Verordnung Nr. 1774/2002 sowie deren Durchführungsbestimmungen vorgeschrieben. Auch die Verwertung der anfallenden Gärreste ist durch die genannten Regelwerke eingeschränkt und nur mit erheblichen Auflagen möglich.

Die Zusammensetzung der einzelnen Substrate schwankt teilweise sehr stark, da nach Anfall unterschiedliche Fraktionen in den einzelnen Stoffklassen vorhanden sind. Die Spannweiten der Stoffeigenschaften von Reststoffen und Schlachtrückständen sind in den Tabellen 4-20 und 4-21 zusammengefasst.

Auf Grund ihrer Herkunft weisen die hier betrachteten Substrate nur geringe Konzentrationen an Schwermetallen auf (Tabelle 4-22).

Tabelle 4-20: Stoffeigenschaften organischer Reststoffe /4-1/, /4-14/

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[%]
Biotonne	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Speisereste und überlagerte Lebensmittel	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Marktabfälle	15-20	80-90	3-5	n.a.	0,8	45-110	400-600	60-65
Fettabscheider	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ca. 700	60-72

Tabelle 4-21: Stoffeigenschaften von Schlachtrückständen /4-1/, /4-14/

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[%]
Mageninhalt (Schwein)	12-15	75-86	2,5-2,7	n.a.	1,05	20-60	250-450	60-70
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatschlamm	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72

Tabelle 4-22: Schwermetallgehalte von organischen Reststoffen und Schlachtabfällen /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Biotonne	0,3-0,6	7-25	14-21	5,5-10	n.a.	88-105
Speisereste (+ überl. LM)	n.a.	n.a.	7	n.a.	n.a.	67
Fettabscheider	n.a.	n.a.	44	n.a.	n.a.	290
Marktabfälle	0,8	8,5	12,2	8,5	4,6	94
Mageninhalt (Schwein)	n.a.	n.a.	49-53	n.a.	n.a.	163-190
Panseninhalt	2	33	5-99	20	20	71-321
Flotatschlamm	n.a.	n.a.	39-80	n.a.	n.a.	281-380

Je nach Reinheit der Substrate müssen allerdings Fremd- und Störstoffe wie Plastik, Knochen, Gummibänder etc. vor dem Einbringen in die Biogasanlage entfernt werden, um Störungen im Anlagenbetrieb zu vermeiden. Gerade der Inhalt der Biotonne weist oft viele dieser unerwünschten Stoffe auf.

Hier bestehen, anders als bei den bisher betrachteten Substraten, erhebliche Anforderungen an die Seuchenhygiene. Dies trifft insbesondere auf die Schlachtabfälle zu, da hier ein besonderes Risiko besteht. Auf Grund der ab Mai 2003 gültigen EU-Verordnung 1774 werden alle bedenklichen Stoffe je nach seuchenhygienischen Bedenken in drei Kategorien eingeteilt. Eine Verarbeitung dieser Substrate ist ohne vorherige Hygienisierung nicht zulässig, zudem werden Mindestanforderungen an die Lagerung sowie die Biogasanlagen gestellt /4-19/.

Für einen zügigen Abbau der Substrate muss den Bakterien genügend Angriffsfläche geboten werden, weswegen die eingesetzten Substrate vorher gründlich zerkleinert und homogenisiert werden müssen. Können die Vorgaben erfüllt werden, sind die organischen Reststoffe gute Kosubstrate mit relativ guten Gasausbeuten (siehe Tabellen 4-20 und 4-21).

#### 4.4 Grün- und Rasenschnitt

Durch die kommunale Pflege von Parkflächen und begrünten Straßenrändern fällt eine Menge an Grün- und Rasenschnitt an. Da dieses Material aber nur saisonal anfällt, muss es für eine ganzjährige Bereitstellung als Biogas-Substrat siliert werden. Dies ist aber wegen des weit verstreuten Aufkommens nur bedingt sinnvoll, will man zu hohe Transportkosten vermeiden.

Abgesehen davon ist es ein gut zu vergärendes Kosubstrat, auf Grund des hohen Trockensubstanzgehalts ist es aber als Monosubstrat nicht zu empfehlen. Einige wichtige Stoffdaten sowie die Biogasausbeute und den Methangehalt zeigen die Tabellen 4-23 und 4-24.

Das Handling ist bis auf die angesprochenen logistischen Schwierigkeiten bei der Silierung unproblematisch. Eventuell muss das Material vor Einbringen in die Biogasanlage von Störstoffen wie Ästen oder Steinen befreit und homogenisiert werden. Eine Hygienisierung ist in der Regel nicht erforderlich.

Tabelle 4-23: Stoffeigenschaften von Grünschnitt /4-1/, /4-15/

Substrat	TS	oTS	N	P	Biogasertrag		Methangehalt
	[%]	[% TS]	[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
Grünschnitt	ca. 12	83-92	2-3	1,5-2	150-200	550-680	55-65

Tabelle 4-24: Schwermetallgehalte von Grünschnitt /4-1/

Substrat	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	[mg / kg TS]					
Grünschnitt	0,7-2,1	4-9	10-21	1-9	70	8

## 4.5 Anhang

Tabelle 4-25: Zusammenfassung der Substrate

Substrat	TS	oTS	N	NH <sub>4</sub>	P	Biogasertrag		CH <sub>4</sub> -Gehalt
	[%]	[% TS]		[% TS]		[m <sup>3</sup> /t FM]	[m <sup>3</sup> /t oTS]	[Vol.-%]
<b>Wirtschaftsdünger</b>								
Rindergülle	8-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	20-30	200-500	60
Schweinegülle	ca.7	75-86	6-18	3-17	2-10	20-35	300-700	60-70
Rindermist	ca. 25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	40-50	210-300	60
Schweinemist	20-25	75-80	2,6-5,2	0,9-1,8	2,3-2,8	55-65	270-450	60
Hühnermist	ca. 32	63-80	5,4	0,39	n.a.	70-90	250-450	60
<b>Nachwachsende Rohstoffe</b>								
Maissilage	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	450-700	50-55
Roggen-GPS	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	ca. 55
Zuckerrübe	23	90-95	2,6	0,2	0,4	170-180	800-860	53-54
Masserübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,3	75-100	620-850	53-54
Gehaltsrübe	12	75-85	1,9	0,3-0,4	0,4	75-100	620-850	53-54
Rübenblatt	16	75-80	0,2-0,4	n.a.	0,7-0,9	ca. 70	550-600	54-55
Grassilage	25-50	70-95	3,5-6,9	6,9-19,8	0,4-0,8	170-200	550-620	54-55
<b>Substrate der weiterverarbeitenden Agrarindustrie</b>								
Biertreber	20-25	70-80	4-5	n.a.	1,5	105-130	580-750	59-60
Getreideschlempe	6 - 8	83-88	6-10		3,6-6	30-50	430-700	58-65
Kartoffelschlempe	6 - 7	85-95	5-13		0,9	36-42	400-700	58-65
Obstschlempe	2 – 3	ca. 95	n.a.		0,73	10-20	300-650	58-65
Pülpe (frisch)	ca. 13	ca.90	0,5-1	0,04	0,1-0,2	80-90	650-750	52-65
Fruchtwasser	3,7	70-75	4-5	0,8-1	2,5-3	50-56	1500-2000	50-60
Prozesswasser	1,6	65-90	7-8	0,6-0,8	2-2,5	55-65	3000-4500	50-60
Pressschnitzel	22 - 26	ca. 95	n.a.		n.a.	60-75	250-350	70-75
Melasse	80 - 90	85-90	1,5		0,3	290-340	360-490	70-75
Apfelfrester	25-45	85-90	1,1		0,3	145-150	660-680	65-70
Obsttrester	25-45	90-95	1-1,2		0,5-0,6	250-280	590-660	65-70
Rebentrester	40-50	80-90	1,5-3		0,8-1,7	250-270	640-690	65-70
<b>Organische Reststoffe aus Kommunen / Schlachtrückstände</b>								
Biotonne	40-75	50-70	0,5-2,7	0,05-0,2	0,2-0,8	80-120	150-600	58-65
Speisereste und überlagerte Lebensm.	9-37	80-98	0,6-5	0,01-1,1	0,3-1,5	50-480	200-500	45-61
Marktabfälle	5-20	80-90	3-5	n.a.	0,8	45-110	400-600	60-65
Fett aus Fettabscheidern	2-70	75-93	0,1-3,6	0,02-1,5	0,1-0,6	11-450	ca. 700	60-72
Mageninhalt (Schwein)	12-15	75-86	2,5-2,7	n.a.	1,05	20-60	250-450	60-70
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	0,4-0,7	1,1-1,6	20-60	200-400	58-62
Flotatschlamm	5-24	80-95	3,2-8,9	0,01-0,06	0,9-3	35-280	900-1200	60-72
<b>Grün- und Rasenschnitt</b>								
Grünschnitt	ca. 12	83-92	2-3		1,5-2	150-200	550-680	55-65



## 4.6 Literaturverzeichnis

- 
- /4-1/ KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt 1998
- /4-2/ KTBL Taschenbuch Landwirtschaft 2002/03; 21. Aufl.; Darmstadt; 2002
- /4-3/ Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzen in Düngemitteln“; Workshop, Umweltbundesamt; Berlin 2002
- /4-4/ Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gülzoer Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 8-27; Weimar 2000
- /4-5/ Verordnung (EG) Nr. 1251/1999; der Kommission; Brüssel 1999
- /4-6/ Verordnung (EG) Nr. 2461/1999; der Kommission; Brüssel 1999
- /4-7/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsener Rohstoffe in hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-8/ Merkblatt zur Verwendungskontrolle Nachwachsener Rohstoffe in nicht hofeigenen Biogasanlagen; Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE); Frankfurt/M. 2002
- /4-9/ LUFA Oldenburg: Maissilagequalität; Download vom 17.03.2003, <http://www.lufa-oldenburg.de/maissilage.htm>
- /4-10/ Endbericht zum Projekt „Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben“ (in Vorbereitung); Umweltbundesamt; Berlin 2003
- /4-11/ Dörfler, H. (Hrsg.): Der praktische Landwirt; 4. Aufl.; BLV Verl.-Ges., München; 1990
- /4-12/ Hassan, E.: Untersuchungen zur Vergärung von Futterrübensilage; BLE-Projekt Az. 99UM031; Abschlußbericht; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2001
- /4-13/ Keymer, U.: Wirtschaftlichkeit und Förderung von Biogasanlagen; Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München; <http://www.regierung.niederbayern.bayern.de/wirfuersie/biogas/UlrichKeymer.pdf>, Download vom 29.08.2003
- /4-14/ Schattner, S.; Gronauer, A.: Methanbildung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen; aus: Gülzower Fachgespräche, Band 15: „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 28-38, Weimar, 2000
- /4-15/ Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1. Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2002
- /4-16/ Umweltbericht; Emsland-Stärke; Download vom 16.09.2002; <http://www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm>
- /4-17/ Schnitzel und Melasse – Daten, Fakten, Vorschriften; Verein der Zuckerindustrie; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1996
- /4-18/ Konzept zur Qualität und Produktsicherheit für Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung; Broschüre; 2. Aufl.; Verein der Zuckerindustrie; 2003
- /4-19/ Verordnung (EG) Nr. 1774/2002; Anh. VI; der Kommission; Brüssel 2002

# Gasaufbereitung und Verwertungs- möglichkeiten



Biogas wird hauptsächlich in Verbrennungsmotoren, die einen Generator zur Stromerzeugung antreiben, genutzt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Biogas in Mikrogasturbinen, Brennstoffzellen und Stirlingmotoren einzusetzen. Auch diese Techniken dienen in erster Linie dazu, das gewonnene Biogas zu verstromen. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit besteht in der alleinigen thermischen Nutzung in dafür geeigneten Brennern bzw. Heizkesseln. Auch der Einsatz von Biogas als Treibstoff zum Antrieb von Kraftfahrzeugen oder aber die Einspeisung in das Erdgasnetz sind Nutzungsoptionen. Auf Grund verschiedener Hemmnisse sind die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten zum heutigen Zeitpunkt nur zum Teil realisierbar. Daher wird der Schwerpunkt dieses Kapitels auf die derzeit fast ausschließliche motorische Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme gelegt.

Die direkte Nutzung des gewonnenen Rohgases ist wegen verschiedener im Gas vorhandener biogasspezifischer Inhaltsstoffe wie z. B. Schwefelwasserstoff in der Regel nicht möglich. Das Biogas wird aus diesem Grund einer Reinigung unterzogen, die als Voraussetzung für die Nutzung betrachtet wird.

## 5.1 Gasaufbereitung

Biogas ist wasserdampfgesättigt und beinhaltet neben Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) u. a. auch Spuren von Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Schwefelwasserstoff ist toxisch und riecht unangenehm nach faulen Eiern. In Verbindung mit dem im Biogas enthaltenen Wasserdampf kommt es zur Schwefelsäurebildung. Die Säuren greifen die zur Verwertung des Biogases verwendeten Motoren sowie vor- und nachgeschaltete Bauteile (Gasleitung, Abgasleitung usw.) an.

Aus diesen Gründen wird bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen normalerweise eine Entschwefelung und Trocknung des gewonnenen Biogases durchgeführt. In Abhängigkeit von den im Biogas enthaltenen Begleitstoffen und von der verwendeten Nutzungstechnologie (z. B. Brennstoffzelle) kann es allerdings notwendig sein, eine weiterreichende Gasaufbereitung durchzuführen. Die Hersteller der BHKW stellen Mindestanforderungen an die Eigenschaften der eingesetzten Brenngase. Dies gilt auch bei der Verwendung von Biogas. Die Brenngaseigenschaften sollten eingehalten werden, um verkürzte Wartungsintervalle oder eine Schädigung der Motoren zu vermeiden. Ein Beispiel für solche Mindesteigenschaften des eingesetzten Brenngases ist in Tabelle 5-1 gegeben.

### 5.1.1 Entschwefelung

Bei der Entschwefelung kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Unterschieden werden kann zwischen biologischen, chemischen und physikalischen Entschwefelungsverfahren.

Neben der Gaszusammensetzung spielt vor allem die Durchströmungsrates des Biogases durch die Entschwefelungseinrichtung eine wesentliche Rolle. Die Durchströmungsrates kann in Abhängigkeit von der Prozessführung erheblich schwanken. Besonders hohe temporäre Biogasfreisetzungsrates und damit verknüpft hohe Durchströmungsrates können nach der Beschickung des Fermenters mit frischem Substrat und während des Betriebes der Rührwerke beobachtet werden. Kurzfristige Durchströmungsrates von 50 % über dem Mittelwert können auftreten. Um eine zuverlässige Entschwefelung zu gewährleisten, ist es notwendig, im Vergleich zum Belastungsdurchschnitt überdimensionierte Entschwefelungsanlagen einzusetzen.

Tabelle 5-1: Mindesteigenschaften für Brenngase, Bezugssauerstoffgehalt 5 % /5-1/

Heizwert (unterer Heizwert)	H <sub>u</sub>	≥ 4 kWh/m <sup>3</sup>
Schwefelgehalt (gesamt) oder H <sub>2</sub> S-Gehalt	S H <sub>2</sub> S	≤ 2,2 g/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ≤ 0,15 Vol.-%
Chlorgehalt (gesamt)	Cl	≤ 100,0 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Fluorgehalt (gesamt)	F	≤ 50,0 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Summe Chlor und Fluor	(Cl + F)	≤ 100,0 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Staub (3 ... 10 µm)		≤ 10,0 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
relative Feuchte (bei tiefster Ansaugluft-Temperatur, d.h. keine Kondensation in Ansaugrohr und Gasregelstrecke)	φ	< 90 %
Fließdruck vor Eintritt in die Gasregelstrecke	P <sub>Gas</sub>	20 ... 100 mbar
Gasdruckschwankungen		< ± 10 % des Einstellwertes
Gastemperatur	T	10 ... 50°C
Kohlenwasserstoffe (> C5)		< 0,4 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Silizium (bei Si > 5 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> Ölanalysen auf Metallgehalte < 15 mg/kg Öl beachten)	Si	< 10,0 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Methanzahl (Biogas MZ ca. 135)	MZ	>135

### 5.1.1.1 Biologische Entschwefelung im Fermenter

Die biologische Entschwefelung wird häufig im Fermenter durchgeführt. Zur Durchführung der biologischen Entschwefelung müssen Sauerstoff und das Bakterium *Sulfobacter oxydans* vorhanden sein. Das Bakterium wandelt Schwefelwasserstoff in der Gegenwart von Sauerstoff in elementaren Schwefel um. Dazu benötigt es Nährstoffe, die im ausreichenden Umfang im Fermenter vorhanden sind. Die Bakterien

sind omnipräsent, weshalb sie nicht zusätzlich zugeführt werden müssen. Der benötigte Sauerstoff wird über Einblasung von Luft, beispielsweise mittels eines Kleinstkompressors, in den Fermenter eingetragen. Eigenschaften der biologischen Entschwefelung im Fermenter zeigt Tabelle 5-2, ein Beispiel ist in Abb. 5-1 dargestellt.



Abb. 5-1: Gasregelung für die Lufteinblasung in den Fermentergasraum; Foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH



Abb. 5-2: Externe biologische Entschwefelungskolonnen, rechts neben einem Gasspeicher; Fotos: S&H GmbH & Co. Umweltengineering KG

Tabelle 5-2: Kennwerte und Einsatzparameter der biologischen Entschwefelung im Fermenter

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftzufuhr ca. 3-5 % der freigesetzten Biogasmenge</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Fermenter mit Gasraum über dem Fermenter, am besten bei Fermentern mit Gasspeicher über dem Fermenter</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr kostengünstig</li> <li>+ wartungs- und störfallarme Technik</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Orientierung an der real freigesetzten Schwefelwasserstoffmenge</li> <li>- keine gezielte Optimierung des Schwefelwasserstoffabbaues möglich</li> <li>- mögliche Prozessbeeinträchtigung durch Sauerstoffeintrag</li> <li>- starke Korrosion an allen Bauteilen im Gasraum</li> <li>- Tag-Nacht- und jahreszeitliche Temperaturschwankungen im Gasraum können ungünstig für die Entschwefelung sein</li> <li>- auf Schwankungen in der freigesetzten Gasmenge kann nicht reagiert werden</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwuchsflächen für die Schwefelbakterien sollten vorhanden sein oder zusätzlich geschaffen werden, da die vorhandene Oberfläche meist für die Entschwefelung nicht ausreicht; es eignen sich vor allem Holzkonstruktionen wie z. B. eine Balkendecke</li> <li>• Optimierung durch Regelung der Sauerstoffzufuhr in den Reaktor und kontinuierliche Schwefelwasserstoffmessung möglich</li> <li>• Explosionsschutz aufgrund der Möglichkeit der Bildung explosiver Gemische notwendig</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinstkompressor oder Aquarienpumpe mit nachgeschaltetem Regelventil und Durchflussanzeige zur manuellen Steuerung des Gasflusses</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaum notwendig</li> </ul>

### 5.1.1.2 Biologische Entschwefelung außerhalb des Fermenters

Zur Vermeidung der oben genannten Nachteile kann die biologische Entschwefelung auch außerhalb des Fermenters durchgeführt werden. Einige Firmen bieten hierfür in separaten Behältern angeordnete biologische Entschwefelungskolonnen an. Es besteht so die Möglichkeit, die für die Entschwefelung notwendigen Randbedingungen wie Luft- bzw. Sauerstoffzufuhr

genauer einzuhalten. Um die Düngewirkung des vergorenen Substrats zu erhöhen, kann der anfallende Schwefel dem vergorenen Substrat im Gärrestlager wieder zugeführt werden. Kennwerte und Einsatzparameter externer biologischer Entschwefelungsanlagen sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst. Beispiele sind in Abb. 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-3: Kennwerte und Einsatzparameter externer biologischer Entschwefelungsanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• über 99 % Reinigungsleistung möglich (z.B. von 6000 ppm auf &lt;50 ppm)</li> <li>• Technik für alle Biogasanlagendimensionen erhältlich</li> <li>• Systeme für Gasflüsse zwischen 10 und 1200 Nm<sup>3</sup>/h verfügbar</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Biogasgewinnungssysteme</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Dimensionierung auf die real freigesetzte Schwefelwasserstoffmenge möglich</li> <li>+ gezielte automatisierte Optimierung des Schwefelwasserstoffabbaues durch Nährstoff-, Luftzufuhr- und Temperaturmanagement möglich</li> <li>+ keine Prozessbeeinträchtigung durch Sauerstoffeintrag</li> <li>+ Vermeidung starker Korrosion an Bauteilen im Gasraum des Fermenters</li> <li>+ kein Chemikalieneinsatz notwendig</li> <li>+ bei ausreichender Dimensionierung wirken sich kurzfristige Schwankungen in der Gasmenge nicht negativ auf die Gasqualität aus</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zusätzliches, mit Kosten verbundenes Aggregat notwendig</li> <li>- zusätzlicher Wartungsaufwand</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosionsschutz aufgrund der Möglichkeit der Bildung explosiver Gemische notwendig</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als Säulen, Kessel oder Container aus Kunststoff oder Stahl, freistehend, gefüllt mit Trägerkörpern, z. T. mit Rückspülung einer Mikroorganismenemulsion</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• z. T. sind biologische Mikroorganismenemulsionen in größeren Zeitabständen nachzufüllen oder Trägerkörper langfristig auszutauschen</li> </ul>



Tabelle 5-4: Kennwerte bei der internen chemischen Entschwefelung; nach /5-3/

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>chemische Substanzen zur Abscheidung können Eisensalze (Eisen-III-chlorid, Eisen-II-chlorid) sein, es eignet sich auch Raseneisenerz</li> <li>Verbrauch z.B. 0,023 Liter Eisen-III-chlorid pro m<sup>3</sup> Biogas</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>alle Systeme der Nassvergärung</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ sehr gute Abscheideraten</li> <li>+ kein zusätzliches Aggregat zur Entschwefelung notwendig</li> <li>+ kein zusätzlicher Wartungsaufwand entsteht</li> <li>+ auf die Eingangssubstratmasse bezogene Dosierung möglich</li> <li>+ keine Prozessbeeinträchtigung durch Sauerstoffeintrag</li> <li>+ Vermeidung starker Korrosion an Bauteilen im Gasraum des Fermenters (im Vgl. zur internen biologischen Entschwefelung)</li> <li>+ Schwankungen in der Gasfreisetzungsrates verursachen keine Qualitätseinbußen im Biogas</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionierung auf den Schwefelgehalt der Eingangssubstrate schwierig</li> <li>- Erhöhung der laufenden Kosten und des Aufwandes durch kontinuierlichen Chemikalienverbrauch</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>die chemische Entschwefelung im Fermenter wird z. T. eingesetzt, wenn die biologische Entschwefelung im Gasraum des Fermenters nicht ausreicht</li> <li>entstehendes Eisensulfid kann die Eisenkonzentrationen im Boden nach der Ausbringung des Gärrestes stark steigern</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>manuelle oder automatisierte Dosierung durch zusätzliche Kleinfördertechnik</li> <li>Einbringung als Lösung oder in Form von Presslingen und Körnern</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Wartung notwendig</li> </ul>

#### 5.1.1.3 Chemische Entschwefelung im Fermenter

Bei der chemischen Entschwefelung wird dem Gärsubstrat eine chemische Substanz zugeführt, die Schwefel chemisch bindet und damit die Freisetzung von Schwefelwasserstoff unterbindet. Die Substanz geht nicht verloren, sondern findet sich im vergorenen Substrat wieder /5-2/. Kennwerte zur chemischen Entschwefelung sind in Tabelle 5-4 enthalten.

#### 5.1.1.4 Chemische Entschwefelung außerhalb des Fermenters

Bei der externen chemischen Entschwefelung wird eine Gaswäsche außerhalb des Fermenters mit einer Lauge (meist Natriumhydroxid) durchgeführt. Die Eigenschaften werden in Tabelle 5-5 erläutert.

### 5.1.2 Trocknung

Um die Gasverwertungsaggregate vor hohem Verschleiß und Zerstörung zu schützen, muss Wasserdampf aus dem Biogas entfernt werden. Die Menge Wasser bzw. Wasserdampf, die Biogas aufnehmen kann, ist von der Gastemperatur abhängig. Die relative Feuchte von Biogas beträgt im Fermenter 100 %, das Biogas ist somit wasserdampfgesättigt. Durch Kühlung des Gases fällt ein Teil des Wasserdampfes als Kondensat aus.

Die Kühlung des Biogases wird häufig in der Gasleitung durchgeführt. Durch ein entsprechendes Gefälle beim Verlegen der Gasleitung wird das Kondensat in einem am tiefsten Punkt der Gasleitung eingebauten Kondensatabscheider gesammelt. Wird die Gasleitung unterirdisch geführt, ist der Kühleffekt höher. Voraussetzung für die Kühlung des Biogases in der Gasleitung ist allerdings eine ausreichende Länge der Gasleitung. Bei der unterirdischen Leitungsführung muss zwingend darauf geachtet werden, dass Setzungen nicht zur Wassersackbildung führen können. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Verdichtung des Leitungsbettes. Neben dem Wasserdampf wird durch das Kondensat ein Teil weiterer unerwünschter Inhaltsstoffe wie wasserlösliche Gase und Aerosole aus dem Biogas entfernt. Die Kondensatabscheider müssen regelmäßig entleert werden, weshalb sie gut zugänglich sein müssen. Das Einfrieren der Kondensatabscheider muss durch frostfreien Einbau unbedingt verhindert werden.

Bei einigen Anlagen findet die Gastrocknung durch eine Kühlung des Biogases in elektrisch betriebenen Gaskühlern statt. Durch die hierbei herrschenden niedrigen Temperaturen unter 10 °C kann viel Feuchtigkeit abgeschieden werden. Zur Minimierung der relativen Luftfeuchte, nicht jedoch der absoluten Luftfeuchte, kann das Gas nach der Kühlung wieder erwärmt werden, wodurch eine Kondensatbildung im weiteren Verlauf der Gasleitung verhindert werden kann.

Tabelle 5-5: Kennwerte und Einsatzparameter externer chemischer Entschwefelungsanlagen

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit Natronlauge oder Eisenhydroxid möglich</li> <li>• in Abhängigkeit der Abstimmung von Rohgasmenge und Anlagengröße sehr hohe Reinigungsgrade oberhalb 95 % möglich</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alle Biogasgewinnungssysteme</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Dimensionierung auf die real freigesetzte Schwefelwasserstoffmenge möglich</li> <li>+ gezielte automatisierte Optimierung der Schwefelwasserstoffabscheidung durch Laugen- und Temperaturmanagement möglich</li> <li>+ keine Prozessbeeinträchtigung durch Sauerstoffeintrag</li> <li>+ Vermeidung starker Korrosion an Bauteilen im Gasraum des Fermenters (im Vgl. zur internen biologischen Entschwefelung)</li> <li>+ Schwankungen in der Gasfreisetzungsrate verursachen keine Qualitätseinbußen im Biogas bei Überdimensionierung der Entschwefelung</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zusätzliches, mit Kosten verbundenes Aggregat</li> <li>- es entsteht ein Chemikalienbedarf</li> <li>- zusätzlicher Eintrag von Frischwasser zur Laugenverdünnung notwendig (nicht bei Eisenhydroxid)</li> <li>- zusätzlicher Wartungsaufwand</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entsorgung der verbrauchten Lauge in Kläranlagen notwendig, aber aus chemischer Sicht unproblematisch (nur bei Natronlauge)</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als Säulen oder Kessel aus Kunststoff, freistehend, gefüllt mit Trägerkörpern, mit Rückspülung der Lauge</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die Chemikalien sind in größeren Zeitabständen nachzufüllen</li> <li>• Eisenhydroxid lässt sich durch Belüftung mit Umgebungsluft mehrfach regenerieren, wobei die starke Wärmefreisetzung bis zur Entzündung führen kann</li> </ul>



## 5.2 Nutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung

Unter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die gleichzeitige Erzeugung von Kraft (bzw. Strom) und Wärme verstanden. Fast ausschließlich werden hierzu Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Verbrennungsmotoren, die mit einem Generator gekoppelt sind, verwendet. Die Motoren laufen mit konstanter Drehzahl (1500 U/min), damit der direkt gekoppelte Generator elektrische Energie, die kompatibel zur Netzfrequenz ist, bereitstellt. Zum Generatorantrieb bzw. zur Stromerzeugung können alternativ zu den üblichen Zündstrahl- und Gas-Otto-Motoren Mikrogasturbinen, Stirlingmotoren oder Brennstoffzellen eingesetzt werden. Da diese Techniken sich jedoch noch weitestgehend in der Entwicklungs- oder Prototypenphase befinden, werden hier vorrangig BHKW mit Verbrennungsmotor vorgestellt.

### 5.2.1 Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotoren

Das BHKW-Modul besteht neben dem Verbrennungsmotor und einem darauf abgestimmten Generator aus Wärmetauschersystemen zur Rückgewinnung der Wärmeenergie aus Abgas, Kühlwasser- und Schmierölkreislauf, hydraulischen Einrichtungen zur Wärme-

verteilung und elektrischen Schalt- und Steuereinrichtungen zur Stromverteilung und zur BHKW-Steuerung. Als Motor werden Gas-Otto-, Gas-Diesel- oder Zündstrahlmotoren verwendet, wobei letztere derzeit noch häufiger zum Einsatz kommen. Gas-Diesel-Motoren (Gasmotoren auf der Basis eines umgerüsteten marktüblichen Dieselmotorblocks, vgl. Kapitel 5.2.1.1) und Gas-Ottomotoren werden nach dem Ottoprinzip ohne zusätzliches Zündöl betrieben, der Unterschied liegt lediglich in der Verdichtung. Beide Motoren werden daher im weiteren Text als Gas-Otto-Motoren bezeichnet. Der schematische Aufbau eines Biogas-BHKW und Beispiele sind in Abb. 5-3 und 5-4 dargestellt.

#### 5.2.1.1 Gas-Ottomotoren

Gas-Ottomotoren sind speziell für den Gasbetrieb entwickelte Motoren, die nach dem Ottoprinzip arbeiten. Die Motoren werden zur Minimierung der Stickoxidemissionen als Magermotoren mit hohem Luftüberschuss betrieben. Bei Magerbetrieb wird weniger Brennstoff im Motor umgesetzt, was zu einer Leistungsminderung der Motoren führt. Diese wird durch die Aufladung der Motoren mittels Abgasturbolader

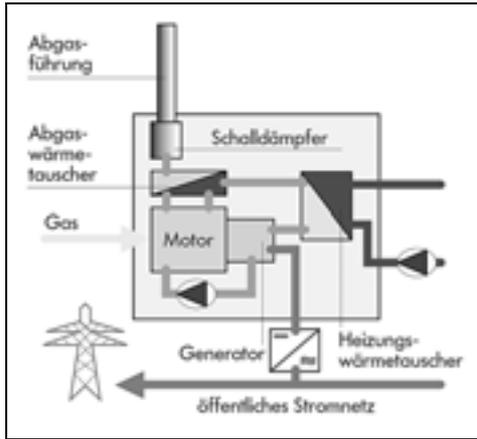


Abb. 5-3: Schematischer Aufbau eines BHKW;  
Schema: ASUE

ausgeglichen. Gas-Ottomotoren sind auf einen Mindestgehalt an Methan im Biogas von ca. 45 % angewiesen. Bei geringeren Methangehalten schalten sie ab.

Bei kleineren Motoren bis zu einer Grenze von etwa 100 kW<sub>el</sub> werden Motorblöcke eingesetzt, die als Ottomotoren konzipiert worden sind. Bei höheren elektrischen Leistungen kommen umgebaute Dieselaggregate, die mit Zündkerzen ausgestattet werden, zum Einsatz. Beide Motortypen werden hier als Gas-Otto-Motoren bezeichnet, da sie nach dem Otto-Prinzip arbeiten.

Sollte kein Biogas zur Verfügung stehen, können Gas-Ottomotoren auch mit anderen Gasarten wie z. B.

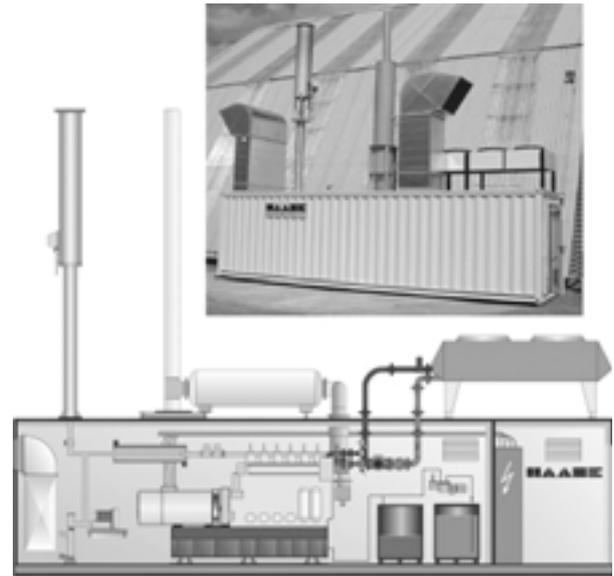


Abb. 5-4: Biogas-BHKW, Komplettmodul in Kompaktbauweise mit Notfackel; Abb.: Haase Energietechnik AG

Erdgas betrieben werden /5-1/. Dies kann z. B. zum Anfahren der Biogasanlage nützlich sein, um über die Motorabwärme die benötigte Prozesswärme zur Verfügung zu stellen. Neben der Gasregelstrecke für das Biogas muss dafür zusätzlich eine Strecke für das Ersatzgas installiert werden.

Die wesentlichen Kenndaten von Gas-Otto-Motoren, die für die Anwendung bei der Biogasnutzung relevant sind, werden in Tabelle 5-6 dargestellt.

Tabelle 5-6: Kennwerte und Einsatzparameter von Gas-Otto-Motoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrische Leistung bis &gt; 1 MW, unter 100 kW nur selten anzutreffen</li> <li>• Wirkungsgrade elektrisch 34-40 % (bei elektrischen Nennleistungen &gt; 300 kW)</li> <li>• Standzeit: ca. 60.000 Betriebsstunden</li> <li>• ab ca. 45 % Methangehalt einsetzbar</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grundsätzlich alle Biogasanlagen, wirtschaftlicher Einsatz eher in größeren Anlagen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ speziell für die Gasverwertung konstruiert</li> <li>+ Emissionsgrenzwerte werden sicher eingehalten</li> <li>+ geringer Wartungsaufwand</li> <li>+ Gesamtwirkungsgrad höher als bei Zündstrahlmotoren</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- leicht erhöhte Kosten gegenüber Zündstrahlmotoren</li> <li>- höhere Kosten durch Fertigung in geringen Stückzahlen</li> <li>- im unteren Leistungsbereich geringerer elektrischer Wirkungsgrad als bei Zündstrahlmotoren</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für den Fall der Überhitzung bei geringem Wärmebedarf ist ein Notkühler vorzusehen</li> <li>• Leistungsregelung in Abhängigkeit von der Gasqualität ist möglich und empfehlenswert</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als einzeln stehendes Aggregat in einem Gebäude oder Kompaktbauweise im Container</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• siehe Kapitel Wartung</li> </ul>

Tabelle 5-7: Kennwerte und Einsatzparameter von Zündstrahlmotoren

Kennwerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis zu 10 % Zündölanteil zur Verbrennung</li> <li>• elektrische Leistung bis ca. 250 kW</li> <li>• Standzeit: ca. 35.000 Betriebsstunden</li> <li>• Wirkungsgrade elektrisch 30- &lt; 40% (Wirkungsgrade um 30 % nur bei kleinen Anlagen)</li> </ul>
Eignung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grundsätzlich alle Biogasanlagen, wirtschaftlicher Einsatz eher in kleineren Anlagen</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ preisgünstiger Einsatz von Standard-Motoren</li> <li>+ im unteren Leistungsbereich erhöhter elektrischer Wirkungsgrad im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkoken der Einspritzdüsen führt zu erhöhten Abgasbelastungen (NO<sub>x</sub>) und häufigeren Wartungsarbeiten</li> <li>- keine für Biogas spezifische Entwicklung der Motoren</li> <li>- Gesamtwirkungsgrad geringer als bei Gas-Otto-Motoren</li> <li>- es muss ein zusätzlicher Brennstoff (Zündöl) eingesetzt werden</li> <li>- der Schadstoffausstoß überschreitet häufig die in der TA Luft vorgegebenen Grenzwerte</li> </ul>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• für den Fall der Überhitzung bei geringem Wärmebedarf ist ein Notkühler vorzusehen</li> <li>• Leistungsregelung in Abhängigkeit der Gasqualität ist möglich und empfehlenswert</li> </ul>
Bauformen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• als einzeln stehendes Aggregat in einem Gebäude oder Kompaktbauweise im Container</li> </ul>
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• siehe Kapitel Wartung</li> </ul>

### 5.2.1.2 Zündstrahlmotoren

Zündstrahlmotoren arbeiten nach dem Dieselpinzip. Verwendet werden häufig Motoren aus dem Schlepper- und Lastkraftwagenbau. Sie sind nicht immer speziell für den Gasbetrieb entwickelt und werden z. T. durch Modifizierungen an den Gasbetrieb angepasst. Das Biogas wird über einen Gasmischer der Verbrennungsluft beigemischt und durch das über eine Einspritzanlage dem Brennraum zugeführte Zündöl gezündet. Die Einstellungen werden normalerweise so vorgenommen, dass der Zündölanteil maximal 10 % der zugeführten Brennstoffleistung beträgt. Durch die relativ geringe Menge eingespritzten Zündöls besteht wegen fehlender Kühlung der Einspritzdüsen die Gefahr, dass diese verkoken /5-1/ und damit schneller verschleifen. Auch Zündstrahlmotoren werden mit hohem Luftüberschuss betrieben. Die Lastregelung wird über die Regelung der zugeführten Zündölmenge oder Gasmenge realisiert.

Bei Ausfall der Biogasversorgung können die Zündstrahlmotoren mit reinem Zündöl oder Diesel betrieben werden. Die Umstellung auf Ersatzbrennstoffe ist problemlos möglich und kann beim Anfahren der Biogasanlage zur Prozesswärmebereitstellung notwendig sein.

Als Zündöl kommt derzeit in der Regel Dieselöl oder Heizöl zum Einsatz. Als Alternative im Sinne der Nutzung regenerativer Energien kann auch Raps-Mehtyl-Ester (Biodiesel) oder Pflanzenöl eingesetzt werden. Die Anwendung von regenerativem Zündöl (Raps-Methyl-Ester oder anerkannte Biomasse nach EEG) wird laut aktuellem Entwurf zum

Erneuerbare-Energien-Gesetz ab 2007 für Neuanlagen sogar vorgeschrieben. Bei der Anwendung sind die Qualitätsanforderungen der Motorenhersteller einzuhalten, wobei zu beachten ist, dass nicht alle Motorenhersteller die volle Gewährleistung bei Einsatz von Biodiesel als Zündöl übernehmen. Als Vorteil von regenerativen Zündölen können geringere Kohlenstoffmonoxidemissionen und die Schwefelfreiheit festgestellt werden. Aus ökologischer Sicht stellen sich die vollständige Energiebereitstellung aus regenerativen Energieträgern und die biologische Abbaubarkeit des Zündöls (im Havariefall) als vorteilhaft dar. Aus Sicht der Motortechnik ist mit einem höheren Filterverschleiß, einer Düsenverharzung und einer geringeren Viskosität des Pflanzenöls zu rechnen. Nachteilig ist weiterhin die vermehrte Freisetzung von Lachgas.

Kennwerte und Einsatzparameter von Zündstrahlmotoren sind Tabelle 5-7 zu entnehmen.

### 5.2.1.3 Schadstoffreduzierung und Abgasreinigung

Stationäre Verbrennungsmotoranlagen für den Einsatz von Biogas sind vom Gesetzgeber als genehmigungsbedürftig eingestuft, wenn die Feuerungswärmeleistung 1 MW oder mehr beträgt. Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) gibt für diesen Fall Grenzwerte vor, die eingehalten werden müssen. Liegt die installierte Feuerungswärmeleistung unter 1 MW, handelt es sich um eine nicht genehmigungspflichtige Anlage. In diesem Fall sind die



Tabelle 5-8: Emissionsgrenzwerte der TA-Luft vom 30.07.2002 für Verbrennungsmotoranlagen nach Nr. 1.4 (einschl. 1.1 u. 1.2) 4. BImSchV /5-6/

Schadstoff	Einheit	Gas-Otto-motoren		Zündstrahl-motoren	
		< 3 MW	≥ 3 MW	< 3 MW	≥ 3 MW
Kohlenstoffmonoxid	mg/m <sup>3</sup>	1000	650	2000	650
Stickstoffoxid	mg/m <sup>3</sup>	500	500	1000	500
Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid angegeben als Schwefeldioxid	mg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350
Gesamtstaub	mg/m <sup>3</sup>	20	20	20	20
organische Stoffe: Formaldehyd	mg/m <sup>3</sup>	60	20	60	60

in der TA-Luft vorgeschriebenen Werte als Richtwerte bei der Prüfung der Einhaltung der Betreiberpflichten, also der Pflicht, nach Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkung auf ein Mindestmaß zu beschränken, heranzuziehen, was durch die Genehmigungsbehörden unterschiedlich gehandhabt wird /5-5/. Die in der TA-Luft vorgegebenen Grenzwerte nehmen eine Unterscheidung für Zündstrahl- und Gas-Otto-Motoren vor. In Tabelle 5-8 sind die geforderten Grenzwerte der TA-Luft vom 30. Juli 2002 aufgeführt.

Die Bereitstellung eines gut gereinigten Brenngases kann zur Minimierung der Schadstoffgehalte im Abgas führen. Schwefeldioxid entsteht z. B. bei Verbrennung des im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoffs (H<sub>2</sub>S). Sind die Konzentrationen nicht erwünschter Spurenstoffe im Biogas gering, ist auch die im Abgas vorhandene Konzentration an deren Verbrennungsprodukten gering.

Zur Minimierung der Stickstoffoxidemissionen werden die Motoren im Magerbetrieb (vgl. Kapitel 5.2.1.1) betrieben. Durch Magerbetrieb ist es möglich, die Verbrennungstemperatur abzusenken und dadurch die Entstehung von Stickstoffoxiden zu verringern.

Katalysatoren kommen bei mit Biogas betriebenen BHKW normalerweise nicht zum Einsatz. Die im Biogas enthaltenen Begleitstoffe wie z. B. Schwefelwasserstoff führen zur Deaktivierung und Zerstörung der Katalysatoren.

Magerbetriebene Gas-Ottomotoren halten normalerweise die in der TA-Luft geforderten Grenzwerte problemlos ein. Zündstrahlmotoren haben in der Regel schlechtere Abgaswerte als Gas-Ottomotoren.

Vor allem die Stickstoffoxid- (NO<sub>x</sub>) und Kohlenstoffmonoxidemissionen (CO) können u. U. die in der TA-Luft festgelegten Grenzwerte überschreiten. Durch das zur Zündung der Motoren verwendete Zündöl befinden sich im Abgas außerdem Rußpartikel /5-5/, /5-7/, /5-8/.

#### 5.2.1.4 Generatoren

Bei den in Blockheizkraftwerken verwendeten Generatoren handelt es sich um Asynchron- oder Synchrongeneratoren. Asynchrongeneratoren werden nur bei kleineren Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis etwa 100 kW eingesetzt /5-9/. Bei Biogasanlagen werden daher normalerweise Synchrongeneratoren verwendet.

#### 5.2.1.5 Elektrische Wirkungsgrade und Leistung

Der Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerks ist ein Maß dafür, wie effektiv die ihm zugeführte Energie genutzt wird. Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus der Summe des elektrischen und des thermischen Wirkungsgrades zusammen und liegt im Normalfall zwischen 80 und 90 %. Als Faustregel für Gas-Otto- und Zündstrahlmotoren kann angenommen werden, dass der elektrische Wirkungsgrad  $\frac{1}{3}$  und der thermische Wirkungsgrad  $\frac{2}{3}$  des Gesamtwirkungsgrades beträgt /5-1/.

Der elektrische Wirkungsgrad setzt sich aus dem mechanischen Wirkungsgrad des Motors und dem Wirkungsgrad des Generators zusammen und ergibt sich durch Multiplikation der beiden Wirkungsgrade. Die elektrischen Wirkungsgrade von mit Zündstrahlmotoren betriebenen BHKW liegen zwischen 30 und 40 % und sind zumindest im unteren Leistungsbereich bei gleicher elektrischer Leistung höher als die von mit Gas-Ottomotoren betriebenen BHKW (Abb. 5-5). Die Wirkungsgrade von mit Gas-Ottomotoren betriebenen BHKW liegen zwischen 34 und 40 %. Mit zunehmender elektrischer Leistung nehmen die elektrischen Wirkungsgrade sowohl bei Zündstrahl- als auch bei Gas-Ottomotoren zu. Da die Wirkungsgrade von den BHKW-Herstellern unter Prüfstandsbedingungen (Dauerlauf mit Erdgas) ermittelt werden, sind die im praktischen Einsatz an der Biogasanlage erzielten Werte meist geringer als die Herstellerangaben. Insbesondere ist zu beachten, dass in der Praxis nur in den seltensten Fällen durchgängig Volllast gefahren werden kann und die Wirkungsgrade im Teillastbetrieb geringer als im Vollastbetrieb sind. Diese Abhängigkeit ist aggregatspezifisch und



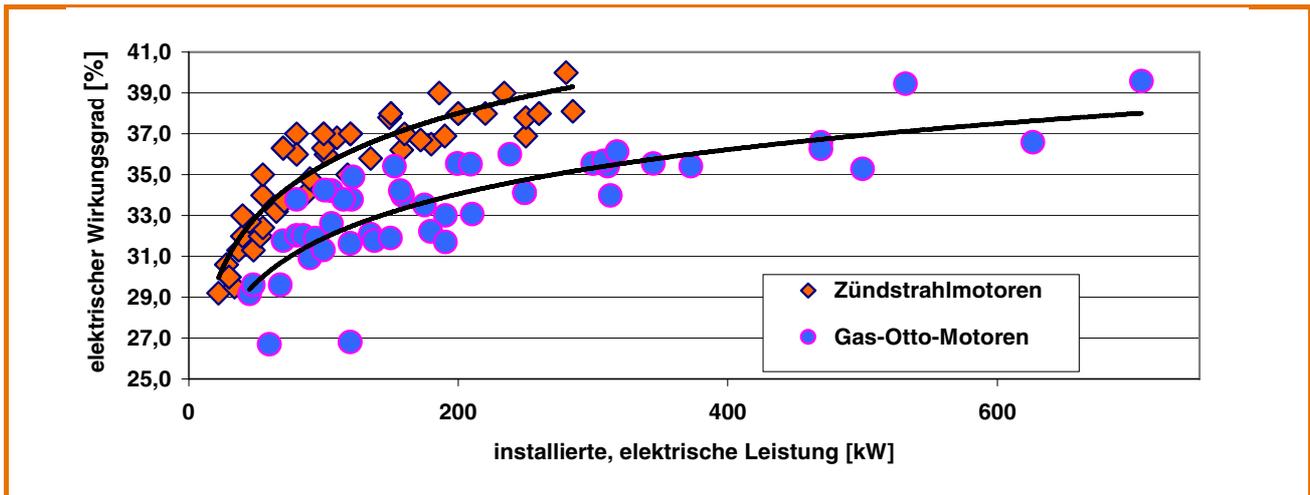


Abb. 5-5: Elektrischer Wirkungsgrad von Biogas-BHKW nach Herstellerangaben; nach [5-25], erweitert

kann aus den technischen Datenblättern abgeleitet werden. Dabei ist wieder zu beachten, dass die in Datenblättern angegebenen Wirkungsgrade in der Regel bei Einsatz von Erdgas unter Prüfstandsbedingungen ermittelt wurden.

#### 5.2.1.6 Wärmeauskopplung

Zur Nutzung der bei der Stromproduktion anfallenden Wärme ist es notwendig, eine Auskopplung über Wärmetauscher vorzusehen. In einem mit Verbrennungsmotor betriebenen BHKW fällt die Wärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus an. Die größte Wärmemenge kann über das Kühlwassersystem des Verbrennungsmotors gewonnen werden. Auf Grund ihres Temperaturniveaus kann sie zur Bereitstellung von Heiz- bzw. Prozessenergie verwendet werden. Einen Heizverteiler zeigt Abb. 5-6. Zur Auskopplung der Wärme aus dem Kühlwasserkreislauf kommen meist Plattenwärmetauscher zum Einsatz [5-3]. Die ausgekoppelte Wärme wird anschließend über einen Verteiler an die einzelnen Heizkreisläufe verteilt.

Das Temperaturniveau der Abgase beträgt ungefähr 460 bis 550 °C. Zum Auskoppeln der Abgaswärme kommen Abgaswärmetauscher aus Edelstahl, die meistens als Rohrbündelwärmetauscher ausgeführt sind, zum Einsatz [5-3].

Im eigenen Betrieb kann der Wärmebedarf aus der Abwärme der BHKW recht schnell gedeckt werden. Er ist in der Regel nur im Winter hoch, im Sommer dagegen muss der Notkühler die meiste Überschusswärme freisetzen. Neben der für die Fermenterheizung benötigten Wärme, die ca. 25 bis 40 % der gesamten anfallenden Wärmemenge beträgt, können zusätzlich die Substrathygienisierung betrieben und z. B. Betriebs-



Abb. 5-6: Heizverteiler; Foto: MT-Energie-GmbH

oder Wohnräume beheizt werden. BHKWs sind voll kompatibel mit der üblichen Heiztechnik und daher leicht an den Heizkreislauf anzuschließen. Für den Fall des Ausfalles des BHKW sollte der oft bereits vorhandene Heizkessel zum Notbetrieb vorgehalten werden. Der darüber hinausgehende Wärmebedarf ist stark von der Betriebsstruktur abhängig (Schweinemast, Geflügelhaltung etc.). Zur Prozessvereinfachung, z. B. zum Ausmisten kann eine zusätzliche Fußbodenheizung in Ställen das Festfrieren von Mist am Boden sehr hilfreich vermeiden. Meist ist damit jedoch die verfügbare Wärme noch nicht in einem hohen Maße ganzjährig ausgenutzt [5-3].

Aus diesem Grund kann die Suche nach Wärmeabnehmern außerhalb der Grenzen des eigenen Betriebes zum wirtschaftlichen Wärmeeinsatz führen. Wenn sich günstige Möglichkeiten für den Wärmeabsatz bieten, kann auch durch bessere Fermenterdämmung oder effektiveren Wärmeeintrag in den Fermenter eine Wärmeeinsparung im Betrieb sinnvoll

sein. Zu beachten ist beim Wärmeverkauf jedoch die z. T. notwendige Kontinuität der Wärmelieferung, so dass häufig Wartungsintervalle und Ausfallzeiten überbrückt werden müssen. Potenzielle Wärmenutzer sind nahegelegene gewerbliche und kommunale Einrichtungen (Gartenbaubetriebe, Fischzuchtbetriebe, Milchverarbeitung, Holztrocknung u. a.) oder Wohnhäuser. Ein besonderes Potenzial für die Wärmenutzung bieten Veredlungs- und Trocknungsprozesse mit hohem Wärmeenergieeinsatz. Eine weitere Alternative stellt die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung dar (siehe Kapitel 5.3).

In der weiteren Wärmenutzung wird derzeit ein großes Potenzial gesehen, jedoch sind wirtschaftlich tragbare Konzepte und Projekte bisher eher die Ausnahme. Durch den Absatz der Wärme können zusätzliche Einkommensquellen erschlossen werden, die erheblich zur Wirtschaftlichkeit der Anlage beitragen können.

Die Kühlung der BHKW-Motoren muss auch bei fehlender Wärmeabnahme der Verbraucher im Heizkreislauf (z. B. im Sommer) sichergestellt werden, um eine Überhitzung und damit verbundene Schädigung zu vermeiden. Hierfür werden Notkühler mit in den Heizkreislauf der Motoren eingebunden, über die die nicht benötigte Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann.

### 5.2.1.7 Gasregelstrecke

Um das Biogas effektiv nutzen zu können, stellen Gasmotoren Anforderungen in Bezug auf die physikalischen Eigenschaften des Gases. Dies sind insbesondere der Druck, mit dem das Biogas dem Gasmotor zugeführt wird (meist 100 mbar) und ein definierter Volumenstrom. Falls diese Parameter die Vorgaben nicht erfüllen können, beispielsweise wenn nicht ausreichend Gas im Fermenter freigesetzt wird, werden die Motoren abgeschaltet oder in den Teillastbetrieb umgeschaltet. Um die Vorgaben sehr konstant einzuhalten und Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, wird eine Gasregelstrecke direkt vor dem BHKW installiert.

Die Gasregelstrecke sollte einschließlich der gesamten Gasleitung nach den Richtlinien der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) zugelassen sein. Alle Gasleitungen müssen entweder durch gelbe Farbe oder gelbe Pfeile kenntlich gemacht werden. Die Regelstrecke muss zwei selbständig schließende Ventile (Magnetventile), ein Absperrventil außerhalb des Aufstellraumes, eine Flammendurchschlagsicherung und einen Unter-



Abb. 5-7: BHKW mit Gasregelstrecke (helle Leitungen);  
Foto: MT-Energie GmbH

druckwächter enthalten. Sinnvoll ist es, einen Gaszähler zur Bestimmung der Gasmenge und einen Feinfilter zum Abtrennen von Partikeln aus dem Biogas mit in die Gasstrecke zu integrieren. Wenn notwendig, wird ein Verdichter in die Strecke integriert. In Abb. 5-7 ist ein Beispiel für eine Gasregelstrecke zu sehen.

**Von besonderer Bedeutung für die Installation der Gasleitungen ist die Integration von Einrichtungen zum Kondensatablass**, da bereits geringe Kondensatmengen auf Grund der geringen Gasdrücke zum Verschluss der Gasleitung führen können.

### 5.2.1.8 Betrieb, Wartung, Service und Aufstellräume

Die Nutzung von Biogas in BHKW setzt bestimmte Rahmenbedingungen voraus, die eingehalten werden müssen. Neben dem eigentlichen Betrieb sind hierbei auch vorgegebene Wartungsintervalle und Anforderungen an den Aufstellraum der BHKW-Anlage zu beachten.

#### **Betrieb**

BHKW-Anlagen arbeiten auf Grund von verschiedenen Regel-, Überwachungs- und Steuerungsmaßnahmen in der Regel weitgehend automatisch. Um eine Beurteilung des Betriebes des BHKW sicherzustellen, sollten folgende Daten zur Erstellung von Trends in einem Betriebstagebuch festgehalten werden:

- erreichte Betriebsstunden,
- Anzahl der Starts,
- elektrische Leistung,
- Motorkühlwassertemperatur,
- Vor- und Rücklauftemperatur des Heizwassers,
- Kühlwasserdruck,

- Öldruck,
- Abgastemperatur,
- Abgasgegendruck,
- Brennstoffverbrauch,
- erzeugte Leistung (thermisch und elektrisch).

Die Daten können in der Regel über die BHKW-Steuerung erfasst und dokumentiert werden. Eine Kopplung der BHKW-Steuerung mit den Regelkreisen der Biogasanlage sowie der Datenaustausch mit einem zentralen Leitsystem bzw. die Datenfernübertragung per Modem, die auch die Ferndiagnose durch den Hersteller ermöglicht, kann häufig realisiert werden. Eine tägliche Begehung und Sichtkontrolle der Anlage sollte allerdings trotz aller elektronischen Überwachungen durchgeführt werden.

Bei BHKW mit Zündstrahlmotoren sollte neben der verbrauchten Gasmenge auch der Zündölverbrauch gemessen werden. Um die Vergütung des eingespeisten Stroms nach EEG sicherzustellen, darf die zugeführte Zündstrahlmenge nicht mehr als 10 % der Brennstoffleistung betragen /5-10/. Es kann nötig sein, einen Nachweis über die Höhe der eingesetzten Zündstrahlmenge zu erbringen, was sich ohne ein geeichtes Messsystem als schwierig erweisen kann. Diese Forderungen werden durch Netzbetreiber erhoben, entbehren jedoch einer gesetzlichen Grundlage.

Um eine Aussage über den thermischen Wirkungsgrad des BHKW machen zu können, sollte neben der produzierten Strommenge auch die produzierte Wärmemenge durch Wärmemengenzähler gemessen werden. So ist es außerdem möglich, eine relativ genaue Aussage über die benötigte Prozesswärme oder über die von anderen an den Heizkreislauf des BHKW angeschlossenen Verbrauchern (ggfs. Ställe usw.) benötigte Wärmemenge zu treffen.

Damit die Motoren ausreichend mit Gas versorgt werden, muss ein entsprechender Fließdruck vor Eintritt in die eigentliche Gasregelstrecke gewährleistet sein. Bei druckloser Biogasspeicherung ist hierfür eine Gasdruckerhöhung durch entsprechende Gasverdichter vorzunehmen.

Eine große Rolle für den sicheren Betrieb der Motoren spielt das Schmieröl. Durch das Schmieröl werden die im Motor entstehenden Säuren neutralisiert. Ein Austausch des Schmieröls ist infolge von Alterung, Verschmutzung und Nitrierung bzw. der Abnahme des Neutralisationsvermögens in regelmäßigen Abständen in Abhängigkeit von der Motorart, des Öls und der Betriebsstundenanzahl durchzuführen. Neben regelmäßigen Ölwechselintervallen sollte vor dem Ölwechsel eine Ölprobe entnommen werden. Die Ölprobe wird in einem darauf spezialisierten

Labor untersucht. Anhand der Laborergebnisse kann eine Aussage über die Länge der nötigen Ölwechselintervalle sowie über den Verschleiß des Motors gemacht werden /5-1/. Um die Ölwechselintervalle zu verlängern, wird häufig die verwendete Ölmenge durch Ölwannevergrößerungen erhöht, die von vielen Herstellern angeboten werden.

### Wartung

Der Betrieb eines BHKW mit Biogas setzt voraus, dass die vorgegebenen Wartungsintervalle eingehalten werden. Dazu zählt auch die vorbeugende Instandhaltung wie z. B. Ölwechsel und Austausch von Verschleißteilen. Eine ungenügende Wartung und Instandhaltung kann zur Schädigung des BHKW führen und somit erhebliche Kosten verursachen /5-1/, /5-11/.

Jeder BHKW-Hersteller stellt einen Inspektions- und Wartungsplan zur Verfügung. Anhand dieser Pläne ist zu erkennen, welche Tätigkeiten in welchen Zeitabständen zur Instandhaltung und Pflege der Module durchgeführt werden müssen. Der zeitliche Abstand der verschiedenen Maßnahmen ist von Faktoren wie dem Motortyp etc. abhängig. Durch Schulungen, die vom BHKW-Hersteller angeboten werden, besteht die Möglichkeit, einige Arbeiten in Eigenregie durchzuführen /5-11/.

Neben den Wartungsplänen werden auch Serviceverträge angeboten. Vor dem Kauf des BHKW sollten die Einzelheiten der Serviceverträge geklärt sein, wobei insbesondere folgende Punkte beachtet werden sollten:

- welche Arbeiten führt der Betreiber durch,
  - welche Form des Servicevertrages wird vereinbart,
  - wer liefert die Betriebsmaterialien,
  - in welchem Zeitraum erfolgt eine Reparatur,
  - welche Laufzeit hat der Vertrag,
  - schließt der Vertrag eine große Revision mit ein,
  - wie werden außerplanmäßige Probleme behandelt.
- Welche Leistungen in den Servicevertrag aufgenommen werden, ist unter anderem auch davon abhängig, welche Eigenleistungen vom Betreiber ausgeführt werden können. Von der Fachgemeinschaft Kraftmaschinen des VDMA wurden eine Spezifikation und ein Vertragsmuster für Wartungs- und Instandhaltungsverträge entwickelt. Basierend auf dieser Spezifikation entstand die VDI-Richtlinie 4680 „BHKW-Grundsätze für die Gestaltung von Serviceverträgen“. Hier können entsprechende Informationen über Inhalt und Aufbau der Verträge eingeholt werden /5-12/. Gemäß VDMA können verschiedene Vertragsformen von Serviceverträgen definiert werden.







Abb. 5-8: BHKW-Container bzw. Aufbau eines BHKW in einem Gebäude; Fotos: Seva Energie AG

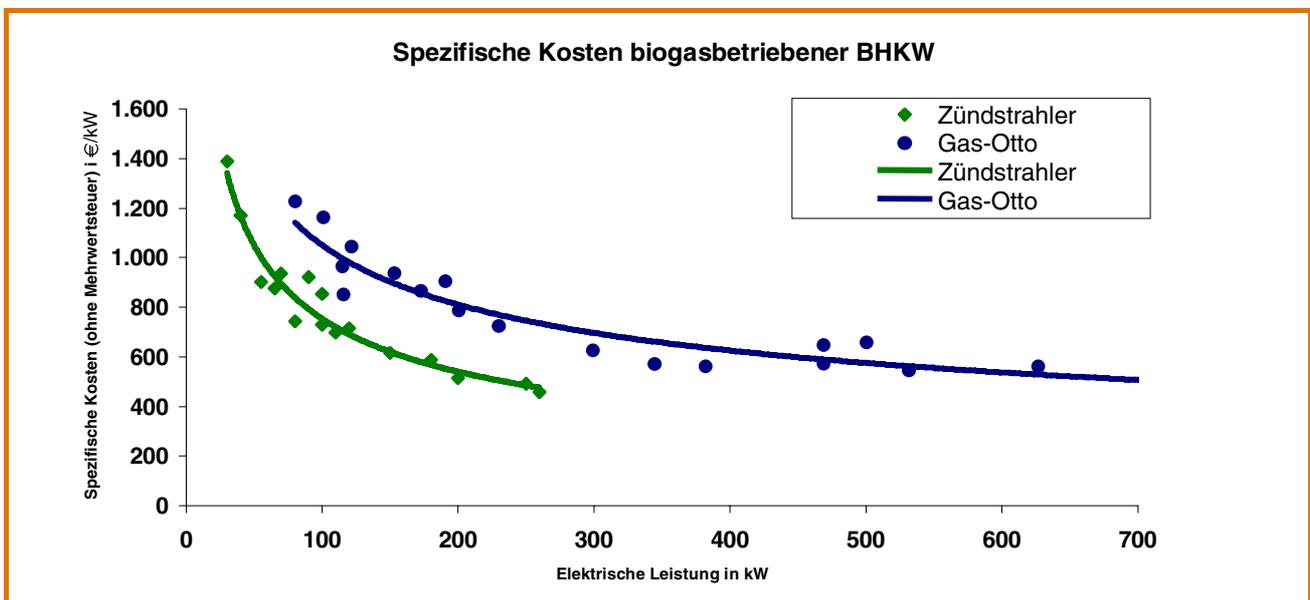


Abb. 5-9: Spezifische Kosten von Biogas-BHKW

Preisvergleiche zwischen einzelnen BHKW können sich als schwierig erweisen, da sich der Umfang der einzelnen Angebote sehr stark unterscheidet. Um eine Vergleichbarkeit herstellen zu können, ist die Einholung von Angeboten mit einer sehr detaillierten Angebotsanfrage empfehlenswert. Trotzdem ist die sorgfältige Prüfung der Angebotsinhalte sehr wichtig, um ggf. das günstigste Angebot vom billigsten unterscheiden zu können.

Neben den Anschaffungskosten sollten auch Kosten für Wartung und Instandhaltung mit berücksichtigt werden. Die Kosten sind stark von den angebotenen Leistungen bzw. Vertragsinhalten abhängig (vgl. Kapitel 5.2.1.8). Als grober Richtpreis können ungefähr 1 bis 1,8 Cent pro erzeugte kWh<sub>el</sub> für Vollwartungsverträge veranschlagt werden /5-11/. Abb. 5-10 zeigt eine Übersicht über Preise für Vollwar-

tungsverträge in Abhängigkeit der installierten Motorleistung. Da die BHKW allerdings nicht immer in Volllast laufen, was zur Reduzierung der eingespeisten Kilowattstunden führt, legen viele Hersteller die Kostenpauschale nach Betriebsstunden fest.

Zum Kauf des BHKW stellt das Contracting eine Alternative dar. Contracting wird von vielen BHKW-Herstellern in unterschiedlichen Varianten angeboten. Je nach Variante werden Teile des unternehmerischen Risikos vom Biogasanlagenbetreiber auf den Contractor verlagert. Das verbleibende Restrisiko wird vertraglich zwischen beiden Parteien geregelt. So besteht z. B. die Möglichkeit, dass der Contractor Planung, Finanzierung, Bau und Wartung sowie die Betriebsführung der BHKW-Anlage übernimmt und damit ihr Betreiber ist. Ein Teil der Vergütung, die der Contractor (Betreiber) für den einge-



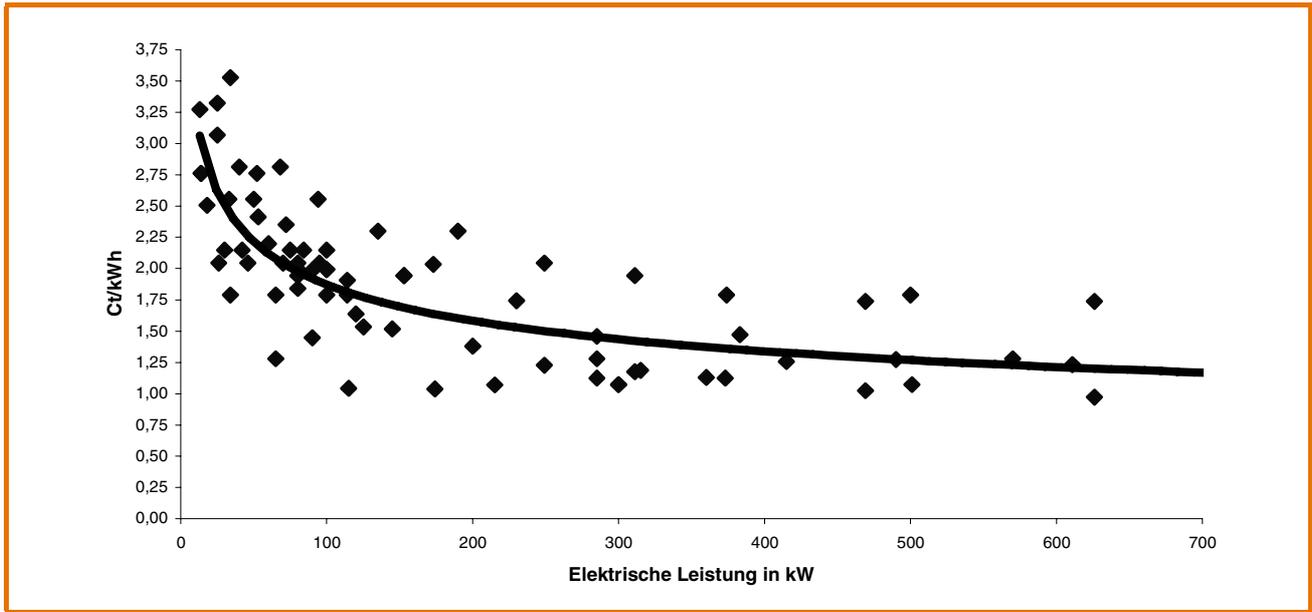


Abb. 5-10: Richtpreise für Instandhaltungsverträge [5-12/

speisten Strom bekommt, gibt er an den Nutzer (Biogasanlagenbetreiber) weiter. Contracting bietet die verschiedensten Varianten, die individuell zwischen Contractor und Nutzer ausgehandelt werden können.

### 5.2.2 Nutzung in Stirlingmotoren

Der Stirlingmotor gehört zu den Heißgas- oder Expansionsmotoren. Hier wird der Kolben nicht – wie bei Verbrennungsmotoren – durch die Expansion von Verbrennungsgasen aus einer inneren Verbrennung bewegt, sondern durch die Ausdehnung (Expansion) eines eingeschlossenen Gases, welches sich infolge Energie- bzw. Wärmezufuhr einer externen Energiequelle ausdehnt. Durch diese Entkopplung der Energie- bzw. Wärmequelle von der eigentlichen Krafterzeugung im Stirlingmotor kann die benötigte Wärme aus unterschiedlichen Energiequellen, wie z. B. einem Gasbrenner, der mit Biogas betrieben wird, zur Verfügung gestellt werden.

Das grundlegende Prinzip des Stirlingmotors basiert auf dem Effekt, dass ein Gas bei einer Temperaturänderung eine gewisse Volumenänderungsarbeit verrichtet. Wird dieses Arbeitsgas zwischen einem Raum mit konstant hoher Temperatur und einem Raum mit konstant niedriger Temperatur hin- und herbewegt, ist ein kontinuierlicher Betrieb des Motors möglich. Damit wird das Arbeitsgas im Kreislauf geführt. Das Arbeitsprinzip ist in Abb. 5-11 dargestellt.

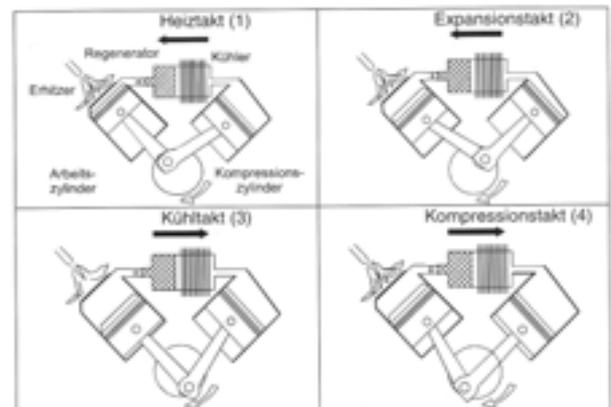


Abb. 5-11: Arbeitsweise eines Stirlingmotors aus [5-14/ nach [5-24/

Auf Grund der kontinuierlichen Verbrennung weisen Stirlingmotoren geringe Schadstoff- und Geräuschemissionen sowie einen geringen Wartungsaufwand auf. Sie lassen wegen der geringen Bauteilbelastungen und des geschlossenen Gaskreislaufs geringe Wartungskosten erhoffen. Die elektrischen Wirkungsgrade sind im Vergleich mit herkömmlichen Gas-Ottomotoren geringer und liegen zwischen 24 und 28 %. Die Leistung von Stirlingmotoren ist vorrangig im Bereich unter 50 kW<sub>el</sub> angesiedelt. Die Abgastemperaturen liegen zwischen 250 und 300 °C.

Auf Grund der äußeren Verbrennung werden geringe Ansprüche an die Qualität des Biogases gestellt, weswegen auch Gase mit geringen Methangehalten verwendet werden können [5-14/.

Erdgasbetriebene Stirlingmotoren sind in sehr kleinen Leistungsklassen am Markt verfügbar. Um Stirlingmotoren konkurrenzfähig in der Biogastechnologie einzusetzen, bedarf es allerdings noch diverser technischer Weiterentwicklungen. Der Stirlingmotor würde wie Zündstrahl- oder Gas-Otto-Aggregate in BHKW eingesetzt werden können. Derzeit laufen in Deutschland Versuche mit einem 40-kW-Stirlingmotor, der mit Biogas betrieben wird. In Österreich wird der Pilotbetrieb eines Stirlingmotors gerade aufgenommen.

### 5.2.3 Nutzung in Mikrogasturbinen

In Gasturbinen wird Luft aus der Umgebung angesaugt und durch einen Verdichter auf hohen Druck verdichtet. Die Luft gelangt in eine Brennkammer, wo sie unter Zugabe von Biogas verbrannt wird. Die dabei stattfindende Temperaturerhöhung bewirkt eine Volumenausdehnung. Die heißen Gase gelangen in eine Turbine, wo sie entspannt werden, wobei sie deutlich mehr Leistung abgeben als für den Antrieb des Verdichters benötigt wird. Mit der nicht zum Verdichterantrieb benötigten Energie wird ein Generator zum Zweck der Stromerzeugung angetrieben.

Als Mikrogasturbinen oder Mikroturbinen werden kleine, schnelllaufende Gasturbinen mit niedrigen Brennkammertemperaturen und -drücken im unteren elektrischen Leistungsbereich bis 200 kW bezeichnet. Als Basis der Mikrogasturbinentechnik dienen die Turboladertechnologie aus dem Kraftfahrzeugbereich und Entwicklungen aus der Luftfahrt. Momentan gibt es verschiedene Hersteller von Mikrogasturbinen in den USA und in Europa. Mikrogasturbinen besitzen zur Verbesserung des Wirkungsgrades im Gegensatz zu „normalen“ Gasturbinen einen Rekuperator, in dem die Verbrennungsluft vorgewärmt wird. Der Aufbau einer Mikrogasturbine ist in Abb. 5-12 dargestellt.

Bei einer Drehzahl von ca. 96 000 U/min wird ein hochfrequenter Wechselstrom erzeugt, der über eine Leistungselektronik so bereitgestellt wird, dass er in das Stromnetz eingespeist werden kann. Sollen Mikrogasturbinen für Biogas verwendet werden, sind gegenüber dem Erdgasbetrieb u. a. Änderungen an der Brennkammer und den Brennstoffdüsen erforderlich /5-15/. Die Schallemissionen der Mikrogasturbinen liegen in einem hohen Frequenzbereich und lassen sich gut dämmen.

Da das Biogas in die Brennkammer der Mikrogasturbine eingebracht werden muss, in der ein Überdruck von mehreren bar herrschen kann, ist eine

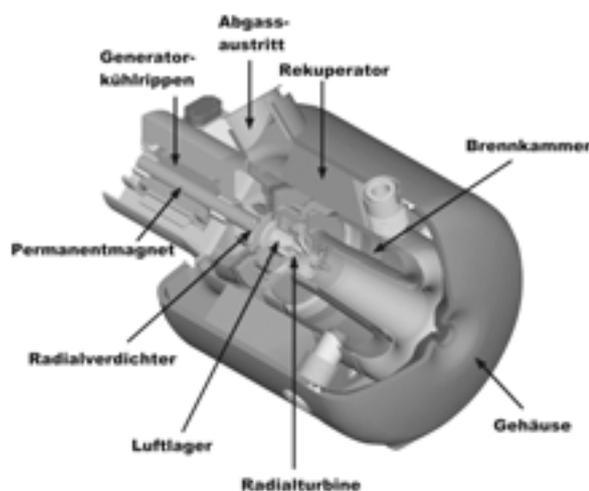


Abb. 5-12: Aufbau einer Mikrogasturbine;  
Bild: G.A.S. Energietechnologie GmbH

Gasdruckerhöhung notwendig. Neben dem Brennkammerdruck sind strömungs- und massenstrombedingte Druckverluste über die Gasleitung, Ventile und Brenner zu berücksichtigen, so dass die Druckerhöhung bei bis zu 6 bar atmosphärischem Überdruck liegt. Hierzu wird der Mikrogasturbine brennstoffseitig ein Verdichter vorgeschaltet.

Unerwünschte Begleitstoffe im Biogas können die Mikrogasturbinen schädigen, weshalb eine Gasreinigung und -trocknung durchgeführt werden muss. Mikrogasturbinen können Methangehalte von 35 bis 100 % verkraften /5-15/, /5-7/.

Durch kontinuierliche Verbrennung mit Luftüberschuss und geringen Brennkammerdrücken weisen Mikrogasturbinen deutlich geringere Abgasemissionen als Motoren auf. Dies ermöglicht neue Wege der Abgasnutzung wie z. B. die direkte Futtermittel-trocknung oder CO<sub>2</sub>-Düngung von Pflanzen im Unterglasbau. Die Abwärme ist auf einem relativ hohen Temperaturniveau verfügbar und wird nur über die Abgase transportiert. Damit kann die anfallende Wärme kostengünstiger und technisch einfacher genutzt werden als bei Verbrennungsmotoren /5-15/, /5-16/, /5-17/.

Die Wartungsintervalle sind zumindest bei mit Erdgas betriebenen Mikrogasturbinen deutlich länger als bei Motoren. So wird bei mit Erdgas betriebenen Mikrogasturbinen von einem Wartungsintervall von bis zu 8.000 (Luftlager) bzw. 6.000 Betriebsstunden (mit ölgeschmierten Lagern) ausgegangen /5-15/. Einige Hersteller gehen bei mit Biogas betriebenen Mikrogasturbinen von Wartungsintervallen von 4000 Betriebsstunden aus. Praxiswerte für den Betrieb mit Biogas liegen momentan noch nicht ausreichend vor,

so dass die angegebenen Wartungsintervalle nur als Schätzung angesehen werden können.

Ein Nachteil der Mikrogasturbinen ist der mit ca. 28 % relativ geringe elektrische Wirkungsgrad. Auch der Gesamtwirkungsgrad liegt mit ca. 82 % /5-17/ häufig etwas unter dem von Gas-Otto- und Zündstrahlmotoren. Zur Zeit werden Versuche mit biogasbetriebenen Mikrogasturbinen durchgeführt. Die Investitionskosten liegen verglichen mit leistungsäquivalenten, auf Motoren basierenden Biogas-Nutzungskonzepten um 15 bis 20 % höher /5-16/. Es wird allerdings eine Kostensenkung erwartet, wenn Mikrogasturbinen stärker im Markt vertreten sind.

### 5.2.4 Nutzung in Brennstoffzellen

Die Wirkungsweise der Brennstoffzelle unterscheidet sich grundsätzlich von den herkömmlichen Arten der Energieumwandlung. Die Umwandlung der chemischen Energie des Biogases in Strom findet direkt statt. Die Brennstoffzelle garantiert hohe elektrische Wirkungsgrade bis zu 50 % bei nahezu emissionsfreier Betriebsweise.

Das Funktionsprinzip der Brennstoffzelle ist mit der Umkehrung der Elektrolyse des Wassers vergleichbar. Bei der Elektrolyse wird unter Zufuhr elektrischer Energie das Wassermolekül in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgespalten. In einer Brennstoffzelle reagieren hingegen  $H_2$  und  $O_2$  unter Abgabe von elektrischer Energie und Wärme zu Wasser ( $H_2O$ ), sie benötigt somit für die elektrochemische Reaktion Wasserstoff und Sauerstoff als „Brennstoff“ /5-18/. Ein Funktionsbeispiel zeigt Abb. 5-13.

Biogas muss grundsätzlich für den Einsatz in Brennstoffzellen aufbereitet werden.  $H_2S$  wird durch biologische Entschwefelung oder katalytische Spal-

tung an dotierter Aktivkohle entfernt. Anschließend erfolgt eine Methananreicherung durch Gaswäsche mit Wasser- oder Druckwechseladsorption mit Molekularsieben, falls dies für den Brennstoffzellentyp notwendig ist. Gleichzeitig erfolgt die Gasfeinreinigung zur Entfernung von  $H_2S$  und anderer im Biogas enthaltener Spurenstoffe. Mit Hilfe der katalytischen Dampfreformierung wird Methan in Wasserstoff überführt, wobei dieser Prozessschritt bei einigen Brennstoffzellen zellintern erfolgen kann. Die Brennstoffzellen-Typen sind nach Art der verwendeten Elektrolyten benannt und lassen sich in Nieder- (AFC, PEM), Mittel- (PAFC) und Hochtemperatur-Brennstoffzellen (MCFC, SOFC) unterteilen. Welche Zelle am besten für den Einsatz geeignet ist, hängt von der Art der Wärmeverwertung und den verfügbaren Leistungsklassen ab.

Die Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) Brennstoffzelle stellt eine Möglichkeit für den Einsatz in Biogasanlagen dar. Durch ihre Betriebstemperatur ( $80\text{ }^\circ\text{C}$ ) lässt sich die Wärme direkt in ein vorhandenes Warmwassernetz einspeisen. Die Art des verwendeten Elektrolyten lässt eine hohe Lebensdauer der PEM erwarten, sie ist jedoch sehr empfindlich gegenüber Verunreinigungen im Brenngas einschließlich Kohlenstoffdioxid, daher ist der Aufwand für die Gasreinigung hoch. Die Integration einer PEM wird zur Zeit in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) erprobt.

Am weitesten entwickelt ist die PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell). Sie wird unter Verwendung von Erdgas weltweit am häufigsten eingesetzt. Gegenüber anderen Brennstoffzellen ist der elektrische Wirkungsgrad geringer. Die PAFC ist allerdings weniger empfindlich gegenüber Kohlenstoffdioxid und Kohlenstoffmonoxid.

Die MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) wird mit einer flüssigen Karbonschmelze als Elektrolyt betrieben und ist unempfindlich gegenüber Kohlenstoffmonoxid und toleriert Kohlenstoffdioxid bis 40 % Volumenanteil. Auf Grund ihrer Arbeitstemperatur ( $600\text{-}700\text{ }^\circ\text{C}$ ) kann die Umwandlung von Methan in Wasserstoff, auch Reformierung genannt, zellintern stattfinden. Ihre Abwärme kann beispielsweise in nachgeschalteten Turbinen weiter genutzt werden. Eine MCFC-Brennstoffzelle wird in einem von E.ON Energie AG und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. finanzierten Projekt der Schmack Biogas AG zur Verwertung von aufbereitetem Biogas eingesetzt.

Eine weitere Hochtemperatur-Brennstoffzelle ist die SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Sie arbeitet bei Tem-

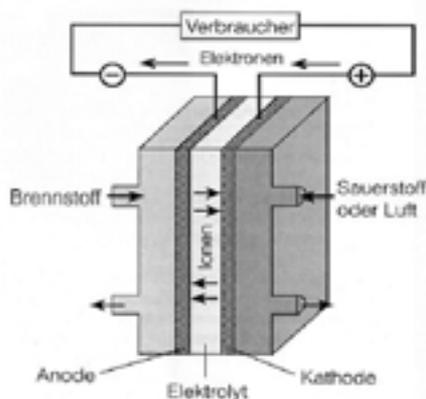


Abb. 5-13: Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle;  
Zeichnung: FAL Braunschweig

peraturen zwischen 750 und 1000 °C. Sie hat hohe elektrische Wirkungsgrade und auch hier kann die Reformierung von Methan zu Wasserstoff zellintern stattfinden. Sie weist eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Schwefel auf, was einen Vorteil bei der Verwertung von Biogas darstellt.

Für alle Brennstoffzellentypen sind die Investitionskosten von 12 000 €/kW /5-19/ sehr hoch und noch weit von motorisch betriebenen BHKW entfernt. Inwieweit sich die Investitionskosten nach unten entwickeln und noch z. T. bestehende technische Probleme ausgeräumt werden können, wird in verschiedenen Pilotvorhaben untersucht. Ausgehend vom aktuellen Entwicklungsstadium ist in den nächsten Jahren nicht mit marktauglichen Systemen zu rechnen.

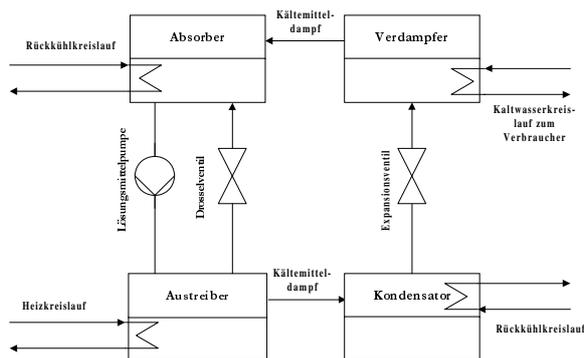


Abb. 5-14: Funktionsschema einer Absorptionskältemaschine



Abb. 5-15: Beispiel einer Absorptionskältemaschine an einer Biogasanlage; Foto: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH

### 5.3 Nutzung durch Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Eine kontinuierliche Abnahme der bei der Nutzung von Biogas in einem BHKW anfallenden Wärme ist nur in Ausnahmefällen gegeben. Die Nutzung der anfallenden Wärme kann allerdings ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage sein. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, ein entsprechendes Wärmenutzungskonzept in die Planung der Anlage mit einzubeziehen. Gesichert nutzbar ist immer nur der Teil der anfallenden Wärme, der für den Prozess der Biogaserzeugung (Heizung des Fermenters) selbst benötigt wird. Das sind allerdings nur ca. 25 bis 40 %, der Rest wird häufig ungenutzt über Notkühler an die Umgebung abgegeben.

Bei der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung wird Kälte aus Wärme gewonnen. Die Umwandlung der Wärme in Kälte geschieht durch das sogenannte Sorptionsverfahren, welches in Adsorptions- und Absorptionskälteverfahren unterschieden wird. Beschrieben werden soll auf Grund der höheren Relevanz das Absorptionsverfahren bzw. eine Absorptionskältemaschine, wie sie prinzipiell aus alten Kühlschränken bekannt ist. Das Verfahrensprinzip wird in Abb. 5-14 dargestellt. Ein Realisierungsbeispiel an einer Biogasanlage ist in Abb. 5-15 zu sehen.

Zur Kälteerzeugung wird ein Arbeitsstoffpaar bestehend aus Kälte- und Lösungsmittel verwendet. Das Lösungsmittel absorbiert ein Kältemittel und wird anschließend wieder von ihm getrennt. Als Arbeitsstoffpaar können Wasser (Kältemittel) und Lithiumbromid (Lösungsmittel) für Temperaturen über 0 °C oder Ammoniak (Kältemittel) und Wasser (Lösungsmittel) für Temperaturen bis zu -60 °C verwendet werden.

Lösungs- und Kältemittel werden im Ausreiber voneinander getrennt. Dafür muss die Lösung erhitzt werden, wofür die vom BHKW zur Verfügung gestellte Wärme verwendet wird. Das Kältemittel verdampft auf Grund seines niedrigeren Siedepunktes zuerst und gelangt in den Kondensator. Das jetzt kältemittelarme Lösungsmittel gelangt in den Absorber. In dem Kondensator wird das Kältemittel abgekühlt und dadurch verflüssigt. Anschließend wird es in einem Expansionsventil auf den der gewünschten Temperatur entsprechenden Verdampfungsdruck entspannt. Im Verdampfer wird das Kältemittel anschließend unter Aufnahme von Wärme verdampft. Hier findet die eigentliche Kühlung des Kältekreislaufes, an den die Verbraucher angeschlossen sind, statt. Der dabei entstehende Kältemitteldampf strömt zum



Absorber. Im Absorber wird das Kältemittel vom Lösungsmittel aufgenommen (absorbiert), womit der Kreislauf geschlossen ist /5-3/, /5-23/.

Das einzige mechanisch bewegliche Bauteil ist die Lösungsmittelpumpe, wodurch der Verschleiß und damit der Wartungsaufwand dieser Anlagen sehr gering ist. Ein weiterer Vorteil von Absorptionskälteanlagen besteht in ihrem geringeren Stromverbrauch gegenüber Kompressionskälteanlagen. Außerdem kann zusätzlich die bei der KWK anfallende Wärme genutzt werden. Zum Einen kann so Strom eingespart und zum Anderen die vom BHKW bereitgestellte Wärme genutzt werden /5-20/.

Die Anwendung von KWK-Anlagen in der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung wird derzeit bereits an einigen Standorten als Pilotprojekt betrieben.

## 5.4 Weitere Nutzungsmöglichkeiten

Die Nutzung des Biogases bietet sich über die KWK hinaus für die direkte Wärmeenergieerzeugung, als Kraftstoff oder Substitut von Erdgas an.

### 5.4.1 Thermische Nutzung von Biogas

Die Verbrennung von Biogas zur Wärmebereitstellung ist problemlos möglich. Die hierfür eingesetzten Brenner sind häufig Allgasgeräte, die auf verschiedene Brennstoffe umgestellt werden können. Es muss lediglich eine Anpassung der Geräte an den Biogasbetrieb erfolgen. Bei Geräten, die Teile aus Buntmetall und niederen Stahllegierungen enthalten, ist durch den im Biogas enthaltenden Schwefelwasserstoff mit Korrosion zu rechnen, weswegen diese Metalle ausgetauscht werden müssen.

Es kann zwischen atmosphärischen Brennern und Gebläseburnern unterschieden werden. Atmosphärische Geräte beziehen die Verbrennungsluft durch Selbstansaugung aus der Umgebung. Der benötigte Gasvordruck liegt bei ungefähr 8 mbar und kann häufig von der Biogasanlage bereitgestellt werden. Bei Gebläseburnern wird die Verbrennungsluft durch ein Gebläse zugeführt. Der benötigte Vordruck des Brenners liegt bei mindestens 15 mbar. Zur Bereitstellung des benötigten Gasvordruckes ist u. U. die Verwendung von Gasverdichtern notwendig /5-3/.

Das Biogas kann bei entsprechenden Brennern auch anderen Brennstoffen zugefeuert werden. Die Nutzung von Biogas zur reinen Wärmeerzeugung ist allerdings in Deutschland nicht weit verbreitet und

hat gegenüber der Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken an Bedeutung verloren. Dies kann sich im Zuge der Entwicklung von Wärmenutzungskonzepten, in denen der Abstand zwischen Biogasanlage und Verbraucher für die Wärmeleitung zu groß, aber die Versorgung direkt mit Biogas ohne Energieverlust wirtschaftlich ist, ändern.

### 5.4.2 Einspeisung in das Erdgasnetz

Die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz könnte zukünftig eine weitere Nutzungsmöglichkeit darstellen. Biogas würde nicht mehr vor Ort in BHKW zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt, sondern direkt in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden. Hierfür ist es allerdings notwendig, noch bestehende rechtliche Hemmnisse und technisch-wirtschaftliche Barrieren zu überwinden.

Aus rechtlicher Sicht schreibt eine EU-Gasrichtlinie den ungehinderten Zugang zum Gasnetz für jeden Gaslieferanten vor (Richtlinie zur Öffnung der Gasnetze für Biogase und Gas aus Biomasse; Europäisches Parlament; 13.03.2001) /5-3/. In Deutschland wäre eine Einleitungs- bzw. Durchleitungsverordnung als Ergänzung des Energiewirtschaftsgesetzes notwendig /5-21/.

Bei einer beabsichtigten Einspeisung des Biogases würde sich grundsätzlich an der Konfiguration der Biogasanlage, bis auf den Wegfall des BHKW, nichts ändern. Durch das fehlende BHKW müssten Alternativen bei der Bereitstellung von Prozessstrom und -wärme berücksichtigt werden. Der Prozessstrom kann aus dem Netz entnommen, die Beheizung des Fermenters könnte beispielsweise über Heizkessel realisiert werden. Eine weitere Möglichkeit wäre der parallele Betrieb eines BHKW, das so ausgelegt ist, dass die benötigte Prozessenergie zur Verfügung gestellt werden kann. Das verbleibende Biogas würde zur Einspeisung genutzt werden können.

Um Biogas in das Erdgasnetz einspeisen zu können, besteht die Notwendigkeit der Reinigung bzw. Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität (DVGW Richtlinie G 260). Um die geforderten Kennwerte zu erreichen, muss das Biogas getrocknet und von Schwefelwasserstoff befreit werden. Des Weiteren ist eine Trennung von Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) durchzuführen. Neben der eigentlichen Aufbereitung ist eine Druckerhöhung des einzuspeisenden Gases auf den vorherrschenden Druck in der Erdgasleitung vorzunehmen. Außerdem muss der Transport des Biogases über Leitungen zur eigentlichen Einspeisestelle sichergestellt sein.

In der Praxis existieren Biogaseinspeiseanlagen in Schweden, den Niederlanden und der Schweiz. In Deutschland wird gerade an den ersten Anlagen gearbeitet, wobei bisher noch keine Standardtechnik für die Umsetzung der Aufbereitungsschritte angeboten wird. Darüber hinaus gibt es noch erhebliche Probleme bei der ökonomischen Umsetzung derartiger Anlagen.

#### 5.4.3 Treibstoff für Kraftfahrzeuge

In Schweden und der Schweiz wird Biogas schon seit längerer Zeit als Treibstoff für Busse und Lastkraftwagen eingesetzt. Auch in Deutschland wurden mehrere Projekte durchgeführt, eine breite Umsetzung hat die Technologie allerdings noch nicht gefunden.

Soll Biogas als Treibstoff für Fahrzeuge eingesetzt werden, muss es auf eine für den Einsatz in derzeit üblichen Kfz-Motoren akzeptable Qualität aufbereitet werden. Neben den auf den Motor korrosiv wirkenden Stoffen wie z. B. Schwefelwasserstoff muss auch der Kohlenstoffdioxidanteil ( $\text{CO}_2$ ) sowie Wasserdampf aus dem Biogas entfernt werden. Da es sich bei den angebotenen Fahrzeugen meist um Erdgasfahrzeuge handelt, ist eine Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität (vgl. Kapitel 5.4.2) ratsam.

Grundsätzlich sind gasbetriebene Fahrzeuge am Markt verfügbar und werden von allen namhaften Kfz-Herstellern angeboten. Das Angebot erstreckt sich hierbei auf Modelle mit monovalenter oder bivalenter Betriebsweise. Monovalente Fahrzeuge werden nur mit Gas betrieben. Bei bivalenter Betriebsweise kann der Motor mit Gas oder wahlweise mit Benzin angetrieben werden /5-22/. Mit unkomprimiertem Biogas ist wegen der beträchtlichen Volumina keine nennenswerte Reichweite zu erzielen. Aus diesem Grund wird das Biogas in Druckgasbehältern bei ungefähr 200 bar im Heck der Fahrzeuge gespeichert.

Seit Juni 2002 sind Biotreibstoffe steuerbefreit, wodurch die notwendige Planungssicherheit für den Bau von Biogastankstellen besteht. Die Kosten für die Aufbereitung des Biogases, die vom angestrebten Reinheitsgrad abhängen, sind schwer abzuschätzen. Wegen des erforderlichen Technikaufwandes und der zu erwartenden Investitionskosten eignen sich hierfür vor allem Anlagen mit einer Biogasproduktion von mindestens 2500 m<sup>3</sup> pro Tag /5-19/.



## 5.5 Literaturverzeichnis

- /5-1/ Heinze, U.; Rockmann, G.; Sichtung, J.: Energetische Verwertung von Biogasen, Bauen für die Landwirtschaft, Heft Nr. 3, 2000
- /5-2/ Helms, P.: Biologische Entschwefelung, Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft 2002/2003; Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für landwirtschaftliche Publikationen, Zeven
- /5-3/ Jäkel, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- /5-4/ Mitterleitner, H.: Zündstrahler oder Gasmotor: Welches BHKW kommt in Frage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /5-5/ Termath, S.: Zündstrahlmotoren zur Energieerzeugung Emissionen beim Betrieb mit Biogas, Elfte Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- /5-6/ Novellierung der TA-Luft beschlossen, Biogas Journal Nr. 1/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-7/ Dielmann, K.P.; Krautkremer, B.: Biogasnutzung mit Mikrogasturbinen in Laboruntersuchungen und Feldtests, Stand der Technik und Entwicklungschancen, Elfte Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- /5-8/ Schlattmann, M.; Effenberger, M.; Gronauer, A.: Abgasemissionen biogasbetriebener Blockheizkraftwerke, Landtechnik, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 06/2002
- /5-9/ schmitt-enertec GmbH,  
[http://www.schmitt-enertec.de/bhkw/biogas\\_bhkw\\_beschreib.htm](http://www.schmitt-enertec.de/bhkw/biogas_bhkw_beschreib.htm), Zugriff 10.02.2003
- /5-10/ Verband der Netzbetreiber VDN e.V.: Auslegung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien vom 29.03.2000 durch den VDN; Stand: 1.1.2003
- /5-11/ Rank, P.: Wartung und Service an biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-12/ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), Energiereferat der Stadt Frankfurt Referat 79A.2, BHKW-Kenn-daten 2001
- /5-13/ Schnell, H.-J.: Schulungen für Planer- und Servicepersonal, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- /5-14/ Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer-Verlag, 2001
- /5-15/ Dielmann K.P.: Mikrogasturbinen Technik und Anwendung, BWK Das Energie- Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag, 2001
- /5-16/ Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Erneuerbare Energien in der Land(wirt)schaft 2002/2003 – Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für land(wirt)schaftliche Publikationen, Zeven
- /5-17/ Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Firmenschrift PRO2
- /5-18/ Mikro-KWK Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen, ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
- /5-19/ Weiland, P.: Neue Trends machen Biogas noch interessanter, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- /5-20/ <http://www.asue.de/>, Kühlen mit Erdgas, Zugriff 15.03.2003
- /5-21/ Tentscher, W.: Biogas über das Erdgasnetz direkt verkaufen?, Biogas Journal Nr. 3/2000, Fachverband Biogas e.V., 2000
- /5-22/ <http://www.umweltbundesamt.de/gasantrieb/tat/index.htm>, Zugriff 30.01.2003
- /5-23/ Wie funktioniert eine Absorptionskältemaschine, <http://www.bhkw-info.de/kwkk/funktion.html>, Zugriff 20.01.2003
- /5-24/ Raggam, A.: Ökologie-Energie; Skriptum zur Vorlesung; Institut für Wärmetechnik; Technische Universität Graz 1997
- /5-25/ Mitterleitner, Hans: persönliche Mitteilung 2004



# Modellanlagen

## 6.1 Aufgabe und Ziel

Oft ist ein System zu komplex, um es gedanklich vollständig erfassen und untersuchen zu können. Dann tritt ein Modellbildungsprozess mit dem Ziel ein, das komplexe System auf **wesentliche** Parameter und Wechselwirkungen zu reduzieren.

Vor diesem Hintergrund wurden praxisnahe Biogas-Modellanlagen für bestimmte Aufgabenstellungen und Ziele entwickelt.

Eine Übersicht über die Annahmen und Charakteristika der Modellanlagen gibt Kapitel 6.2, Kapitel 6.3 beschreibt alle Modellbiogasanlagen in tabellarischer Form und in Kapitel 6.4 wird eine Verfahrensbeschreibung vorgenommen.

Die getroffene Auswahl von Modellanlagen hat

- **die Aufgabe**, dem interessierten Leser als Demonstrationsobjekt zu dienen. Die Modellanlagen werden somit als Instrument zur Erklärung komplexer Zusammenhänge verschiedener Fachbereiche herangezogen. Sie eröffnen die Möglichkeit, z. B. aktuelle rechtliche, betriebswirtschaftliche und (verfahrens-)technische Zusammenhänge und Problemkreise in den folgenden Kapiteln 7 „Rechtliche und administrative Rahmenbedingungen“ bis 11 „Planungsgrundlagen“ isoliert zu betrachten und zu untersuchen.
- **das Ziel**, praxisnahe Handlungsempfehlungen auszusprechen.

Damit sich eine möglichst breite Leserschaft in den Modellkonfigurationen wiederfindet, sind bestimmte Ansprüche an die Art und die Anzahl der Modellanlagen gestellt worden, die im Folgenden erläutert werden.

## 6.2 Modellanlagen – Charakteristika und Annahmen

Grundlage für die Auswahl verschiedener Charakteristika waren Erfahrungen aus dem Anlagenbau und der Praxis des Anlagenbetriebes in deutschen Biogasanlagen sowie die Auswertungen des „Wissenschaftlichen Messprogramms zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich“ /6-1/, /6-2/, /6-3/, /6-4/. Als Ergebnis werden typische Anlagenkonfigurationen der Bundesrepublik Deutschland in sechs Modellanlagen abgebildet, wobei die Eckdaten der Modelle „eingesetzte Substrate“, „Anlagenleistung“, „Technische Auslegung“, „Betriebsweise“ und „Genehmigung“ besonderen Auswahlkriterien unterlagen (vgl. dazu Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Charakteristika der Modellanlagen

Charakteristikum	Auswahlkriterium
Substrate	<ul style="list-style-type: none"><li>• Auswahl repräsentativer Substrate aus verschiedenen Substratgruppen</li><li>• Berücksichtigung praxisrelevanter Mischungsverhältnisse</li><li>• Berücksichtigung von Substraten mit bekannten Gasertragsparametern</li></ul>
Anlagenleistung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Berücksichtigung praxisnaher Anlagengrößen innerhalb definierter Größenklassen</li></ul>
Technische Auslegung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Auswahl von Standards für Bauteile und Komponenten</li><li>• Dimensionierung und Auslegung erfolgt substrat- und mengenspezifisch, d. h. nach biologischen und verfahrenstechnischen Gesichtspunkten</li></ul>
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"><li>• Berücksichtigung praxisnaher Betreibermodelle</li></ul>
Genehmigung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modellanlagen als Fallbeispiele: Abbildung aktueller rechtlicher nationaler und internationaler Rahmenbedingungen</li></ul>

Innerhalb der Eckdaten wurden spezifische Annahmen getroffen. Diese werden in den Unterkapiteln 6.2.1 bis 6.2.5 benannt und erklärt. Bei der Konfiguration der Modelle stand die Betriebssicherheit der Anlage und des Anlagenprozesses unter biologischen, verfahrenstechnischen, baulichen und genehmigungsrechtlichen Gesichtspunkten im Vordergrund.

### 6.2.1 Substrate

Der Leistungsbereich und die Betriebssicherheit einer Biogasanlage werden erheblich von der Art, Qualität und Menge der eingesetzten Substrate beeinflusst. Substrateigenschaften und -inhaltsstoffe bestimmen die Gasertragswerte. Oftmals unterscheiden sich Literaturangaben für gleiche Substrate sehr stark; auch ist ein Gärtest für eine erste Einschätzung der betrieblichen Substrat-Situation sehr aufwändig. Die Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur /6-6/ stellte 1999 erstmals ein Berechnungsverfahren vor, mit dem sich auf Basis der Verdaulichkeiten der Einzel-Rohnährstoffe eines Substrates (Rohprotein-, Rohfett-, Rohfaser- und NfE-Fraktion) die wertgebenden Bezugsgrößen für Biogas (Gasausbeute, Methangehalt) errechnen lassen (vgl. Kapitel 4). Die Ergebnisse dieser Berechnung werden auch in der Officialberatung als abgestimmte Werte verwendet. Die wertgebenden Parameter für die in den Modellanlagen eingesetzten Substrate wurden mit Hilfe o. g. Berechnungsgrundlage ermittelt. Eine Übersicht gibt Tabelle 6-2.

Als Grundlage für die in Tabelle 6-2 einzusehende Substrat-Auswahl für die Modellanlagen dienten die Ergebnisse des „Wissenschaftlichen Messprogramms zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich“ /6-1/, /6-2/, /6-3/, /6-4/. Darin sind die in über 30 Biogasanlagen des Bundesgebietes eingesetzten Substrate hinsichtlich der Häufigkeit ihres Einsatzes sowie ihres Mischungsanteiles an der Gesamtmischung ausgewertet worden. Die Auswertungen ergeben, dass Wirtschaftsdünger für den Großteil der Biogasanlagen weiterhin das Hauptsubstrat darstellen. Für über 80 % der Anlagen beträgt der Massenanteil der Wirtschaftsdünger mindestens 50 %. Bei der Konfigurierung der Modellanlagen wurde auf Basis dieser Erhebungen ein Massenanteil der Wirtschaftsdünger an der Gesamtmischung von ca. 65 % unterstellt, obwohl der Trend bei den Neubau-Anlagen dahin geht, dass diese mit zunehmendem Massenanteil an Kosubstraten wie organischen Reststoffen und Energiepflanzen betrieben werden. Mit der aktuellen Situation des begrenzten Angebotes

Tabelle 6-2: In den Modellen verwendete Substrate und substratspezifische Eigenschaften

Substrate	TS-Gehalt	oTS-Gehalt der TS	Biogasausbeute		Methangehalt
	%	%	I <sub>N</sub> /kg oTS	Nm <sup>3</sup> /t FM	%
Rindergülle	8,8	85,0	280,0	21,0	55,0
Schweinegülle	6,0	85,0	400,0	20,4	60,0
Maissilage wachsrreif	33,0	95,8	586,1	185,3	52,2
Grassilage	35,0	89,2	583,8	182,3	54,1
Futterreste (Silomais/Grassilage)	34,0	92,5	585,0	184,0	53,0
Einstreu – Weizenstroh	86,0	91,4	369,0	290,0	51,0
Roggen Körner	87,0	97,8	701,7	597,0	52,0
Fettabscheiderückstand	5,0	90,0	1000,0	45,0	68,0
Speisereste fettreich	18,0	92,3	761,5	126,5	61,9

an agroindustriellen Reststoffen steigt das Interesse an Anbau und Einsatz nachwachsender Rohstoffe (NaWaRos) in Biogasanlagen. Dies wird gestützt durch die Möglichkeit des Anbaus von NaWaRos auf Stilllegungsflächen unter Beibehaltung der Flächenstilllegungsprämie sowie durch die im Gesetzesentwurf zur Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes geplante Förderung von Biogasanlagen, die ausschließlich Gülle und/oder Pflanzenbestandteile vergären (vgl. Kapitel 7, Tabelle 7-2).

Die alleinige Vergärung von Energiepflanzen (Monovergärung) ohne Zusatz von Wirtschaftsdünger ist auch in kontinuierlichen Nassvergärungsanlagen möglich; häufig fehlen jedoch belastbare Daten zur biologischen und technischen Auslegung und Belastbarkeit der Biogasanlage sowie zur Definition von Parametern, die eine aussagekräftige Früherkennung von Belastungszuständen zulassen. Derzeit werden in groß angelegten Forschungsprojekten diese Fragestellungen behandelt und geklärt /6-5/.

In der Auswertung des Biogasmessprogramms wurde folgende Häufigkeitsverteilung beim Einsatz von Kosubstraten neben Wirtschaftsdünger ermittelt (Tabelle 6-3).

Da für das Substrat Getreideausputz keine definierten Gasertragsleistungen vorliegen, weil die Verdaulichkeitsquotienten der Rohnährstoffe dieses Substrates nicht abzuleiten sind und deshalb die Gas-

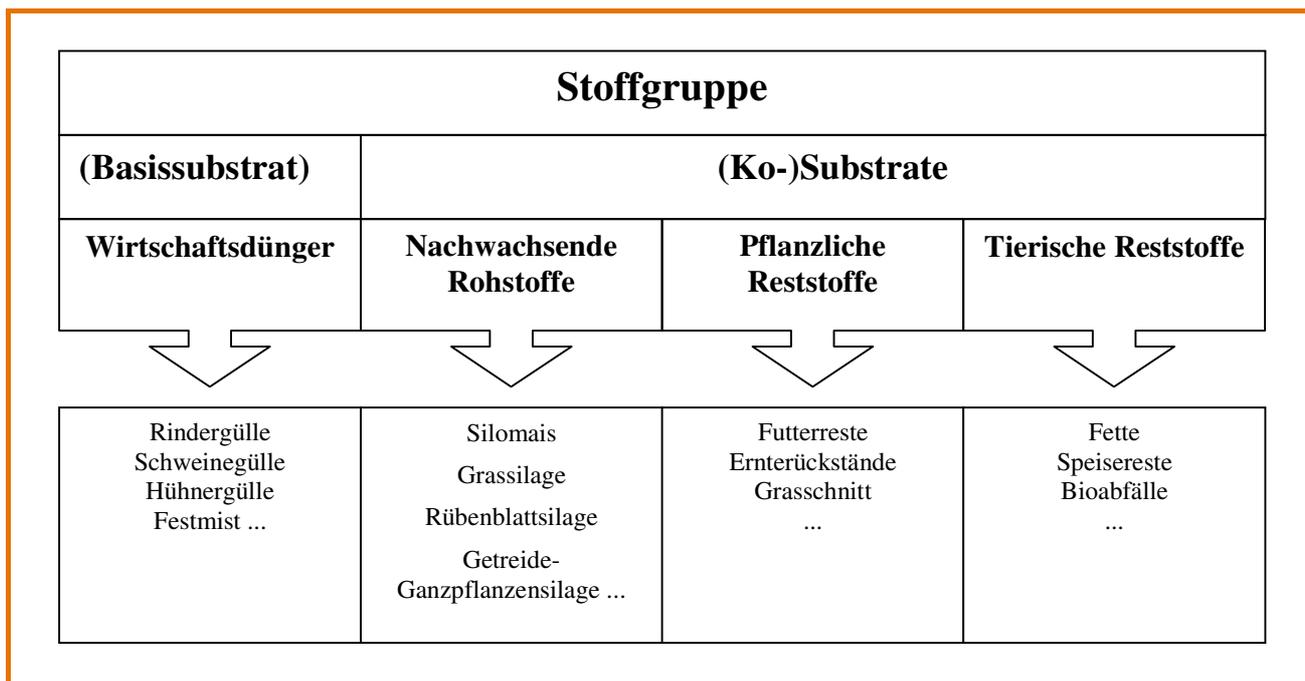


Abb. 6-1: Substratbeispiele, nach Stoffgruppen sortiert

Tabelle 6-3: Häufigkeit und Massenanteil der häufigsten Kosubstrate in landwirtschaftlichen Biogasanlagen; (verändert nach [6-4])

<b>Substrate</b>	<b>Silomais</b>	<b>Grassilage</b>	<b>Fett</b>	<b>Getreide- ausputz</b>	<b>Futterreste</b>
Einsatzhäufigkeit [% der Anlagen] <sup>a</sup>	66	47	22	28	16
Mittlerer Massenanteil am Gesamtsubstrat [%] <sup>a</sup>	11	4	5	5	2

a. gerundet

ausbeute durch den o. a. Berechnungsansatz nicht kalkulierbar ist, wurde das Substrat „Getreideausputz“ nicht mit in die Liste der Inputstoffe für die Modellanlagen aufgenommen.

In Anlehnung an aktuelle Diskussionen um die zukünftige Verwertung von Roggen ist das Substrat „Roggen (Korn)“ bzw. die Werte für das Substrat in den Modellanlagen berücksichtigt worden.

Allgemein gilt, dass die ausgewählten Substrate jeweils stellvertretend für Stoffe aus einzelnen, definierten Stoffgruppen stehen. Eine Übersicht über die Stoffgruppen mit Beispielen gibt Abb. 6-1. Die in den Modellen verwendeten Substrate können somit als

typische Vertreter verstanden werden, bei Bedarf sind sie durch ähnlich geprägte Stoffe einer Stoffgruppe ersetzbar. Da sich damit jedoch auch die biologischen, technischen, wirtschaftlichen und genehmigungsrechtlichen Verhältnisse ändern können, ist eine Anpassung der Modellanlagen auf betriebseigene Verhältnisse nur eingeschränkt möglich. Hier sind in jedem Fall die Fachberatung und das ausgewählte Planungsbüro hinzuzuziehen.

Eine Übersicht über die in den Modellen verwendeten Substrate sowie die substratspezifischen Eigenschaften gibt Tabelle 6-2 (berechnet nach /6-6/). Unter das Nebenerzeugnis „Futterreste“ fallen nur Grundfutter- und Kraftfutterreste aus der Rinderfütterung.

### 6.2.2 Anlagenleistung

Seit In-Kraft-Treten des EEG und des Marktanreizprogramms (MAP) hat sich der Bestand der Biogasanlagen in Deutschland gegenüber 1999 um 80 % erhöht.

Die installierte elektrische Leistung ist im Durchschnitt von 53 kW auf 145 kW gestiegen (siehe Kapitel 12). Auffallend sind die enormen Unterschiede in der Größenverteilung landwirtschaftlicher Biogasanlagen zwischen den Bundesländern auf Grund unterschiedlicher Agrarstrukturen.

Die Kriterien zur Einteilung der Leistungsklassen in den Modellanlagen sind in Tabelle 6-4 dargelegt.

Tabelle 6-4: Einteilung der Leistungsklassen der Modellanlagen

Leistungsklasse	Begründung	Modellanlagen-Nr.
≤ 70 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 70 kW: Teilschulderlass der KfW im Rahmen des MAP</li> <li>• Beispiel für niedrigen Leistungsbereich</li> <li>• <i>Mindestgrundvergütung 11,5 Cent pro Kilowattstunde<sup>a</sup></i></li> </ul>	1
70 – 150 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiel für den durchschnittlichen Leistungsbereich derzeit überwiegend gebauter Anlagen</li> <li>• <i>Mindestgrundvergütung 11,5 Cent pro Kilowattstunde<sup>a</sup></i></li> </ul>	2 3
150 – 500 kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiele für landwirtschaftliche Großanlagen und Gemeinschaftsanlagen</li> <li>• Kostendegressionseffekt in Bezug auf die Höhe der spezifischen Investition</li> <li>• <i>Anteilige Mindestgrundvergütung von 11,5 Cent und 9,9 Cent pro Kilowattstunde<sup>a</sup></i></li> </ul>	4 5 6

a. Entwurf zur Novellierung EEG vom 18.11.03 (siehe Kapitel 10)

Tabelle 6-5: Technische und verfahrenstechnische Parameter der Modellanlagen

Parameter / Annahmen	Einheit	Größenordnung			
<b>BHKW</b>					
Wirkungsgrad BHKW <sub>el./therm</sub> bei ... installierten <b>elektr.</b> kW: ... 50 51 - 75 76 – 150 151 - 200 201 - 330 331 – 500	[%]	elektrisch Herstellerangaben	elektrisch Dauerbetrieb	therm. Herstellerangaben	therm. Dauerbetrieb
		33	30	50	40
		35	32	49	39
		36	33	48	38
		37	34	47	38
		39	35	50	40
		40	36	53	43
Sicherheitszuschlag BHKW-Leistung	[%]	---			
BHKW-Laufzeit (Volllastanteil: 100%)	[h/Jahr]	8.000			
BHKW-Bauart		ab 250 kW errechnete Leistung aus Methan: Gas-Otto-Motor			
Zündölanteil bei Zündstrahlmotor	[%]	10,0			
Heizwert Methan	kWh/m <sup>3</sup>	10,0			
<b>Verfahrenstechnik</b>					
Gaslagerkapazität	[h/Tag]	mindestens 5			
Pumpfähigkeit des Substratgemisches TS ≥ 16%: Zusatzmodul Feststoffeintrag	[% TS]	max. 16			
Faulraumbelastung	[kg oTS/m <sup>3</sup> · Tag]	max. 3,5			
Verweilzeit im Fermenter	[Tage]	mindestens 30			
Bruttovolumen Fermenter	[m <sup>3</sup> ]	Nettovolumen + 10% Nettovolumen: (Substratmenge pro Tag x Verweilzeit)			
Lagerkapazität Gärrest	[Tage]	180			
Gärtemperatur	[°C]	Mesophil: 38			
Mittlere Substratzulauftemperatur	[°C]	12			

### 6.2.3 Biologische und technische Auslegung

#### 6.2.3.1 Biologische/verfahrenstechnische Parameter

Für einen betriebssicheren Fermentationsprozess und eine wirtschaftlich realistische Einschätzung einer Anlage ist die Definition grundlegender, den Fermentations- und Gasverwertungsprozess beeinflussender Parameter mit Darlegung der Größenordnung unabdingbar. Einen Überblick über diese Parameter der biologischen und (verfahrens-)technischen Auslegung der Modellanlagen gibt Tabelle 6-5.

#### 6.2.3.2 Bauliche/technische Parameter

Die technische Ausstattung der Modellanlagen wird in Bauteile gegliedert und diese zu funktionalen Baugruppen zusammengefasst (vgl. Kapitel 3 und 5).

#### Baugruppen

Bei der technischen Auslegung und Konfiguration der Modellanlagen wurde festgelegt, dass alle Modelle der gleichen einstufigen Prozessführung unterliegen. Weiterhin sind alle verwendeten Bauteile von vergleichbarer Ausstattung, auch in der Auswahl der Materialien, sie unterscheiden sich ggf. hinsichtlich ihrer Dimensionierung. Die verwendeten Baugruppen sind in Tabelle 6-6 aufgeführt und charakterisiert. Die Darstellung der Haupt-Bauteile innerhalb einer Baugruppe soll die Funktionseinheit des Systems verdeutlichen. Eine Untergliederung in Basis- und Zusatzausstattung unterstreicht, dass bei der Verwertung von TS-reichen Materialien oder betriebsfremden Kosubstraten neben Kapazitätserweiterungen der Basisausstattung Zusatzausstattungen an der Anlage erforderlich sind, die Einfluss auf den Mechanisierungsgrad, den Investitionsbedarf und damit auf den Gesamtbetrieb der Anlage und deren Kosten haben.

Tabelle 6-6: Für die Modelle verwendete Baugruppen mit Charakterisierung

	Baugruppe	Charakterisierung und Haupt-Bauteile
<b>BASISAUSSTATTUNG</b>	<b>Annahme Gülle/Kofermente</b>	Betonbehälter, ggf. Vorratstank Rühr-, Zerkleinerungs-, und Pumptechnik, evtl. Befüllschacht, Substratleitungen, Füllstandsmessung, Leckerkennung, Volumenmeßgeräte
	<b>Fermenter</b>	Oberirdisch errichteter, stehender Betonbehälter Beheizung, Isolierung, Verkleidung, Rührtechnik, gasdichte Behälterabdeckung (Gaslagerung), Substrat- und Gasleitungen, biologische Entschwefelung, Mess- und Regel- sowie Sicherheitstechnik, Leckerkennung
	<b>BHKW</b>	Zündstrahl- oder Gas-Otto-Motor Motorblock, Generator, Wärmetauscher, Wärmeverteiler, Notkühler, Steuerung, Gasleitungen, Mess- und Regel- sowie Sicherheitstechnik, Wärmemengen-, Stromzähler, Sensorik, Kondensatabtrennung, Druckluftstation, ggf. zusätzliche Gastechnik, Ölbehälter, Schallschutz, Container
	<b>Gärrestlager</b>	Betonbehälter Rührtechnik, Substratleitungen, Entnahmetechnik, Behälterabdeckung, Leckerkennung (bei gasdichter Behälterabdeckung: Mess- und Regeltechnik, Sensorik, Gasleitungen)
	<b>Gasfackel</b>	Einfache Bauausführung, zusätzliche Gastechnik
	Notwendigkeit der Ausstattung resultiert aus Substrateigenschaften/-herkunft	
<b>ZUSATZ-AUSSTATTUNG</b>	<b>Feststoffeintrag</b>	Schnecken- oder Presskolbeneintrag Befülltrichter, Wiegeeinrichtung, Fermenterbeschickung
	<b>Hygienisierung</b>	Chargenhygienisierung vor Fermentationsprozess Isolierter Behälter, Beheizung, Rühr-, ggf. Zerkleinerungs- und Pumptechnik, Mess- und Regeltechnik, Sensorik



## 6.2.4 Annahmen für die Investitionsbedarfsberechnung

### 6.2.4.1 Investitionsbedarf Baugruppen

Eine Übersicht über den Investitionsbedarf für die Baugruppen-Ausstattung der Modellanlagen gibt Tabelle 6-16, Kapitel 6.3.3. Die Preise umfassen Material- und Montagekosten.

Hinsichtlich der Kostenermittlung für die Baugruppen „Gärrestlager“, „Feststoffeintrag“ und „Hygienisierung“ sind folgende Annahmen getroffen worden:

#### Gärrestlager

Bei Modellanlagen mit einzelbetrieblicher Organisationsform wird nur die zusätzliche Lagerkapazität durch den Kofermenteinsatz berechnet, da die Kosten der Wirtschaftsdüngerlagerung der Tierhaltung anzurechnen sind.

Bei Modellanlagen, die als Gemeinschaftsanlagen konzipiert sind und an dem Ort errichtet werden, an dem auch die Tierhaltung angesiedelt ist, ist nur die zusätzliche Investition durch Kosubstratlagerung kalkuliert. Am Biogasstandort anfallender Wirtschaftsdünger sowie Wirtschaftsdünger anderer an der Gemeinschaft beteiligter Betriebe wird nicht in die Lagerkapazitätsberechnung aufgenommen. Weiterhin wird bei der Berechnung des zusätzlichen Lagerkapazitätsbedarfes ein Abbaugrad der organischen Trockensubstanz der Kofermente in Höhe von 50 % unterstellt.

**Güllelagerraum unter dem Stall ist weder als Gärrestlagerkapazität noch als Lagerraum für den Fermentationsprozess in ein Anlagenkonzept zu integrieren. Er ist allenfalls als zusätzlicher Puffer für die Vorgrube/den Anmischbehälter zu nutzen.**

#### Feststoffeintragstechnik

Die Feststoffeintragstechnik wird benötigt, wenn trockensubstanzreiche Materialien in einer Größenordnung eingesetzt werden, bei der

- bei einer Einmischung in eine Vorgrube die Pumpfähigkeit des Substratgemisches überschritten würde (Grenze der Pumpfähigkeit: 16 % TS).
- bei einem Anmischen in einem Annahmebehälter mit extremen Schwimm- oder Sinkschichten gerechnet werden müsste.

Die Dimensionierung und damit der Investitionsbedarf für den Feststoffeintrag ist somit von der

Menge/Substratcharge trockensubstanzreichen Materials abhängig.

#### Hygienisierung

Der Verfahrensablauf der Modellanlagen sieht einen Hygienisierungsprozess vor der Fermentationsstufe vor, d. h. es werden nur die Substratchargen hygienisiert, die nach der EU-HygieneV 1774/2002 (s. Kapitel 7) oder nach BioAbfV (s. Kapitel 7) hygienisierungspflichtig sind.

Die Kosten der Baugruppe „Hygienisierung“ sind abhängig von ihrer Dimensionierung, d. h. von der Menge des Tagesdurchsatzes des zu hygienisierenden Materials.

Falls hygienisierungspflichtiges Material bereits hygienisiert an die Biogasanlage angeliefert wird, so ist keine Hygienisierungsvorrichtung an der Biogasanlage notwendig, die Kosten dafür brauchen demnach nicht angesetzt werden. Womöglich ist aber eine Anpassung der Rohstoffkosten/-erlöse für dieses Substrat vorzunehmen, da die Kosten, die eine externe Hygienisierung verursacht, im Normalfall auf die Entsorgungskosten oder -erlöse des Materials pro t Frischmasse umgelegt werden.

### 6.2.4.2 Investitionsbedarf Modellanlagen

Für die Modellanlagen wurde bei der Ermittlung des mittleren Investitionsbedarfes von weitgehend optimalen Bedingungen ausgegangen, d. h.:

- Es sind keine Ausgaben für spezielle oder außergewöhnliche Baubedingungen erforderlich.
- Wie für andere landwirtschaftliche Bauvorhaben auch, sind Kosten für Bauplatz und Erschließung nicht gesondert berücksichtigt. Bei gewerblichen Anlagen und Gemeinschaftsanlagen müssen diese Kostenpositionen möglicherweise zusätzlich in die Kalkulation einfließen.
- Bei der Auslegung der Modellanlagen wurde generell darauf geachtet, dass die installierten Leistungen der BHKW genau auf die unterstellten Substratmengen und Gaserträge abgestellt sind. Dabei wurde von einer optimalen Laufzeit des eingesetzten BHKW von 8.000 Betriebsstunden im Jahr bei 100 % Volllast ausgegangen. Die Rest-Standzeit von 760 Stunden pro Jahr beinhaltet Wartungs- und kleinere Reparaturintervalle (vgl. Kapitel 9). Längere Standzeiten des Motors als 2 bis 3 Tage am Stück sollten u.a. aus verfahrenstechnischen und ökonomischen Gründen unbedingt vermieden werden.

In der Praxis dagegen werden sehr häufig Leistungsreserven vorgehalten, die durch den Gedanken einer

möglichen Anlagenerweiterung begründet werden. Dies kann aber nur dann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn die Reserven in **überschaubarer** Zeit genutzt werden können, d. h. wenn mit zusätzlichen Substraten verlässlich kalkuliert werden kann. Das Vorhalten von Kapazitäten kostet viel Geld!

Eine weitere Möglichkeit, dem Erweiterungsgedanken ohne viel Umrüstungsaufwand Rechnung zu tragen, ist die Vorhaltung von Platzreserven z. B. im Technikcontainer oder Technikgebäude für einen weiteren Motor. Die Vorhaltung von Platzreserven in dieser Form ist kostenseitig sehr viel günstiger als die Vorhaltung von Leistungskapazitäten bei einem bereits genutzten Motor.

Die Kostenposition „Vorhaltung von Platzreserven und zusätzliche Anschlüsse für weiteren Motor“ ist bei der Investitionsberechnung für die Modellanlagen nicht berücksichtigt worden.

Parameter und Annahmen, die für weitergehende wirtschaftliche Analysen der Modellanlagen ausgewählt und getroffen werden müssen, sind ausführlich in Kapitel 10 vorgestellt und behandelt.

### 6.2.5 Betrieb der Modellanlagen

Bei der Planung von Biogasanlagen stehen Landwirte vor der Entscheidung, eine Biogasanlage einzelbetrieblich oder gemeinschaftlich mit einem oder mehreren Landwirten zu betreiben. An die unterschiedlichen Möglichkeiten der Kooperationsform von Gemeinschaftsanlagen, die an die Situation vor Ort angepasst werden muss, sind bestimmte Voraussetzungen geknüpft (siehe Kapitel 9). Weiterhin müssen z. B. rechtliche und steuerrechtliche Fragestellungen geklärt und die Konsequenzen hinsichtlich der für den Komplex „Biogaserzeugung, Anlagenerichtung und -betrieb“ geltenden Gesetze berücksichtigt werden. Genehmigungsrechtliche Aspekte von Gemeinschaftsanlagen werden ausführlich in Kapitel 7 angesprochen, eine Übersicht über mögliche Betriebsformen und sich daraus ergebende steuerrechtliche Konsequenzen gibt Kapitel 9.

Die Entscheidung für eine bestimmte Kooperationsform sollte von langer Hand geplant werden und unter Hinzuziehung einer sachkundigen Person (unabhängiger Berater) erfolgen.

Für die Modellanlagen wird nur grundsätzlich zwischen den Betreibermodellen „Einzelbetrieb“ und „Gemeinschaftsbetrieb“ unterschieden.

Die Modellanlagen 1 und 2 werden einzelbetrieblich betrieben; für Anlagen  $\geq 200$  kW installierte elektrische Leistung ist als Betreiberlösung ein gemein-

schaftliches Konzept unterstellt worden. Das Betriebskonzept der Gemeinschaftsbiogasanlage wird in den Modellen 3, 5 und 6 berücksichtigt. Dabei wird unter dem Begriff „landwirtschaftliche Gemeinschaftsanlage“ Folgendes verstanden:

Gemeinschaftsanlagen, bei denen sich mehrere Landwirte zusammengeschlossen haben, um die in ihren Betrieben anfallenden Wirtschaftsdünger und weitere Kosubstrate zu behandeln und den Gärrest auf den Flächen der Mitgliedsbetriebe zu verwerten, sind als **landwirtschaftliche Gemeinschaftsanlagen** anzusehen.

Modell 4 hingegen ist als Genossenschaftsanlage eine Sonderform der landwirtschaftlichen Gemeinschaftsanlage, da die landwirtschaftlichen Flächen der Agrargenossenschaft als innerbetriebliche Flächen behandelt werden. Die Zuordnung der Flächen ist damit das wesentliche Unterscheidungskriterium zu den o. a. definierten Gemeinschaftsanlagen.

Tabelle 6-7 bietet eine zusammenfassende Übersicht über die Betriebsform der Modellanlagen.

Tabelle 6-7: Betriebsform der Modellanlagen

Betriebsform	Modell-Nummer
Einzelbetrieb	1
	2
Landwirtschaftliche Gemeinschaftsanlage (gemäß Definition im Text)	3
	5
	6
Genossenschaftsanlage	4

### 6.2.6 Genehmigung

Die Modellanlagen sollen hinsichtlich der formulierten Charakteristika „Art und Menge Substrateinsatz“, „Anlagenleistung“, „Betreibermodell für den Betrieb der Anlage“ sowie „Gärrestverwertung“ eine repräsentative Bandbreite an genehmigungsrelevanten Gesetzen erschließen.

Modellanlagen erlauben weiterhin die beispielhafte Abbildung eines Genehmigungsprozesses. Zudem kann über Synergie- oder Hemmeffekte verschiedener gültiger Rechtsprechungen aufgeklärt werden. Die einfache Strukturierung der Modellanlagen hinsichtlich Substrateinsatz, -menge und

Mischungsverhältnis sowie Anlagengröße schließt Sonderfälle der Genehmigung aus.

Eine ausführliche genehmigungsrechtliche Einordnung der Modellanlagen wird in Kapitel 7 vorgenommen.

**Hinweis:**

Es ist dringend zu empfehlen, frühzeitig mit der genehmigenden Behörde Kontakt aufzunehmen und abzuklären, welche Forderungen von Seiten der zuständigen Behörde an den Landwirt oder die Gemeinschaft gestellt werden. Wie bei der sorgfältigen Beratung und Planung einer Biogasanlage sind auch mit der Genehmigung auf jeden Fall sachkundige Personen zu betrauen; das können Mitarbeiter eines erfahrenen Planungsbüro oder eines erfahrenen Anlagenherstellers sein.

### 6.3 Beschreibung und Darstellung der Modellanlagen

Nachdem Eckdaten und Kennwerte von Biogasanlagen für den Modellbildungsprozess dargestellt und definiert wurden, ist eine zusammenfassende und übersichtliche Einordnung der Modellanlagen nach praxisrelevanten Größen hilfreich (Tabelle 6-8)

Weiterhin ist zu betonen, dass die Modellanlagen keine Abbildung konkreter Praxisanlagen sind. Sie sind mit dem Ziel konzipiert worden, biologische, verfahrenstechnische, genehmigungsrechtliche und wirtschaftliche Gegebenheiten umfassend und praxisnah erklären und darstellen zu können, um den interessierten Leser für immer wiederkehrende Kernfragestellungen zu sensibilisieren und Lösungsvorschläge aufzuzeigen.

Kapitel 6.3.1 gibt eine Übersicht über die sechs konzipierten Modellanlagen mit Input- und Outputbilanzen, Kapitel 6.3.2 gibt eine detaillierte Verfahrensbeschreibung und eine Übersicht über verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung und Auslegung für jede Modellbiogasanlage.

In Kapitel 6.3.3 wird der Investitionsbedarf für die einzelnen, in Kapitel 6.3.2 näher beschriebenen und die Modellanlagen betreffenden Baugruppen dargestellt.

Tabelle 6-8: Charakteristika der Modellanlagen

Anlage	Charakterisierung
Modell 1	Einzelbetrieblich organisierte Anlage mit <b>Rinderhaltung 120 GV</b> , ausschließlich Einsatz von betriebseigenen <b>NaWaRos</b> (Mais-, Grassilage)
Modell 2	Einzelbetrieblich organisierte Anlage mit <b>Mastschweinehaltung 160 GV</b> , Einsatz von betriebseigenen (Maissilage, Roggen (Korn) 40%) und zugekauften <b>NaWaRos</b> (Roggen, Korn)
Modell 3	Gemeinschaftsanlage mit <b>Rinderhaltung 250 GV</b> und <b>Mastschweinehaltung 160 GV</b> sowie Einsatz von betriebseigenen <b>NaWaRos</b> (Mais-, Grassilage, Roggen (Korn) 40%) und zugekauften <b>NaWaRos</b> (Roggen, Korn)
Modell 4	Genossenschaftsanlage mit <b>Rinderhaltung 2000 GV</b>
Modell 5	Gemeinschaftsanlage mit <b>Rinderhaltung 520 GV</b> und <b>Mastschweinehaltung 320 GV</b> sowie Einsatz von betriebseigenen <b>NaWaRos</b> (Mais-, Grassilage, Roggen (Korn) 40%) und zugekauften <b>NaWaRos</b> (Roggen, Korn)
Modell 6	Gemeinschaftsanlage mit <b>520 GV Rinderhaltung</b> und <b>320 GV Mastschweinehaltung</b> , Einsatz von betriebseigenen <b>NaWaRos</b> (Mais-, Grassilage, Roggen (Korn) 40%) und zugekauften <b>NaWaRos</b> (Roggen, Korn), Einsatz von <b>Abfällen</b> (Speisereste, Fettabscheider)

#### 6.3.1 Input-Output-Übersicht der Modellanlagen

Tabelle 6-9 gibt eine Übersicht über die sechs konzipierten Modellanlagen mit den dazugehörigen Inputmaterialien und -chargen, den biologischen und verfahrenstechnischen Kennwerten und Daten zum Biogasertrag und zur Biogasverwertung.

#### 6.3.2 Verfahrensbeschreibung der Modellanlagen

Eine Verfahrensbeschreibung gibt eine Übersicht über verwendete Bauteile bzw. Baugruppen und ihre baulich-technische Ausführung, um die Verfahrensschritte des Biogas- und Substratprozesses transparenter zu gestalten.

In den Kapiteln 6.3.2.1 bis 6.3.2.5 werden die funktionalen Baugruppen bzw. Verfahrensabschnitte der Biogaserzeugung und -verwertung und des Substratflusses allgemein beschrieben.

In Kapitel 6.3.2.6 werden die Spezifika der Baugruppen der Modellanlagen dargestellt. Dabei wird eine Dimensionierung für das Haupt-Bauteil der Basis- sowie Zusatzausstattung vorgenommen. Die sonstigen Bauteile, wie z. B. „Rührwerke“ oder „Pumpen“ sind so ausgelegt worden, dass ein reibungsloser

Tabelle 6-9: Modellanlagen – Inputs substrate, biologische- und verfahrenstechnische Kennwerte sowie Biogaserträge und Daten zur Verwertung

<b>Kennwerte</b>	Einheit	Modell I	Modell II	Modell III	Modell IV	Modell V	Modell VI
<b>Substrate</b>							
Rindergülle	t FM/Jahr	2.160		4.536	36.000	9.360	9.360
Schweinegülle	t FM/Jahr		1.728	1.728		3.456	3.456
Futterreste	t FM/Jahr	22		46	365	95	95
Einstreu	t FM/Jahr	0					
Maissilage	t FM/Jahr	600	600	1.000		2.500	1.700
Grassilage	t FM/Jahr	400		200		1.500	
Roggen 40% Eigen; 60% Zukauf	t FM/Jahr		250	365		500	1500
Fettabscheiderfett	t FM/Jahr						1000
Speisereste	t FM/Jahr						3000
Summe	t FM/Jahr t FM/Tag	3.182 8,7	2.578 7,1	7.875 21,6	36.365 99,6	17.411 47,7	20.111 55,1
<b>Input</b>							
ø TS-Gehalt Inputmaterial	%	16,8	20,1	15,7	9,1	16,4	17,5
theoretischer ø Abbaugrad oTS	%	63,2	79,0	67,0	37,8	66,6	75,5
Verweilzeit	Tage	43	60	43	30	45	48
Gärbehältervolumen (netto)	m <sup>3</sup>	375	424	928	2.999	2.147	2.645
Gärbehältervolumen (brutto)	m <sup>3</sup>	420	480	1.100	3.300	2.400	3.000
Raubelastung	kg oTS /m <sup>3</sup> und Tag	3,2	2,9	3,0	2,3	3,0	3,1
Gärtemperatur	°C	38	38	38	38	38	38
Substratzulauftemperatur	°C	12	12	12	12	12	12
zusätzl. Gärrestlagerkapazität (ohne Gülle)	m <sup>3</sup>	410	270	530	0	1.700	2.770
<b>Output</b>							
erwarteter Gasertrag	mN <sup>3</sup> /Jahr	233.490	295.681	578.634	823.160	1.319.724	1.919.534
erwarteter Methangehalt	%	53,4	53,0	53,2	54,8	53,4	55,0
Ausfall der Gasproduktion	Tage/Jahr	5	5	5	5	5	5
Methanerzeugung	mN <sup>3</sup> /Jahr	122.869	154.649	303.585	445.311	695.010	1.040.840
Methanerzeugung	mN <sup>3</sup> /Tag	337	424	832	1220	1904	2852
Heizwert	kWh/mN <sup>3</sup>	10	10	10	10	10	10
Bruttoenergie im Biogas	kWh/Jahr	1.228.689	1.546.488	3.035.848	4.453.107	6.950.103	10.408.399
<b>BHKW</b>							
Bauart		Zündstrahl-Motor				Gas-Otto-Motor	
Wirkungsgrad <sub>el</sub> lt. Hersteller	%	33	35	36	37	39	40
Wirkungsgrad <sub>therm</sub> lt. Hersteller	%	50	49	48	47	50	53
Stromkennzahl lt. Hersteller		0,66	0,72	0,76	0,80	0,77	0,75
Motorlaufzeit	Std./Jahr	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
realer Wirkungsgrad <sub>el</sub>	%	30	32	33	34	35	36
realer Wirkungsgrad <sub>therm</sub>	%	40	39	38	38	40	42
Zündölanteil	%	10	10	10	10	entfällt	
Zündölverbrauch	l/Jahr	13.652	17.183	33.732	49.479		
Heizwert Zündöl	kWh/l	10	10	10	10		
Bruttoenergie im Zündöl	kWh/Jahr	136.521	171.832	337.316	494.790		
zugeführte Bruttoenergie insgesamt	kWh/Jahr	1.365.210	1.718.320	3.373.164	4.947.896	6.950.103	10.408.399
berechnete Leistung	kW	51	69	139	210	304	468
installierte Leistung	kW	55	75	150	220	330	500
<b>Energieerzeugung</b>							
Bruttoenergie <sub>gesamt</sub>	kWh/Jahr	1.365.210	1.718.320	3.373.164	4.947.896	6.950.103	10.408.399
davon Stromerzeugung	kWh <sub>el</sub> /Jahr	409.563	549.862	1.113.144	1.682.285	2.432.536	3.747.024
	kWh <sub>el</sub> /Tag	1.122	1.506	3.050	4.609	6.664	10.266
davon Wärmerzeugung	kWh <sub>therm</sub> /Jahr	546.084	673.581	1.295.295	1.880.201	2.780.041	4.413.161



Verfahrensablauf gewährleistet ist. Auf die Dimensionierung dieser Bauteile wird hier jedoch nicht näher eingegangen. In der in Kapitel 6.3.3 einzusehenden Investitionsberechnung für die Modellanlagen wird die unterschiedliche Auslegung der Bauteil-Kapazitäten jedoch berücksichtigt.

### 6.3.2.1 Verfahrensschritt Substratannahme und -vorbereitung

#### Annahmebehälter

Der Annahmebehälter ist meist als Betonbehälter ausgeführt und mit einer Leckerkennung ausgestattet.

Er dient der Anmischung der Einzelsubstrate und der Zwischenspeicherung des Substratgemisches. Das Füllvolumen sollte so bemessen sein, dass eine Vorhaltekapazität für einen Zeitraum von etwa 1 bis 3 Tagen erreicht wird. Der Annahmebehälter muß abgedeckt sein (z. B. über eine Betonplatte).

Ein Füllschacht für das Befüllen mit z. B. Silagen oder anderen Kofermenten, die keiner besonderen Vorbehandlung bedürfen, sollte bei kleineren Kosubstratchargen vorgesehen werden. Der Füllschacht kann über eine Klappe abgedeckt werden.

Mit Hilfe eines oder mehrerer zeitgesteuerter Tauchmotorrührwerke werden die Substrate homogenisiert.

Innerhalb des Annahmebehälters wird ein TS-Gehalt der Substratmischung von etwa 16 % eingestellt. Zur Einstellung des TS-Gehaltes kann u. U. vergorenes Substrat aus dem Gärrestlager mit Hilfe einer Pumpe dem Annahmebehälter zugeführt werden.

Die Substratmischung aus dem Annahmebehälter wird mit einer Pumpe zeitgesteuert dem Fermenter zugeführt.

Der Pumpe ist ein Zerkleinerer/Schneidwerk vorgeschaltet, um grobe Stoffe oder langhalmige Komponenten der Substrate zu zerkleinern und für den biologischen Abbau aufzuschließen.

In der Praxis können häufig Güllegruben am Stall genutzt werden, um Gülle für den Fermentationsprozess vorzuhalten. Dazu muss diese Grube jedoch bestimmte Anforderungen erfüllen:

- Abdeckung verfügbar oder aber problemlos nachrüstbar
- Mindestfüllvolumina :
  - 1 bis 2-tägige Vorhaltekapazität für die Substratmasse Gülle, falls zusätzlich ein Annahmebehälter errichtet wird
  - 3 bis 4-tägige Vorhaltekapazität für die Substratmasse Gülle, falls **kein** Annahmebehälter zusätzlich errichtet wird

- Rührmöglichkeit vorhanden oder problemlos nachrüstbar.

Die Möglichkeit der Einbindung und Nutzung der Güllegrube in den Verfahrensablauf sollte vom Anlagenplaner geprüft werden.

#### Feststoffeinbringung

Die unterschiedlichen Verfahren und Ausführungen der Feststoffeinbringung sind ausführlich in Kapitel 5 beschrieben.

Der Befülltrichter der Einbringung sollte mindestens 1 bis 2 Tages-Substratcharge(n) fassen können.

#### Vorlagebehälter für Kofermente

Für viele hygienisierungspflichtige Stoffe ist eine gesonderte Annahme und Vorlage von Vorteil.

Das Material wird meist in regelmäßigen Abständen an den landwirtschaftlichen Betrieb angeliefert.

Je nach Materialeigenschaften sollte der Vorlagebehälter als Betongrube oder auch als Stahltank ausgeführt sein.

Werden z. B. Fette angeliefert, so sollten diese in einem wärmeisolierten Vorlagebehälter gelagert werden, damit die Konsistenz des angelieferten, warmen Fettes ein Weiterpumpen erleichtert und die Ablagerungen im Rohrleitungssystem minimiert werden. Weiterhin wird ein Festfahren verhindert.

Die Dimensionierung des Vorlagebehälters richtet sich nach dem Anlieferungsintervall.

Die Komponentenausstattung des Beton-Vorlagebehälters ist baugleich mit der des Annahmebehälters.

Falls das Material des Vorlagebehälters hygienisierungspflichtig ist, ist eine gesonderte Pumpe für die zeitgesteuerte und chargenweise Zufuhr des Materials in eine Hygienisierungseinrichtung notwendig.

#### Hygienisierung

Diese besteht aus einem oder mehreren wärmeisolierten Verweilbehältern, die an den Heizverteiler des BHKW angeschlossen sind, so dass das Material mindestens 60 min bei Temperaturen über 70 °C gehalten werden kann. Die Dimensionierung des/der Verweilbehälter richtet sich nach dem Fermenterbeschickungsintervall.

Sowohl der Füllstand und die Temperatur in jedem Verweilbehälter als auch die Temperaturen des zu- und abgeführten Substrates werden angezeigt und registriert. Dadurch ist eine lückenlose Dokumentation über den Hygienisierungsverlauf gegeben.

Das hygienisierte Material wird nach einer Haltezeit von 1 h über eine gesonderte Pumpe in den Fermenter gepumpt.

### Vorbereitungstechnik

Vorbereitungstechniken müssen bei Materialien eingesetzt werden, deren physikalischer Zustand wenig Ansiedlungs- und Zersetzungsflächen bietet.

Bei Verwendung des Substrates „Roggen (Korn)“ bietet sich z. B. der Einsatz einer Quetsche an.

Die angeschlagenen Roggenkörner können dann per Radlader oder Elevator einem Annahmebehälter oder einer Feststoffeinbringung zugeführt werden.

Letztere Einbringtechnik bietet den Vorteil, dass die angeschlagenen Körner ohne Zwischenlagerung im Annahmebehälter, in dem sie durch Quellprozesse zu einer Schwimmdeckenbildung beitragen, problemlos dem Fermenter zugeführt werden können.

### 6.3.2.2 Verfahrensschritt Fermentation

Die Fermentation findet im mesophilen Temperaturbereich zwischen 35 °C und 40 °C statt.

Der Fermenter ist als ein volldurchmischter Durchlaufreaktor aus Beton mit Dämmung und Trapezblechverkleidung ausgeführt. Er ist mit einer Heizung versehen, die die Wärmeverluste kompensiert und die Wärmeenergie für die Aufheizung der zugeführten Substrate bereitstellt.

Der Fermenter ist mit einer Leckerkennung ausgestattet.

Die mittlere hydraulische Verweilzeit des Substratgemisches sollte mindestens 30 Tage betragen und so ausgelegt sein, dass eine Raumbelastung von 3,5 kg oTS/m<sup>3</sup>·d eingehalten wird.

Die Substratzufuhr von dem Annahmebehälter/der Hygienisierung zum Fermenter erfolgt über eine Substratleitung, die oberhalb des Flüssigkeitsniveaus im Fermenter endet.

Die Zufuhr erfolgt zeitgesteuert.

Entsprechend dem zugeführten Substratvolumen wird ein korrespondierendes Volumen an Gärresten über eine in die Gärflüssigkeit eingetauchte Überlaufleitung in das Gärrestlager geleitet.

In dem Fermenter sind Tauchmotorrührwerke installiert, die den Fermenterinhalt in regelmäßigen Zeitabständen durchmischen und somit der Sink- und Schwimmdeckenbildung vorbeugen.

Mindestens ein Sichtfenster im Fermenter ist für Kontrollarbeiten unabdingbar, weiterhin dient diese Öffnung als Revisionsöffnung.

### 6.3.2.3 Verfahrensschritt Biogasspeicherung und -aufbereitung

Über dem Flüssigkeitsniveau des Fermenters ist ein Gasraum, der mit einer gasdichten Membran abgeschlossen ist. Diese Membran dient als Gasspeicher, sie ist dehnbar, bei gefülltem Speicher ist sie halbkugelförmig ausgebildet.

Eine über eine Mittelstütze getragene Holzkonstruktion verhindert das Absinken der Membran auf den Flüssigkeitsspiegel im Fermenter.

Die Membran („Gasblase“) wird von außen durch eine fest installierte wetterfeste Folie vor Witterungs- und Windeinflüssen geschützt.

In dem durch die Vergärung entstehenden Biogas können erhebliche Mengen an Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) enthalten sein.

Aus diesem Grund ist für den Fermenter eine biologische Entschwefelung im Gasraum vorgesehen. Hierfür wird mit Hilfe einer Membranluftpumpe eine geringe Menge Luft geregelt in den Gasraum eingeblasen.

An dem Fermenter ist eine Über- und Unterdruck-sicherung am Gasraum angeschlossen.

Das in dem Fermenter anfallende und gespeicherte Biogas ist warm und feucht.

Für die Gasverwertung ist das Gas zu kühlen und der kondensierende Wasserdampf abzuleiten.

Hierfür ist eine entsprechend dimensionierte Erdleitung mit stetigem Gefälle zu einem Kondensatschacht vorgesehen.

In der Erdleitung anfallendes Kondensat wird innerhalb des Kondensatschachtes in einer Wasservorlage abgeschieden. Die Wasservorlage verhindert das unkontrollierte Entweichen von Gas. Im Kondensatschacht ist eine Kondensatpumpe installiert, die niveaugesteuert das Kondensat dem Endlager zuführt.

### 6.3.2.4 Verfahrensschritt Gasverwertung

Für die Gasnutzung ist ein Zündstrahl-BHKW oder Gas-Otto BHKW mit Generator vorgesehen.

Vor dem Aggregat ist eine Flammendurchschlagsicherung vorgesehen.

Um das Gas in dem Gas-Otto-BHKW nutzen zu können, muss der Gasdruck mit Hilfe eines Verdichters erhöht werden. Die Leistung des Verdichters wird geregelt.

Vor jedem Apparat ist eine Flammendurchschlagsicherung vorgesehen, vor dem Verdichter ist diese als



Kiestopf ausgeführt. Das in dem Kiestopf anfallende Kondensat wird dem Kondensatschacht zugeführt.

In dem BHKW wird das Biogas verbrannt und mit Hilfe des Generators in Strom umgewandelt. Die hierbei anfallende Wärme wird im Prozess zur Beheizung des Fermenters und ggf. der Hygienisierung genutzt.

Darüber hinaus verfügbare Wärme aus dem BHKW kann zu anderen Heizzwecken genutzt werden (Wohnhaus-, Gebäude-, Stallbeheizung, Trocknung, externe Wärmeabnehmer).

Überschüssige Wärme wird über einen Notkühler abgeführt.

Gemäß den Sicherheitsrichtlinien für landwirtschaftliche Biogasanlagen ist die bei Ausfall der Gasnutzung abzublasende Gasmenge auf maximal 20 m<sup>3</sup>/h zu begrenzen. Dementsprechend muss für alle Modellanlagen eine Gasfackel bzw. ein Gasbrenner vorgesehen werden. Im praktischen Betrieb ist auch der Einsatz einer mobilen Gasfackel möglich.

Die Gasfackel wird automatisch druckgesteuert in Betrieb gesetzt.

Auch vor der Gasfackel ist eine Flammendurchschlagsicherung installiert.

### 6.3.2.5 Verfahrensschritt Gärrestlagerung

Für die Speicherung der anfallenden Gärreste ist ggf. das bereits aus der Tierhaltung vorhandene Güllelager vorgesehen. Der Gärrestanteil aus der zusätzlichen Vergärung von Kosubstraten muss hingegen adäquat gelagert werden.

Als zusätzlicher Gärrestlagerbehälter wird ein Betonrundbehälter vorgesehen.

Die Auslegung des Gärrestlagers bezieht sich auf einen 180-tägigen Lagerzeitraum. Bei Modellanlagen, die als Gemeinschaftsanlagen konzipiert sind und an dem Ort errichtet werden, an dem auch die Tierhaltung angesiedelt ist, ist nur die zusätzliche Investition durch Kosubstratlagerung kalkuliert. Am Biogasstandort anfallender Wirtschaftsdünger sowie Wirtschaftsdünger anderer an der Gemeinschaft beteiligter Betriebe wird nicht in die Lagerkapazitätsberechnung aufgenommen, d.h. nach Anlieferung und Abgabe von Frischgülle eines an der Gemeinschaft beteiligten Betriebes an den Biogasstandort wird dem Gärrestlager Gärrest zur Lagerung bei dem anliefernden Betrieb entnommen. So werden Lagerkapazitäten voll ausgenutzt und Leerfahrten vermieden.

Weiterhin wird bei der Berechnung des zusätzlichen Lagerkapazitätsbedarfes ein Abbaugrad der organischen Trockensubstanz der Kofermente in Höhe von 50 % unterstellt.

Der Behälter wird mit einer Abdeckung versehen. Diese ist nicht gasdicht ausgeführt und dient demnach auch nicht als Biogasspeicher für aus dem Gärrestlager entweichendes Biogas, jedoch wird das Emissionspotenzial aus dem Gärrestlager erheblich vermindert (vgl. Kapitel 8).

Innerhalb des Gärrestlagers sind ein bzw. zwei Tauchmotorrührwerke installiert.

Das Lager ist ggf. über eine Leitung mit dem vorhandenen Güllebehälter verbunden. Im Gärrestlager ist höhenverstellbar eine Entnahmemöglichkeit installiert, um Gärrest, u.a. auch für die Verdünnung der Substratmischung im Annahmebehälter, entnehmen zu können.

### 6.3.2.6 Verfahrens-Kenndaten der Modellanlagen

#### Modellanlage 1

##### Einzelbetriebliche Anlage mit Rinderhaltung 120 GV, NaWaRo-Einsatz

Die Modellanlage 1 wird ausschließlich mit Substraten vom eigenen Hof betrieben. Es werden Rindergülle, Futterreste aus der Rinderfütterung und ein Gemisch aus Gras- und Maissilage eingesetzt. Ein geringer Teil des vergorenen Materials wird zurückgeführt, um die Gülle-Silagemischung auf einen pumpfähigen TS-Gehalt von 16 % zu verdünnen. Das zurückgeführte Material wird als nicht zum Biogasertrag beitragende Lösung angesehen, es wird also bei der Berechnung der Biogasausbeute aus den verwendeten Substraten nicht berücksichtigt.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-2) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, Tabelle 6-10 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 2 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.

#### Modellanlage 2

##### Einzelbetriebliche Anlage mit Mastschweinehaltung 160 GV, NaWaRo-Einsatz

Die Modellanlage 2 wird einzelbetrieblich organisiert. Neben hofeigenen Substraten wie Schweinegülle und Maissilage wird der Nachwachsende Rohstoff Roggen (Korn) zu 40 % selbst erzeugt und zu 60 % zugekauft und eingesetzt.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-3) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, die Tabelle 6-11 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 2 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.

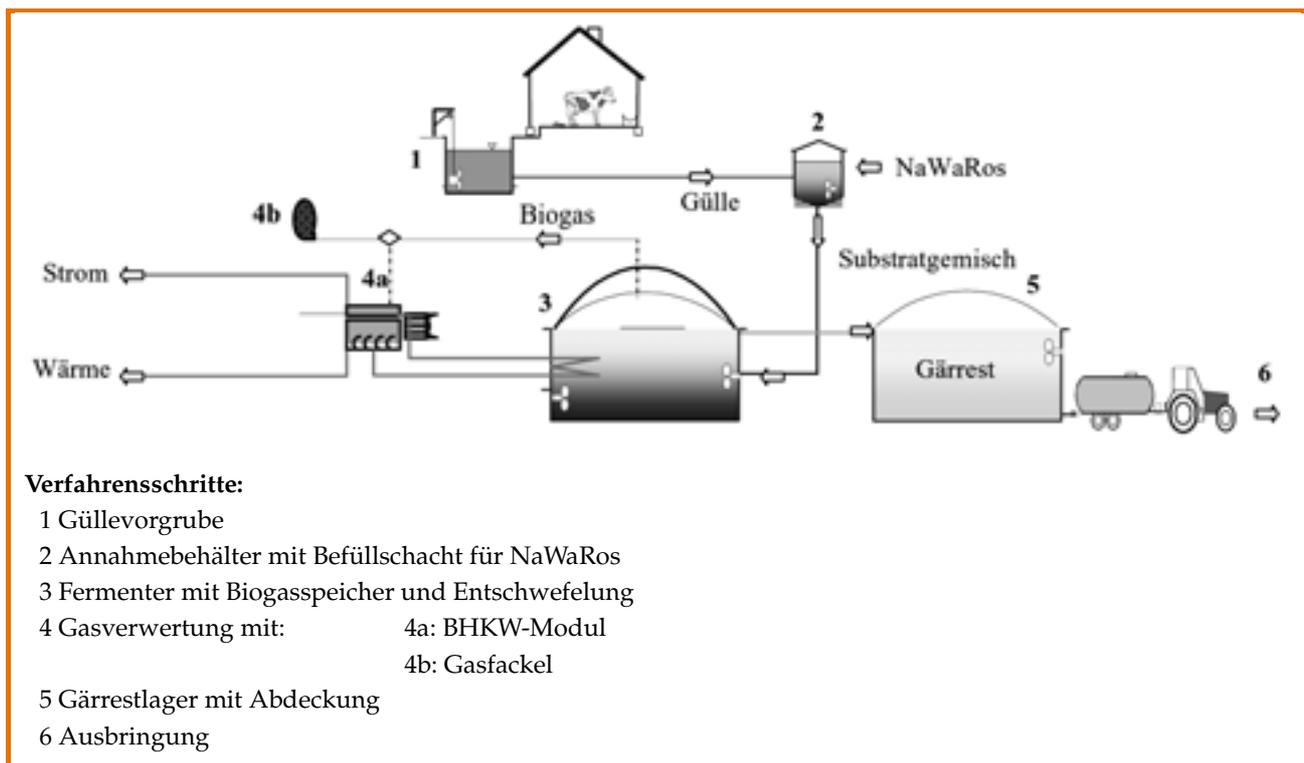


Abb. 6-2: Verfahrensfliessbild der Modellanlage 1

Tabelle 6-10: Übersicht über Baugruppen der Modellanlage 1

Verfahrensschritt/ Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten / Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	1 bis 2-tägige Vorhaltekapazität	wird verwendet als Güllevorlage
Annahmebehälter	35 m <sup>3</sup>	Anmischung von Gülle aus Güllegrube und per Radlager über Füllschacht zugeführtem Gras-Maissilagegemisch
Feststoffeinbringung	---	---
Vorlagebehälter für Kosubstrate	---	---
Hygienisierung	---	---
Vorbereitungstechnik	---	---
<b>Fermentation/Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	420 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 45 d Verweilzeit des Gärsubstrates Raumbelastung: 3,3 kg oTS/m <sup>3</sup> ·d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	55 kW <sub>el</sub>	Zündstrahl-BHKW Installierte Leistung Laufzeit: 8.000 h/a unter Volllast
Gasfackel	30 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	420 m <sup>3</sup>	Abdeckung zur Emissionsminderung Rückführung von Gärrest-Anteil zu Annahmebehälter



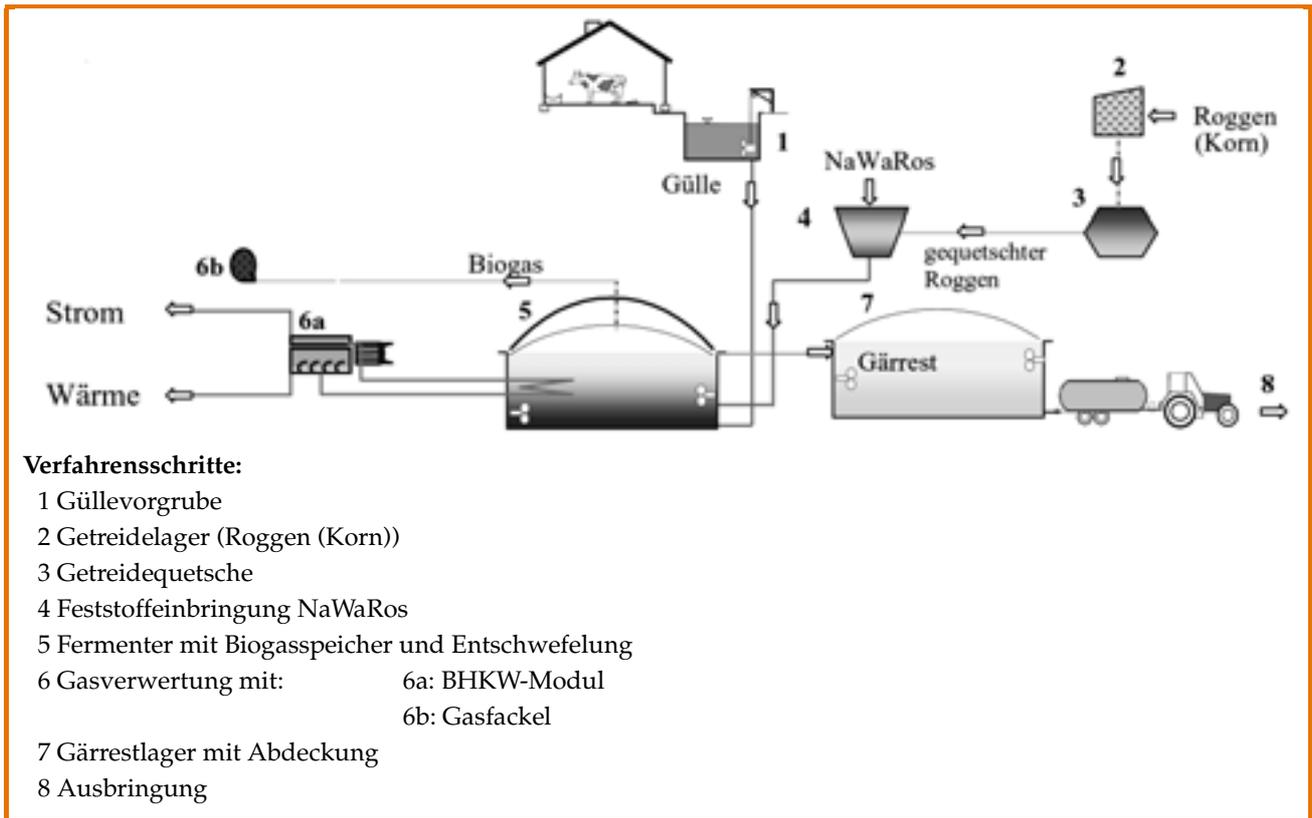


Abb. 6-3: Verfahrensfliessbild der Modellanlage 2

Tabelle 6-11: Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 2

Verfahrensschritt/ Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten / Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	3 bis 4-tägige Vorhaltekapazität	auf Annahmebehälter kann verzichtet werden, falls Güllegrube Füllvolumen von 15 m <sup>3</sup> aufweist und mit Rührwerkstechnik ausgestattet bzw. nachrüstbar ist
Annahmebehälter		
Feststoffeinbringung Befülltrichter	Befülltrichter: 8 m <sup>3</sup>	Maissilagecharge
Vorlagebehälter für Kosubstrate	---	
Hygienisierung	---	
Vorbereitungstechnik	Getreidequetsche	---
<b>Fermentation / Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	480 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 60 d Verweilzeit des Gärsubstrates, Raumbelastung: 2,9 kg oTS/m <sup>3</sup> ·d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	75 kW <sub>el</sub>	Zündstrahl-BHKW Installierte Leistung Laufzeit: 8.000 h/a unter Vollast
Gasfackel	38 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	280 m <sup>3</sup>	Abdeckung zur Emissionsminderung

**Modellanlage 3****Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 250 GV und Mastschweinehaltung 160 GV und NaWaRo-Einsatz**

Die Modellanlage 3 wird als Gemeinschaftsanlage betrieben. Es wird unterstellt, dass die Anlage an dem Betrieb errichtet wird, an dem die Wärme genutzt werden kann. Näheres zu der Problematik Außenbereichprivilegierung/Genehmigung bei Gemeinschaftsanlagen kann in Kapitel 7 nachgelesen werden. Die Anlage wird bei dem mastschweinehaltenden Betrieb errichtet. Die eingesetzten Substrate sind ausschließlich Gülle und ein Gras-Maissilagegemisch, Roggenkörner sowie Futterreste aus der Rinderfütterung.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-4) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, die Tabelle 6-12 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 3 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.

**Modellanlage 4****Genossenschaftsanlage mit Rinderhaltung 2000 GV**

Modellbiogasanlage 4 setzt ausschließlich Rindergülle aus der eigenen Tierhaltung ein sowie Futterreste aus der Rinderfütterung.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-5) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, die Tabelle 6-13 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 4 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.

**Modellanlage 5****Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 520 GV und Mastschweinehaltung 320 GV, NaWaRo-Einsatz**

Die Modellanlage 5 ist als Gemeinschaftsanlage von mehr als zwei landwirtschaftlichen Betrieben organisiert. Es wird unterstellt, dass die Anlage an dem Betrieb errichtet wird, an dem mengenmäßig die meiste Biomasse erzeugt wird. Näheres zu der Problematik Außenbereichprivilegierung/Genehmigung bei Gemeinschaftsanlagen kann in Kapitel 7 nachgelesen werden. Die Anlage wird bei einem Rinderhaltenden Betrieb errichtet. Die eingesetzten Substrate sind ausschließlich Gülle, ein Gras-Maissilagegemisch, Futterreste aus der Rinderfütterung und Roggen (Körner), die zu 40 % eigenerzeugt und zu 60 % zugekauft werden.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-6) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, die Tabelle 6-14 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 5 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.

**Modellanlage 6****Gemeinschaftsanlage mit 520 GV Rinderhaltung und 320 GV Mastschweinehaltung, Einsatz von NaWaRos und Abfällen**

Die Modellanlage 6 ist als Gemeinschaftsanlage von mehr als zwei landwirtschaftlichen Betrieben organisiert.

Die Anlage wird so konzipiert, dass sie auch auf einer Sonderfläche errichtet werden kann.

Neben den landwirtschaftlichen Substraten Gülle, Gras-Maissilagegemisch, Futterreste aus der Rinderfütterung und Roggen (Körner) aus Eigenerzeugung (40 %) und als Zukaufgetreide werden auch betriebsfremde Stoffe mit einem Anteil von 20 % des Gesamt-Inputstromes eingesetzt. Diese Substrate sind Fettabscheider, Küchen- und Speisereste aus dem Gastronomiebereich.

Anhand des folgenden Verfahrensfließbildes (Abb. 6-7) kann der Substrat- und Biogasfluss nachvollzogen werden, die Tabelle 6-15 gibt dann eine Übersicht über in Modellanlage 6 verwendete Baugruppen sowie ihre Dimensionierung.



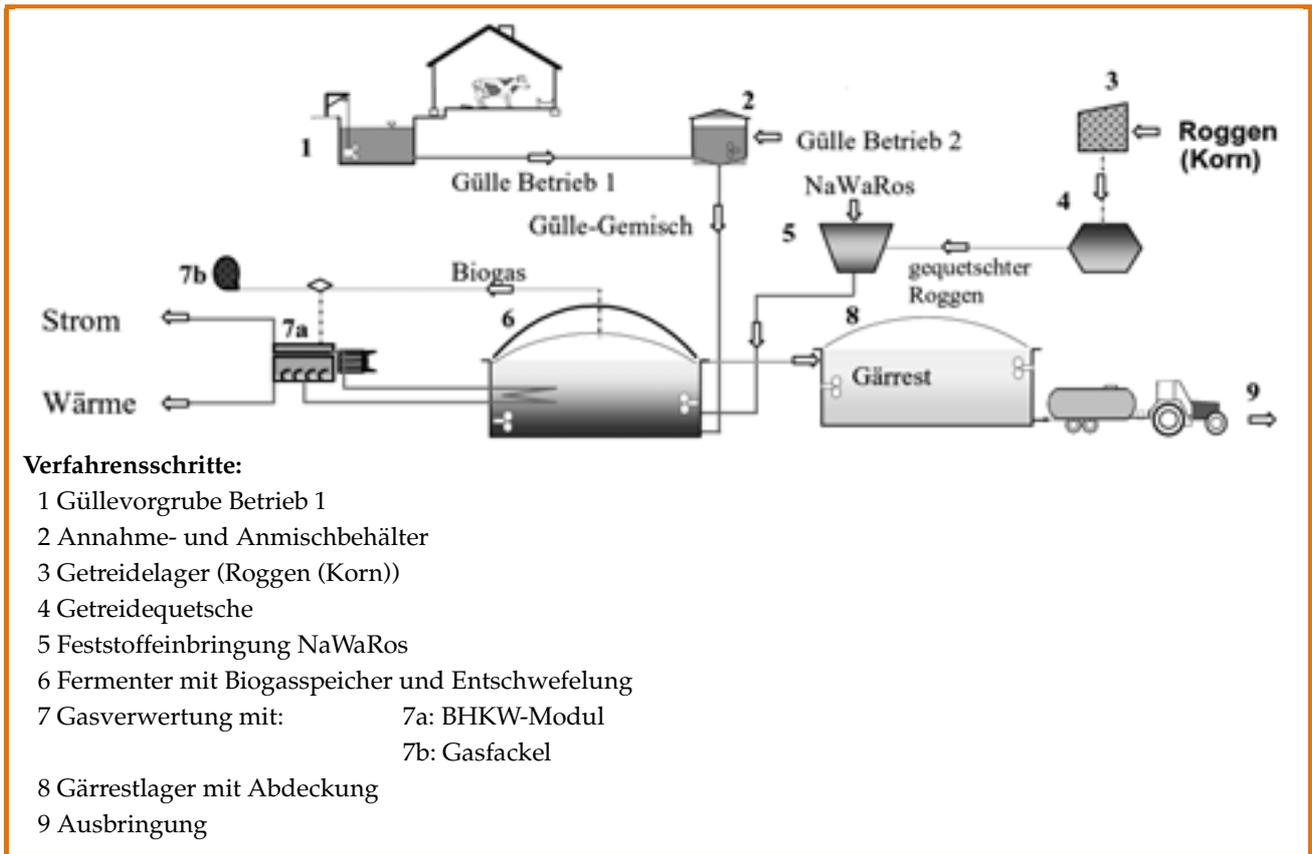


Abb. 6-4: Verfahrensfliessbild der Modellanlage 3

Tabelle 6-12: Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 3

Verfahrensschritt/ Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten / Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	1 bis 2-tägige Vorhaltekapazität	wird verwendet als Güllevorlage
Annahmebehälter	80 m <sup>3</sup>	Anmischung von Gülle aus Güllegrube Biogasstandort und von Gülle aus Gemeinschaftsbetrieb
Feststoffeinbringung/Befülltrichter	Befülltrichter: 13 m <sup>3</sup>	Grassilage-, Maissilagegemisch
Vorlagebehälter für Kosubstrate	---	---
Hygienisierung	---	---
Vorbereitungstechnik	Getreidequetsche	---
<b>Fermentation/Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	1.100 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 43 d Verweilzeit des Gärsubstrates, Raumbelastung: 3,3 kg oTS/m <sup>3</sup> · d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	150 kW <sub>el</sub>	Zündstrahl-BHKW Laufzeit: 8.000 h/a unter Volllast
Gasfackel	80 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	560 m <sup>3</sup>	Abdeckung zur Emissionsminderung Rücknahme von Gärrest-Anteil zur Lagerung in Gemeinschaftsbetrieb

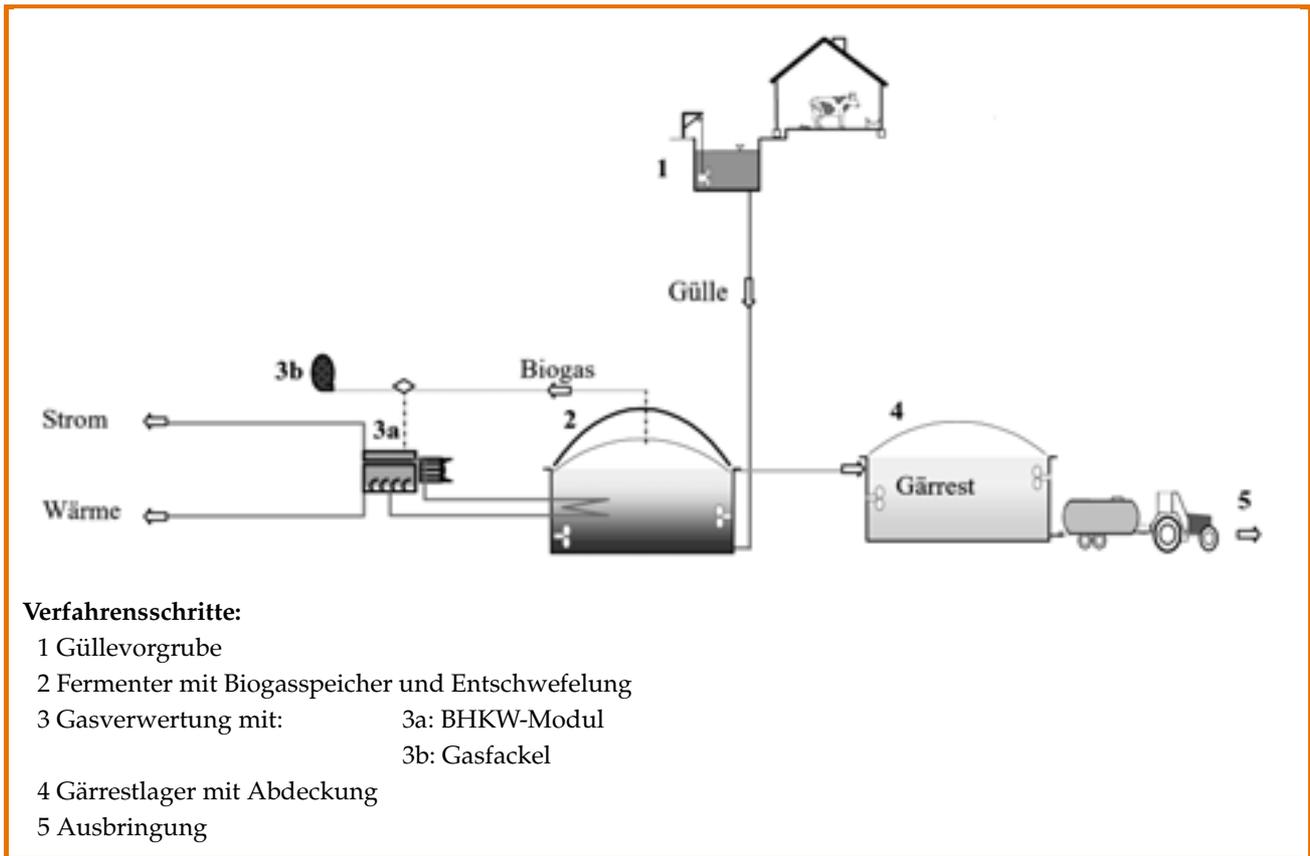


Abb. 6-5: Verfahrensfliessbild der Modellanlage 4

Tabelle 6-13: Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 4

Verfahrensschritt/Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten / Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	3 bis 4-tägige Vorhaltekapazität	auf Annahmebehälter kann verzichtet werden, falls Güllegrube Füllvolumen von 300 m <sup>3</sup> aufweist und mit Rührwerkstechnik ausgestattet bzw. nachrüstbar ist
Annahmebehälter		
Feststoffeinbringung/ Befülltrichter	---	---
Vorlagebehälter für Kosubstrate	---	---
Hygienisierung	---	---
Vorbereitungstechnik	---	---
<b>Fermentation/Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	3.300 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 30 d Verweilzeit des Gärsubstrates Raumbelastung: 2,6 kg oTS/m <sup>3</sup> ·d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	220 kW <sub>el</sub>	Zündstrahl-BHKW Laufzeit: 8.000 h/a unter Volllast
Gasfackel	110 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	---	kein Einsatz von Kofermenten: keine zusätzliche Lagerkapazität erforderlich



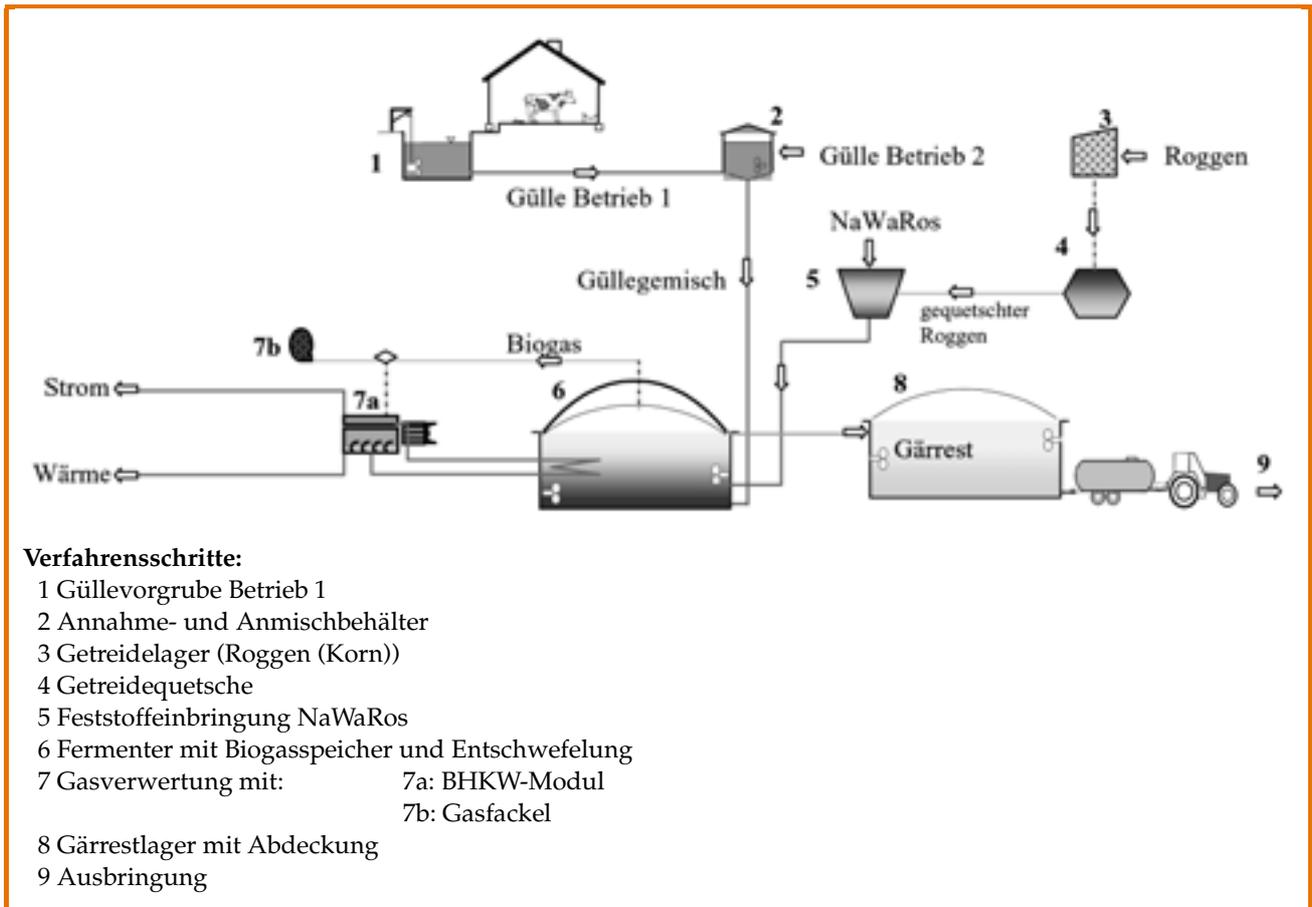
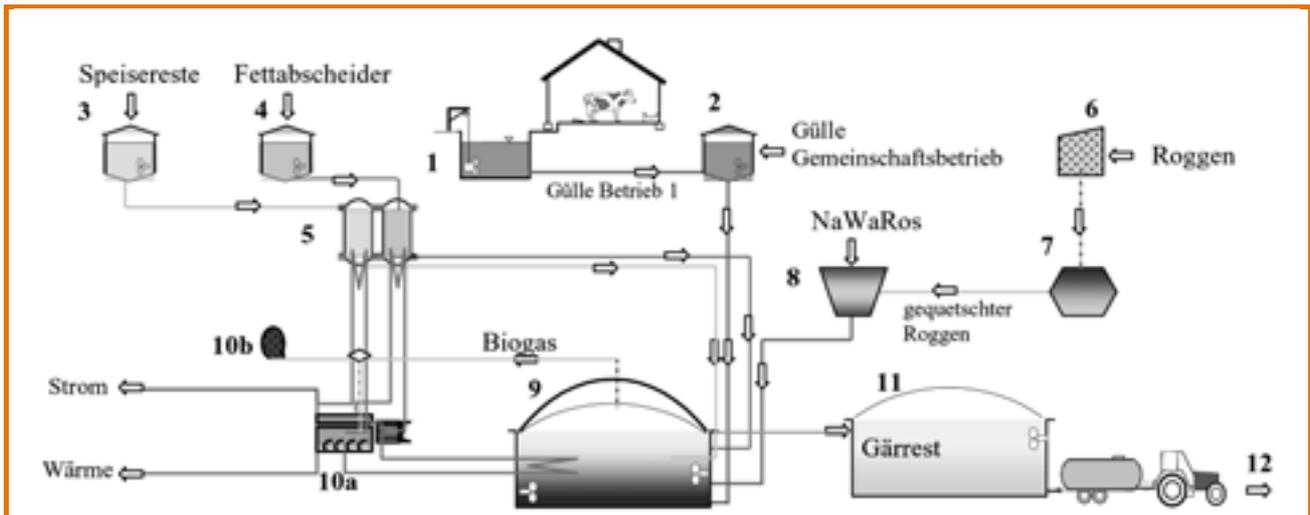


Abb. 6-6: Verfahrensfliessbild der Modellanlage 5

Tabelle 6-14: Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 5

Verfahrensschritt/Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten /Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	1 bis 2-tägige Vorhaltekapazität	wird verwendet als Güllevorlage
Annahmebehälter	150 m <sup>3</sup>	Anmischung von Gülle aus Güllegrube Biogasstandort und von Gülle aus Gemeinschaftsbetrieben
Feststoffeinbringung Befülltrichter	Befülltrichter: 18 m <sup>3</sup>	Gras-, Maissilagegemisch und gequetschter Roggen
Vorlagebehälter für Kosubstrate	---	---
Hygienisierung	---	---
Vorbereitungstechnik	abhängig von Anlieferungsintervall	Getreidequetsche für Roggenkörner
<b>Fermentation/Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	2.400 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 45 d Verweilzeit des Gärsubstrates, Raumbelastung: 3,3 kg oTS/m <sup>3</sup> · d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	330 kW <sub>eI</sub>	Gas-Otto-BHKW Laufzeit: 8.000 h/a unter Vollast
Gasfackel	170 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	1.740 m <sup>3</sup>	Abdeckung zur Emissionsminderung Rücknahme von Gärrest-Anteil zur Lagerung in Gemeinschaftsbetrieben



**Verfahrensschritte:**

- 1 Güllevorgrube Betrieb 1
- 2 Annahme- und Anmischbehälter
- 3 Annahmebehälter Speisereste
- 4 Annahmebehälter Fettabscheider
- 5 Hygienisierungseinrichtung
- 6 Getreidelager (Roggen (Korn))
- 7 Getreidequetsche
- 8 Feststoffeinbringung NaWaRos
- 9 Fermenter mit Biogasspeicher und Entschwefelung
- 10 Gasverwertung mit: 10a: BHKW-Modul  
10b: Gasfackel
- 11 Gärrestlager mit Abdeckung
- 12 Ausbringung

Abb. 6-7: Verfahrensflißbild der Modellanlage 6

Tabelle 6-15: Übersicht über Verfahrensschritte der Modellanlage 6

Verfahrensschritt/Baugruppe	Dimensionierung (brutto)	Besonderheiten/Funktion
<b>Substratannahme und -vorbereitung</b>		
Güllegrube am Stall	---	---
Annahmebehälter	150 m <sup>3</sup>	Annahme und Anmischung von Gülle aus Gemeinschaftsbetrieben
Feststoffeinbringung/ Befülltrichter	Befülltrichter: 13 m <sup>3</sup>	Gras-, Maissilagegemisch und gequetschter Roggen
Vorlagebehälter für Kosubstrate	abhängig vom Anlieferungsintervall	Küchen- und Speiserestecharge, Fettabscheidercharge
Hygienisierung	12 m <sup>3</sup> /d	Küchen- und Speiserestecharge, Fettabscheidercharge
Vorbereitungstechnik	abhängig von Anlieferungsintervall	Quetsche für Roggenkörner
<b>Fermentation/Gasaufbereitung</b>		
Fermenter	3.000 m <sup>3</sup>	gasdichte Doppelmembran-Abdeckung zur Gasspeicherung interne biologische Entschwefelung 48 d Verweilzeit des Gärsubstrates, Raumbelastung: 3,4 kg oTS/m <sup>3</sup> · d
<b>Gasverwertung</b>		
BHKW	500 kW <sub>el</sub>	Gas-Otto-BHKW Installierte Leistung Laufzeit: 8.000 h/a unter Vollast
Gasfackel	240 m <sup>3</sup> Biogas/h	
<b>Gärrestlagerung</b>		
zusätzlicher Lagerbehälter aus Kosubstratvergärung	2.800 m <sup>3</sup>	Abdeckung zur Emissionsminderung Rücknahme von Gärrest-Anteil zur Lagerung in Gemeinschaftsbetriebe



### 6.3.3 Investitionsbedarf Modellanlagen

Die folgende Tabelle 6-16 gibt eine Übersicht über den Investitionsbedarf der Modellanlagen auf Basis o.g. Verfahrens-Baugruppen.

Tabelle 6-16: Investitionsbedarf der Modellanlagen für Verfahrensschritte / Baugruppen

Mittlerer Investitionsbedarf Baugruppen	Investition [€]					
	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Modell 6
<b>Basisausstattung</b>						
Substratannahme	22.100	19.500	37.205	43.000	32.500	32.500
Fermenter	94.500	94.500	113.000	320.000	220.000	300.000
Blockheizkraftwerk	65.000	85.000	178.000	206.000	316.000	362.500
Gasfackel	12.000	12.000	25.000	25.000	25.000	25.000
<b>Summe</b>	<b>193.600</b>	<b>211.000</b>	<b>353.205</b>	<b>594.000</b>	<b>593.500</b>	<b>720.000</b>
<b>Zusatzausstattung</b>						
Summe Annahme Kosubstrate (Fette/Speisereste)						80.500
Summe Feststoffeintrag inkl. ggf. Vorbereitungstechnik		12.000	27.500		30.000	37.500
Hygienisierung						57.000
Gärrestlager (zusätzliche Kapazität.) mit Abdeckung	29.180	38.000	32.000		72.000	104.000
<b>Summe</b>	<b>29.180</b>	<b>50.000</b>	<b>59.500</b>	<b>0</b>	<b>102.000</b>	<b>279.000</b>
<b>Summe Basisausstattung und Zusatzausstattung</b>	<b>222.780</b>	<b>261.900</b>	<b>412.705</b>	<b>594.000</b>	<b>695.500</b>	<b>999.000</b>
<b>Planungs- /Genehmigungskosten (+10%)</b>	<b>22.278</b>	<b>26.100</b>	<b>41.271</b>	<b>59.400</b>	<b>69.550</b>	<b>99.900</b>
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>245.057</b>	<b>287.100</b>	<b>453.976</b>	<b>653.400</b>	<b>765.050</b>	<b>1.098.900</b>

## 6.4 Literaturverzeichnis

- |  |   |
|--|---|
| <p>/6-1/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 1. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2001)</p> <p>/6-2/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 2. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)</p> <p>/6-3/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 3. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)</p> | <p>/6-4/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 4. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2003)</p> <p>/6-5/ Linke, B.; Mähnert, M.: Kinetik der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen bei kontinuierlicher Prozessführung als Grundlage für die Bemessung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Laufendes FNR-gefördertes Forschungsprojekt des ATB Potsdam und der BTN Biotechnologie Nordhausen GmbH</p> <p>/6-6/ Keymer, U.: Biogas – Menge und Qualität. Berechnung, Meßmethoden, Optimierung. In: Landtechnik-Bericht (32), Mitterleitner, H. (Hrsg.), Landtechnischer Verein in Bayern e.V., Freising, (1999)</p> |
|--|---|

# Rechtliche und administrative Rahmenbedingungen



## 7.1 Strom aus Biomasse – Vergütung und Netzanschluss

Im April 2000 sind neue Regelungen für die Einspeisung von Strom durch das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) in Kraft getreten. Ziel und Zweck dieser Regelung ist die Verdoppelung der Nutzung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010, um „...eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung (...) zu verringern, Natur und Umwelt zu schonen, einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten um fossile Energieressourcen zu leisten und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern“.

Das Gesetz regelt sowohl Anwendungsbereiche, Rechte und Pflichten des Anlagen- und Netzbetreibers

als auch die Abnahme und Höhe der Vergütungssätze für Strom, der aus den einzelnen erneuerbaren Energiequellen gewonnen und ins öffentliche Netz eingespeist wird.

Neben Windkraft-, Wasserkraft-, Geothermie-, Solar- und Biomasseanlagen werden Biogasanlagen als eine Form der Energiegewinnung aus Biomasse im Rahmen des EEG gefördert.

Mit dem Inkrafttreten der Biomasseverordnung im Juni 2001 ist der Begriff der Biomasse im Gesetz definiert. Die Biomasseverordnung regelt somit, welche Stoffe für den Anwendungsbereich des EEG als Biomasse anerkannt werden und welche nicht (vgl. Tabelle 7-1). Sie regelt auch, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des EEG fallen sowie welche Umweltauflagen einzuhalten sind.

Tabelle 7-1: Für den Anwendungsbereich des EEG anerkannte und nicht anerkannte Biomasse gem. BiomasseV (nach [7-2])

Anerkannte Biomasse (§ 2 BiomasseV)	Nicht anerkannte Biomasse (§ 3 BiomasseV)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflanzen- und Pflanzenbestandteile</li> <li>• aus Pflanzen und Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger</li> <li>• Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, Forst- und Fischwirtschaft</li> <li>• Bioabfälle</li> <li>• aus Biomasse durch Vergasung oder Pyrolyse erzeugtes Gas</li> <li>• aus Biomasse erzeugte Alkohole</li> <li>• Altholz</li> <li>• Pflanzenölmethylester</li> <li>• Treibsel aus Gewässerpflege, Uferpflege und -reinhaltung</li> <li>• durch anaerobe Vergasung erzeugtes Biogas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fossile Brennstoffe</li> <li>• Torf</li> <li>• gemischte Siedlungsabfälle</li> <li>• Altholz mit einem               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PCB/PCT-Gehalt &gt; 0,005 Gewichtsprozent</li> <li>- Quecksilbergehalt &lt; 0,0001 Gewichtsprozent</li> </ul> </li> <li>• Papier, Pappe, Karton</li> <li>• Klärschlamm</li> <li>• Hafenschlick und sonstige Gewässerschlämme und -sedimente</li> <li>• Textilien</li> <li>• Tierkörper, Tierkörperreste und Erzeugnisse, die nach dem Tierkörperbeseitigungsgesetz in Tierkörperbeseitigungsanstalten zu beseitigen sind und Stoffe, die aus deren Beseitigung entstanden sind</li> <li>• Deponiegas</li> <li>• Klärgas</li> </ul>

Tabelle 7-2: Stromvergütung nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG)

Stromherkunft	Merkmale	Einspeisevergütung [ct/kWh <sub>el</sub> ] Jahr der Inbetriebnahme (IBN) <sup>a</sup>			
		2003	2004	2005	2006
Biomasse (gasförmig = Biogas)	Installierte elektr. Leistung				
	- bis 500 kW	10,0	9,9	9,8	9,7
	- 501 kW – 5 MW	9,0	8,9	8,8	8,8
	- 5 MW – 20 MW	8,5	8,4	8,4	8,3

a. Das Jahr der Inbetriebnahme bestimmt die garantierte Höhe der Einspeisevergütung für eine festgesetzte Laufzeit von 20 Jahren. Werden die jeweiligen Grenzwerte überschritten, findet §4 (2) erster Halbsatz Anwendung, d.h. die erzeugte elektr. Energiemenge wird gemäß prozentualer Anteile bezogen auf die installierte Leistung vergütet.  
Bsp.: IBN: 2004, Installierte elektr. Leistung: 600 kW  
→ 83 % der eingespeisten Energie wird zu 9,9 €cent vergütet, 17% der eingespeisten Energie zu 8,9 €cent.

Tabelle 7-3: Derzeit gültige und lt. Gesetzesnovellierung vom 02.04.2004 diskutierte Vergütungssätze für Biogas

Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)		Gesetzesnovellierung April 2004
Mindestvergütungssätze in Cent pro Kilowattstunde für das Jahr 2004		Mindestvergütungssätze in Cent pro Kilowattstunde ab Inkrafttreten des Gesetzes
9,90	Anlagenleistung bis einschließlich 150 kW <sub>el</sub>	11,50
9,90	Anlagenleistung bis einschließlich 500 kW <sub>el</sub>	9,90
8,90	Anlagenleistung bis einschließlich 5 MW <sub>el</sub>	8,90
8,50	Anlagenleistung bis einschließlich 20 MW	8,40
Keine Zuschläge	Stromgewinnung ausschließlich aus Pflanzen- und Pflanzenbestandteilen die keiner weiteren als der zu ihrer Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biogasanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurde und/oder Gülle im Sinne der EG-Verordnung Nr. 1774/2002	6 Cent pro Kilowattstunde zusätzlich für Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 500 kW <sub>el</sub> 4 Cent pro Kilowattstunde zusätzlich für Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 5 MW <sub>el</sub>
Keine Zuschläge	Bei Einsatz neuer Technologien (thermochemische Vergasung, Brennstoffzelle, Gasturbine, Dampfmotor, Organic-Rankine, Kalina-Cycle)	2 Cent pro Kilowattstunde zusätzlich für Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 5 MW <sub>el</sub>
Keine Zuschläge	Wärmenutzung aus KWK-Anlagen <sup>a</sup>	2 Cent pro Kilowattstunde zusätzlich für Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 20 MW <sub>el</sub> , ausschließlich für Strom im Sinne des KWK-Gesetzes <sup>a</sup>
ab 01. Januar 2005 jährlich jeweils um ein Prozent des Vorjahreswertes	Absenkung der Mindestvergütung für Anlagen, die ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommen werden	ab 1. Januar 2005 jährlich jeweils um 1,5 Prozent des Vorjahreswertes
20 Jahren	Die im Jahr der Inbetriebnahme gültigen Mindestvergütungen sind zu zahlen für die Dauer von	Zahlungsverpflichtung für Mindestvergütung <b>und</b> Zuschläge 20 Jahren
keine Regelung	Beschränkung des Zündöleinsatzes	Anlagen, die ab dem 1. Januar 2007 in Betrieb genommen werden, müssen zur Zünd- und Stützfeuerung ausschließlich Biomasse oder Pflanzenölmethylester verwenden, ansonsten entfällt Vergütungspflicht.

a. Interpretation und Erläuterungen zum "KWK-Bonus" sind ausführlich in Kapitel 10.2.3 dargestellt

Die im EEG festgeschriebenen Mindestvergütungssätze für Strom aus neu in Betrieb genommenen Biogasanlagen werden für die Dauer von 20 Jahren garantiert. Sie bewirken somit Investitionssicherheit. Bei Anlagen, die nach dem 1.1.2002 in Betrieb genom-

men wurden und werden, sinkt die Vergütung jährlich um ein Prozent bezogen auf ein volles Jahr. Einen Überblick über aktuelle Vergütungssätze und Berechnungen gibt Tabelle 7-2.

Das Gesetz regelt ausschließlich die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Quellen, soweit nicht die regenerative Stromerzeugung erst durch eine Stütz- oder Zündfeuerung möglich ist, wie bei der Verstromung des Biogases in Zündstrahlmotoren.

Danach verbessern sich die Rahmenbedingungen für kleine und mittlere Anlagen deutlich, wenn ausschließlich nachwachsende Rohstoffen und Gülle eingesetzt werden. Aber auch große Anlagen profitieren von der Erhöhung der Vergütungssätze, weil „sich die Höhe der Vergütung jeweils anteilig nach der Leistung der Anlage im Verhältnis zum jeweils anzuwendenden Schwellenwert“ bestimmt.

Der Anwendungsbereich des EEG-Gesetzes gilt auch für Biogas, das an einem Ort erzeugt, in ein Gasnetz eingespeist und dann an einem anderen Ort des Netzes der energetischen Nutzung zugeführt wird. Hier muss lediglich ein rechnerischer Nachweis geführt werden, dass die entnommene Energiemenge dem Energiegehalt des vorher eingespeisten Biogases entspricht.

Weiterhin gibt das EEG Hinweise zur Zuordnung der Kosten für die Schaffung der Stromeinspeisung. Somit ist es die Pflicht des Netzbetreibers, die Möglichkeit des Anschlusses einer Biogasanlage zur Aufnahme und Weiterleitung eingespeisten Stromes an das Versorgungsnetz zu gewährleisten. Ist dazu ein Netzausbau bzw. eine Netzerweiterung von Nöten, müssen die entstehenden Kosten vom Netzbetreiber getragen und transparent dargestellt werden. Die Heranführung und den Anschluss der Biogasanlage an den technisch und wirtschaftlich günstigsten Verknüpfungspunkt des Netzes trägt der Biogasanlagenbetreiber. Dieser kann den Netzbetreiber selbst oder aber einen fachkundigen Dritten mit dem Anschluss beauftragen.

In der Vergangenheit hat der Netzbetreiber die Netzerweiterungskosten oftmals überproportional auf die Anschlusskosten umgelegt und damit die Wirtschaftlichkeit einer geplanten Biogasanlage gefährdet. Deshalb ist es immer sinnvoll, Kosten und Leistungspositionen fachkundiger Firmen einzuholen und zu vergleichen. Falls ein Anlagenbetreiber an der Korrektheit des Einspeisevertrages zweifelt, sollte er sich mit fachkundigen Stellen in Verbindung setzen und die Clearing-Stelle des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (Referat III A5, 10115 Berlin) kontaktieren.

#### **Ausblick:**

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz wurde in den letzten Monaten grundlegend überarbeitet. Zurzeit liegt eine vom Bundestag am 02.04.2004 verabschiedete Gesetzesnovellierung vor, die im Mai vom Bundesrat an den Vermittlungsausschuss verwiesen wurde. Nach Einigung im Bundesrat wird die Novellierung dann abschließend dem Bundestag voraussichtlich im Juli vorgelegt, so dass ein In-Kraft-Treten für August/September dieses Jahres erwartet werden kann. Inhaltliche Änderungen werden voraussichtlich nicht erfolgen.

Die Novellierung regelt u.a. die Vergütung für Strom aus Biomasse. Die Vergütungssätze werden in Abhängigkeit von Anlagengröße und eingesetzten Substraten stärker differenziert, Innovations- und Investitionsanreize ergeben sich aus Zuschlägen für den Einsatz neuer Technologien und bei Realisierung von Wärmenutzungskonzepten. In Tabelle 7-3 sind die zurzeit gültigen Vergütungssätze den in der Gesetzesnovellierung vom 02.04.2004 vorgeschlagenen Vergütungssätzen gegenüber gestellt.

Weitere ausführliche Erläuterungen und Interpretationen zur Gesetzesnovellierung gibt Kapitel 10.2.

Die Gesetzesnovellierung vom 2. April 2004 sieht unter §12 „Gemeinsame Vorschriften für Abnahme, Übertragung und Vergütung“ einen neuen Absatz 4 vor, der „...die Aufrechnung von (...) Forderungen des Netzbetreibers mit den Vergütungsansprüchen des Anlagenbetreibers verbietet. Durch diese Regelung soll verhindert werden, dass die wirtschaftlich übermächtigen Netzbetreiber (...) unbillig hohe Mess-, Abrechnungs-, Blindstrom und Versorgungskosten von den Anlagenbetreibern durch Aufrechnung erlangen und das Prozessrisiko auf die Anlagenbetreiber abwälzen.“

Festzuhalten bleibt, dass die Rechtslage durch das EEG für Anlagenbetreiber äußerst günstig gestaltet wurde, wenngleich es an verschiedenen Stellen Schwierigkeiten mit der Gesetzesauslegung gibt. Sollte es zu Unstimmigkeiten kommen, sollte sich der Anlagenbetreiber nicht scheuen, sich gegen den Netzbetreiber zur Wehr zu setzen.



## 7.2 Genehmigung von Biogasanlagen

Die Planungsgrundlagen für eine Biogasanlage sind sehr vielfältig und deshalb nahezu bei jeder Anlage anders. Der einfachste Fall ist die hofeigene Biogasanlage, welche ausschließlich mit der im Betrieb anfallenden Biomasse (Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, Nachwachsende Rohstoffe) beschickt wird. Aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt häufig der Einsatz von Bioabfällen als Kofermente, die so als zusätzliche Energielieferanten dienen. Ebenfalls aus wirtschaftlichen Gründen werden die Anlagen auch oft deutlich größer geplant. Um eine solche größere Anlage realisieren zu können, erfolgt ein Zusammenschluss einiger landwirtschaftlicher Betriebe, welche eine Gemeinschaftsanlage betreiben wollen. Eine andere Lösung ist die Großanlage mit einem jährlichen Durchsatz von beispielsweise 50.000 t Substrat, an der häufig deutlich über 20 Betriebe beteiligt sind.

Die Liste der denkbaren Anlagenvarianten ließe sich lange fortsetzen. Dieser Tatbestand spiegelt sich

auch in der Vielzahl der für die Genehmigung einer Biogasanlage relevanten Gesetze und Verordnungen wider (Tabelle 7-4).

Ergänzt werden diese Rahmenbedingungen für die Errichtung der Anlage um die Gesetze und Verordnungen für den Betrieb der Anlage.

Beispielhaft sind hier die für die Ausbringung des Gärsubstrates einzuhaltenden Vorschriften (z. B. Düngerverordnung und Düngemittelverordnung).

Als eine Konsequenz aus diesem umfangreichen Regularienkatalog für die Genehmigung von Biogasanlagen ist die Empfehlung abzuleiten, das Genehmigungsverfahren für die geplante Anlage in Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Ingenieurbüro oder Anlagenbauer abzuwickeln.

Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass nicht alle rechtlichen Rahmenbedingungen bundesweit einheitlich Anwendung finden. Für den Einzelfall bedeutet dies, dass die jeweils geplante Biogasanlage mit den vor Ort zuständigen Behörden ihr „spezifisches“ Genehmigungsverfahren durchlaufen

Tabelle 7-4: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Errichtung einer Biogasanlage



Baugesetzbuch - BauGB –
Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzverordnung – BauNVO)
Bauordnung der einzelnen Bundesländer (Landesbauordnung – BauO)
Verordnung über bautechnische Prüfungen – BauPrüfVO –
Feuerungsverordnung – FeuVO –
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
Gesetz zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie, der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz
Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV)
Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (EG-HygieneV)
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/ AbfG)
Gesetz über die Beseitigung von Tierkörpern, Tierkörperteilen und tierischen Erzeugnissen (Tierkörperbeseitigungsgesetz – TierKBG)
Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen (Bioabfallverordnung – BioAbfV)
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)
Wassergesetz der Bundesländer (Landeswassergesetz – LWG sowie im Wasserschutzgebiet die Wasserschutzgebietsverordnung)
Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BnatSchG)
Gesetz zur Sicherung des Naturhaushalts und zur Entwicklung der Landschaft (Landschaftsgesetz – LG)
Mineralölsteuergesetz (MinöStG)
Stromsteuergesetz (StromStG)

Quelle: Ratgeber für Genehmigungsverfahren bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, MUNLV

muss. Damit die Genehmigung und Umsetzung der geplanten Anlage möglichst zügig erfolgen kann, hat sich der „Runde Tisch“ („Scoping Termin“) mit allen relevanten Behörden in einem möglichst frühen Stadium der Anlagenplanung bewährt. Dies ist ein zusätzliches Argument für die Nutzung der Erfahrung von ausgewiesenen Spezialisten.

Die folgenden Ausführungen zu den rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für Genehmigung und Betrieb von Biogasanlagen basieren auf EU- und nationaler Rechtsetzung. Exemplarisch wird an einigen Stellen auf die in Nordrhein-Westfalen (NRW) gängige Genehmigungspraxis Bezug genommen.

### 7.2.1 Wesentliche Kriterien für die Anlagengenehmigung

Aus der Vielzahl der zu berücksichtigenden Gesetze und Verordnungen können für die Einschätzung der Realisierbarkeit des geplanten Projektes folgende vier Fragestellungen als „**Leitfaden zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit**“ herausgestellt werden:

1. Standort der Anlage
2. Genehmigungsverfahren
3. Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen
4. Ausbringung des Gärrestes

Die systematische Zusammenstellung der Substrate, die in der Biogasanlage vergoren werden sollen, bildet die Basis zur Beurteilung aller weiteren Fragestellungen.

Aus der in der Substratliste aufgeführten jährlichen Tonnage der einzelnen Substrate bzw. der daraus zu erwartenden energetischen Ausbeute lassen sich Rückschlüsse auf die **Standortanforderungen** für die geplante Anlage ziehen.

**Art, Menge und Herkunft** der vorgesehenen Substrate sind entscheidend für die Frage nach dem Genehmigungsverfahren (Baurecht – BImSch-Recht) und beeinflussen darüber hinaus die bauliche Ausführung der geplanten Anlage. Es gelten entsprechend des unterschiedlichen Hygienierisikos nach EU-Hygieneverordnung (EU-HygieneV) sowie Bioabfallverordnung (BioAbfV) substratspezifische Vorgaben für Behandlung – Hygienisierung (70 °C, 60 Minuten), Sterilisierung (133 °C, 3 bar, 20 Minuten) – und Verwertung von Substraten einer Biogasanlage.

Als vierter Aspekt muss die **Verwertung** des Gärrests geklärt sein. Hier kommen die Anforderungen des Düngemittelrechts zum Tragen.

Die Düngeverordnung gibt zulässige Nährstofffrachten an und in der Düngemittelverordnung ist geregelt, welche Substrate für die Aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen zugelassen sind. Darüber hinaus ist es von Bedeutung, ob der gesamte Gärrest ausschließlich auf betriebseigenen Flächen ausgebracht wird oder ob er auch auf betriebsfremden Flächen verwertet wird. Nicht jeder Gärrest darf in Verkehr gebracht werden.

Substratspezifische Kriterien der EU-HygieneV und der Düngemittelverordnung sind zu berücksichtigen. Bei der Vergärung von Bioabfällen sind zusätzlich die Schwermetallgrenzwerte der BioAbfV einzuhalten.

#### 7.2.1.1 Der Standort der Anlage (Baugesetzbuch)

Bei vielen Projekten ist die Frage nach dem genehmigungsfähigen Standort für die Anlage nicht unproblematisch und sollte daher als erstes geklärt werden. Dabei geht es um die Frage, ob die geplante Anlage beim landwirtschaftlichen Betrieb, in einem Gewerbegebiet oder auf einer Sonderfläche errichtet werden kann bzw. soll. In den meisten Fällen soll die Biogasanlage bei einem landwirtschaftlichen Betrieb errichtet werden. Ein solcher Standort im Außenbereich hat wesentliche Vorteile für den Anlagenbetrieb. Daher gilt es zu klären, ob die geplante Biogasanlage als privilegiertes Vorhaben im Außenbereich genehmigungsfähig ist.

#### Genehmigung der Biogasanlage als untergeordnete bzw. mitgezogene Nebenanlage

Im Außenbereich kann eine Biogasanlage gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 1 Baugesetzbuch als untergeordnete Nebenanlage oder als durch die Hauptanlage mitgezogene privilegierte Anlage zulässig sein. D. h. die Biogasanlage muss dem landwirtschaftlichen Betrieb räumlich und funktional zugeordnet sein. Sie darf nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnehmen.

Hinsichtlich der räumlich funktionalen Zuordnung bei **Gemeinschaftsanlagen** ist festgelegt worden, dass es an der räumlichen Zuordnung der Biogasanlage zu dem Betrieb auch dann nicht fehlt, wenn die mit dem Vorhaben zu verbauende Fläche an die Hoffläche angrenzt. In der Regel wird es ausreichen, wenn die beteiligten Betriebe eine gemeinsame Grenze haben.

Weiterhin ist für die Genehmigungsfähigkeit zu klären, ob neben der räumlichen Zuordnung Biogasanlage – landwirtschaftlicher Betrieb auch die Eigenschaft der **untergeordneten Nebenanlage** gegeben ist.



Dazu muss die Biogasanlage eine dem landwirtschaftlichen Betrieb dienende Funktion aufweisen. Diese leitet sich aus dem Umstand ab, dass die Gärückstände im Sinne eines weitgehend geschlossenen Nährstoffkreislaufs auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen als Düngemittel verwertet werden.

Eine dem landwirtschaftlichen Betrieb dienende Funktion ist im Sinne des § 34 Abs. 1 Nr. 1 des Baugesetzbuches dann gegeben, wenn weniger als 50 % der erzeugten Energie in das öffentliche Netz eingespeist wird. In diese Berechnung werden sowohl der erzeugte Strom als auch die erzeugte Wärme mit einbezogen.

Für die Berechnung dieses Energieanteils wird nur die tatsächlich nutzbare Energie herangezogen. Insbesondere für die Wärme sind hier die oft nicht nutzbaren Energiemengen von Bedeutung. Zusätzlich werden von der tatsächlich verfügbaren Energie die Prozessenergien (Wärme + Strom) abgezogen. Anhand der so ermittelten Energiemenge wird der innerbetriebliche Nutzungsanteil errechnet. Werden mehr als 50 % von diesem Energieanteil im Betrieb verwertet, ist der Privilegierungsstatbestand erfüllt und die Anlage kann an dem geplanten Standort errichtet werden.

Eine Biogasanlage kann nicht nur bei landwirtschaftlichen Betrieben als untergeordnete Nebenanlage zulässig sein, sondern auch bei gartenbaulichen und forstwirtschaftlichen Betrieben und bei nach § 35 Abs. 1 Nr. 4 Baugesetzbuch ausnahmsweise im Außenbereich privilegiert zulässigen Betrieben, wie z. B. einem Landgasthof. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit sind die geplanten Anlagen aber häufig so groß und leistungsstark, dass weit mehr als 50 % der erzeugten Energie ins öffentliche Netz eingespeist wird. Diese Anlagen können dann durch die **mitgezogene Privilegierung** im Außenbereich genehmigt werden.

Diese setzt voraus, dass das zur Vergärung eingesetzte Material überwiegend (mindestens 51 %) betriebseigenen Ursprungs ist. Der Einsatz nicht betriebseigener Stoffe landwirtschaftlichen Ursprungs (z. B. Gülle, Rübenschmizel, Kartoffelschlempe oder Ausputzgetreide) bis zu einem Anteil von 49 % steht einer mitgezogenen Privilegierung nicht entgegen.

Jedoch steht die Zugabe nicht betriebseigener Kofermente ohne landwirtschaftlichen Ursprung (z. B. Speiseabfälle oder Inhalte von Fettabscheidern) einer mitgezogenen Privilegierung nur dann nicht entgegen, wenn sie in unbedeutender Menge erfolgt: In einem vom Land NRW veröffentlichten Merkblatt wird „unbedeutende Menge“ mit < 20 % der eingesetzten Gesamtsubstratmenge beziffert.

Für die mitgezogene Privilegierung ist außerdem ausschlaggebend, dass die aus der Vergärung dieses

Kofermentanteils resultierenden Einkünfte nicht überwiegend zum Einkommen des Landwirtes beitragen.

Für Biogas-Gemeinschaftsanlagen bedeuten die o. g. Kriterien für eine untergeordnete Nebenanlage bzw. eine mitgezogene Privilegierung Einschränkungen, die im Einzelfall mit der Genehmigungsbehörde zu diskutieren sind und ggf. zu der Notwendigkeit einer Genehmigung als selbstständige Anlage im Außenbereich führen (siehe Modellanlage 6).

### **Genehmigung der Biogasanlage als selbstständige Anlage im Außenbereich**

In Einzelfällen können Biogasanlagen nach § 35 Abs. 1 Nr. 4 Baugesetzbuch als selbstständige Anlage im Außenbereich zulässig sein. Erforderlich dafür ist, dass das betreffende Vorhaben **notwendigerweise** im Außenbereich auszuführen ist. Dies kann z. B. wegen zu erwartender nachteiliger Wirkung auf die Umgebung durch Emissionskonflikte und Lieferverkehr für Gülle und andere Einsatzstoffe landwirtschaftlichen Ursprungs gegeben sein, wenn dadurch für andere Bereiche, wie z. B. Gewerbegebiete, unzumutbare Lärm- oder Geruchsbeeinträchtigungen zu erwarten wären.

Die Frage nach der Genehmigungsfähigkeit des Standortes wird in der Regel mit zunehmender Anzahl der beteiligten Betriebe an der geplanten Biogasanlage schwieriger. So werden von der Genehmigungsbehörde für große Gemeinschaftsanlagen auch Sonderflächen im Außenbereich ausgewiesen, damit ein genehmigungsfähiger Standort zur Verfügung steht. Die Errichtung von Biogasanlagen in Gewerbegebieten ist grundsätzlich möglich, aber oft nicht gewollt.

**Ausblick:** Am 30. April hat der Deutsche Bundestag in der zweiten und dritten Beratung des von der Bundesregierung eingebrachten Entwurfs eines Gesetzes zur Anpassung des Baugesetzbuches an EU-Richtlinien (Europarechtsanpassungsgesetz Bau – EAG Bau) wichtige Änderungen auch für das landwirtschaftliche Bauen beschlossen. Eine klare Verbesserung ist für die eigenständige baurechtliche Privilegierung von Biomasseanlagen im Außenbereich bis 500 kWel erwirkt worden. Diese gilt für Anlagen von Landwirten einschließlich gewerblichen Tierhaltungsbetrieben, von Forstwirten und Gartenbaubetrieben - soweit am Betriebsstandort nur eine Biomasseanlage betrieben wird und die Biomasse überwiegend aus dem eigenen Betrieb stammt. Das vom Bundestag verabschiedete Gesetz wird dem Bundesrat voraussichtlich abschließend am 9. Juli vorgelegt und könnte daher schon im Sommer In-Kraft-treten.

7.2.1.2 Genehmigungsverfahren

Ob die geplante Biogasanlage nach Baurecht oder nach Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigt wird, ergibt sich aus den in Abb. 7-1 aufgeführten Kriterien und Grenzwerten.

In der 4. BImSchV, Anhang 1, werden Anlagen-grenzen aufgeführt, nach denen eine Zuordnung der betreffenden Anlage zum durchzuführenden Genehmigungsverfahren erfolgt. Kleinere Anlagen können demnach nach Baurecht genehmigt werden, größere nach Bundes-Immissionsschutzrecht.

Das erste Entscheidungskriterium ist die täglich durchgesetzte Abfallmasse. Werden der Anlage mehr

als 10 t Abfall pro Tag zugeführt, muss das Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz durchlaufen werden. Die Fragestellung, ob Gülle in diesem Zusammenhang als Abfall einzustufen ist, wird in den Bundesländern unterschiedlich interpretiert.

Eine weitere Lesart dabei ist, dass der gesamte Durchsatz (Wirtschaftsdünger, Abfall und eingesetzte nachwachsende Rohstoffe) landwirtschaftlicher Kofermentationsanlagen bei einer Zuordnung zu einem Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen sei. Begründet wird dies damit, dass eine Mischung aus Gülle und Abfall insgesamt rechtlich als Abfall anzusehen sei.

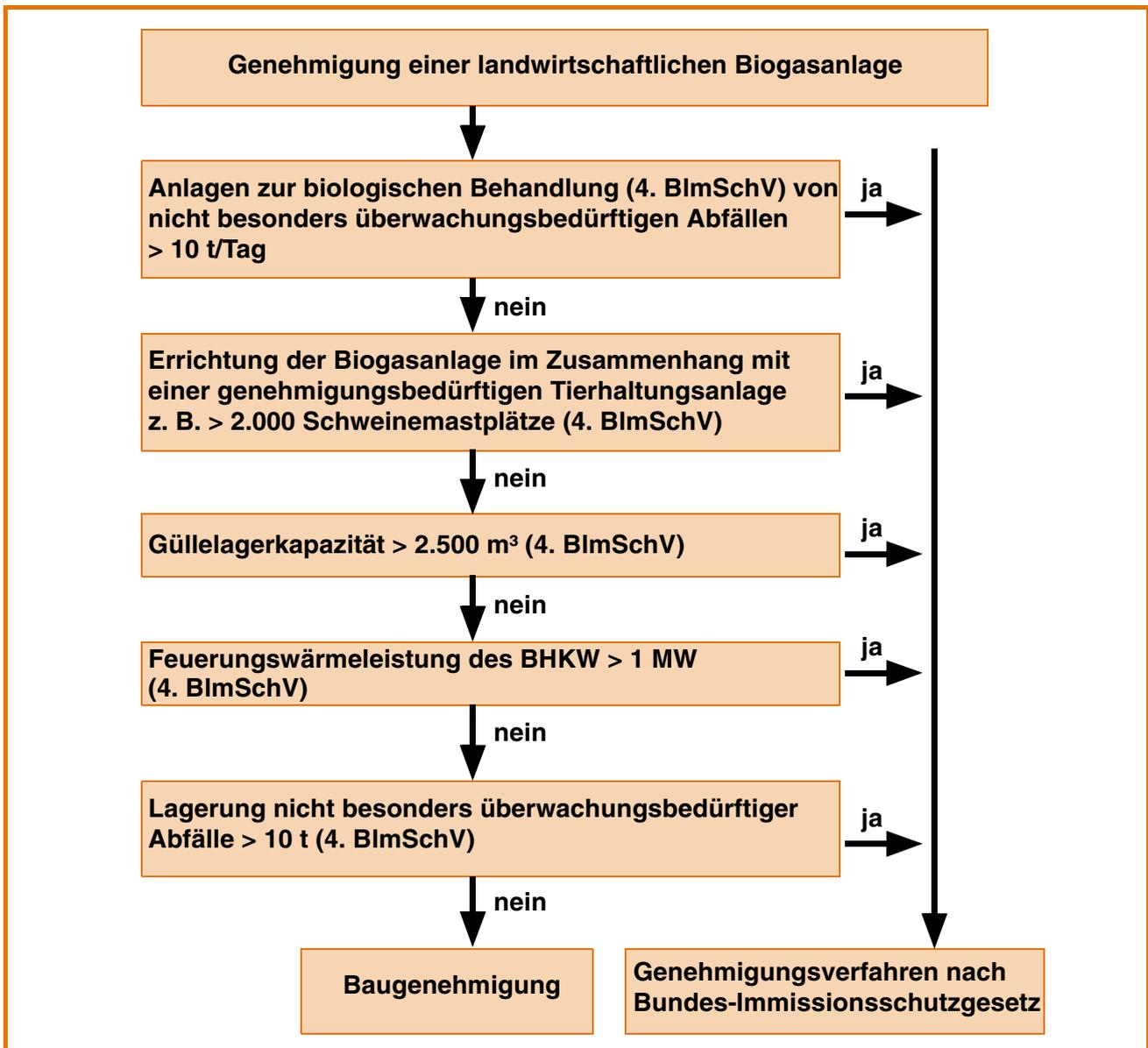


Abb. 7-1: Kriterien und Verfahren der Genehmigung einer Biogasanlage, Quelle: Ratgeber für Genehmigungsverfahren bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, MUNLV



Diese unterschiedliche Auslegung des Genehmigungsrechts durch die Bundesländer führt zu einer gewissen Ungleichbehandlung von Anlagen. Um einer regional unterschiedlichen Genehmigungspraxis entgegen zu wirken, arbeiten einige Länderministerien an einer Standardisierung des Genehmigungsverfahrens. Obgleich das Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG aufwändiger ist als die Genehmigung nach Baurecht, ist bei den heute überwiegend realisierten größeren Biogasanlagen der höhere Bestandsschutz von nicht unerheblicher Bedeutung.

Das Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz wird unterteilt nach „vereinfachten“ (kleinen) und „förmlichen“ (großen) Verfahren. Auch diese Unterscheidung wird an der täglich durchgesetzten Abfallmasse festgelegt. Die Abgrenzung der Verfahren erfolgt bei 50 t Abfall Input pro Tag.

Ein weiteres Kriterium für die Abgrenzung der Verfahren ist die Gesamtfeuerungswärmeleistung des/der BHKW-Module (> 1 MW). Darüber hinaus steht diese Unterscheidung des Genehmigungsverfahrens auch im Zusammenhang mit der Anwendung des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG).

Die Gesamtfeuerungswärmeleistung des BHKW ergibt sich aus der Summe der erzeugten Energie aus Wärme und Strom. Wird die Gesamtfeuerungswärmeleistung eines BHKWs mit 1 MW beziffert, so entspricht dies bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 35 % einer elektrischen Leistung des BHKW von 350 kW.

Soll die Biogasanlage im Zusammenhang mit einer genehmigungsbedürftigen Tierhaltungsanlage errichtet werden, wird auch die Anlage nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz zu genehmigen sein.

### 7.2.1.3 Hygienevorschrift und bauliche Anforderungen

Aus der EU-Hygieneverordnung (EU-HygieneV) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV) ergeben sich, substratspezifisch, umfassende bauliche, verfahrenstechnische und organisatorische Vorgaben.

Für Substrate tierischer Herkunft sind die Vorgaben der EU-HygieneV umzusetzen.

Für Bioabfälle pflanzlicher Herkunft sowie für Küchen- und Speiseabfälle (inklusive Abfall aus der Bio- tonne und Speiseöl) sind die BioAbfV und ggf. das Tierkörperbeseitigungsrecht umzusetzen.

Die EU-HygieneV (Verordnung EG Nr. 1774/2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte) wurde als Reaktion auf die BSE-Krise mit dem Ziel konzipiert, tierische Nebenprodukte, die als gesundheitsuntauglich bewertet werden, nicht in die Futtermittelkette gelangen zu lassen.

Zur Beurteilung, welche tierischen Nebenprodukte und auch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in einer Biogasanlage verwertet werden dürfen, werden diese in Kategorien eingeteilt.

Diese Aufteilung der nicht für den menschlichen Verzehr bestimmten tierischen Nebenprodukte erfolgt in drei Kategorien, woraus sich die anzuwendenden Behandlungsverfahren und Verwertungswege ergeben:

**Kategorie 1-Material:** spezifisches Risikomaterial mit BSE-Relevanz

→ muss verbrannt oder nach Sterilisierung deponiert werden.

**Kategorie 2-Material:** nicht BSE-relevantes, gesundheitsuntaugliches Tiermaterial aus Schlachthöfen und Verarbeitungsbetrieben, Erzeugnisse aus Drittländern, Arzneimittel enthaltendes Tiermaterial sowie Wirtschaftsdünger

→ darf nach Sterilisierung (133 °C, 3 bar, 20 min) und Geruchsstoffmarkierung einer **zugelassenen Biogasanlage** (siehe unten im Text) zugeführt oder als organisches Dünge- oder Bodenverbesserungsmittel eingesetzt werden.

**Kategorie 3-Material:** gesundheitsuntaugliche tierische Erzeugnisse und Nebenprodukte wie Schlachtkörper- teile, Eierschalen, Blut, Häute, Federn und Wolle sowie überlagerte Lebensmittel oder Fehlchargen

→ muss in einer nach EU-HygieneV **zugelassenen Biogasanlage** eine Hygienisierung (70 °C, 60 min) durchlaufen.

Zu dem unter Kategorie 2 aufgeführten Begriff „Wirtschaftsdünger“ zählt auch Gülle. Dazu gilt aber bis zum 31.12.2004 eine Übergangsregelung, welche den Einsatz von Gülle unverändert ohne Sterilisierungs- und Hygienisierungsmaßnahmen zulässt.

Ob Gülle nach dem 31.12.2004 uneingeschränkt die Behandlungsverfahren des Kategorie 2-Materials erfahren muss, wird derzeit noch kontrovers diskutiert.

Küchen- und Speiseabfälle (auch die sogenannten Biotonnen-Inhalte, einschließlich gebrauchtem Speiseöl) können als Kategorie 3-Material bis auf Widerruf nach bundesdeutschem Recht in Biogasanlagen verarbeitet werden. Dabei ist es wichtig, dass diese Küchen- und Speiseabfälle nur in Restaurants, Catering-Einrichtungen und Küchen (einschließlich Groß- und Haushaltsküchen) anfallen dürfen.

Die EU-HygieneV legt folgende Zulassungsbedingungen für eine Biogasanlage fest:

- Abstandsregelungen zwischen Biogasanlage und tierhaltendem Betrieb,
- Errichtung einer unumgeharen Hygienisierungseinrichtung. Werden bereits auf 133 °C erhitzte tierische Nebenprodukte oder an anderer Stelle hygienisiertes Kategorie 3-Material verarbeitet, kann auf die Hygienisierung an der Anlage verzichtet werden,
- Gerät zur Überwachung und Aufzeichnung der Temperaturentwicklung während der Hygienisierung,
- ein Sicherheitssystem zur Vermeidung einer unzureichenden Erhitzung,
- Einrichtungen zur Reinigung und Desinfektion von Fahrzeugen und Behältern beim Verlassen der Biogasanlage,
- Teilchengröße, Mindesttemperatur (70 °C, 60 Minuten) und Mindestverweilzeit bei Hygienisierung,
- Aussetzen der Zulassung bei Nichteinhaltung der Zulassungsvoraussetzungen.

Für die praktische Umsetzung bedeutet dies für einen Biogasanlagebetreiber, der zum Beispiel neben Gülle und Silomais Material der Kategorie 2 oder 3 einsetzen möchte, den aufgeführten Anforderungskatalog für die Biogasanlage umzusetzen. Ob die Zulassungsbedingungen ab 2005 auch schon bei Gülle umzusetzen sind (s. Kategorie 2) wird noch diskutiert.

Die Vorgaben der **Bioabfallverordnung (BioAbfV)** vom 21. September 1998 sind nur auf Biogasanlagen anzuwenden, in denen Bioabfälle vergoren werden.

Grundsätzlich dürfen alle im Anhang 1 der BioAbfV gelisteten Stoffe in der Biogasanlage eingesetzt werden. Darüber hinausgehende Stoffe bedürfen der gesonderten Zulassung durch die Genehmigungsbehörde.

Bioabfälle sind grundsätzlich vor einer Ausbringung oder Herstellung von Gemischen einer **Behandlung** zuzuführen. Diese Behandlung muss die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit des Substrates gewährleisten.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an Biogasanlagen:

- thermophile Betriebsweise des/der Fermenter bei einer Mindesttemperatur von 55 °C über einen zusammenhängenden Zeitraum von 24 h sowie einer hydraulischen Verweilzeit im Reaktor von mindestens 20 Tagen oder
- thermische Vorbehandlung des/der eingesetzten Substrate(s) (70 °C, 60 min) oder
- thermische Nachbehandlung (70 °C, 60 min) oder
- Nachkompostierung des separierten Gärrückstandes.

Zur Überprüfung des Hygienisierungserfolges sind Biogasanlagen einer **direkten** und einer **indirekten** Prozessprüfung zu unterziehen. Bei der direkten Prozessprüfung sollen definierte Keimträger in die Anlage eingebracht werden. Nach entsprechender Verweilzeit werden diese entnommen und der Hygienisierungserfolg wird anhand der Reduktion der Testorganismenpopulation durch ein zugelassenes Labor ermittelt. Da die Methodik dieser Prüfung noch nicht vollständig geklärt ist und nicht für den praktischen Einsatz bereitsteht, wird zurzeit von den Genehmigungsbehörden von einer Nachweisführung abgesehen.

Dagegen wird die Nachweisführung der indirekten Prozessführung (Nachweis vorgegebener Temperatur) eingefordert.

Behandelte Bioabfälle müssen eine Endproduktprüfung absolvieren. Dazu wird an einer Gärrestprobe im Labor der phyto- und seuchenhygienische Zustand anhand von Indikatorkeimen (Salmonella, Tomatensamen, Tabakmosaikvirus und Kohlhernie-Erreger) durchgeführt. Das Zeitintervall dieser Prüfung ist vom Anlagendurchsatz abhängig und liegt in der Verantwortung des Betriebes.

Die Auswirkungen der Bioabfallverordnung auf die Ausbringung des Gärrestes sind in Unterpunkt 4 beschrieben.

Die Untersuchungsmodalitäten (Prüforganismen und -methodik) sind in Anhang 2 der BioAbfV zusammengestellt.



7.2.1.4 Ausbringung des Gärsubstrates

In Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten ist die Gärrestverwertung unterschiedlichen Rechtsbereichen unterworfen (Tabelle 7-5).

Tabelle 7-5: Regelungsbereich unterschiedlicher für die Gärrestverwertung anzuwendender Rechtsvorgaben

Rechtsvorgabe	Betroffene Substrate
<b>nährstoffbezogene Regelungen</b>	
Düngeverordnung	alle Substrate
Düngemittelverordnung	alle Substrate, nur bei In-Verkehr-Bringen
<b>schadstoffbezogene Regelungen</b>	
BioAbfV	alle Bioabfälle, Gärreste mit Bioabfall als Kofermente
<b>Regelungen in Bezug auf die Produkthygiene</b>	
EU-HygieneV	Substrate tierischen Ursprungs
Düngemittelverordnung	alle Substrate, nur bei In-Verkehr-Bringen
BioAbfV	alle Bioabfälle, Gärreste mit Bioabfall als Kofermente

**Düngeverordnung**

Mit der Düngeverordnung werden die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen durch Definition der pflanzenbaulich sachgerechten Düngemittelanwendung unter Berücksichtigung des Umweltschutzes konkretisiert.

Düngemittel sind zeitlich und mengenmäßig so auszubringen, dass ihre Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt und damit Nährstoffverluste bei der Bewirtschaftung sowie damit verbundene Einträge in die Gewässer weitestgehend vermieden werden.

Neben diesen allgemeinen Regeln zur guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft sind für die Anwendung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Sekundärrohstoffdüngern besondere Regelungen gültig.

Gülle, Jauche, Geflügelkot und stickstoffhaltige Sekundärrohstoffdünger sind auf unbestelltem Ackerland unverzüglich einzuarbeiten. Weiterhin dürfen mit diesen Stoffen auf Ackerland nach der Ernte der Hauptfrucht nicht mehr als 40 kg Ammoniumstickstoff oder 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar ausgebracht werden. In der Zeit vom 15. November bis zum 15. Januar des folgenden Jahres dürfen die vorgenannten Düngemittel grundsätzlich nicht ausgebracht

werden. Weiterhin dürfen im Betriebsdurchschnitt auf Grünland nicht mehr als 210 kg Gesamtstickstoff je Hektar und auf Ackerland nicht mehr als 170 kg Gesamtstickstoff je Hektar ausgebracht werden.

Bei einer weitgehenden Kreislaufführung von Nährstoffen durch vorwiegenden Einsatz von im landwirtschaftlichen Betrieb anfallenden Substraten (Gülle, Festmist und auch auf (Stilllegungs-)Flächen angebaute nachwachsende Rohstoffe) wird die Nährstoffbilanz des Betriebes durch die Errichtung und den Betrieb einer Biogasanlage nicht wesentlich beeinflusst. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen werden jedoch häufig extern anfallende Kofermente zur Steigerung der Gasausbeute eingesetzt.

In NRW sind dies häufig energiereiche Geflügelexkremete. Durch deren Einsatz wird dem Betrieb eine erhebliche Menge an Phosphor zugeführt. Bei hohen P-Gehalten der landwirtschaftlichen Nutzflächen des Betriebes kann daraus eine innerbetriebliche Verwertbarkeit von nur einem Teil des Gärrests resultieren. Sofern sich für die geplante Kofermentationsanlage auf Grund der Nährstofffrachten die Notwendigkeit des Abgebens von Gärsubstrat ergibt, muss geprüft werden, ob das Gärsubstrat in Verkehr gebracht werden darf oder ob nur eine sogenannte „Eigenverwertung“ auf betriebseigenen Flächen erfolgen darf.

**Düngemittelverordnung**

Die Düngemittelverordnung beinhaltet die Zulassung und Kennzeichnung von Düngemitteln, Natur- und Hilfsstoffen. Organische Abfälle zur Verwertung im Bereich der landwirtschaftlichen Düngung dürfen nur angewandt werden, wenn sie als Sekundärrohstoffdünger zugelassen sind.

Sie dürfen gewerbsmäßig aber nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie im Hinblick auf die Verursachung von Krankheiten bei Mensch und Tier durch Übertragung von Krankheitserregern und Schäden an Pflanzen, Pflanzenerzeugnissen oder Böden durch Verbreitung von Schadorganismen unbedenklich sind (§ 1 Abs. 2 DüMV).

Durch den Abschnittes 3a der Düngemittelverordnung werden Düngemitteltypen für Sekundärrohstoffdünger definiert und Vorgaben für die Kennzeichnung gegeben. Die Typenzulassung ist allgemeingültig, d. h. es sind alle Produkte, die einen Düngemitteltyp erfüllen, verkehrsfähig. Darüber hinaus enthält die Düngemittelverordnung Anforderungen an die Art und Kennzeichnung von Natur- und Hilfsstoffen. Zur Aufbereitung von Sekundärrohstoffdüngern dürfen ausschließlich die in Anhang 1, Ab-



schnitt 3a, Spalte 5 DüMV aufgeführten Ausgangsmaterialien eingesetzt werden.

Die Düngemitteltypen sind beschrieben durch

- Typenbezeichnung,
- Mindestgehalt an Nährstoffen,
- Typenbestimmende Bestandteile, Nährstoffformen und -löslichkeiten,
- Bewertung und weitere Erfordernisse,
- Zusammensetzung und Art der Herstellung,
- Besondere Bestimmungen.

Ein typischer Düngemitteltyp für Gärrückstände aus der Kofermentation ist der organische NPK-Dünger-flüssig.

**Ausblick:**

Am 04.12.2003 wurde die neue Düngemittelverordnung verabschiedet und trat umgehend In-Kraft.

Danach hat sich der Tatbestand des „In-Verkehr-Bringens“ von Gärresten, insbesondere bei Gemeinschaftsanlagen, erheblich verbessert. Durch den Abgleich mit der Bioabfallverordnung hat eine differenzierte Aufnahme von Düngemitteltypen zur Düngemittelverordnung genehmigungsrechtlich für Eindeutigkeit bei der Gärrestverwertung und damit für Erleichterung im Genehmigungsverfahren gesorgt.

**Bioabfallverordnung**

Die Bioabfallverordnung (BioAbfV) regelt die Aufbringung von Bioabfällen – auch in Mischungen mit Wirtschaftsdüngern – auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden.

Anhang 1 der BioAbfV umfasst abschließend eine Auflistung aller für die Verwertung auf Flächen grundsätzlich geeigneten Bioabfälle sowie mineralischen Zuschlagstoffe.

Sofern in einer Biogasanlage Bioabfälle vergoren werden, müssen die auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten Gärreste Schwermetallgrenzwerte und maximal zulässige Ausbringmassen in Tonnen Trockenmasse pro ha innerhalb von drei Jahren einhalten (Tabelle 7-6).

Oftmals besitzen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft hohe Gehalte an den essentiellen Spurennährstoffen Cu und Zn. Bei Kofermentation von Wirtschaftsdüngern und Bioabfällen überschreitet der Gärrest deshalb oft die Schwermetall-Grenzwerte.

In diesem Fall wird üblicherweise in Abstimmung mit der zuständigen Fachbehörde (z. B. Landwirtschaftskammer) der Stoffstrom und nicht die Konzen-

Tabelle 7-6: Grenzwerte für Schwermetalle in Gärrückständen nach BioAbfV

Maximal zulässige Aufbringungsmenge	Element [mg/kg TS]						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
20 t TS/(ha · 3a)	150	1,5	100	100	50	1	400
30 t TS/(ha · 3a)	100	1	70	70	35	0,7	300

tration zu Grunde gelegt. Damit wird häufig eine Ausbringung ermöglicht.

Bei der Genehmigung von Biogasanlagen ist bei geplanter Kofermentation von Bioabfällen außerdem darauf zu achten, dass vorgesehene Aufbringungsflächen nach BioAbfV auch die entsprechenden Bodengrenzwerte einhalten (Tabelle 7-7).

Tabelle 7-7: Schwermetall-Grenzwerte für Böden nach der BioAbfV [mg/kg TM]

Bodenart	Cd	Bb	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn
Ton	1,5 (1 <sup>a</sup> )	100	100	60	1	70	200 (150 <sup>a</sup> )
Lehm	1	70	60	40	0,5	50	150

a. bei einem pH-Wert < 6

**EU-HygieneV**

Für Biogasanlagen, in denen außer Wirtschaftsdünger keine weiteren Substrate tierischer Herkunft vergoren werden, brauchen die Genehmigungsbehörden vor Ort die strengen Produktkriterien der EU-HygieneV nicht zu übernehmen.

Für Anlagen, welche andere der EU-HygieneV unterworfenen tierische Nebenprodukte einsetzen, gelten spezielle Grenzwerte hinsichtlich der Seuchenhygiene.

Vor einem beabsichtigten In-Verkehr-Bringen müssen Gülle, verarbeitete Gülle und verarbeitete Gülleprodukte nach EU-HygieneV einer Hitzebehandlung (70 °C, 60 min, oder vergleichbare, noch festzulegende Bedingungen) unterzogen werden. Sie müssen

- frei von Salmonellen,
- frei von Enterobacteriaceae und
- zur Verringerung Sporen bildender Bakterien und der Toxinbildung behandelt worden sein.

In der Konsequenz würde dies bedeuten, dass der Gärrest vor einem beabsichtigten In-Verkehr-Bringen eine Hygienisierung durchlaufen müsste, da bei mesophiler Vergärung die im Wirtschaftsdünger vorhandenen Darmbakterien zwar vermindert werden, jedoch nicht das von der EU geforderte Grenzwertniveau erreichen.



Im bundesdeutschen Kontext ist die Auslegung des Begriffs „In-Verkehr-Bringen“ umstritten; so wird düngemittelrechtlich die Abgabe innerhalb von Genossenschaften oder sonstiger Personenvereinigungen dem gewerbsmäßigen In-Verkehr-Bringen gleichgestellt. Dies hätte für Biogasgemeinschaftsanlagen zur Konsequenz, dass – unbeschadet einer Kofermentation weiterer tierischer Nebenprodukte – hier eine Hygienisierung vorzusehen ist. Auf Ministeriumsebene ist nicht abschließend geklärt, ob künftig bei Gemeinschaftsanlagen eine hygienisierende Behandlung vorzusehen ist. Von Tierärzten wird angeführt, dass durch das Schließen von Infektionskreisläufen bei dem überbetrieblichen Wirtschaftsdüngereinsatz ein höheres seuchenhygienisches Risiko vorliegt. Von Ökonomen wird auf die hohen Kosten einer solchen Behandlung verwiesen.

Deutlich wird, dass derzeit für Bundesländer und Genehmigungsbehörden noch Interpretationsspielraum bei den Hygienevorgaben der EU-Verordnung vorhanden ist. So liegt es derzeit im Ermessen der Genehmigungsbehörde, bei Gemeinschaftsanlagen eine Zuordnung der Flächen aller beteiligter Betriebe zu der Anlage vorzunehmen.

## 7.3 Genehmigungsbeispiele

### 7.3.1 Modellanlage 1 – Einzelbetriebliche Anlage mit Rinderhaltung 120 GV, NaWaRo-Einsatz

Diese Biogasanlage wird an einem rindviehhaltenden landwirtschaftlichen Betrieb errichtet. Neben der Rindergülle werden Mais- und Grassilage zur Vergärung eingesetzt.

#### Standort der Anlage

Auf Grund der zu erwartenden energetischen Ausbeute von ca. 55 kW elektrisch erfüllt dieses Beispiel unter Berücksichtigung von Prozessenergie (thermisch und elektrisch) die Bedingung, dass mehr als 50 % der erzeugten Energie im Betrieb verbraucht werden. Damit steht der Privilegierung dieses Bauvorhabens im Außenbereich als untergeordnete Nebenanlage nichts entgegen.

Sollte diese Energiebilanz dennoch kritisch ausfallen, ist die mitgezogene Privilegierung und somit eine Genehmigung im Außenbereich in jedem Fall gegeben.

#### Genehmigungsverfahren

Auf Grund eines Substrateinsatzes von knapp 9 t pro Tag wird, wie auch bei allen anderen Kriterien gemäß Tabelle 7-1, keiner der Grenzwerte für ein Genehmigungsverfahren nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz überschritten: die Anlage kann nach Baurecht genehmigt werden.

#### Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen

Die Genehmigungsbehörde wird hinsichtlich der Gülle-Vergärung von der in der EU-HygieneV eingeräumten Möglichkeit Gebrauch machen können, den Gülle-Einsatz von Hygienisierungsaufgaben zu entkoppeln.

#### Ausbringung des Gärrestes

Die Nährstoffe aus Rindergülle fallen ohnehin im Betrieb an. Darüber hinaus angebaute Silage wird auf Stilllegungsflächen und gegebenenfalls durch Zukauf bereitgestellt. Bei Zukauf ist die Düngebilanz im Vorfeld der Genehmigung zu überprüfen.

Sofern kein In-Verkehr-Bringen des Gärrestes vorgesehen ist, müssen die Produktkriterien der EU-HygieneV nicht eingehalten werden.

### 7.3.2 Modellanlage 2 – Einzelbetriebliche Anlage mit Mastschweinehaltung 160 GV, NaWaRo-Einsatz

Die hier vorgestellte Anlage soll mit Schweinegülle, Maissilage und Zukauf-Roggen betrieben werden.

#### Standort der Anlage

Die hier geplante betriebseigene Kofermentationsanlage ist als mitgezogene Anlage auf Grund der Stoffströme als privilegiertes Bauwerk im Außenbereich genehmigungsfähig. Auch kann auf Grund des höheren Wärmebedarfes eines schweinehaltenden Betriebes (hier besonders Sauen und Ferkelaufzuchtbetriebe) möglicherweise bereits die Forderung nach über 50-%iger Nutzung von Wärme und Strom inklusiv der Prozessenergien als Privilegierungsgrundlage erfüllt sein.

#### Genehmigungsverfahren

Die Anlage kann nach Baurecht genehmigt werden.

#### Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen

Die Genehmigungsbehörde wird hinsichtlich der Gülle-Vergärung von der in der EU-HygieneV eingeräumten Möglichkeit Gebrauch machen können, den

Gülle-Einsatz von Hygienisierungsaufgaben zu entkoppeln.

### **Ausbringung des Gärrests**

Bei dieser betriebseigenen Anlage ist davon auszugehen, dass die Nährstoffe aus Schweinegülle und Maisilage auf den zum Betrieb gehörenden Flächen ausgebracht werden können. Durch den als NaWaRo eingesetzten P-reichen Roggen ist eine pflanzenbedarfsgerechte und standortangepasste Versorgung und Aufbringung der anfallenden Nährstoffe zu prüfen. Der Eigenverwertung des insgesamt anfallenden Gärrests nach DüngeV steht nichts entgegen.

### **7.3.3 Modellanlage 3 – Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 250 GV und Mastschweinehaltung 160 GV und NaWaRo-Einsatz**

Die hier angesetzten Rinder- und Schweinegüllemengen stehen für eine geplante Gemeinschaftsanlage, die i.d.R. als GbR oder GmbH betrieben wird. Als weitere Substrate sollen Mais- und Grassilage, also nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden.

#### **Standort der Anlage**

Bei der zu erwartenden elektrischen Leistung der Anlage von ca. 230 kW ohne Wärmeverwendung ist nicht davon auszugehen, dass mehr als 50 % der erzeugten Energie im Betrieb verbraucht werden. Es ist der Tatbestand der mitgezogenen Privilegierung zu prüfen. Auf Grund der Forderung, dass 50 % der eingesetzten Biomasse von dem Betrieb stammen sollen, an dem die Anlage steht, könnte diese Anlage bei dem Rinderbetrieb errichtet werden. Dem steht die in der Regel schlechtere Nutzungsmöglichkeit der anfallenden Wärme entgegen. Im vorliegenden Modellfall wird aus Gründen der Ausnutzung anfallender Wärme die Anlage auf dem Schweinehaltenden Betrieb errichtet.

Grundsätzlich sollte mit der Genehmigungsbehörde geprüft werden, inwieweit die Standorte als eine Gemeinschaft gesehen werden und die Kriterien untergeordneter Anlagen schwerer wiegen, als die strenge Zuordnung zu dem Ort des Anfalls der Biomasse. Es gibt Einzelfälle, in denen diese „pragmatische Sichtweise“ für zwei bis drei beteiligte Betriebe realisiert wurde.

#### **Genehmigungsverfahren**

Sehr unterschiedlich wird in einzelnen Bundesländern die Zuordnung zu einem Genehmigungsverfahren entschieden. In NRW wird auch bei Biogasanlagen,

die keinen Bioabfall vergären, die für Bioabfall in der 4. BImSchV genannten Anlagendurchsätze angelegt. Die Durchsatzgrenze von 10 t/d wird in diesem Fall überschritten, sodass in NRW ein vereinfachtes BImSch-Genehmigungsverfahren zu durchlaufen ist.

#### **Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen**

Da es sich um eine Biogasgemeinschaftsanlage handelt, kann bei strenger Auslegung der Vorgaben der EU-HygieneV und der DüngemittelV von einem In-Verkehr-Bringen des Gärrests ausgegangen werden. In diesem Fall ist das gesamte Gärgut zu hygienisieren. Von Seiten der Genehmigungsbehörden wird jedoch oftmals versucht, zwischen der Notwendigkeit von Hygieneauflagen und ökonomischen Zwängen abzuwägen. Sind nur wenige Betriebe an der gemeinschaftlich betriebenen Anlage beteiligt, werden diese einige Genehmigungsbehörden nicht als In-Verkehr-Bringen, so dass in diesem Fall Hygienisierungsaufgaben entfallen können.

#### **Ausbringung des Gärrestes**

Bei Gemeinschaftsanlagen ist es notwendig, das Gärsubstrat auf den Flächen aller beteiligten Betriebe wieder auszubringen, um eine pflanzenbedarfsgerechte und standortangepasste Aufbringung der anfallenden Nährstoffe zu gewährleisten. Sofern die Genehmigungsbehörde von einem In-Verkehr-Bringen des Substrates ausgeht, sind die Produktkriterien der EU-HygieneV einzuhalten.

### **7.3.4 Modellanlage 4 – Genossenschaftsanlage mit Rinderhaltung 2000 GV**

Die hier vorgestellte Anlage ist stellvertretend für einen Genossenschaftsbetrieb, wie er in den neuen Bundesländern anzutreffen ist. Es werden ausschließlich Wirtschaftsdünger und Futterreste vergoren.

#### **Standort der Anlage**

Da die 36.000 t Rindergülle zuzüglich der anfallenden Futterreste von dem Betrieb stammen, von dem die Anlage errichtet werden soll, ist zumindest der Tatbestand der mitgezogenen Privilegierung gegeben. Somit steht der Errichtung der Anlage im Außenbereich bei dem großen Rinderbetrieb aus Sicht des Baugesetzes nichts im Wege.

#### **Genehmigungsverfahren**

In NRW würde die Anlage auf Grund ihrer Durchsatzleistung und der länderinternen Lesart der 4. BImSchV einer BImSch-Genehmigung bedürfen. Da



der Tierhaltungsbetrieb selbst genehmigungspflichtig nach BImSchG (Tierplatzzahlen, Güllelagerkapazität) ist, kann die geplante Biogasanlage als Nebenanlage zum vorhandenen Betrieb genehmigt werden.

### Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen

Die Genehmigungsbehörde wird hinsichtlich der Gülle-Vergärung von der in der EU-HygieneV eingeräumten Möglichkeit Gebrauch machen können, den Gülle-Einsatz von Hygienisierungsauflagen zu entkoppeln.

### Ausbringung des Gärrests

Es ist davon auszugehen, dass der Betrieb auch vor Errichtung der Biogasanlage mit den jetzt verwerteten Güllemengen umgehen und diese nach DüngV standort- und pflanzenbedarfsgerecht auf landwirtschaftlichen Flächen verwertet hat. Durch die Vergärung der Gülle ist keine Änderung des Nährstoffaufkommens oder der Nährstoffzusammensetzung der Gülle zu erwarten. Somit sind hinsichtlich der Nährstofffrachten keine zusätzlichen Überlegungen für die Umsetzbarkeit der Anlage notwendig. Für die Düngplanung ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Stickstoffverfügbarkeit in der Gülle durch die anaerobe Behandlung merklich erhöht.

### 7.3.5 Modellanlage 5 – Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 520 GV und Mastschweinehaltung 320 GV, NaWaRo-Einsatz

Auch bei Modellanlage 5 handelt es sich um eine Gemeinschaftsanlage. Die Anlage soll mit rund 13.000 t/a Rinder- und Schweinegülle betrieben werden. Als Kofermente sollen Mais- und Grassilage sowie 500 t Roggen pro Jahr eingesetzt werden.

### Standort der Anlage

Für diese Anlage gilt in Analogie zu Beispiel 3, dass zu prüfen ist, ob die Anlage als „mitgezogen“ privilegiert für einen Standort im Außenbereich genehmigungsfähig ist. Es sind wieder die Kriterien der funktionalen und räumlichen Zuordnung sowie des untergeordneten Charakters auch hinsichtlich des Betriebseinkommens zu durchleuchten. Bei der Unterstellung von drei beteiligten Anlagen wird dies wohl im Einzelfall zu differierenden Stellungnahmen der Genehmigungsbehörden führen.

### Genehmigungsverfahren

In NRW würde die Anlage auf Grund ihrer Durchsatzleistung und der länderinternen Lesart der 4. BImSchV einer BImSch-Genehmigung bedürfen.

Sofern einer der Tierhaltungsbetriebe selbst genehmigungspflichtig nach BImSchG (Tierplatzzahlen, Güllelagerkapazität) ist, kann die geplante Biogasanlage als Nebenanlage zum vorhandenen Betrieb genehmigt werden.

### Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen

Da es sich um eine Biogasgemeinschaftsanlage handelt, kann bei strenger Auslegung der Vorgaben der EU-HygieneV und der DüngemittelV von einem In-Verkehr-Bringen des Gärrests ausgegangen werden. In diesem Fall ist das gesamte Gärgut zu hygienisieren. Von Seiten der Genehmigungsbehörden wird jedoch oftmals versucht, zwischen der Notwendigkeit von Hygieneauflagen und ökonomischen Zwängen abzuwägen. Sind nur wenige Betriebe an der gemeinschaftlich betriebenen Anlage beteiligt, werden dies einige Genehmigungsbehörden nicht als In-Verkehr-Bringen, so dass in diesem Fall Hygienisierungsauflagen entfallen können.

### Ausbringung des Gärrestes

Bei Gemeinschaftsanlagen ist es notwendig, das Gärsubstrat auf den Flächen aller beteiligten Betriebe wieder auszubringen, um eine pflanzenbedarfsgerechte und standortangepasste Aufbringung der anfallenden Nährstoffe zu gewährleisten. Sofern die Genehmigungsbehörde von einem In-Verkehr-Bringen des Substrates ausgeht, sind die Produktkriterien der EU-HygieneV einzuhalten.

### 7.3.6 Modellanlage 6 – Gemeinschaftsanlage mit 520 GV Rinderhaltung und 320 GV Mastschweinehaltung, Einsatz von NaWaRos und Abfällen

Bei dieser Anlage wollen drei Betriebe gemeinsam eine 500 kW-Biogasanlage betreiben. Als Substrate sind die anfallende Gülle der Betriebe (ca. 13.000 t/a) sowie 1.700 t/a Maissilage und 1.500 t/a Roggen vorgesehen. Zur Steigerung der Methanausbeute sollen 1.000 t/a Fettabscheiderfett (EAK-Schlüssel-Nr. 02 02 04, Fleisch- und Fischverarbeitung) sowie 3.000 t/a Speisereste vergoren werden.

### Standort der Anlage

Damit diese Anlage als privilegiertes Bauwerk im Außenbereich erstellt werden kann, ist die Frage nach der mitgezogenen Privilegierung zu prüfen. Die Nutzung von mehr als 50 % der anfallenden Energie im Betrieb ist auszuschließen. Zwar ließe sich die räumlich funktionale Zuordnung zu einem der Betriebe

darstellen, jedoch wird auch die Fragestellung nach dem untergeordneten Charakter der Anlage für den landwirtschaftlichen Betrieb kritisch zu durchleuchten sein. Aus oben genannten Gründen wird eine derartige Anlage wahrscheinlich als selbständige Anlage im Außenbereich gemäß § 35, Abs. 1, Nr. 4 des Baugesetzbuches die Genehmigung erlangen müssen. Alternativ ist ein Standort im Gewerbegebiet bzw. die Ausweisung einer Sonderfläche anzustreben. Insbesondere bei diesen Voraussetzungen für die Standortbestimmung der Biogasanlage ist es für einen zügigen Fortgang der Planung sehr wichtig, die beteiligten Fachbehörden und politischen Vertreter frühzeitig in die Anlagenplanung einzubeziehen, um die mögliche Genehmigungsstrategie festzulegen.

### Genehmigungsverfahren

Auf Grund des Einsatzes von ca. 4 000 t/a Bioabfall wird diese Anlage in allen Bundesländern auf Grund des eingesetzten Abfalls BImSch-genehmigungspflichtig.

### Hygienevorschriften und bauliche Anforderungen

Fettabscheiderfett (EAK-Schlüssel-Nr. 02 02 04, Fleisch- und Fischverarbeitung) ist ein nach BioAbfV zugelassenes Substrat. Nach EU-HygieneV kann es Kategorie 2 (genussuntauglich) oder Kategorie 3 (genusstauglich) zugeordnet werden. Die entsprechenden Behandlungsvorgaben (Sterilisierung, Hygienisierung) sind einzuhalten.

Speisereste entsprechen der EU-Bezeichnung „Küchen- und Speiseabfälle“, die der Kategorie 3 zugeordnet sind. Nach BMU-Expertenmeinung sind diesen Küchen- und Speiseabfällen auch die „Abfälle aus der Biotonne“ zuzuordnen. Diese Abfallgruppe wurde aus dem Regelungsgefüge der EU-HygieneV herausgelöst und der nationalen Rechtsetzung unterstellt. Demnach sind hier weiterhin die Vorgaben der BioAbfV hinsichtlich Betriebsweise und Anlagenüberprüfung anzuwenden.

### Ausbringung des Gärrestes

Bei Gemeinschaftsanlagen ist es notwendig, das Gärsubstrat auf den Flächen aller beteiligten Betriebe wieder auszubringen, um eine pflanzenbedarfsgerechte und standortangepasste Aufbringung der anfallenden Nährstoffe zu gewährleisten.

Sofern die Genehmigungsbehörde von einem In-Verkehr-Bringen des Substrates ausgeht, sind die Produktkriterien der EU-HygieneV einzuhalten.

Auf Grund der vergorenen Bioabfälle (Fettabscheiderfett, Küchen- und Speiseabfälle) sind die Schwermetallgrenzwerte der BioAbfV gültig.

Die Anforderungen der EU-HygieneV gelten für das Fettabscheiderfett.

Die Nährstoffbilanz des Betriebes ist zu überprüfen, allerdings werden nur ca. 15 bis 20 % N- und P-reiches Substrat aus externen Quellen zugeführt. Dies sind einerseits die sehr nährstoffreichen Speisereste, zum anderen der Roggen, sofern er extern anfällt, also nicht in dem Betrieb selbst erzeugt wird.



## 7.4 Literaturverzeichnis

- /7-1/ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Ratgeber für Genehmigungsverfahren bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, (2002)
- /7-2/ Kaltschmitt, M.; Weidele, T.; Scheuermann, A.; Thrän, D.; Scholwin, F.; Dilger, M.; Falkenberg, D.; Nill, M.; Witt, J.: Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetz. Endbericht des IE gGmbH zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 41 132 des BMU und des UBA, (2003)

### Rechtsquellen (gegliedert nach Kapitelaufbau):

- Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) - BGBl I, 1999, S. 2633 v. 07.12.1999, Gesetz aufgeh. durch Art. 4, Abs. 1 G. v. 29.03.2000, BGBl I, S. 305 m. W. v. 01.04.2000
- Biomasseverordnung (BiomasseV) – BGBl I, 2001, S.1234
- Baugesetzbuch (BauGB) – Neugefasst durch Bek. Vom 27.08.1997, BGBl I S. 2141, zuletzt geändert durch Art. 12 G.v. 23.07.2002, BGBl I, S. 2850
- Baunutzungsverordnung (BauNVO) – neugefasst durch Bek. V. 23.01.1990, BGBl I, S. 133, zuletzt geändert durch Art. 3. G. v. 22.04.1993; BGBl I, S. 466
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) – neugefasst durch Bek. V. 26.09.2002, BGBl I, S. 3830
- Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) – BGBl I, 1974, S.495, Neuord. Aufgeh. Durch §3 V.v. 24.07.1985, BGBl I, S. 1586 mit Wirkung v. 01.11.1985
- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) – neugefasst durch Bek. V. 05.09.2001, BGBl I, S. 2350, zuletzt geändert durch Art. 2 G. v. 18.06.2002, BGBl I, S. 1314
- Technische Anleitung Luft (TA Luft) – GMBL, 27.02.1986 S. 95, Neufassung Gmbl., 24.07.2002, Nr. 25/29
- Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis, Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) BGBl I 2001, S. 3379
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) – BGBl I, 1994, S. 2705, zuletzt geändert durch Art. 69, G. v. 21.08.2002, BGBl I, S.3322
- Tierkörperbeseitigungsgesetz (TierKbG) – neugefasst durch Bek. V. 11.04.2001, BGBl, S. 523, zuletzt geändert durch Art. 18, G. v. 25.06.2001, BGBl I, S. 1215
- Viehverkehrsverordnung (ViehVerkV) – neugefasst durch Bek. V. 24.03.2003, BGBl I, S. 381
- Futtermittelgesetz (FuttMG) – neugefasst durch Bek. V. 25.08.200, BGBl I, S. 1358, zuletzt geändert durch Art. 1, Abs. 1, G. v. 08.08.2002, BGBl I, S. 3316
- Bioabfallverordnung (BioAbfV) – BGBl I, 1998; S.2955, zuletzt geändert durch Art. 3, V.v. 25.04.2002, BGBl I, S. 1488
- Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (EG-Hygiene-VO-Abl L 273 vom 10.10.2002, S. 1-95)

Mit Übergangsverordnungen:

- Verordnung (EG) Nr. 809/2003 der Kommission vom 12.05.2003 betreffend Übergangsmaßnahmen gem. der Verordnung (EG) 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Verarbeitungsstandards für Material der Kategorie 3 und Gülle, die in Kompostieranlagen verwendet werden (ABl. L 117 v. 13.05.2003, S. 10-11) und
- Verordnung (EG) Nr. 810/2003 der Kommission vom 12.05.2003 betreffend Übergangsmaßnahmen gem. der Verordnung (EG) 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Verarbeitungsstandards für Material der Kategorie 3 und Gülle, die in Biogasanlagen verwendet werden (ABl. L 117 v. 13.05.2003, S. 12-13)
- Düngemittelgesetz (DüngMG) – BGBl I 1977, S. 2134, neugefasst durch Bek. V. 04.12.2003, BGBl I, S. 2373
- Düngemittelverordnung (DüngMV) – neugefasst durch Bek. V. 04.08.1999, BGBl I, S. 1758, zuletzt geändert am 26.11.2003, BGBl I, S.
- Düngeverordnung (DüngeV) – BGBl I, 1996, S. 118, zuletzt geändert durch Art. 1. V.V. 14.02.2003, BGBl I, S. 235

# Qualität und Verwertung des Gärrestes



## 8.1 Veränderungen der Substrateigenschaften durch den Gärprozess

Die Zusammensetzung der vergorenen Biomasse hinsichtlich der darin enthaltenen organischen Substanz, des Stickstoffgehaltes und der Stickstoffform sowie weiterer Nähr- und Schadstoffe ist von der Lagerdauer, der Herkunft und Zusammensetzung des Ausgangssubstrates und von den Gärverlauf bestimmenden Parametern abhängig (z. B. Temperatur, Raumbelastung).

Durch den Vergärungsprozess wird der **organische Trockensubstanzgehalt** des Ausgangssubstrates um ca. 24-80 % vermindert (vgl. Tabelle 8-1), da ein Großteil der Kohlenstoffverbindungen der organischen Trockensubstanz (oTS) in Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) abgebaut und als technisch verwertbares Gas (Biogas) energetisch genutzt wird.

Der Abbaugrad der organischen Substanz von *Wirtschaftsdüngern* hängt von verschiedenen Parametern ab. Dabei spielt die Tierart eine entscheidende Rolle. So kann bei Rindergülle von einem Abbaugrad von durchschnittlich 30 % (Milchvieh) bis 40 % (Mastvieh) ausgegangen werden, bei Schweinegülle von 40 % bis 50 % und bei Hühnergülle werden sogar durchschnittliche Abbaugradleistungen von 45 % bis 65 % gemessen. Die niedrigeren Abbaugrade bei der Rinder- bzw. Milchviehgülle im Vergleich zu den anderen Tierarten ist auf den höheren Rohfaseranteil im Futter und in der Folge auf einen höheren Rohfasergehalt im Dünger zurückzuführen. Zudem weisen Schweine- und Hühnergülle einen höheren Fett- und Kohlenhydratgehalt auf. Sie haben deshalb im Vergleich zum Flüssigmist von Rindern einen höheren Gehalt an abbaubarer Energie.

Beim zusätzlichem Einsatz von *nachwachsenden Rohstoffen* ist im Vergleich zum Wirtschaftsdünger von Nutztieren mit höheren Abbauraten und einem höhe-

ren Abbaugrad der organischen Substanz zu rechnen (vgl. Tabelle 8-1).

Neben den tierart- und haltungssystemspezifischen Parametern haben jedoch auch prozessbedingte Gärverlaufparameter entscheidenden Einfluss auf die Abbauraten und den Abbaugrad der organischen Substanz. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Parameter Temperatur und Verweilzeit des Gärgutes im Fermenter sowie die Raumbelastung zu nennen /8-1/.

Tabelle 8-1 gibt einen Überblick über Stoffkennwerte von vergorenem Wirtschaftsdünger bzw. Gülle-Substrat-Mischungen, die in Labor- und Praxisuntersuchungen erhoben wurden.

Die Vergärung mindert auch die Viskosität, die „Zähigkeit“ von Gülle, insbesondere die der Rindergülle. Dazu trägt maßgeblich die Verminderung des Trockensubstanzgehaltes, aber auch der Abbau der Schleimstoffe bei. Weiterhin wird die Viskosität von Gülle durch die darin befindlichen „Gasbläschen“ (Kohlendioxid und Methan) bestimmt. Durch die Vergärung werden diese Gase aus der Flüssigkeit freigesetzt, und damit auch die Viskosität verringert.

Weiterhin werden die **geruchsaktiven Substanzen** und die organischen Säuren vermindert. Der typische „Güllegeruch“ und die Geruchsintensität werden somit weitgehend eliminiert /8-1/. Die Reduktion der organischen Säuren trägt sowohl zur Verminderung des Geruches als auch zur Verringerung der Verätzung von Pflanzen bei.

Infolge des Abbaus der organischen Substanz wird auch ein Teil des organisch gebundenen **Stickstoffs** in die Ammoniumform (Ammoniumcarbonat) überführt. Daraus resultiert eine Erhöhung des Ammoniumanteils im Gärrest von ca. 5-10 % bei Gülle. Wird Stallmist vergoren, kann sich der Ammoniumanteil verdoppeln.

Der **pH-Wert** *unvergorener* Gülle liegt, bedingt durch deren hohe Pufferkapazität, um den Neutral-

Tabelle 8-1: Stoffkennwerte von Gärrest unterschiedlicher Ausgangssubstrate (erweitert nach /8-1/)

Substrat	Abbau org. Substanz [%]	Abbau org. Säuren [%]	Anteil NH <sub>4</sub> -N an N <sub>ges.</sub> [%]	pH-Wert	Autor
<b>Wirtschaftsdünger</b>					
Schweinegülle	54	83	70	7,7	Nach /8-1/
Schweinegülle	40	76	72		
Schweinegülle, separiert			73	7,9	
Milchviehgülle, separiert	24	68	50	7,9	
Rindergülle	30		47		
Rindergülle, separiert			63	8,3	
Bullengülle	52		74	8,0	
Hühnergülle	67		85	8,2	
Rinder- und Schweine-Festmist (Biobetrieb)	48		71	7,5	/8-2/
<b>Wirtschaftsdünger + NaWaRo</b>					
Gemisch aus Silomaissilage, Sonnenblumensilage, Wiesengrassilage und Bullenflüssigmist	80		58-64	7,8	/8-3/

punkt bzw. im schwach alkalischen Bereich. Nach der Methangärung ist eine Erhöhung des pH-Wertes im Gärrest auf 8 oder 8,5 zu verzeichnen. Dies hat Einfluss auf die Ammoniakverdunstung aus dem vergorenen Substrat:

Bei einem pH-Wert um 7,0 liegt der anorganische Stickstoffanteil in der Gülle nahezu ausschließlich als Ammoniumstickstoff vor, der nicht gasförmig entweichen kann. Mit steigendem pH-Wert wird das Ammonium in Ammoniak umgewandelt. Der Ammoniakanteil in der Gülle nimmt also zu, wohingegen der Ammoniumanteil proportional dazu abnimmt. Bei einem pH-Wert von 8,0 beträgt der Ammoniakanteil etwa 20 %. Erhöhte Ammoniakverluste während der Lagerung und vor allem nach dem Ausbringen des Gärrestes können die Folge sein (vgl. Kapitel 8.3).

Die Gesamtstickstoffgehalte werden durch den Fermentationsprozess nicht vermindert, durch den Abbau der Trockensubstanz und damit der Gesamtmasse erhöht sich der Anteil des Gesamtstickstoffgehaltes in der Frischmasse des Gärsubstrates leicht.

Die weiteren wertgebenden Inhaltsstoffe des Gärrestes **Phosphor, Calcium, Kalium und Magnesium** werden durch den biologischen Prozess in ihrer Masse nicht verändert. Wie beim Stickstoff wird auch ein Teil des Phosphors in die anorganische (besser pflanzenverfügbare) Form überführt. Kalium und Magnesium liegen in Wirtschaftsdüngern ohnehin überwiegend gelöst und leicht pflanzenverfügbar vor, so dass keine nennenswerten Veränderungen durch den Gärprozess zu erwarten sind. Aufgrund des Ab-

baus der Trockenmasse erhöht sich, wie beim Stickstoff, die Nährstoffkonzentration leicht.

Der Gehalt an **Schwefel** wird durch den Fermentationsprozess reduziert, da Schwefel in Form von Schwefelwasserstoff gasförmig mit dem Biogas aus dem Gärsubstrat entweicht. Schwefelwasserstoff ist als Gasbestandteil im Biogas jedoch unerwünscht, da es u. a. zu Korrosionen am BHKW führen kann. In der überwiegenden Anzahl der Biogasanlagen wird das Biogas daher durch eine biologische Entschwefelung (vgl. Kapitel 5.1 Gasaufbereitung) gereinigt. Die Entschwefelung bewirkt, dass ein Großteil des im Biogas gelösten Schwefelwasserstoffes durch die angesiedelten Schwefelbakterien zu elementarem Schwefel umgewandelt und somit in reiner Nährstoffform im Gärsubstrat verbleibt, so dass sich der Gesamt-Schwefel-Anteil im Substrat nur wenig reduziert.

Die Höhe der **Schadstoffkonzentrationen** im Gärrest werden im Wesentlichen durch die verwendeten Substrate bestimmt (vgl. Kapitel 4 Beschreibung ausgewählter Substrate).

**Schwermetalle**, die keinem biologischen Abbau unterliegen, reichern sich wegen des Abbaus organischer Substanz wie die Nährstoffe etwas an. Probleme treten dann im Genehmigungsrecht auf. Da in der BioAbfV die Grenzwerte für Schwermetalle auf die **Trockensubstanz** bezogen werden (mg/kg TS), kann sich bei einem Abbau der organischen Substanz von 50 % die Schwermetall-Konzentration verdoppeln, ohne dass sich die Gesamtmenge verändert (vgl. Kapitel 7) /8-5/.

Über den Abbau von **organischen Schadstoffen** wie Dioxinen, Furanen, polychlorierten Biphenylen etc. in Biogasanlagen ist wenig bekannt. Untersuchungen in Abwasser-Anaerobanlagen lassen erwarten, dass der Abbau dieser Stoffe in Biogasanlagen nicht signifikant beschleunigt wird.

Von besonderer Bedeutung ist weiterhin die **hygienische Unbedenklichkeit** des Gärrestes. Dies gilt insbesondere, wenn Infektionskreisläufe durchbrochen werden müssen.

Zur Elimination phyto- und seuchenhygienisch relevanter Organismen ist für Substrate tierischen Ursprungs nach EU-Recht (vgl. Kapitel 7) eine Hygienisierung- (70 °C) oder sogar Sterilisierungseinheit (133 °C) vorzusehen.

Eine keimabtötende Wirkung auf das Substrat tritt jedoch auch im Gärreaktor selbst auf. Sie ist abhängig von der Aufenthaltszeit des Substrates, der Betriebstemperatur und von physikalisch-chemischen Bedingungen im Fermenter. Bei vollständig durchmischten Fermentern besteht die Möglichkeit, dass ein Teil des neu in den Reaktor eingetragenen Substrates sogleich wieder ausgetragen wird. Dadurch ist es möglich, dass pathogene Keime zu kurz im Fermenter verbleiben, um abgetötet zu werden. Sie werden dann mit dem Gärrest ausgetragen und können bei landwirtschaftlicher Verwertung Pflanzenkrankheiten (Phytohygiene) verursachen, von Wildtieren aufgenommen werden, mit dem Futter zu den Nutztieren gelangen oder direkt über die Nahrung später wieder zum Menschen zurückgeführt werden (Seuchenhygiene) /8-6/.

Das Temperaturniveau, bei welchem der Vergärungsprozess abläuft, hat den wesentlichen Einfluss auf die Absterberate von Pathogenen.

Pflanzensamen (z. B. Hirse- und Tomatensamen) besitzen unter anaeroben, insbesondere auch hydrolytischen Bedingungen eine geringe Überlebensfähigkeit. In mesophilen, einstufigen Anlagen kommt es innerhalb einiger Tage zu einer Keimverzögerung und damit innerhalb der durchschnittlichen Verweilzeit im Fermenter zu einem Absterben der Samen. In thermophilen Anlagen sowie unter den hydrolytischen Bedingungen im Zweistufenprozess erfolgt das Absterben rascher.

Seuchenhygienisch bedenkliche Bakterien (z. B. Salmonellen) werden unter mesophilen Bedingungen in der Regel innerhalb weniger Tage um 90 % dezimiert. Unter thermophilen Bedingungen beträgt die Dauer bis zu ihrer 90-%igen Elimination wenige Stunden. Dennoch können sich im Fermenter unter mesophilen Betriebsbedingungen (35 °C) auch nach 20 Ta-

gen Verweilzeit immer noch bis zu rund 10 % der Bakterien wiederfinden. Werden zwei Fermenter hintereinander angeordnet, steigt diese Keimreduktion bereits auf 99 %. Eine unvollständige Abtötung ist oftmals nur auf die ungünstige Aufenthaltszeit-Verteilung im Reaktor zurückzuführen.

Als ein Vertreter der Pilze ist der Erreger der Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*) ins Untersuchungsspektrum der Bioabfallverordnung aufgenommen worden. Bei der indirekten Prozessprüfung wird der Erreger auch unter mesophilen Bedingungen und kurzen Einwirkzeiten in hohem Maße inaktiviert.

Das Infektionspotenzial verschiedener Wurmeier und -larven wird ebenfalls im mesophilen Bereich bereits innerhalb von wenigen Tagen und unter thermophilen Bedingungen innerhalb von wenigen Stunden weitgehend zerstört.

Die Überlebensdauer von Enteroviren unter anaerob-thermophilen Bedingungen ist sehr unterschiedlich und reicht, je nach Organismus, von mehreren Minuten bis zu mehreren Wochen. Auch phytopathogene Viren besitzen unter anaeroben Bedingungen eine hohe Tenazität. So wird der Tabak-Mosaik-Virus als Einlegeprobe in Keimträgern unter Hygienisierungsbedingungen der Bioabfallverordnung nicht hinreichend abgetötet. Dies gilt auch für andere phytopathogene Viren.

Die Milieubedingungen Exoenzymgehalt, Säuregehalt und Redoxpotenzial bei der Vergärung wirken in stärkerem Maß abtötend oder stark hemmend auf Pathogene als das Fehlen von Sauerstoff (Anaerobie). Besonders hygienisierend wirken die Prozessbedingungen der Hydrolyse, die bei leicht saurem pH-Wert und gleichzeitig hohen Konzentrationen an Exoenzymen stattfindet, wodurch pathogene Keime und Unkrautsamen effizient angegriffen werden.

Nach /8-6/ sind hinsichtlich der Hygienisierungswirkung Pfpfropfenstromfermenter oder Reaktorkaskaden vorteilhaft, da sichergestellt wird, dass das gesamte Gärgut in ausreichendem Maße den hygienisierenden Bedingungen ausgesetzt ist. In einem einstufigen Reaktor mit gutem Pfpfropfenstromverhalten bzw. in Serie geschalteten Reaktoren lässt sich auch im mesophilen Temperaturbereich eine weitestgehende Hygienisierung erreichen; nur bei sehr wenigen, sehr resistenten Erregern müssen Einschränkungen gemacht werden.

Oftmals unterschätzt, aber auch wenig erforscht, ist bislang das Infektionsrisiko durch Pflanzenschädlinge im Gärrest. Bei der Kofermentation von Abfällen pflanzlichen Ursprungs (Haushalt, Garten, Komposte) ist davon auszugehen, dass die Rohstoffe einen



hohen Gehalt keimfähiger Unkrautsamen aufweisen. Diese können bei ungeeigneter Behandlung zu einer zusätzlichen Verunkrautung der Kulturflächen führen.

Grundsätzlich zu berücksichtigen ist, dass ein hygienisch unbedenklich aus dem Fermenter austretender Gärrest durch Kurzschlussströmungen bei der Lagerung durchaus wieder neu mit Pathogenen belastet werden kann.

Weitere Hinweise zu Hygienisierungsanforderungen an bestimmte Ausgangssubstrate bzw. Hygienisierungsanforderungen vor einer Weiterverwendung des Gärrestes sind in Kapitel 7 zusammengestellt.

## 8.2 Konsequenzen für die Lagerung des Gärrestes

Bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern kommt es zu Emissionen von klimarelevanten Gasen wie Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sowie zu Emissionen von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Geruchsstoffen.

### 8.2.1 Ammoniakemissionen

Im Zuge der Fermentation steigt der Ammoniumanteil im Gärrest an und führt zu einem Anstieg des pH-Wertes. Hierdurch wird die Umwandlung von Ammonium zu Ammoniak gefördert. Dies bedeutet, dass während der Lagerung das Ammoniakemissionspotenzial aus dem Gärrest ansteigt.

Weiterhin wird ein Großteil des Trockensubstanzgehaltes durch den Vergärungsprozess *reduziert*, so dass eine emissionsmindernde Schwimmschichtbildung, wie sie bei der Lagerung unvergorener Gülle zu beobachten ist, nur noch eingeschränkt möglich ist.

Besteht der Gärrest z. B. allein aus vergorener Gülle, so weist dieser nach Untersuchungen von /8-7/ zwischen 21 und 64 % höhere Ammoniakemissionen als unvergorene Gülle auf. Andere Untersuchungen zeigten keine Verminderung der Ammoniakemissionen durch den Biogasprozess gegenüber unbehandeltem Flüssigmist, jedoch wurde in vielen Fällen eine vergleichbare freigesetzte Ammoniakmenge festgestellt.

In einem Forschungsprojekt der Universität für Bodenkunde, Wien, /8-8/ wurden die Emissionen von Ammoniak, Lachgas und Methan während der Lagerung und nach der Ausbringung von Milchvieh- und Schweineflüssigmist unter praxisnahen Bedingungen untersucht. Ergebnisse des Projektes sind in Tabelle 8-2 aufgeführt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass das Behandlungsverfahren „anaerobe Vergärung“ **Ammoniakemissionen** nicht vermindern kann. Nach Aussagen des Forschungsberichtes traten die Emissionen jedoch überwiegend während der Ausbringung auf und können somit durch die Wahl der Ausbringtechnik und des Zeitpunktes wirksam beeinflusst werden (vgl. Kapitel 8.4 und 8.5).

### 8.2.2 Klimarelevante Emissionen

Hinsichtlich des Einflusses verschiedener Flüssigmist-Behandlungsverfahren auf den Umfang gasförmiger Emissionen wurde ein großflächig angelegter Versuch durchgeführt /8-8/. Die Ergebnisse der Untersuchungen können den Tabellen 8-3 und 8-4 entnommen werden.

In Bezug auf die Minderungswirkung klimarelevanter Emissionen ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) verschiedener Verfahren der Behandlung von Milchviehflüssigmist und Schweineflüssigmist in der Verfahrenskette „Lagerung“ und „Ausbringung“ zeigt die Biogaserzeugung die beste Wirkung.

Wie den Tabellen 8-3 und 8-4 und Tabelle 8-2 weiter zu entnehmen ist, senkt die Biogaserzeugung die klimarelevanten Gesamt-Emissionen im Vergleich zu unbehandeltem Flüssigmist um bis zu 60-75 %.

Dieses Emissionsreduktionspotenzial der aufgeführten klimarelevanten Gase  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  ist jedoch überwiegend auf eine Verminderung der **Methanemissionen** aus dem Gärrest um bis zu 75 % zurückzuführen (vgl. Tabelle 8-3 und 8-4).

Die Methanbildung aus vergorener Gülle wird durch den anaeroben Prozess erheblich verringert, da bereits durch die Bildung des Biogases im Fermenter ein Teil der organischen Substanz des Gärsubstrates von Bakterienkulturen metabolisiert wurde und diese somit im Lagerbehälter als potenzieller Reaktionsbaustein nicht mehr in vollem Umfang zur Verfügung steht. Der Grad der Verminderung von Methanemissionen hängt somit entscheidend von dem **Abbaugrad** der organischen Substanz und damit einhergehend auch von der Verweildauer des Ausgangssubstrates im Fermenter ab. So konnte in verschiedenen Untersuchungen gezeigt werden, dass Gärreste mit einer kurzen Fermentationsphase, d.h. einer geringen Verweilzeit im Fermenter mehr  $\text{CH}_4$  emittieren als Gärreste mit längerer Verweilzeit im Fermenter. Weiterhin ist es sogar denkbar, dass sich die  $\text{CH}_4$ -Emissionen aus dem Gärrest im Vergleich zu unbehandelter Gülle erhöhen können, wenn durch eine sehr kurze Verweildauer das Substrat gerade mit

Tabelle 8-2: NH<sub>3</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Milchvieh- und Schweinegülle (gerundet nach /8-8/)

	Behandlung	NH <sub>3</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		GHG <sup>a</sup>
		[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[% CO <sub>2</sub> Äq.]
Milchviehgülle	unbehandelt	227	100	4.047	100	24	100	100
	Vergärung	230	101	1.345	33	31	130	41
Schweinegülle	unbehandelt	211	100	866	100	56	100	100
	Vergärung	263	125	217	25	77	138	80

a. GHG = greenhouse gas emissions = klimarelevante Emissionen

Tabelle 8-3: NH<sub>3</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Milchviehflüssigmist (gerundet nach /8-8/)

Behandlung	NH <sub>3</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		GHG <sup>a</sup>
	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[% CO <sub>2</sub> Äq]
unbehandelt	227	100	4.047	100	24	100	100
Separiert	403	178	2.363	58	29	120	63
Vergärung	230	101	1.345	33	31	130	41
Strohdecke	320	141	4.926	122	53	220	130
Belüftung	423	186	1.739	43	54	227	58

a. GHG = greenhouse gas emissions = klimarelevante Emissionen

Tabelle 8-4: NH<sub>3</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O- und klimarelevante Emissionen während der Lagerung und nach der Ausbringung von Schweineflüssigmist (gerundet nach /8-8/)

Behandlung	NH <sub>3</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		GHG <sup>a</sup>
	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[g/m <sup>3</sup> ]	%	[% CO <sub>2</sub> Äq]
unbehandelt	211	100	866	100	56	100	100
Separiert	314	149	249	29	41	74	51
Vergärung	263	125	217	25	77	138	80
Strohdecke	254	121	906	105	168	298	199
Belüftung	728	345	1.328	153	559	995	28

a. GHG = greenhouse gas emissions = klimarelevante Emissionen

Methanbildnern angeimpft ist, und es bereits wieder aus dem Reaktor ausgeschleust wird und in das Gärrestlager gelangt /8-9/.

Auf Basis mehrjähriger Untersuchungen gilt daher die allgemeine Empfehlung für Anlagenbetreiber:

- die Verweilzeit bei Rindergülle sollte 28 bis 35 Tage und bei Schweinegülle 25 Tage nicht unterschreiten.
- bei der Kofermentation mit Energiepflanzen wird für Mais eine hydraulische Verweilzeit von 41 bis 44 Tagen und bei Klee gras von 45-47 Tagen empfohlen.

**Andernfalls ist mit erheblichen Methanenergieverlusten und Atmosphärenbelastungen zu rechnen.**

Weiterführende Untersuchungsergebnisse zur Emissionsminderung verschiedener **Abdeckungsvarianten** für vergorene Biogasgülle haben gezeigt, dass der Effekt der Biogasbehandlung allein schon deutliche Einsparungseffekte für klimarelevante Gasemissionen während der Lagerung im Vergleich zu unbehandeltem Milchviehflüssigmist ermöglicht /8-8/ (vgl. Tabelle 8-5).

Laut den Versuchsergebnissen sollte bei der Auswahl von Behälterabdeckungen für einen Gärrest-



Tabelle 8-5: Kumulierte  $\text{CH}_4$ -,  $\text{NH}_3$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - und klimarelevante Gasemissionen (GHG) während der Lagerung von Milchviehflüssigmist gemessen im Winter und im Sommer (gerundet nach [8-8])

Behandlung	Winter Experiment				Sommer Experiment			
	$\text{CH}_4$ [g m <sup>-3</sup> ]	$\text{NH}_3$ [g m <sup>-3</sup> ]	$\text{N}_2\text{O}$ [g m <sup>-3</sup> ]	GHG [kg CO <sub>2</sub> eq. m <sup>-3</sup> ]	$\text{CH}_4$ [g m <sup>-3</sup> ]	$\text{NH}_3$ [g m <sup>-3</sup> ]	$\text{N}_2\text{O}$ [g m <sup>-3</sup> ]	GHG [kg CO <sub>2</sub> eq. m <sup>-3</sup> ]
Unbehandelt mit nat. Schwimmdecke	164	73	44	17	3591	111	49	91
Unbehandelt mit Abdeckung (Holzdeckel)	142	52	38	15	2999	60	59	81
nach Vergärung	111	62	40	15	1154	223	72	47
nach Vergärung mit Strohabdeckung	115	50	40	15	1192	126	76	49
Biogas mit Stroh und zusätzlichem Holzdeckel	81	49	41	14	1021	78	61	41

lagerbehälter nicht auf eine Strohabdeckung zurückgegriffen werden, da diese keine  $\text{CH}_4$ -Emissionsminderungsmaßnahme ist. Wenn der Gärrestzufluss dann auch noch von oben in das Gärrestlager erfolgt, wie es bei einem Überlaufmechanismus üblich und gängige Praxis ist, so wird die Schwimmschicht bzw. -decke zerstört und es kann vermehrt z. B. Methan, das aus der „Restgärung“ im Lagerbehälter entstanden ist, austreten. Daher sollte auf jeden Fall die Eignung einer Lagerbehälterabdeckung im Hinblick auf einen Emissionsminderungseffekt geprüft werden.

Eine „gasdichte“ Abdeckung des Lagerbehälters hat nicht nur den Vorteil, gasförmige Emissionen erheblich zu vermindern, sondern ermöglicht zusätzlich, im Lagerbehälter gebildetes Biogas aufzufangen und zu verwerten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Biogasprozess die **Methan**emissionen erheblich vermindert. Bei der Lagerung des Gärrestes sollten jedoch folgende Punkte beachtet werden:

- Dimensionierung des Fermenters im Hinblick auf eine ausreichend lange Verweildauer in Abhängigkeit von der Substratzusammensetzung
- Steigerung des Abbaugrades durch geeignete Maßnahmen
- Geeignete, besser „gasdichte“ Abdeckung des Lagerbehälters.

Hinsichtlich der **Lachgas**emissionen zeigen verschiedene Untersuchungen sehr unterschiedliche Ergebnisse. So kann sowohl eine Verringerung als auch eine Zunahme der emittierten Lachgasmenge aus dem Gärrest im Vergleich zu unbehandeltem Flüssigmist beobachtet werden [8-10/, /8-11/.

Schon aus Untersuchungen zum  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionsverhalten von unbehandeltem gelagertem Flüssigmist kommt der Temperatur eine erhebliche Bedeutung zu [8-12/.

Die Ergebnisse aus Tabelle 8-5 unterstreichen den angeführten Temperatureinfluss auch bei vergorenem Flüssigmist. So ist der Umfang der Lachgasemissionen aus Gärrestlagerung im Winter mit dem aus der Lagerung unbehandelten Flüssigmistes mit natürlicher Schwimmdecke vergleichbar.

Im Sommer hingegen sind weitaus höhere Emissionen aus Gärrestlagerung als im Winter zu verzeichnen, weiterhin übersteigt der Umfang der Emissionen aus Gärrestlagerung im Sommer den aus unbehandeltem Flüssigmist um bis zu 50 %.

Um Schadgasemissionen weitgehend zu vermeiden, muss auch bei der Lagerung von vergorener Gülle aus Biogasanlagen darauf geachtet werden, die Güllelagerbehälter unbedingt abzudecken. Bei einem zweistufigen Fermentationsprozess (vgl. Kapitel 3) dient hierzu der an das gasführende System angeschlossene zweite Fermenter (sog. „Nachfermenter“).

### 8.3 Konsequenzen für die Düngewirkung des Gärrestes

Beim Einsatz von Gärresten sind, wie auch beim Einsatz von unbehandelten Wirtschaftsdüngern, gemäß der DüngeVO folgende Grundsätze besonders zu beachten:

- Ausbringung mit geeigneter Technik zur Vermeidung von Nährstoffverlusten,
- unverzügliche Einarbeitung auf unbestellten Flächen in den Boden,
- keine Anwendung, wenn der Boden nicht aufnahmefähig ist (schneebedeckt, tiefgefroren, wassergesättigt),
- nach Ernte der Hauptfrucht Anwendung nur bis in Höhe von 80 kg Gesamt-N oder 40 kg Ammonium-N je ha auf im Herbst zu bestellende Flächen bzw. zur Strohdüngung,
- keine Ausbringung in der Zeit vom 15. November bis 15. Januar.

Die Höhe der Düngergaben ist unter Berücksichtigung des Nährstoffbedarfes der anzubauenden Fruchtart, der Wirksamkeit der anzuwendenden Dünger, der Nachwirkung vorangegangener Düngemaßnahmen sowie der Nährstoffversorgung des Bodens zu bemessen.

#### 8.3.1 Verfügbarkeit und Nährstoffwirkung von Stickstoff

Die durch den Abbau organischer Feststoffe verringerten Trockensubstanzgehalte bedingen eine gleichmäßigere Struktur sowie eine geringere Teilchengröße im Gärrest.

Für die Düngewirkung sind folgende Veränderungen des Gärrestes von Bedeutung:

- verbesserte Fließfähigkeit,
- Geringere Ätzwirkung auf Pflanzen durch den Abbau organischer Säuren,
- Verringerung des C/N-Verhältnisses und daraus folgend
- eine etwas bessere, kurzfristige Düngewirkung

Die bessere Fließfähigkeit bewirkt weniger Probleme beim Umpumpen, Homogenisieren und Ausbringen der Gülle. Dies fällt besonders bei der zur Minderung der Ammoniakemissionen notwendigen anspruchsvollen Gülle-Applikationstechnik (Schleppschläuche, Schleppschuh) ins Gewicht. Der Gärrest bzw. dünne Gülle, insbesondere Gülle mit einem TS-Gehalt unter 4,5 %, läuft besser am Bewuchs ab und verursacht deshalb geringere Futtermittelverschmutzung.

Der Effekt der verringerten Ätzwirkung spielt eine eher untergeordnete Rolle. Verätzungen treten meist nur dann auf, wenn frisch ausgeschiedene Gülle auf Pflanzen ausgebracht wird, denn unmittelbar nach der Ausscheidung steigen die Gehalte der dafür verantwortlichen organischen Säuren. Wenn Rohgülle mehrere Monate gelagert wurde, sind Verätzungen bei der Ausbringung nicht zu erwarten.

Das C/N-Verhältnis im Gärrest verengt sich infolge der Methangärung entsprechend dem Ausfäulungsgrad von etwa 9:1 auf ca. 5-6:1 bei Flüssigmist bzw. 15:1 auf 7:1 bei Festmist /8-13/, /8-2/. Dies bewirkt eine geringere Stickstofffestlegung im Boden und folglich eine etwas bessere N-Verfügbarkeit bei der Anwendung des Gärrestes im Pflanzenbau.

#### Modellbetrachtungen zur N-Wirkung

Die Auswirkungen auf die Stickstoffverfügbarkeit sind in den Tabellen 8-6 und 8-7 modellhaft dargestellt (nach /8-19/). In die Überlegungen und Annahmen wurden die Ergebnisse von /8-15/, /8-13/, /8-16/, /8-17/ sowie /8-18/ einbezogen.

##### Modellbetrachtung 1

Tabelle 8-6 zeigt die Stickstoffverfügbarkeit von *unvergoener* (RG) und *vergoener* Rindergülle, die *oberflächlich* (RGv) bzw. mit *Schleppschläuchen* (RGvS) ausgebracht wird sowie von *unvergoener* Rindergülle, die zur Vermeidung von Ammoniakverlusten unmittelbar nach der Ausbringung *eingearbeitet* wird (RGe).

Es wird vereinfachend angenommen, dass sich der Stickstoffgehalt von Rindergülle während der Vergärung und der Lagerung nicht verändert (Abdeckung des Güllelagerbehälters). Der Anteil des Ammonium-N am Gesamt-N beträgt 50 % bei Rohgülle und 55 % bei vergorener Gülle. Angenommen wird weiter, dass in allen Varianten die gleiche Stickstoffmenge (160 kgN/ha) ausgebracht wird.

Unter der Annahme, dass die Ammoniakverluste bei *oberflächlich ausgebrachter, unvergoener Rindergülle* (RG) 40 % betragen und 10 % des org. gebundenen Stickstoff im Ausbringungsjahr mineralisiert werden, ist von einer Stickstoffverfügbarkeit im Anwendungsjahr von 56 kg bzw. 35 % des Gesamt-N auszugehen. Fünf Jahre nach der Ausbringung (Annahme: Mineralisation des organisch gebundenem Stickstoff im Jahr nach der Ausbringung 5 %, danach jeweils 3 %) sind nur 41 % des ausgebrachten N freigesetzt (pflanzenverfügbar) worden.

Vergorene Rindergülle (RGv) enthält mehr Ammonium-N, entsprechend weniger organisch gebunde-

Tabelle 8-6: Kalkulation zur Abschätzung des theoretisch verfügbaren Stickstoffs aus unvergorener und vergorener Rindergülle (Berechnung nach [8-19])

	Einheit	Rindergülle, unvergoren (RG)	Rindergülle vergoren (RGv)	Rindergülle, vergoren, Schleppschlauch (RGvS)	Rindergülle, unvergoren, eingearbeitet (RGe)
N-Gehalt	[kg/t]	4	4	4	4
Anteil NH <sub>4</sub> -N am Gesamt-N	[%]	50	55	55	50
Ausgebrachte Menge	[t/ha]	40	40	40	40
Ausgebrachte N-Menge	[kg/ha]	160	160	160	160
davon NH <sub>4</sub> -N		80	88	88	80
org. geb. N		80	72	72	80
abzüglich NH <sub>3</sub> -Verluste RG u. RGv 40 %, RGvS 25 %, RGe 10 % des NH <sub>4</sub> -N)	[kg]	32	35	22	8
abzüglich des im Anwendungsjahr nicht wirksamen org. geb. N RG 90%, RGv, RGvS 95%, RGe 90% des org. geb. N	[kg]	72	68	68	72
Zuzügl. „C/N-Effekt“ vergorenes Substrat	[kg]	-	7	7	-
Verbleibender, im Anwendungsjahr theoretisch pflanzenverfügbarer Stickstoff	[kg]	56	63	77	80
	[% d. ausgebrachten Nt]	35	40	44	50
Fünf Jahre nach der Anwendung insgesamt verfügbar gewordener Stickstoff	[kg]	66	70	83	90
	[% d. ausgebrachten Nt]	41	44	52	56

nen Stickstoff. Die prozentualen Ammoniakverluste sind gleich hoch, da sich die Effekte der pH-Wert-Erhöhung und die verbesserte Infiltration in den Boden neutralisieren. Unterschiedlich im Vergleich zur unvergorenen Gülle ist die geringere Immobilisierung von Stickstoff im Boden, angenommen mit „einem Bonus“ von 7 kg für die vergorene Gülle. Im Anwendungsjahr werden folglich 40 % und 5 Jahre nach der Anwendung 44 % des Stickstoffs pflanzenverfügbar. Der Unterschied zur unvergorenen Gülle ist jedoch gering. Eine bessere Wirkung wird erzielt durch die Ausbringung der vergorenen Gülle mit Schleppschläuchen in wachsende Bestände (RGvS, vgl. dazu auch Kapitel 8.5). Durch die Minderung der Ammoniakverluste kann die N-Ausnutzung im Anwendungsjahr auf 44 % gesteigert werden.

Am Beispiel der eingearbeiteten Rindergülle soll verdeutlicht werden, dass weniger die Art der Güllebehandlung, sondern vielmehr die Verminderung von Ammoniakverlusten für die Höhe der N-Ausnutzung entscheidend ist.

## Modellbetrachtung 2

Tabelle 8-7 zeigt die Wirkung der *Einarbeitung vergorener Gülle* (RGve) und den Einfluss der Nassvergärung von *Festmist* (FM und FMve) auf die N-Verfügbarkeit.

Im Vergleich zur unbehandelten Gülle bewirkt die *Einarbeitung von vergorener Gülle* einen Anstieg der N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr um 27 kg auf 52 % (RGve).

Aufgrund des geringen Ammonium-Gehaltes von Festmist ist dessen N-Verfügbarkeit im Anwendungsjahr sehr gering und beträgt nur etwa 19 % des applizierten N (FM). Auch eine Einarbeitung kann die Ausnutzung wegen des geringen Gewinns an Ammonium-N nur begrenzt verbessern. Dagegen bewirkt eine Festmist-N-Mineralisierung durch den *Vergärungsprozess* einen signifikanten Anstieg der Ammonium-Gehalte (Annahme: Zunahme von 10 auf 30 % des Gesamt-N). Dieses Ammonium wird durch *Einarbeitung* vor der Verflüchtigung geschützt, die N-Ausnutzung im Anwendungsjahr kann um etwa 50 % gesteigert werden (FMve).

Tabelle 8-7: Kalkulation zur Abschätzung des theoretisch verfügbaren Stickstoffs aus unvergorener und vergorener Rindergülle und Rinderfestmist (Berechnung nach /8-19/)

	Einheit	Rindergülle, unvergoren (RG)	Rindergülle vergoren, eingearbeitet (RGve)	Festmist, (FM)	Festmist, vergoren, eingearbeitet (FMve)
N-Gehalt	[kg/t]	4	4	7	4
Anteil NH <sub>4</sub> -N am Gesamt-Stickstoff	[%]	50	55	10	30
Ausgebrachte Menge	[t/ha]	40	40	23	40
Ausgebrachte N-Menge	[kg/ha]	160	160	160	160
davon NH <sub>4</sub> -N		80	88	16	48
org, geb. N		80	72	144	112
abzüglich NH <sub>3</sub> -Verluste RG u. RGve 40 %, FM 50 %, FMve 10 % des NH <sub>4</sub> -N)	[kg]	32	9	8	6
Abzüglich des im Anwendungsjahr nicht wirksamen org. geb. N: RG 90%, RGve 95%, FM 80%, FMve 90% des org. geb. Stickstoff	[kg]	72	68	122	106
Zuzügl. „C/N-Effekt“ vergorenes Substrat	[kg]	-	7	-	11
Verbleibender, im Anwendungsjahr theoretisch pflanzenverfügbarer Stickstoff	[kg]	56	83	30	49
	[% d. ausgebrachten Nt]	35	52	19	31
Fünf Jahre nach der Anwendung insgesamt verfügbar gewordener Stickstoff	[kg]	66	91	53	64
	[% d. ausgebrachten Nt]	41	57	33	39

### 8.3.2 Weitere Konsequenzen der Vergärung auf die pflanzenbauliche Nutzung

Bei Anwendung von Gülle, ob unbehandelt oder in einer Biogasanlage vergoren, kann davon ausgegangen werden, dass Phosphor und Kalium etwa die gleiche Wirkung wie Mineraldünger aufweisen. Obwohl bei ausgefaulter Gülle eine höhere Löslichkeit des Phosphors in 0,1 N HCl nachgewiesen wurde, waren in Gefäßversuchen zwischen unbehandelter und behandelter Gülle keine Unterschiede in der Wirkung festzustellen.

Die Bildung von Biogas ist mit einem Abbau an organischer Substanz von mehr als 30 % verbunden. Da es sich hierbei um den leicht umsetzbaren Teil handelt, bleiben die für die Reproduktion des Humus nötigen höhermolekularen Ligninverbindungen weitgehend erhalten. In Modellversuchen für Gärrückstände aus Schweinegülle ermittelten /8-15/ die gleiche Humusproduktionsleistung wie für Rottemist.

Bei der Gülleausbringung auf den Pflanzenbestand ergeben sich hinsichtlich der Ätzwirkung und der Futteraufnahme durch weidende Tiere keine gesicherten Unterschiede zwischen unbehandelter und fermentierter Gülle. Auch hier haben Ausbringungszeitpunkt und Witterung einen wesentlicheren Einfluss. Neuere Ergebnisse /8-7/ zeigen, dass Tiere das Futter von Flächen, die mit ausgefaulter Gülle gedüngt wurden, besser aufnehmen als von Flächen mit unbehandelter Gülle, aber immer noch in deutlich geringerem Maße als von ungedüngten oder mineralisch gedüngten Flächen.

### 8.4 Günstige Einsatztermine für flüssige Wirtschaftsdünger und Gärreste

Bei der Wahl eines günstigen Ausbringtermins entsteht ein Zielkonflikt zwischen maximaler Emissionsminderung und den pflanzenbaulichen Erfordernissen. Die weitreichendsten Emissionsminderungen sind mit der direkten Einarbeitung erreichbar. Diese

ist auf unbewachsenem Ackerland im Sommer und Herbst durchführbar. Bei der Düngung von Reihenkulturen ist im Zuge der Ausbringung eine sofortige oberflächliche Einarbeitung mit Rollhacken oder Häufelscharen möglich. Die Ausbringmenge zu diesem Termin wird jedoch durch die Regelung der DüngeVO (max. Ausbringmenge von 40 kg anrechenbarer N pro ha) begrenzt.

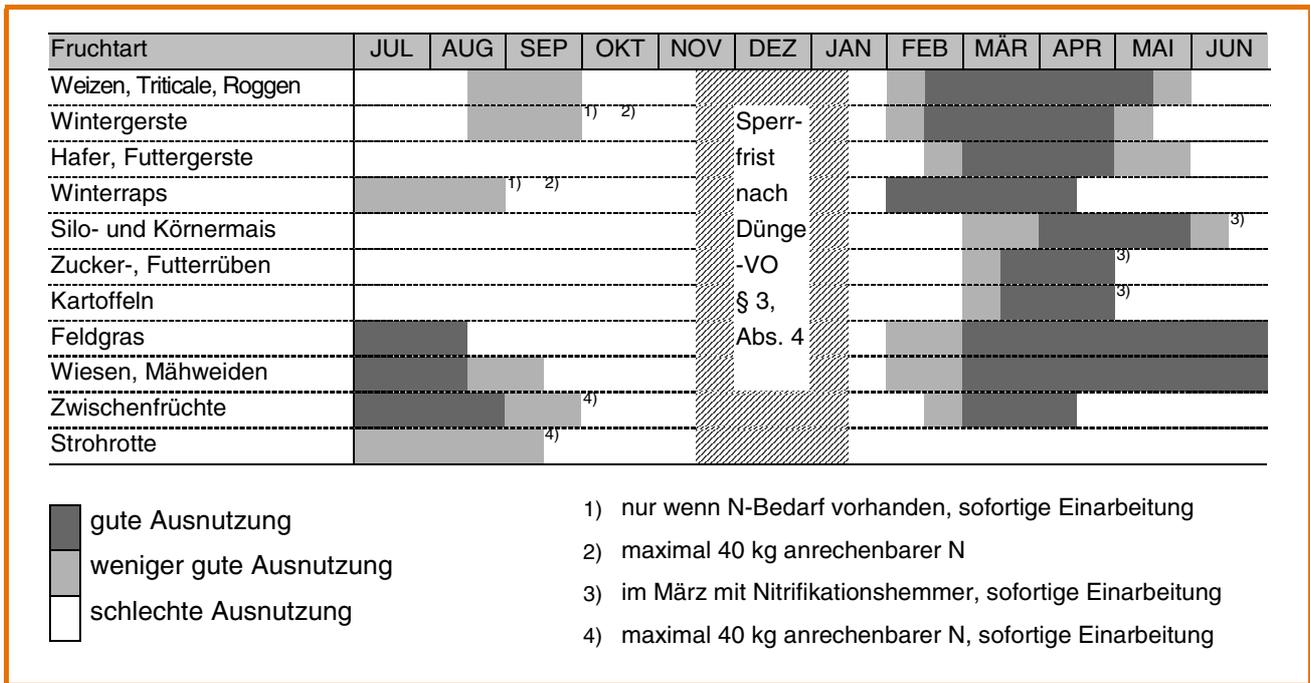


Abb. 8-1: Ausbringzeiträume für Gärreste und flüssige Wirtschaftsdünger (8-14)

Der Dungeinsatz im Sommer und Herbst vor dem Anbau von Hackfrüchten ist aus pflanzenbaulichen Gründen überwiegend auf die Düngung von Zwischenfrüchten vor der Hackfrucht begrenzt. Der Nährstoffbedarf der Hackfrucht wird dann hauptsächlich aus dem Bodenvorrat gedeckt. Zwischenfrüchte spielen aber in vielen Regionen nur eine unbedeutende Rolle. Die Ausbringung zu Hackfrüchten, insbesondere Mais, erfolgt daher vor allem im Frühjahr.

**Hinweis:** Der pauschale Abzug von 20 % des im Wirtschaftsdünger enthaltenen Gesamtstickstoffs für Ausbringverluste bei der Bemessung der Ausbringungsobergrenzen ist seit In-Kraft-Treten der Novellierung der Düngeverordnung zum 14.02.2003 nicht mehr zulässig.

Häufig wird mit einer geringeren N-Auswaschung von Biogasgülle im Vergleich zu Rohgülle argumentiert. Dies kann in Sonderfällen zutreffen, allgemein gilt dies jedoch nicht. Die Auswaschung von Wirtschaftsdünger-Stickstoff ist primär abhängig von der ausgebrachten Stickstoffmenge, des Ausbringungstermins und der gedüngten Kultur bzw. der Nährstoffaufnahme-fähigkeit der Kultur. Wird die Düngung nach Menge und Termin an den Nährstoffbedarf der Kulturpflanze angepasst, ist ein Unterschied bei der Auswaschung nicht zu erwarten.

## 8.5 Applikationstechniken für den Gärrest

Voraussetzungen für eine pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung sind neben einem geeigneten Ausbringungstermin eine gleichmäßige Längs- und Querverteilung sowie eine möglichst geringe Pflanzenverschmutzung. Die technische Entwicklung der letzten Jahre hat zu unterschiedlichen Exaktverteileinrichtungen geführt. Nach der Art der Flüssigkeitsablage auf der Fläche lassen sich fünf Verteilerbauarten unterscheiden (vgl. Tabelle 8-8):

Tabelle 8-8: Exaktverteileinrichtungen und Art der Flüssigkeitsablage (nach /8-20/ und /8-21/)

Verteileinrichtung	Art der Flüssigkeitsablage
Breitverteiler	verteilen den Flüssigmist bzw. Gärrest breitflächig auf der Fläche
Schleppschlauchverteiler	legen den Flüssigmist bzw. Gärrest streifenförmig auf der Bodenoberfläche ab
Schleppkufen	legen den Flüssigmist bzw. Gärrest unter die Pflanzen in den obersten Krumenbereich ab
Schleppscheiben	legen den Flüssigmist bzw. Gärrest im oberen Krumenbereich ab
Gülleinjektoren	legen den Flüssigmist bzw. Gärrest im mittleren Krumenbereich ab

Für die Verteilung von ausgefauter Gülle ist besonders die Eignung des Schleppschlauchverteilers hervorzuheben. Er eignet sich besonders für Ackerland und kann sowohl auf unbestelltem Ackerland als auch im wachsenden Bestand eingesetzt werden. Der Vorteil der Schleppschlauchtechnik liegt in der bandförmigen (damit Verringerung der emittierenden Oberfläche) Platzierung der Gülle auf die Bodenoberfläche, in wachsende Beständen ohne mit den oberirdischen Pflanzenteilen in Berührung zu kommen. Hierdurch wird die Gülle vor Sonneneinstrahlung und Wind geschützt, was sich zusätzlich mindernd auf die Emissionen auswirkt. Besonders bei dünnflüssigen Wirtschaftsdüngern ist mit einem deutlichen Minderungseffekt der Ammoniakemissionen zu rechnen. Bei Jauche, Schweinegülle und auch bei anaerob vergorener Rindergülle ist in wachsenden Beständen mit einer Minderung der Ammoniakemissionen von 30 bis 50 % des Ammonium-N zu rechnen (/8-20/). Das Minderungspotential hingegen bei z. B. dickflüssiger Rindergülle ist eher als gering einzustufen.

Die folgende Tabelle 8-9 gibt einen Überblick über Arbeitskenndaten und Anhaltswerte zur Eignung des Einsatzes o.g. Exaktverteiltern.

Tabelle 8-9: Arbeitsbreite, Arbeitstiefe und Einsatzgebiete verschiedener Exaktverteiltern (nach /8-21/)

	Arbeitsbreite [m]	Arbeits-tiefe [cm]	Mehrkosten gegenüber Breitver- teiler [€/m <sup>3</sup> ]	Einsatz auf bzw. in				
				gepflüg- tem Acker	Stoppel- acker	stehendem Getreide	stehendem Mais	Grün- land
Breitverteiler	6 – 12	0		+	+	+	0	+
Schlepp- schlauch	9 – 24	0	0,77	+	+	+	+	+0
Schleppschuh	3 – 12	0 – 3	1,28	0	+	0	-	+
Schleppscheibe	3 – 7	bis 5	1,79	0	+	-	-	+
Gülleinjektion	3 – 6	5 – 15	3,07	+	+	-	-	-

+ = gut geeignet; 0 = bedingt geeignet; - = nicht geeignet



## 8.6 Anfallende Abwässer und Gärrestaufbereitung

Sofern keine technische Aufbereitung des Gärrestes z. B. durch eine Separation in Fest- und Flüssigphase in der Biogasanlage erfolgt, fallen im Betrieb einer Biogasanlage keine Abwässer im weiteren Sinne an. Die Biogasanlage ist somit als geschlossenes System anzusehen, bei dem alle theoretisch anfallenden Abwässer letzten Endes im Gärrestlager gesammelt werden, um von dort der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt zu werden. Anzustreben ist eine Betriebsweise, bei der mögliche Ab- bzw. Reinigungswasser über die Vorgrube dem Fermenter zugesetzt werden und den Gärprozess durchlaufen. Hierdurch kann die Einbringung und Homogenisierung von trockensubstanzreichen Kofermenten u. U. wesentlich erleichtert werden. Ferner wird durch den Biogasprozess eine thermische Behandlung des Abwassers erreicht, die einer möglichen Keimverbreitung durch Abwässer vorbeugt.

Unter bestimmten Umständen kann es in Abhängigkeit vom Inputmaterial (Koferment) erforderlich werden, zum Zweck der Nähr- bzw. Schadstoffausschleusung aus dem Betrieb Feststoffe abzutrennen bzw. Flüssigkeit (Prozesswasser) nicht mehr in die Vorgrube einzubringen.

Eine weitergehende Aufbereitung der Gärrückstände kann in Form einer Entwässerung und anschließender Nachrotte vorgenommen werden. Hierzu wird der Gärrest mittels Dekanterzentrifugen oder Schneckenpressen maschinell entwässert. Die abgepressten Feststoffe müssen dann einer Nachrotte unterzogen werden. Diese Aufbereitung macht ökonomisch nur dann einen Sinn, wenn für dieses Substrat ein sicherer Vermarktungsweg erschlossen werden kann.

Das bei der Entwässerung gleichfalls anfallende Prozessabwasser ist mit einer Vielzahl von Stoffen befrachtet, sodass es bei einer vollständigen Rückführung in den Anlagenkreislauf zu einer deutlichen Aufkonzentrierung verschiedener Stoffe kommen kann.

Zur weiteren Verwendung der abgetrennten flüssigen Phase als Prozesswasser für die Gärung muss es bestimmte Anforderungen erfüllen. Wichtig sind:

- die Gehalte an flüchtigen Fettsäuren
- die Salzkonzentration
- der Ammoniumgehalt
- der pH-Wert

Da diese Parameter sich direkt auf die Stabilität der Gärung auswirken, sollten sie regelmäßig kontrolliert und zum Methanertrag der Biogasanlage in Bezug gesetzt werden.

Daher muss das Prozesswasser bestimmte Anforderungen erfüllen, die im Wesentlichen von der Konzeption der Anlage abhängig sind. Es handelt sich in erster Linie um die Gehalte an Feststoffen und um Substanzen, die im Prozess kritische Ablagerungen bilden (z. B. Salze) sowie um biologisch leicht abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen oder hemmende Inputsubstanzen oder Produkte. So können Feststoffe im Prozessabwassersystem Probleme bei Armaturen oder Düsen verursachen, Härtebildner nach Abfall des  $\text{CO}_2$ -Partialdrucks in der Wasserphase störende Niederschläge bilden und Rohrleitungen verstopfen, biologisch abbaubare, organische Kohlenstoffverbindungen zu relevanten Geruchsentwicklungen führen und hohe  $\text{NH}_x\text{-N}$ - oder Sulfid-Gehalte den anaeroben Abbau hemmen. Mitunter sind deshalb weitere Aufbereitungsschritte notwendig, wobei meistens physikalisch-chemische bzw. aerobe biologische Behandlungsschritte ausreichend sind (nach /8-22/).

## 8.7 Literaturverzeichnis

- /8-1/ Roschke, M. (2003): Verwertung der Faulsubstrate, in: Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.), Potsdam, S. 29-33
- /8-2/ Amon, T., Boxberger, J. (2000): Biogas production from farmyard manure. In: Martinez, J., Sangiorgi, F. (Eds.): 9th Internat. Workshop of the European Cooperative Research Network „Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Ramiran“, 6-9 September 2000, Gargnagno, Italy.
- /8-3/ Amon, Th.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Moitzi, G.; Fistarol-Lyson, D; Hackl, E.; Jeremic, D.; Zollitsch, W.; Pötsch, E.; Mayer, K.; Plank, J. (2003): Endberichtericht "Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras" Forschungsprojekt Nr. 1249 GZ 24.002/59-IIA1/01. Auftraggeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Pioneer Saaten Ges.M.B.H Parndorf, Austria
- /8-4/ Jäkel, K. (2003). Eigenschaften des vergorenen Substrates. in: Managementunterlage Biogaserzeugung und –verwertung, Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 37-60
- /8-5/ KTBL und UBA (2002): Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern, KTBL-Workshop 23./24.04.2002, Göttingen – KTBL-Schrift 410
- /8-6/ Edelmann, Werner (2001): „Biogaserzeugung und Nutzung“ in Kaltschmitt, M. und Hartmann, H. (Hrsg.): „Energie aus Biomasse“, Springer Verlag, S. 660 – 662
- /8-7/ Jäkel, K., Wanka, U. und Albert, E. (2002): Wie aus dem Gärrest Edelgülle wird, Biogas – Strom aus Gülle und Biomasse, Top agrar Fachbuch, S. 74-77
- /8-8/ Amon, B., Moitzi, G., Schimpl, M.; Kryvoruchko, V.; Wagner-Alt, C. (2002): Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures. Final Report. November 2002. Research projekt no. 1107; BMLF GZ 24.002/24-IIA1a/98 and extension GZ 24.002/33-IIA1a/00. On behalf of Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management and Federal Ministry for Education, Science and Culture
- /8-9/ Clemens, J., Wolter, M., Wulf, S., Ahlgrimm, H.-J. (2002): Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, in: KTBL-Schrift 406, Emissionen der Tierhaltung, S. 203-214
- /8-10/ Schumacher, I. (1999): Vorläufiger Versuchsbericht zur Lagerung von Gülle und Kofermentationssubstraten im Rahmen des DBU Vorhabens „Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) nach Ausbringung von Kofermentationsrückständen sowie Entwicklung von Verminderungsstrategien“.
- /8-11/ Sommer, S.-G.; Petersen, S.-O., Sogaard, T. (2000): Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. Journal of Environmental Quality 29: 744–751
- /8-12/ Hartung, E. und Montenev, G.-J. (2000): Emission von Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus der Tierhaltung. Agrartechnische Forschung 6 S. 62-69
- /8-13/ Dosch, R. und Gutser, R. (1996): Risk for gaseous N losses by different slurry managements; Transactions of the 9<sup>th</sup> Nitrogen Workshop Braunschweig S. 481-484
- /8-14/ KTBL-Datensammlung (2002): Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003, 18. Auflage, Darmstadt
- /8-15/ Asmus, F. und Linke, B. (1987): Zur pflanzenbaulichen Verwertung von Gülle-Faulschlamm aus der Biogaserzeugung; Feldwirtschaft 28, S. 354-355
- /8-16/ Gutser, R., Amberger, A. und Vilsmeier, K. (1987): Wirkung unterschiedlich aufbereiteter Gülle im Gefäßversuch zu Hafer und Weidelgras; VDLUFA-Schriftenreihe, 23. Kongreßband S. 279293
- /8-17/ Gutser, A., Nitschke und Klasink, A. (1997): Umweltschonende Verwertung von Reststoffen verschiedener Gülleaufbereitungsverfahren; KTBL-Arbeitspapier 242 Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung, S. 97-108
- /8-18/ Hege, U. (1988): Düngewirkung von ausgefaultem Fließmist; 27. Biogas Praktiker Informationstagung, Grub S. 50-56
- /8-19/ Döhler, H. (1996): Landbauliche Verwertung stickstoffreicher Abfallstoffe, Komposte und Wirtschaftsdünger. Wasser & Boden, 48. Jg.
- /8-20/ AID (2003): Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft - Gute fachliche Praxis. aid infodienst (Hrsg.), Nr. 1454/2003
- /8-21/ Schwab, M. (2003): KTBL –Forschungsergebnisse, unveröffentlicht
- /8-22/ ATV-DVWK-M 372 (2003): Technische Rahmenbedingungen für die Vergärung biogener Abfälle, Hrsg.: ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. S. 29 - 31





# Betriebsform, Arbeitszeit, Steuern

Die Umstellung eines Betriebes auf Biogasgewinnung und -nutzung kann im Wesentlichen auf die nachfolgenden Hauptargumente zurückgeführt werden. Diese Argumente besitzen in weiten Teilen Gültigkeit für eine Vielzahl interessierter Betriebe.

Umstellungsargumente für einen landwirtschaftlichen Betrieb zur Erzeugung von Biogas:

- Positive Veränderung physikalischer/chemischer Eigenschaften von Wirtschaftsdüngern im Hinblick auf
  - Emissionspotenzial klimarelevanter Gase und unter Berücksichtigung von Ausbringungszeitpunkten, -techniken sowie Lagerung auch auf Ammoniak
  - Geruchsintensität
  - Pflanzenverträglichkeit
  - Nährstoffverfügbarkeit
- Die wirtschaftlich sinnvolle Verwertung der anfallenden, überwiegend betriebseigenen Biomasse
- Die positive Einstellung der Öffentlichkeit zur Erzeugung erneuerbarer Energien
- Der auf 20 Jahre garantierte Strompreis bei der Einspeisung in das Festnetz
- Die schon länger anhaltende schlechte Erlössituation in der pflanzlichen und tierischen Produktion bei unsicheren Zukunftsaussichten
- Die Schaffung eines Arbeitsplatzes im Betrieb z. B. für den Hofnachfolger
- Die anstehende Osterweiterung der EU und der damit verbundene große Flächenzuwachs in den neuen Mitgliedsländern zur pflanzlichen Produktion unter niedrigem Lohnniveau
- Die immer stärkere Liberalisierung der Märkte und der dadurch schwieriger werdende Absatz der landwirtschaftlichen Ur-Produkte (z.B. Qualitätsweizen)

Zur Risikoabfederung kann die Realisierung mit einem Partnerbetrieb in einer Betriebsgemeinschaft vollzogen werden. Gegründet werden kann hierzu

unter anderem eine GbR zur Biomasseverwertung, die die Grundleistung aus Rohstoffpflanzen und Gülle sowie anderweitigen Stoffen, wie z. B. Fette erbringt (vgl. Kapitel 9.5).

Die Einspeisung der gewonnenen Energie erfolgt in den nächstgelegenen Transformator des Netzbetreibers. Die größtmögliche räumliche Nähe zum Trafo senkt die Baukosten der Anlage.

## 9.1 Umstrukturierung des Betriebes – Perspektiven und Ansätze zur Optimierung

Die Biogaserzeugung zur Energiegewinnung als zweites Standbein ist ein neues Berufsbild in der Landwirtschaft. Der Landwirt wird zum Energiewirt.

Der tägliche Mehraufwand für Betreuung und Kontrolle der Anlage ist eine zusätzliche Belastung. Für eine Anlage mittlerer Größe werden schnell einige Stunden pro Tag benötigt. Eine laufende Kontrolle zur Sicherung einer hohen Energieausbeute ist zwingend erforderlich.

Durch den Bau der Biogasanlage ist der Betriebsleiter weniger abkömmlich. Wird die Anlage in einer Gemeinschaft realisiert, so dass sich die kooperierenden Betriebe bei der Kontrolle der Anlage abwechseln, entschärft sich die Arbeitsbelastung. Sofern alle beteiligten Personen der Betreibergemeinschaft den technischen Ablauf bis zur Stromerzeugung beherrschen, ist ein reibungsloser Ablauf gewährleistet.

Werden eigene Rohstoffe erzeugt, so ist das Ziel in der pflanzlichen Produktion die Optimierung der Fruchtfolgeglieder in Haupt- und Zweitfruchtstellung zur Erhöhung der Energieausbeute. Dabei dürfen aber die Grundsätze zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit, wie Erosionsschutz, optimale Erhaltung der Struktur und Gare bei der Rücklieferung der Biogasgülle und bei der Bodenbearbeitung nicht beeinträch-

tigt werden. Die biologischen Effekte der Fruchtfolgeumstellung stabilisieren weiterhin die nachhaltige Ertragsfähigkeit des Bodens und sichern damit das Ertragsniveau der pflanzlichen Produktion zur rentablen Biogaserzeugung.

Die Betriebsabläufe müssen vor dem Hintergrund der Zielsetzung einer langfristigen Ertragsabsicherung laufend optimiert werden, was die Betriebsleiter zumindest in der Anlaufphase – den ersten Jahren – stark fordern wird.

## 9.2 Auswirkung auf die Fruchtfolge

Durch die Biomasseerzeugung kann eine Neuausrichtung der Fruchtfolge notwendig werden. Im Vordergrund steht jetzt die möglichst hofnahe pflanzliche Produktion für die Gaserzeugung, um Transportkosten zu minimieren. Dieser Zielsetzung ist jedoch unter Berücksichtigung der Anlagengröße und der erforderlichen Substrat-(NaWaRo-)Menge nicht immer Folge zu leisten. So kann es für einen Anlagenbetreiber mit angeschlossener Schweinehaltung durchaus ökonomisch sinnvoll sein, die auf den eigenen Betriebsflächen angebaute Wintergerste nicht mehr an die eigenen Schweine zu verfüttern, sondern diese stattdessen zu einem früheren Zeitpunkt bei Teigreife als Ganzpflanzensilage zur Biogaserzeugung zu ernten. Die Schweine werden dann alternativ mit zugekaufter Futtergerste gefüttert. Durch die frühe Gerstenernte besteht in günstigen Lagen die Möglichkeit, Silo-Mais als Zweit- bzw. Nachfrucht mit frühen Sorten anzubauen. Durch den Anbau von Mais unter Hauptfruchtbedingungen ergibt sich als Nebeneffekt die Möglichkeit, den anfallenden Gärrest über eine längere Zeitspanne ökologisch sinnvoll pflanzenbaulich zu verwerten.

Durch die Änderung der Fruchtfolge mit Ausrichtung auf die Biogaserzeugung kann eine fast ganzjährige Begrünung der Ackerflächen erreicht werden, aus der Sicht der Stickstoffausnutzung ein positiver Effekt.

Je nach Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Mais-Silageernte kann ein Befahren bei ungünstigen Bodenverhältnissen negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur haben, insbesondere bei der Ernte von Zweitfrucht-Mais.

Im Folgenden werden die arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen der Biogasproduktion und Verstromung am Beispiel der in Kapitel 6 beschriebenen Modellanlage 5 dargestellt.

## 9.3 Der Faktor Zeit

Der Faktor „Zeit“ ist eine Einflussgröße mit einem enormen wirtschaftlichen Gewicht. Dies gilt auch für das Betreiben einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit all ihren Abhängigkeiten von den verfügbaren Substraten und Kosubstraten, technischen und baulichen Lösungen und der Eingliederung dieses Betriebes oder Betriebszweiges in ein bestehendes oder zu gründendes Unternehmen.

### 9.3.1 Faktor „Zeit“ in der Technik

Die entscheidende Zielsetzung beim Betrieb einer Biogasanlage liegt darin, die installierte Leistung zur Stromerzeugung bestmöglich zu nutzen.

Dies bedeutet in erster Linie, dass der Motor des Blockheizkraftwerkes sehr hoch ausgelastet wird. Eine hohe Auslastung des Motors ist dann gegeben, wenn dieser über möglichst viele Stunden des Jahres unter Vollastbedingungen gefahren werden kann. D. h. die Leistung des Motors muss optimal auf den realistisch zu erwartenden Biogasertrag abgestimmt sein.

In den Vorplanungen wird sehr oft mit 8.000 Stunden Motorlaufzeit bei einer 100%-igen Vollastleistung geplant. Planungen mit einer höheren Absicherung gegen wirtschaftliche Risiken setzen gelegentlich nur 7.000 Stunden jährliche Laufzeit an („Sicherheitszuschlag“).

Eine Auslastung von 7.000 Jahresstunden bedeutet jedoch:

- Um das aus dem Vergärungsprozess erzeugte Biogas energetisch umsetzen zu können, muss der Motor im Vergleich zu einer Jahresbetriebsstundenzeit von 8.000 h um mindestens 13% größer ausgelegt werden. Diese Zusatzkapazität muss bezahlt werden!
- Um den Motor nicht zu sehr durch täglich wechselnden Start-Stop-Betrieb zu belasten und eine gleichbleibende Prozesswärmezufuhr zu gewährleisten (nur ein laufender Motor kann heizen!), wird die Arbeit des Motors, die in 7.000 Jahresvolllaststunden erreicht werden soll, nur dann erreicht, wenn der Motor nahezu kontinuierlich im Teillastbetrieb gefahren wird. Teillastbetrieb bedeutet immer Wirkungsgradeinbußen. Wirkungsgradeinbußen gehen immer zu Lasten der eingespeisten Strommenge und damit zu Lasten des Betreiberkontos!



Einen ausführlichen Überblick über wirtschaftliche Einbußen z. B. bei einer 10%-igen Verringerung des Wirkungsgrades gibt Kapitel 10, Tabelle 10-6.

Eine Auslastung des Motors von 8000 Betriebsstunden pro Jahr wird häufig als „unrealistisch“ hoch angesehen, als Argument werden Wartungs- und Reparaturzeiten angegeben, die einzuplanen seien.

Mit folgender Beispielrechnung kann jedoch gezeigt werden, dass 8000 Jahresbetriebsstunden durchaus erreichbar sind:

365 Tage x 24 Stunden ergibt 8.760 Jahresstunden.

Bei Wartungsintervallen von 240 Stunden wäre alle 10 Tage eine Motorwartung erforderlich. Das heißt 36 Wartungen pro Jahr.

Wird für jede Wartung, einschließlich Abkühlzeit, der Motor für 5 Stunden abgeschaltet (dahingehend sollte der Gasspeicher ausgelegt sein), dann beläuft sich die Zeit, die der Motor für die Energieerzeugung nicht verfügbar ist, auf jährlich 180 Stunden.

Für große und zeitaufwändige Inspektionen und Ausfälle stünden dann immer noch 580 Stunden „Reservezeit“ zur Verfügung.

Für einen wirtschaftlichen, das heißt einen möglichst Gewinn bringenden Betrieb müssen daher technische und organisatorische Maßnahmen getroffen werden, damit ein **durchschnittlicher Anlagenbetrieb des BHKW von 8.000 Betriebsstunden jährlich unter Vollastbedingungen** erreicht werden kann.

#### Fazit:

Je leistungsfähiger die Anlage, umso folgenschwerer und erlösrelevanter ist die Minderung von Stillstands- und Ausfallzeiten. Zeitaufwand zur Kontrolle und Steuerung des Anlagenbetriebes sind ebenso wie angemessene technische Einrichtungen zur Kontrolle und Steuerung eine lohnende Investition, wenn dadurch die aus wirtschaftlichen Gründen zu fordernden Laufzeiten sichergestellt werden können.

### 9.3.2 Arbeitszeitbedarf

Der erforderliche Arbeitszeitbedarf lässt sich den drei wichtigen Prozessabschnitten zuordnen:

- Erzeugung, Ernte und Einlagerung oder Beschaffung der Rohstoffe (Substrate)
- Betreiben der Anlage mit Substrataufbereitung, -zuführung, Prozessüberwachung, laufender Betreuung, einschließlich Wartung und Instandhaltung und den damit verbundenen administrativen Aufgaben

#### - Ausbringen der Gärreste

Alle drei Prozessabschnitte sind betriebsnotwendig. Sie können aber je nach Betriebsweise und Substrat mit sehr unterschiedlichem Arbeitszeitbedarf verbunden sein. Die Arbeitszeitplanung muss im Stadium der Vorplanung auf jeden Fall in die Überlegungen einbezogen werden, um unliebsame Überraschungen zu vermeiden. Schließlich gibt es hierbei auch in der Praxis erprobte und bewährte Alternativlösungen. Beispielsweise können Arbeiten aus dem Bereich der pflanzlichen Erzeugung wie zum Beispiel Ernte, Transporte sowie Ausbringen der Gärreste auch überbetrieblich vergeben werden. Selbst im Bereich des Anlagenbetriebes können Wartungs- und Überwachungsarbeiten (Fernüberwachung) gegen entsprechende Vergütung von Spezialisten übernommen werden. Die für den Betrieb passende und wirtschaftliche Lösung lässt sich nur im Rahmen einer sorgfältigen einzelbetrieblichen Planung finden.

#### 9.3.2.1 Erzeugung, Ernte und Einlagerung der Rohstoffe

Soweit die Erzeugung auf selbst bewirtschafteten Flächen erfolgt, beispielsweise durch den Anbau von Mais zur Silagebereitung, die Ernte von Getreidepflanzen für die Ganzpflanzensilage oder das Abernten von Grünland, stehen umfangreiche Planungsdaten aus der herkömmlichen Produktionstechnik zur Verfügung. Im Regelfall können diese ohne große Anpassung auch auf die Gewinnung von Rohstoffen angewendet werden. Für die folgenden Berechnungen wurde deshalb auf die bekannten Kalkulationsunterlagen der KTBL-Datensammlung „Betriebsplanung“ zurückgegriffen /9-1/.

Lediglich beim Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen müssen der Arbeitszeitbedarf für die Denaturierung als auch die Kosten für die Denaturierung und die Überwachung zusätzlich berücksichtigt werden. Die Denaturierung und Überwachung der Einlagerung ist zwingend vorgeschrieben, da sonst die Stilllegungsprämie nicht gewährt wird. Typisch und gebräuchlich ist dabei das Einmischen von Festmist oder Gülle in die Silage.

Als Faustzahlen werden zur Denaturierung genannt:

- Ca. 6500 l Gülle je ha Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe
- Ca. 10 % Einmischung von Festmist, schichtweise jeweils nach einer Einbringung einer Lage Silage von 30 bis 40 cm.

Der Arbeitszeitbedarf wird hierfür angegeben mit:

- Eine Stunde für die Denaturierung
- Ein bis zwei Stunden für die Vermessung und Berechnung

Bei dieser Maßnahme muss eine fachkundige Person (ein bei der BLE anerkannter Prüfer) hinzugezogen werden. Sowohl die zusätzliche Arbeit als auch die finanziellen Aufwendungen (Honorare, Löhne) sind als Kosten zu berücksichtigen, auch wenn sie vergleichsweise geringe Bedeutung haben werden.

Zusammen mit der Denaturierung ist auch eine präzise Mengenermittlung durchzuführen. (Anmerkung: Für Körnermais und Körnergetreide ist die Wiegung vorgeschrieben, während Silagen einschließlich Ganzpflanzensilagen, Corn-Cob-Mix und Lieschkolbensilagen einer volumetrischen Vermessung und Berechnung unterzogen werden müssen, die dem Verwendungsnachweis dienen.)

#### **Arbeitszeitbedarf für die Erzeugung der Substrate für Modellanlage 5**

Zur Verdeutlichung und Berechnung der arbeitswirtschaftlichen Auswirkungen wird das Modell 5 (vgl. Kapitel 6.3 Beschreibung der Modellanlagen) einer näheren Betrachtung unterzogen. Diese Modellanlage verarbeitet mehr als 9.000 t bzw. m<sup>3</sup> Gülle aus der Rinderhaltung. Dies entspricht einem Viehbestand von rund 500 GV. Ein Betrieb dieser Größenordnung wird im Regelfall auch 300 bis 400 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewirtschaften.

Für die Erzeugung von 2500 t Maissilage und 1500 t Grassilage müssen, bei Durchschnittserträgen von 50 t Mais/ha und drei Grünlandschnitten mit 20 t, 10 t und 10 t Grünertrag, zusätzliche Anbauflächen von:

- 50 ha Mais; (es wird Anbau auf Stilllegungsflächen unterstellt)
- 62,5 ha Grünland

eingepflanzt werden. Es spielt keine entscheidende Rolle, ob diese Flächen als betriebseigene oder gepachtete Flächen, durch Flächentausch oder durch Kooperation in einer Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden. Für die Grundfutterversorgung stehen diese Flächen nicht zur Verfügung. Ob insgesamt eine ausgewogene Fruchtfolge erhalten bleibt, muss ebenfalls überprüft werden.

Für die Modellanlage 5 wurde angenommen, dass mit 5 ha durchschnittlicher Schlaggröße und 3 km Hof-Feld-Entfernung gute Produktionsvoraussetzungen bestehen. Auf eigene Erntetechnik wird weitgehend verzichtet, da anspruchsvolle Arbeit mit hohen Investitionen besser an ein Lohnunternehmen übertragen werden sollte. In diesem Ansatz ist der Trans-

port und die Einlagerung des Silomais noch enthalten, während bei der Grassilagebergung nur noch Mähen, Wenden und Schwaden als Teil der Ernte vom Betrieb verrichtet wird.

Unter diesen getroffenen Annahmen ist mit einem gesamten **Arbeitszeitbedarf von jährlich fast 873 Arbeitskraftstunden** (ohne Gärrestausbringung) zu rechnen. Allerdings konzentriert sich der größte Teil des Arbeitszeitbedarfes auf die Herbstmonate von September bis in die erste Hälfte November.

In der folgenden Tabelle 9-1 sind beispielhaft die Arbeitsfolgen, die technische Ausstattung und der daraus zu erwartende Arbeitszeitbedarf dargestellt. Die Zahlen sind der KTBL-Datenbank entnommen /9-2/, die eine Vielzahl von Planungsvarianten anbietet. Der Arbeitszeitbedarf für die Silomais-Denaturierung mit Gülle bei der Einlagerung ins Silo ist als geschätzte Angabe hinzugefügt.

In der Zeitspanne der Silomaisernte, im September und Anfang Oktober, werden rund 360 AKh benötigt, um den Abtransport vom Feld zum Silo und die Einlagerung mit dem Radlader vorzunehmen. Ob diese Arbeitsspitze ebenfalls besser überbetrieblich an Dritte vergeben wird, muss nach der betrieblichen Situation entschieden werden. Bei großen freien Personalkapazitäten würden im umgekehrten Fall auch Beschäftigungsmöglichkeiten in der Ernte bestehen.

Dass eine Veränderung des Anbauprogramms zu einer Verbesserung oder Verschlechterung von Arbeitsspitzen im Unternehmen führen kann, wird durch die Abbildung des jährlichen Arbeitsaufwandes deutlich (vgl. Abb. 9-1).

Bemerkenswert ist, dass jede Tonne erzeugtes Substrat mit rund 0,27 Arbeitskraftstunden, inklusive Gärrestausbringung, bei Ansatz von 15 € Lohn pro Stunde mit 4 € Arbeitskosten „belastet“ ist (vgl. Abb. 9-1).

Die Erzeugung von Silage und Getreide führt zu einem Arbeitszeitbedarf in den einzelnen jährlichen Zeiträumen, der auch bei einer anderweitigen Verwendung (z. B. Verkauf oder Verfütterung) einzuplanen wäre, wenn vom zusätzlichen Arbeitszeitbedarf für die Denaturierung abgesehen wird. Gemeinsam ist diesen Produktionsverfahren, dass die Verwertung eines eingelagerten Produktes über einen langen Zeitraum, meist sogar ganzjährig in gleicher Weise erfolgt. Dies kann positiv für die gesamte Prozessführung sein. In jedem Fall ist die Einspeisung in die Biogasanlage durch einen vergleichsweise gleichmäßigen und wenig schwankenden Arbeitszeitbedarf gekennzeichnet.



Silomaisanbau, durchschnittliche Schlaggröße 5 ha,		50 ha Anbaufläche				
Arbeitsgang	Teilarbeit	Ausführungszeitraum	Menge	Zeitbedarf AKh/ha	AKh auf 50 ha Anbaufläche	
Mineraldünger ab Hof streuen, loser Dünger; 50 t/h Radlader, 68 kW	Laden	SEP2 - OKT1	400 kg	0,01	0,5	
6,0 t, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Feldarbeit	SEP2 - OKT1	400 kg	0,11	5,5	
Pflügen mit Aufsatteldrehpflug; 5 Schare, 1,75 m, 83 kW	Feldarbeit	OKT2 - NOV1		1,36	68	
Gülle ausbringen, ab Hof mit Pumptankwagen, Schleppschauch; 12 m³, 83 kW	Feldarbeit	APR1 - APR2	30 m³/ha	1,88	94	
Eggen mit Saatbettkombination, angebaut, doppelte Überfahrt; 5,0 m, 83 kW	Feldarbeit	APR1 - APR2		0,67	33,5	
Einzelkornsaat von Mais; 6 Reihen, 4,5 m, 54 kW	Feldarbeit	APR2 - MAI1	28 kg	0,52	26,0	
Pflanzenschutz ab Hof; Anbaupflanzenschutzspritze, 18/24 m, 1500 l, 67 kW	Feldarbeit	APR2 - MAI1	200 l	0,21	10,5	
Pflanzenschutz ab Hof; Anbaupflanzenschutzspritze, 18/24 m, 1500 l, 67 kW	Feldarbeit	MAI1 - MAI2	400 l	0,30	15,0	
Pflanzenschutz ab Hof; Anbaupflanzenschutzspritze, 18/24 m, 1500 l, 67 kW	Feldarbeit	JUN1 - JUN2	400 l	0,30	15,0	
Mineraldünger ab Hof streuen, loser Dünger; 0,8 t, Anbauschleuderstreuer, 54 kW	Feldarbeit	JUN2 - JUL1	200 kg	0,23	11,5	
Maishacken mit Hacksterngerät; 6-reihig, 67 kW	Feldarbeit	JUN2 - JUL1		0,44	22,0	
Silomais häckseln, durch Lohnunternehmen, Selbstfahrer 6-reihig	im Lohn	SEP2 - OKT1	50 t	0,00	0,0	
10 (5) t, Doppelzug, Dreiseitenkippanhänger, 67 kW	Transport	SEP2 - OKT1	50 t	5,13	256,5	
Radlader, 11 t, 105 kW	Festfahren	SEP2 - OKT1	50 t	2,05	102,5	
Denaturierung durch Zugabe von 25 Tankwagen Gülle	Laden + Verteilen	SEP2 - OKT1	6 m³ je 50 t	0,38	18,8	
Kalk ab Feld streuen; 50 t/h, Radlader, 68 kW	Laden	OKT1 - OKT2	1 t	0,03	1,5	
6,0 t, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Feldarbeit	OKT1 - OKT2	1 t	0,11	5,5	
Stoppelgrubbern; 3,0 m, 83 kW	Feldarbeit	OKT1 - OKT2		0,55	27,5	
<b>Summe</b>				<b>14,28</b>	<b>713,8</b>	
Anwekksilage, 1. Schnitt,		62,5 ha Grünland				
Arbeitsgang	Teilarbeit	Zeitspanne	Menge	Zeitbedarf	AKh auf 62,5 ha Anbaufläche	
Gülle ausbringen, ab Hof mit Pumptankwagen, Schleppschauch; 12 m³, 83 kW	Feldarbeit	JUL1 - AUG1	30 m³/ha	1,88	117,5	
Mineraldünger ab Hof streuen, loser Dünger; 50 t/h Radlader, 68 kW	Laden	MAE2 - APR1	600 kg	0,01	0,6	
6,0 t, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Feldarbeit	MAE2 - APR1	600 kg	0,12	7,5	
Mineraldünger ab Hof streuen, loser Dünger; 50 t/h Radlader, 68 kW	Laden	MAE2 - APR1	400 kg	0,01	0,6	
6,0 t, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Feldarbeit	MAE2 - APR1	400 kg	0,11	6,9	
Abschleppen von Grünland; 9 m, 67 kW	Feldarbeit	APR1 - MAI1		0,29	18,1	
Mähen mit Mähauflbereiter; 2,8 m, 67 kW	Feldarbeit	MAI2 - MAI2	20 t	0,58	36,3	
Zetten/Wenden mit Kreiselzettwender; 7,5 m, 67 kW	Feldarbeit	MAI2 - MAI2		0,23	14,4	
Schwaden mit Kreiselschwader; 6,5 m, 67 kW	Feldarbeit	MAI2 - MAI2		0,32	20,0	
Anwekkgut von Lohnunternehmen ernten, transportieren und einlagern	Komplettarbeit	MAI2 - MAI2	12 t	0,00	0,0	
<b>Summe</b>				<b>3,6</b>	<b>221,9</b>	
Anwekksilage, 2. Schnitt,		62,5 ha Grünland				
Arbeitsgang	Teilarbeit	Zeitspanne	Menge	Zeitbedarf	AKh auf 62,5 ha Anbaufläche	
Mineraldünger ab Hof streuen, loser Dünger; 50 t/h Radlader, 68 kW	Laden	MAI2 - MAI2	400 kg	0,01	0,6	
6,0 t, Anhängeschleuderstreuer, 67 kW	Feldarbeit	MAI2 - MAI2	400 kg	0,11	6,9	
Mähen mit Mähauflbereiter; 2,8 m, 67 kW	Feldarbeit	JUN2 - JUL1	10 t	0,58	36,3	
Zetten/Wenden mit Kreiselzettwender; 7,5 m, 67 kW	Feldarbeit	JUN2 - JUL1		0,23	14,4	
Schwaden mit Kreiselschwader; 6,5 m, 67 kW	Feldarbeit	JUN2 - JUL1		0,32	20,0	
Anwekkgut von Lohnunternehmen ernten, transportieren und einlagern	Komplettarbeit	JUN2 - JUL1	6 t	0,00	0,0	
<b>Summe</b>				<b>1,25</b>	<b>78</b>	
Anwekksilage, 3. Schnitt,		62,5 ha Grünland				
Arbeitsgang	Teilarbeit	Zeitspanne	Menge	Zeitbedarf	AKh auf 62,5 ha Anbaufläche	
Mähen mit Mähauflbereiter; 2,8 m, 67 kW	Feldarbeit	SEP1	10 t	0,58	36,3	
Zetten/Wenden mit Kreiselzettwender; 7,5 m, 67 kW	Feldarbeit	SEP1		0,23	14,4	
Schwaden mit Kreiselschwader; 6,5 m, 67 kW	Feldarbeit	SEP1		0,32	20,0	
Anwekkgut von Lohnunternehmen ernten, transportieren und einlagern	Komplettarbeit	SEP1	6 t	0,00	0,0	
<b>Summe</b>				<b>1,13</b>	<b>71</b>	
<b>Gesamt AKh ohne Gärrestaubsbringung</b>					<b>873</b>	
<b>Gesamt AKh mit Gärrestaubsbringung</b>					<b>1084,4</b>	
<b>AKh/t Substrat mit Gärrestaubsbringung</b>					<b>0,27</b>	

Abb. 9-1: Arbeitsfolgen der Mais- und Anwekksilageproduktion

Viel weniger planbar und vorhersehbar wird der Arbeitszeitbedarf, wenn Reststoffe während der Vegetationszeiten und nur in bestimmten Zeitspannen anfallen und verwertet werden sollen. Beispiele hierfür wären:

- die Verwertung von frischem Schnittgrün oder
- die Verwertung von Gemüseabfällen

die nur zu bestimmten Zeiten anfallen. Arbeitswirtschaftlich und prozesstechnisch wird es immer von Vorteil sein, wenn bei der Verwertung saisonal anfallender Substrate auf eingelagerte „Reservesubstrate“ zurückgegriffen werden kann, um kurzzeitige Versorgungslücken vermeiden zu können.

Nicht zu vernachlässigen sind auch negative Einflüsse auf den Gärprozess durch zu stark wechselnde Substratzusammensetzungen beim überwiegenden Einsatz von saisonalen Substraten.

Noch bedeutender wird diese Problemstellung, wenn die Substrate nicht im eigenen Betrieb anfallen. Hier darf der Arbeitszeitbedarf für die Akquisition

nicht unterschätzt werden. Allerdings liegen über die Höhe des Arbeitszeitbedarfes praktisch keinerlei Kenntnisse vor. Es liegt letztlich im kaufmännischen Geschick des Betreibers, eine dauerhafte und möglichst kontinuierliche Versorgung sicherzustellen. Erfolgt die Abholung durch den Betreiber der Biogasanlage, dann ist der dafür erforderliche Arbeitszeitbedarf natürlich von Einfluss auf die betriebliche Arbeitsorganisation und die damit verbundenen Kosten.

Inner- und zwischenbetriebliche Transporte sind sowohl in einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben, aber besonders bei gemeinschaftlich betriebenen Biogasanlagen nicht zu vermeiden. Nicht nur der zusätzliche Arbeitszeitbedarf muss eingeplant werden, sondern die damit verbundenen Kosten können entscheidende Bedeutung erlangen. Besonders häufig dürfte die Verwendung von Gülle oder Festmist aus der Tierhaltung oder von Abfällen aus der Produktaufbereitung (Getreide, Rüben, Gemüse, Obst) in Frage kommen. Entscheidend ist stets das Verhältnis

des „Produktwertes“ für die Stromerzeugung im Verhältnis zum „Preis“ einschließlich des Transportes.

Die Transportwürdigkeit sollte im Vorfeld geklärt werden, wenn Kooperationen oder Lieferverträge abgeschlossen werden sollen. Das gilt in besonderem Maße auch bei der Festlegung des Standortes der Anlage.

### 9.3.2.2 Arbeitszeitbedarf für das Betreiben einer Biogasanlage

Umfangreiche Datenerhebungen zum Arbeitszeitbedarf über Betriebstagebücher von über 40 Biogasanlagen im Bundesgebiet wurden im Rahmen des Biogasmessprogramms (/9-3/, /9-4/, /9-5/, /9-6/) aufgezeichnet. Eine Systematisierung und Auswertung der zusammengetragenen Werte ergaben die in Tabelle 9-1 aufgeführten durchschnittlichen Werte:

Tabelle 9-1: Durchschnittlicher Arbeitsaufwand für das Betreiben einer Biogasanlage

Arbeitsbereich	Arbeitszeitaufwand [Akh/Woche]	
	Durchschnitt	Spannweite
Kontrollgang, Datenerfassung	2,9	0 ... 8,42
Substratmanagement	3,4	0 ... 12,6
Kleinreparaturen	1,1	-
Allgemeine Wartung	1,2	-
BHKW Wartung	1,2	-
Allgemeine Organisation	1,8	-
<b>Routinearbeiten gesamt</b>	<b>11,6</b>	
Störungen am Feststoffeintrag beseitigen	0,83	0 ... 8
Störungen am BHKW beseitigen	0,42	0,05 ... 1,85
Störung durch verstopfte Substratleitungen beseitigen	0,25	0,03 ... 0,77
<b>Störungsbeseitigung insgesamt</b>	<b>1,5</b>	

Die Auswertung dieser Aufzeichnungen zeigte, dass mit zunehmender Nennleistung der Anlage auch der Gesamt-Arbeitszeitaufwand in Arbeitspersonstunden je Woche ansteigt. Ein enger Zusammenhang besteht auch zwischen der Größe des Tierbestandes, der Zugabemenge von Substraten in t/Woche und der Nennleistung des Blockheizkraftwerkes. Leider lassen die Aufwandszahlen bisher keine weiteren gesicherten Ableitungen für einzelne Arbeitsschwerpunkte zu.

Im Bereich der Substratzuteilung, der Entnahme aus den Lagern und in einigen Bereichen der Aufbereitung ist die Übereinstimmung mit anderen landwirtschaftlichen Tätigkeiten jedoch so weitreichend, dass Richtwerte daraus abgeleitet werden können, die eine ausreichende Zuverlässigkeit erwarten lassen. In der Gesamtsicht muss schließlich darauf verwiesen werden, dass sich die Arbeitskosten für das Betreiben einer Biogasanlagen unterhalb von 10 % der Gesamtkosten bewegen und somit nicht die entscheidende Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit haben. Trotzdem ist zu bemerken, dass in Zukunft für präzisere Planungen auch zuverlässigere Richtwerte für den Arbeitszeitbedarf benötigt werden. Folgende Gliederung und Einteilung des Arbeitszeitbedarfes scheint hierzu geeignet (Tabelle 9-2).

Tabelle 9-2: Gliederung und Einteilung des Arbeitszeitbedarfes

Charakterisierung der Arbeiten	Richtwert für den Arbeitszeitbedarf [AKh/Woche]
Kontrollen, Datenerfassung, Büroarbeiten, allgemeine Organisation	4,7
Wartungsarbeiten, einschließlich kleinerer Reparaturen	3,5
Störungsbeseitigungen	1,5
<b>Summe, ohne Substratzuteilungen, Befüll- und Entleervorgänge</b>	<b>9,7</b>

### 9.3.2.3 Arbeitszeitbedarf bei der Substrataufbereitung und Einbringung in den Fermenter

Der Arbeitszeitbedarf wird in starkem Maße von der Art des Substrates bestimmt.

**Flüssige Substrate** wie die Gülle werden in der Regel im oder am Stall zwischengelagert, einem Annahmebehälter zugeführt und von dort durch zeit- bzw. intervall-geschaltete Pumpaggregate dem Fermenter zugeführt (vgl. Kapitel 6 Verfahrensbeschreibung Modellanlagen). Der Arbeitszeitbedarf beschränkt sich auf gelegentliche Kontrollen und Einstellungen. Der Arbeitszeitbedarf hierfür sollte mit den vorgenannten Richtwerten für Wartungsarbeiten abgedeckt sein.

Ähnlich verhält es sich bei flüssigen Treestern und Pülpfen aus der Wein-, Branntwein- oder Obstsafterstellung.

Flüssige Fette und Öle werden von den Anlieferungsfahrzeugen in Tanks oder eigene Gruben gepumpt und vor der Einspeisung meist einer Hygieni-

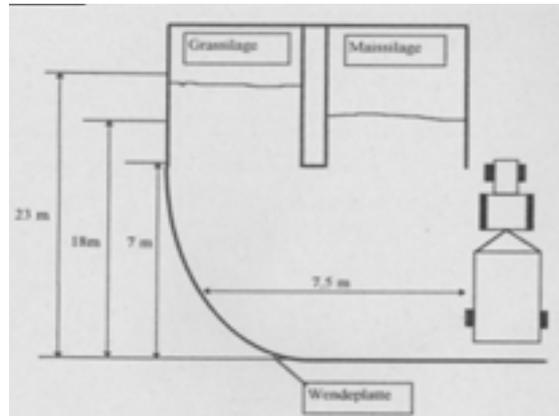


Tabelle 9-3: Elementzeiten für die Entnahme von Silagen aus Fahrsilos mit befestigter Wendepalte mit Frontlader und Schneidzange an einem Standard-Traktor bzw. einer Schneidschaufel an einem Teleskoplader

**Tätigkeit:** Entnahme Silage aus Fahrsilo, fahren zur Entladestelle (Fahrzeug oder Substrateinspeisung) und entladen  
**Fördergut:** Mais- und Grassilage  
**Arbeitsort:** Fahrsilo, befestigte Wendepalte, Distanzen ca. 15 bis 25 m

<b>Arbeitsmittel:</b> Traktor, Frontlader Schneidzange 0,87 m <sup>3</sup>	Teleskoplader Schneidschaufel 0,87 m <sup>3</sup>
---	--

Arbeitsablaufskizze:



<b>Vorgangszeit:</b> 161,67 cmin je Vorgang	161,67 cmin je Vorgang (1 cmin = 1/100 min)
<b>Füllgewichte in kg/Vorgang</b> 378 kg Maissilage 386 kg Grassilage	397 kg Maissilage 390 kg Grassilage
<b>Ladezeit in min/t</b> 4,28 min/t Maissilage 4,19 min/t Grassilage	3,83 min/t Maissilage 3,83 min/t Maissilage

sierung zugeführt. Auch hier beschränkt sich der erforderliche Arbeitszeitbedarf in der Regel auf Kontrollen und Einstellungen.

Bei den **festen Substraten** landwirtschaftlicher Herkunft überwiegen Silagen von Mais oder vom Grünland. In Frage kommen weiterhin Getreidekörner und -abfälle, die bei der Getreidereinigung und -aufbereitung anfallen. Auch Wurzel- und Knollenfrüchte (Rüben, Zwiebel, Kartoffel) sowie Bestandteile aus deren Verarbeitung sind zu handhaben.

Die bekannten Erhebungen zum Arbeitsaufwand belegen, dass die Einspeisung der Substrate den größten Anteil des Arbeitszeitbedarfes erfordern. Für die Befüllung der verschiedenen Fermenterbeschickungen (über Annahmebehälter, Befülltrichter eines Schrägförderers/einer hydraulischen Einpress-Vorrichtung) wird in der Regel mobile Lade- und Förder-technik verwendet. Das folgende Beispiel zeigt grundlegende Elementzeiten, die für die Planung herangezogen werden können (Tabelle 9-1). Spezifische Arbeitszeitmessungen, die in Biogasanlagen vorgenommen wurden, stehen derzeit noch nicht zur Verfügung.

Tabelle 9-4 enthält eine Zusammenfassung von Ladezeiten.

Durch Einsetzen der Ladezeit-Richtwerte und Multiplikation mit den jährlich verarbeiteten Substratmengen und Hinzufügen eines Zuschlages für notwendige Rüstzeiten kann der Arbeitszeitbedarf für die Substratzuteilung geschätzt werden.

#### Arbeitszeitbedarf für das Betreiben der Modellanlage 5 sowie Arbeitszeitbedarf für die Substrataufbereitung und Einbringung des Substrates in den Fermenter bei Modellanlage 5

Unterstellt ist der Einsatz eines Teleskopladers für das Befüllen der Beschickungsaggregate. Eine zusätzliche tägliche Rüstzeit für das Tanken der Maschine, Silofolie entfernen und wieder abdecken wurde mit 15 min täglich berücksichtigt (Tabellen 9-5 und 9-6).

Für die Bewirtschaftung der Biogasanlage (Modell 5) mit der in Kapitel 6 dargestellten technischen Ausrüstung und den o.g. Substratmengen ist ein jährlicher Arbeitszeitbedarf von rund 860 Stunden anzusetzen.

Tabelle 9-4: Erforderliche Ladezeiten bei der Verwendung unterschiedlicher Ladegeräte (nach |9-7|, |9-8|, |9-9|)

Ladegut Ladegerät	Ladezeiten in [min/t]		
	Frontlader, Traktor	Radlader	Teleskoplader
Maissilage (Flachsilo)	4,28... 8,06	6,02	3,83
Grassilage (Flachsilo)	4,19...6,20	4,63	3,89
Maissilage (Flachsilo), Kiesweg, hängig	5,11	2,44	-
Grassilage (Flachsilo), Kiesweg, hängig	5,11	3,66	-
Festmist (Mistplatte)	2,58	2,03	-
Großballen (Rechteck)	1,25	-	1,34
Getreide (lose)	2,61	-	1,50

Tabelle 9-5: Kalkulation des Gesamtarbeitszeitbedarf/Jahr mit Rüstzeiten

	[1]	[2]	[3]
Substrat	Maissilage	Grassilage	Futterreste
Substratmenge [t/Jahr]	2500	1500	46
x Ladezeit [min/t] (siehe Tab. 9-4)	3,83	3,89	4
+ Rüstzeit [min/Einsatztag]	15		
x Einsatztage/Jahr	365		
Arbeitszeitbedarf [AKh/Jahr]	250,8	97,3	3,1
Gesamtarbeitszeitbedarf [AKh/Jahr]	351,2		

Tabelle 9-6: Arbeitszeitbedarf für Routinearbeiten und Substratbeschickung (Grundlagen aus Tabelle 9-1)

Arbeitsbereich	Arbeitszeitbedarf	
	[AKh/Woche]	[AKh/Jahr]
Kontrollgang, Datenerfassung	2,9	150,8
Kleinreparaturen	1,1	57,2
Allgemeine Wartung	1,2	62,4
BHKW Wartung	1,2	62,4
Allgemeine Organisation	1,8	93,6
<b>Routinearbeiten gesamt</b>	<b>8,2</b>	<b>426,4</b>
<b>Substratmanagement</b>	<b>Siehe Tabelle 9-1</b>	
<b>Störungsarbeiten</b>	<b>1,5</b>	<b>78,0</b>
<b>Jahres-Arbeitszeitbedarf</b>		<b>855,6</b>



9.3.2.4 Arbeitszeitbedarf bei der Ausbringung von Gärresten

Bei Modellanlage 5 werden von den rund 4000 t jährlich eingesetzten Nachwachsenden Rohstoffen rund 50 % der organischen Substanz zu Biogas umgesetzt. Diese Umsetzung mindert die Masse an Gärückständen, so dass nur etwa 3400 t der ursprünglichen Substratmasse ausgebracht werden müssen. Das sind etwas mehr als 30 m<sup>3</sup> je ha Anbaufläche für die Substraterzeugung. Der Arbeitszeitbedarf mit einem 12 m<sup>3</sup> Pump-Tankwagen mit Schleppschlauch auf 5 ha große Parzellen und 3 km Hof-Feld-Entfernung beträgt 1,88 AKh/ha, so dass im Jahr rund 530 AKh auf die Ausbringung von Gärresten entfallen.

Der Arbeitszeitbedarf für die Ausbringung der Güllemengen wird hier nicht betrachtet, da die in die Biogasanlage eingebrachte Güllemasse auch ohne anaerobe Behandlung Kosten für die Ausbringung verursacht hätte. Bei gleichen Ausbringungsbedingungen und technischer Ausrüstung ist der Arbeitszeitbedarf ebenso hoch mit z.B. 1,88 AKh/ha anzusetzen.

Mit rund 860 AKh ist die ganzjährige Anlagenbetreuung einschließlich der Substratzuführung gekennzeichnet durch relativ gleichmäßig anfallende und sich regelmäßig wiederholende Arbeiten. Ein Drittel einer ständigen Arbeitskraft muss dafür zur Verfügung stehen.

Der Arbeitszeitbedarf für den Anbau (jeweils ohne Gärrestausrückführung) von 50 ha Silomais erfordert mit 620 AKh den höchsten Arbeitszeitbedarf, wobei die Ernte mit einem 6-reihigen Häcksler durch einen Lohnbetrieb erfolgt. Es entfallen aber 360 AKh auf den Transport, die Einlagerung und das Festfahren des Erntegutes in einem Fahrsilo. Die Grassilage erfordert dagegen 253 AKh, Häckseln, Transport und Einlagerung erfolgen komplett überbetrieblich.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich für **Modellanlage 5** unter der Annahme der überbetrieblichen Vergabe aufwändiger Erntearbeiten ein kalkulierter jährlicher Arbeitszeitbedarf von rund 2200 Arbeitskraftstunden ergibt. Das ist die Arbeitskapazität einer vollen Arbeitskraft, allerdings bei sehr ungleicher Verteilung über das Jahr (vgl. Abb. 9-2).

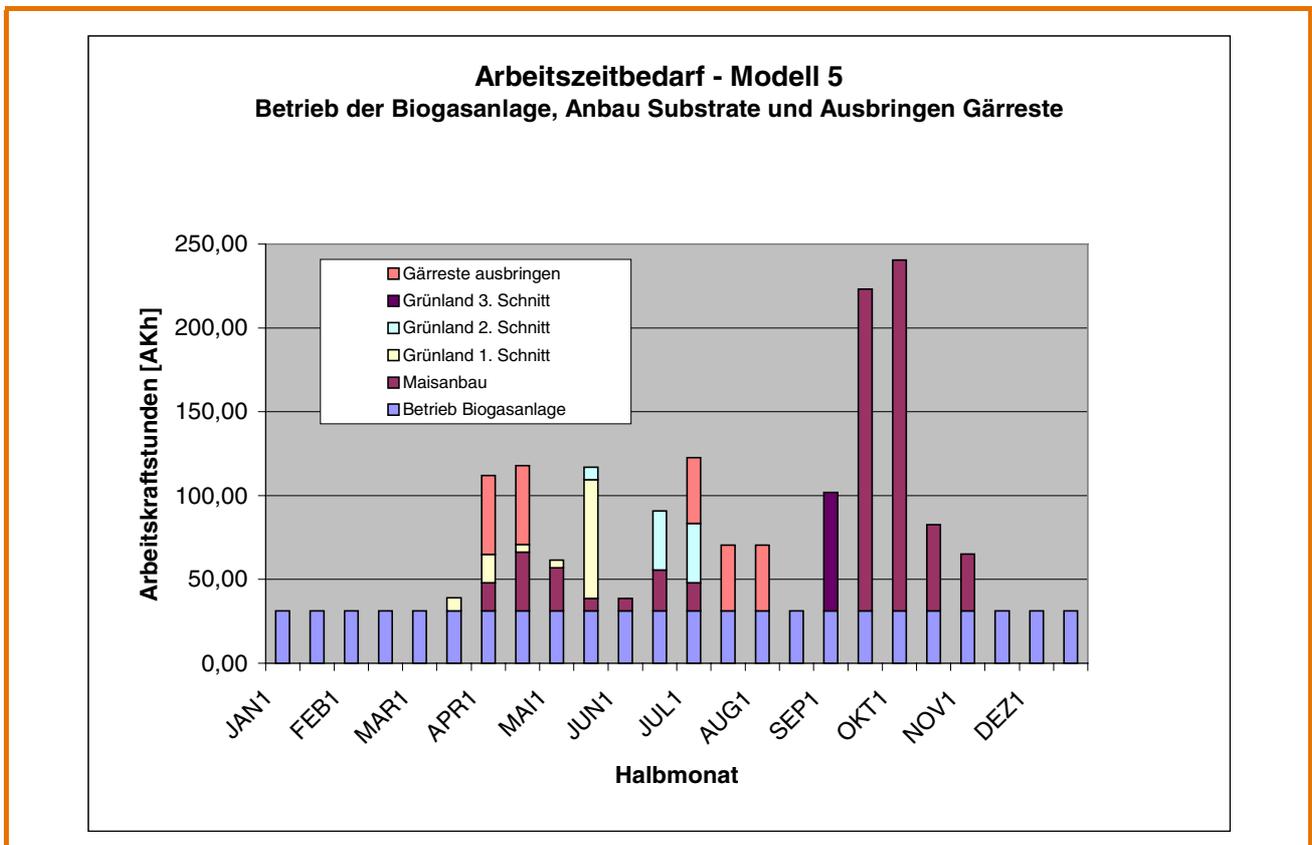


Abb. 9-2: Darstellung des für die Modellanlage 5 erforderlichen Arbeitszeitbedarfes

## 9.4 Steuerliche und rechtliche Anmerkungen

### 9.4.1 Steuerliche Behandlung des Betriebs von Biogasanlagen

Neben den technischen Fragen der Biogasgewinnung und -nutzung sind auch die steuerlichen Auswirkungen im Blick zu behalten. Nachfolgend sollen in einem kurzen Überblick die wichtigsten steuerlichen Regelungen und Auswirkungen im Bereich der Einkommensteuer, der Gewerbesteuer und der Umsatzsteuer dargestellt werden.

#### 9.4.1.1 Ertragsteuerliche Auswirkungen

Die ertragsteuerliche Grundfrage ist zunächst, ob das Betreiben einer Biogasanlage noch in den Bereich der steuerlichen Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft fällt oder es sich bereits um Einkünfte aus Gewerbebetrieb handelt. Daneben spielen aber auch die Fragen der Behandlung von Zuschüssen für die Errichtung von Anlagen, Abschreibungsregelungen sowie mögliche Verlustverrechnungen eine bedeutende Rolle.

#### Abgrenzung Landwirtschaft und Gewerbe

Die Finanzverwaltung vertritt die Auffassung, dass die Erzeugung von Biogas Teil der land- und forstwirtschaftlichen Urproduktion ist, wenn die Biomasse als solche überwiegend im eigenen Betrieb erzeugt und das Biogas bzw. der daraus erzeugte elektrische Strom überwiegend im eigenen Betrieb verwendet wird. Bei der Beurteilung der Frage, wann von einer überwiegenden Erzeugung im eigenen Betrieb auszugehen ist, kommt es nicht auf das Kubikmeterverhältnis von eigener Biomasse zu den Kofermentaten an, sondern auf das „Nährstoffverhältnis“ und die daraus resultierenden Biogaserträge.

Daneben kann die Erzeugung von Biogas auch ein land- und forstwirtschaftlicher Nebenbetrieb sein, wenn

- die Biomasse überwiegend im eigenen Betrieb erzeugt wird und das Biogas oder der daraus erzeugte Strom überwiegend zum Verkauf bestimmt ist oder
- die Biomasse gegen Entgelt erworben wird, jedoch das daraus erzeugte Biogas bzw. der daraus erzeugte Strom nahezu ausschließlich im eigenen Betrieb Verwendung findet.

Nur in den Fällen, in denen die Erzeugung der eingesetzten Biomasse und die Verwendung des erzeugten Biogases bzw. des Stromes nicht im eigenen Betrieb

Tabelle 9-7: Steuerliche Einordnung des Betriebs bei der Produktion von Strom aus Biogas

Biogas Erzeugung ...	Verwendung Biogas / Strom	
	...im eigenen Betrieb	...Verkauf
überwiegend aus Eigenproduktion (Pflanzen, Pflanzenreste, Gülle)	Land- und Forstwirtschaft	Land- und Forstwirtschaft
überwiegend aus Fremdproduktion (Speisereste, Fette)	Land- und Forstwirtschaft	Gewerbe

stattfindet, liegen Einkünfte aus Gewerbebetrieb vor. Tabelle 9-7 stellt die steuerliche Einordnung des Betriebs bei der Produktion von Strom aus Biogas dar.

Im Gegensatz zur Erzeugung von Energie z. B. durch Wind-, Solar- oder Wasserkraft handelt es sich damit bei der Verwertung von Biomasse und der Erzeugung von Biogas oder Strom nach Auffassung der Finanzverwaltung nicht um gewerbliche Energieerzeugung, sondern die Verwertung der Biomasse wird als landwirtschaftliches Produkt der ersten Verarbeitungsstufe angesehen. Damit gilt für die Masse der landwirtschaftlichen Biogasanlagen, dass die daraus resultierenden Einkünfte noch zu den Einkünften aus Land- und Forstwirtschaft zählen.

#### Behandlung von Zuschüssen

Vielfach werden Biogasanlagen auch mit Zuschüssen aus öffentlichen Mitteln angeschafft oder hergestellt. In diesem Fall hat die Finanzverwaltung den Steuerpflichtigen ein Wahlrecht eingeräumt. Einerseits können sie die Zuschüsse als Betriebseinnahmen ansetzen und die Zuschüsse damit sofort gewinnwirksam versteuern. Andererseits kann der Steuerpflichtige jedoch auch die Zuschüsse erfolgsneutral, also nicht gewinnwirksam behandeln. In diesem Fall ist die Bemessungsgrundlage der Anschaffungs- oder Herstellungskosten einer Biogasanlage um die Zuschüsse zu kürzen.

Die Bemessungsgrundlage der Anschaffungs- oder Herstellungskosten ist ausschlaggebend für die spätere Abschreibung der Biogasanlage. Entscheidet man sich daher für die Möglichkeit, die Zuschüsse gewinnwirksam als Betriebseinnahmen zu erfassen, hat der Steuerpflichtige auf Grund höherer Anschaffungs- oder Herstellungskosten eine höhere jährliche Abschreibung. Bei einer erfolgsneutralen Behandlung der Zuschüsse mindert sich dagegen die Bemessungs-

grundlage für die Abschreibung, so dass die jährliche Abschreibung entsprechend geringer ausfällt.

### Abschreibungsregeln

Biogasanlagen sind regelmäßig Betriebsvorrichtungen, so dass sich die Abschreibungsbedingungen nach denen für bewegliche Wirtschaftsgüter richten.

Nach den allgemeinen AfA-Tabellen für die Land- und Forstwirtschaft gilt für Biogasanlagen steuerlich eine Nutzungsdauer von 16 Jahren, so dass sich ein normaler linearer AfA-Satz in Höhe von jährlich 6 % der Anschaffungs- oder Herstellungskosten ergibt. Daneben können die Steuerpflichtigen noch die allgemeinen Wahlrechte bei der Abschreibung in Anspruch nehmen. Dazu zählen z. B. die degressive Abschreibung, die Vereinfachungsregelung der Halbjahres-AfA sowie Sonderabschreibungen und Ansparrücklagen.

Die für bewegliche Wirtschaftsgüter geltende Halbjahres-AfA besagt, dass bei einer in der ersten Hälfte eines Wirtschaftsjahres angeschafften Anlage der für das gesamte Jahr in Betracht kommende AfA-Betrag als Betriebsausgabe abgesetzt werden kann. Bei in der zweiten Hälfte des Wirtschaftsjahres angeschafften oder hergestellten Biogasanlage kann noch die Hälfte des für das gesamte Wirtschaftsjahr in Betracht kommenden AfA-Betrages abgesetzt werden. Dies gilt auch dann, wenn die Anlage z. B. erst am 28.12. eines Jahres angeschafft worden ist.

Neben der linearen AfA in Höhe von 6 % für Biogasanlagen können die Steuerpflichtigen auch wahlweise die degressive Abschreibung in Anspruch nehmen. Bei der degressiven Abschreibung handelt es sich um eine Abschreibung in fallenden Jahresbeträgen vom jeweils verbleibenden Restbetrag. Der degressive AfA-Satz darf das Doppelte der linearen AfA und insgesamt 20 % nicht übersteigen. Für Biogasanlagen bedeutet dies, dass der degressive Abschreibungssatz 12 % beträgt. Weiterhin kann jederzeit von degressiver auf lineare AfA übergegangen werden. Bei einer Nutzungsdauer von 16 Jahren bietet sich der Wechsel zur linearen AfA ab dem 9. Jahr ab. Ab diesem Jahr sind die linearen AfA-Beträge höher als die degressiven Abschreibungsbeträge.

Daneben können die Steuerpflichtigen auch eine Sonderabschreibung für die Anschaffung oder Herstellung der Biogasanlage in Anspruch nehmen. Mit der Sonderabschreibung können 20 % der Anschaffungs- oder Herstellungskosten wahlweise in einer Summe oder verteilt auf die ersten fünf Jahre nach der Anschaffung ergebnismindernd als Betriebsausgaben geltend gemacht werden. Aus Liquiditätsgründen ist

es daher von großem Vorteil, die Sonderabschreibung geltend zu machen.

Eine Kombination aus Sonderabschreibung und degressiver Abschreibung bewirkt, dass man bereits nach drei Jahren fast die Hälfte der ursprünglichen Anschaffungs- oder Herstellungskosten abgeschrieben hat. Dazu folgendes Beispiel:

**Beispiel:** Der Landwirt hat eine Biogasanlage mit Anschaffungskosten von 100.000 € erworben. Er nimmt die 20%ige Sonderabschreibung im ersten Jahr voll in Anspruch. Daneben entscheidet er sich zunächst für die degressive Abschreibung.

**Daraus errechnet sich folgende AfA-Reihe:**

AK/HK	100.000	---
Sonder-AfA 20 %	---	20.000
Degressive AfA 12 %	---	12.000
Restbuchwert (RBW)	68.000	---
2. Jahr AfA 12 % vom RBW	---	8.160
Restbuchwert	59.840	---
3. Jahr AfA 12 % vom RBW	---	7.181
Restbuchwert	52.659	---
AfA-Summe nach 3 Jahren	---	47.341

Der Landwirt hat also bereits nach 3 Jahren die Anlagen fast auf die Hälfte abgeschrieben und insoweit kalkulatorische Verluste in Höhe von 47.341 € erzeugt. Diese kann er mit positiven Einkünften ggf. verrechnen.

Allerdings kann ein landwirtschaftlicher Betrieb die Sonderabschreibung nur dann in Anspruch nehmen, wenn der Einheitswert des Betriebes der Land- und Forstwirtschaft im Zeitpunkt der Anschaffung oder Herstellung nicht mehr als 122.710 € beträgt. Soweit es sich um einen Gewerbebetrieb handelt, in dem die Biogasanlage angeschafft oder hergestellt wird, darf das Betriebsvermögen des Gewerbebetriebs nicht größer sein als 204.517 €.

Weitere Voraussetzung zur Bildung einer Sonderabschreibung ist, dass im Wirtschaftsjahr vor der Inanspruchnahme eine Ansparrücklage gebildet worden ist. Dieses formelle Erfordernis muss unbedingt eingehalten werden, da ansonsten die Finanzverwaltung die Sonderabschreibung nicht gewährt. Die Ansparrücklage muss mindestens 1 € und darf höchstens 40 % der voraussichtlichen Anschaffungs- oder Herstellungskosten betragen.

### Verlustverrechnung

Durch die hohe Abschreibung gerade in den ersten Jahren entstehen im Betrieb hohe kalkulatorische Verluste. Diese Verluste können mit Gewinnen im übr-

gen landwirtschaftlichen Betrieb ohne Weiteres in unbegrenztem Umfang verrechnet werden.

Problematisch kann die Verlustverrechnung jedoch in den Fällen sein, in denen der Steuerpflichtige die Biogasanlagen im Rahmen eines gewerblichen Betriebes führt. In diesem Fall können die Verluste nur in begrenztem Umfang verrechnet werden, da der Gesetzgeber mit einer komplizierten Regelung sicherstellen will, dass immer eine Mindestbesteuerung der Einkünfte erfolgt. Daher kann ein Verlust z.B. bei der Einkunftsart „Gewerbebetrieb“ nur beschränkt mit positiven Einkünften aus anderen Einkunftsarten wie z.B. „Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft“ oder „Einkünfte aus Vermietung und Verpachtung“ verrechnet werden. Unbeschränkt können max. 51.500 € zwischen den verschiedenen Einkunftsarten verrechnet werden. Der dann verbleibende Betrag der negativen Einkünfte kann jedoch nur zu 50 % berücksichtigt werden.

Der Restbetrag geht jedoch nicht verloren. Soweit sich ein Restverlust ergibt, kann dieser wahlweise in den vorangegangenen Veranlagungszeitraum zurückgetragen oder in die nächsten Jahre vorgetragen werden.

#### 9.4.1.2 Umsatzsteuerliche Auswirkungen

Für Land- und Forstwirte sieht das Umsatzsteuergesetz besondere Durchschnittssätze vor. Für die im Rahmen eines land- und forstwirtschaftlichen Betriebes ausgeführten Umsätze gilt eine Umsatzsteuer von 9 % der jeweiligen Bemessungsgrundlage. Verkauft daher der Land- und Forstwirt den aus der Biomasse erzeugten Strom, so kann er darauf 9 % MwSt. aufschlagen. Andererseits sieht das Umsatzsteuergesetz vor, dass den Land- und Forstwirten ein Abzug der auf die Anschaffungs- oder Herstellungskosten entfallende Umsatzsteuer verwehrt ist.

Deshalb haben Land- und Forstwirte zu prüfen, ob sie bei der Errichtung einer Biogasanlage eine Option zur sog. Regelbesteuerung aussprechen. Dies bedeutet, dass man fünf Jahre lang an die allgemeinen Regeln des Umsatzsteuerrechts gebunden ist. Der Landwirt muss daher auf alle veräußerten Produkte – also nicht nur das veräußerte Biogas – den jeweils geltenden MwSt-Satz von derzeit 7 % oder 16 % aufschlagen und an das Finanzamt abführen. Im Gegenzug kann er sich die ihm in Rechnung gestellte Vorsteuer vom Finanzamt zurückerstatten lassen. Da erfahrungsgemäß bei einer Baumaßnahme wie der Errichtung einer Biogasanlage ein hoher Vorsteuerbetrag anfällt, ist immer zu prüfen, ob sich die Option für die Regelbe-

steuerung für den einzelnen Betrieb rechnet. Die Optionserklärung kann auch rückwirkend bis zum 10. Januar eines Jahres für das vorangegangene Kalenderjahr erklärt werden.

Zu beachten ist jedoch, dass die Vorteile bei der Biogasanlage möglicherweise Nachteile im übrigen landwirtschaftlichen Betrieb bedeuten. Da gerade umsatzstarke Vieh haltende Betriebe oftmals Vorteile aus der Durchschnittsbesteuerung aus der Umsatzsteuer haben, sind beide Optionen sorgfältig zu prüfen.

#### 9.4.1.3 Gewerbesteuerliche Auswirkungen

Kommt man eingangs zu dem Ergebnis, dass es sich bei der Biogasanlage nicht mehr um einen Nebenbetrieb oder einen land- und forstwirtschaftlichen Betrieb handelt, erzielt der Steuerpflichtige insoweit Einkünfte aus Gewerbebetrieb. In diesem Fall fällt nach dem Gewerbesteuergesetz auch Gewerbesteuer an, für die jedoch derzeit ein Freibetrag für Einzelunternehmer und Personengesellschaften in Höhe von 24.500 € gilt. Sollte der Gewerbeertrag darüber liegen, greift ein Stufentarif.

Doch selbst dann, wenn man tatsächlich in eine Gewerbesteuerpflicht hineinlaufen sollte, hat der Gesetzgeber vorgesehen, dass die Gewerbesteuerzahlungen pauschal auf die Einkommensteuerzahllast angerechnet werden können. Eine Nettobelastung durch die Gewerbesteuer ergibt sich daher erst ab einem Gewerbesteuerhebesatz von mehr als 360 v.H.

#### 9.4.2 Rechtsformwahl und die steuerlichen Auswirkungen

Die Frage der Rechtsform bei der Errichtung einer Biogasanlage ist bereits im Vorfeld frühzeitig zu klären. Dabei ist die Wahl einer Rechtsform nicht alleine eine Frage der steuerlichen Belastung, doch ergibt sich eine erhebliche Wechselwirkung zwischen dem Gesellschaftsrecht und dem Steuerrecht, da das deutsche Steuerrecht abhängig von der jeweiligen Rechtsform unterschiedliche Konsequenzen hat. So unterliegen Einzelunternehmen und Personengesellschaften der Einkommensteuer, während Kapitalgesellschaften nach dem Körperschaftsteuergesetz erfasst werden.

Die Vorteilhaftigkeit einer Rechtsform bei der Errichtung oder dem Erwerb einer Biogasanlage hängt im Wesentlichen von der Größe der Biogasanlage und der Art und Weise der Kapitalbeschaffung ab. Bei kleineren Biogasanlagen wird es regelmäßig günstiger sein, diese als Nebenbetrieb zum land- und forstwirtschaftlichen Betrieb zu führen. Damit ist die Rechts-



form des landwirtschaftlichen Betriebes auch für den Nebenbetrieb ausschlaggebend. Dabei kann es sich um ein Einzelunternehmen oder auch um eine Personengesellschaft wie z. B. eine Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) handeln.

Gerade bei größeren Biogasanlagen ist jedoch auch die Beteiligung weiterer Unternehmer und damit die Kapitalbeschaffung von ausschlaggebender Bedeutung. Oftmals werden diese Anlagen neben dem ursprünglich landwirtschaftlichen Betrieb geführt, so dass sie auch rechtlich verselbständigt werden können. Dafür bieten sich die Rechtsformen der Kommanditgesellschaft (KG) oder ggfs. einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH) an. Unterschiede zwischen den einzelnen Rechtsformen liegen z.B. in Fragen der Haftung, Gewinnverteilung, Veröffentlichungspflichten, Kapitalaufbringung und Geschäftsführung.

Neben den zivilrechtlichen Unterschieden der verschiedenen Rechtsformen sind auch steuerliche Abweichungen zu beachten, die nachfolgend ebenfalls dargestellt werden.

#### 9.4.2.1 Einzelunternehmer

In der Land- und Forstwirtschaft am meisten verbreitet ist das klassische Einzelunternehmen. Mit der Aufnahme einer landwirtschaftlichen Tätigkeit, sei es durch die Gründung eines Betriebes oder durch die Übertragung eines Betriebes im Wege der vorweggenommenen Erbfolge oder im Rahmen des Erbfalls, ist man Einzelunternehmer und erzielt steuerrechtlich Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft. Wichtiges Element des Einzelunternehmers ist seine unbeschränkte Haftung mit seinem gesamten privaten und betrieblichen Vermögen. Die Führung des Einzelunternehmens obliegt allein dem Inhaber und ihm werden auch steuerrechtlich die Erträge des Unternehmens zugerechnet. Auf Grund des in der Land- und Forstwirtschaft üblichen Wirtschaftsjahres vom 1.07. bis zum 30.06. werden die Gewinne eines Wirtschaftsjahres auf das jeweilige Kalenderjahr aufgeteilt.

Eine Buchführungspflicht für den landwirtschaftlichen Einzelunternehmer ergibt sich nur dann, wenn die selbstbewirtschaftete land- und forstwirtschaftliche Fläche einen Wirtschaftswert von mehr als 25.000 € hat, der Gewinn aus Land- und Forstwirtschaft mehr als 30.000 € im Kalenderjahr oder die Umsätze mehr als 350.000 € im Kalenderjahr betragen. Diese Werte gelten für Wirtschaftsjahre, die nach dem 31. Dezember 2003 beginnen. Die Buchführungspflicht setzt dann mit dem Wirtschaftsjahr ein, das

nach der Aufforderung durch die Finanzverwaltung zur Buchführung beginnt. Werden die vorgenannten Grenzen nicht überschritten und liegt auch keine Aufforderung der Finanzverwaltung vor, müssen land- und forstwirtschaftliche Einzelunternehmer nur eine vereinfachte Einnahmen-Überschussrechnung anfertigen.

Daneben gibt es für kleinere Unternehmen die Möglichkeit, ihren Gewinn nach Durchschnittssätzen zu ermitteln. Dies ist möglich, so lange die selbstbewirtschaftete Fläche der landwirtschaftlichen Nutzung 20 ha nicht überschreitet, die Tierbestände nicht höher als 50 Vieheinheiten sind und der Wert der selbstbewirtschafteten Sondernutzung nicht mehr als 2.000 DM<sup>1</sup> je Sondernutzung beträgt. Biogasanlagen, die als Nebenbetriebe eines landwirtschaftlichen Hauptbetriebes geführt werden, gelten dabei als Sondernutzungen. Da Nebenbetriebe gesondert mit dem Einzelertragswert zu bewerten sind, wird sich – auch für kleinere Biogasanlagen – regelmäßig ein höherer Wert der Sondernutzung als 2.000 DM ergeben, so dass die Gewinnermittlung nach Durchschnittssätzen regelmäßig ausgeschlossen sein dürfte.

Solange nur Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft erzielt werden, entsteht nach derzeitiger Rechtslage keine Gewerbesteuerpflicht des Unternehmers. Wenn jedoch die Biogasanlage neben dem land- und forstwirtschaftlichen Betrieb im Rahmen eines gewerblichen Einzelunternehmens geführt wird und daraus Einkünfte aus Gewerbebetrieb entstehen, entsteht automatisch auch eine Gewerbesteuerpflicht.

Nach dem Umsatzsteuergesetz kann der landwirtschaftliche Unternehmer die Umsatzsteuer-Pauschalierung in Anspruch nehmen. Dies ist einem gewerblichen Einzelunternehmer verwehrt.

#### 9.4.2.2 Personengesellschaften

Die in der Land- und Forstwirtschaft am häufigsten vorkommenden Personengesellschaften sind die Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) sowie die Kommanditgesellschaft (KG).

##### **Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR)**

Wesentlicher Vorteil der GbR ist ihre hohe Flexibilität in vielfältigen Bereichen. Zudem erfolgt die Gründung einer GbR formfrei durch Abschluss eines Gesellschaftsvertrages, der auch mündlich geschlossen werden kann. Aus Beweisgründen bietet sich jedoch immer ein schriftlicher Gesellschaftsvertrag an, um

1. Hier ist das Steuerrecht noch nicht auf € umgestellt worden



unnötige Streitigkeiten zwischen den Gesellschaftern zu vermeiden. Ein Mindestkapital ist für die Gründung einer GbR nicht erforderlich. Die Geschäftsführung schließlich erfolgt durch die Gesellschafter einstimmig, wobei hiervon abweichende Regelungen im Gesellschaftsvertrag geschlossen werden können. Ebenso wie beim Einzelunternehmer haften die Gesellschafter einer GbR mit ihrem gesamten privaten und betrieblichen Vermögen.

Hinsichtlich der Buchführungs- und Rechnungslegungspflichten einer GbR gelten die gleichen Voraussetzungen wie bei einem Einzelunternehmer. Nur in den Fällen, in denen die bereits oben beschriebenen Betragsgrenzen überschritten werden und eine Aufforderung durch das Finanzamt vorliegt, muss die GbR eine Buchführung durchführen.

Zunächst wird auf der Ebene der Gesellschaft der Gewinn oder Verlust ermittelt. Da die Gesellschaft selber jedoch nicht steuerpflichtig ist, wird der so ermittelte Gewinn oder Verlust den einzelnen Gesellschaftern anteilig entsprechend der vertraglichen Regelungen zugerechnet. Es findet eine einheitliche und gesonderte Feststellung für jeden Gesellschafter statt. Diese Einkünfte hat dann der jeweilige Gesellschafter in seiner eigenen Einkommensteuererklärung zu erfassen und zu versteuern.

Umsatzsteuerlich und gewerbsteuerlich gelten für die GbR die gleichen Voraussetzungen wie für einen Einzelunternehmer.

### **Kommanditgesellschaft (KG)**

Immer größerer Beliebtheit erfreut sich in der Land- und Forstwirtschaft die Rechtsform einer KG. Wesentlicher Vorteil einer KG gegenüber einer GbR ist, dass die Kommanditisten nur beschränkt mit ihrer Kommanditeinlage haften. Damit wird die unbeschränkte persönliche Haftung mit dem gesamten privaten und betrieblichen Vermögen auf einen bestimmten Geldbetrag reduziert. Neben einem oder mehreren Kommanditisten gibt es jedoch immer noch mindestens einen Komplementär, der als Vollhafter bezeichnet wird. Er muss mit seinem gesamten privaten und betrieblichen Vermögen haften.

Zur Einschränkung der unbeschränkten Haftung des Komplementärs gibt es weiterhin die Rechtsform der GmbH & Co. KG, bei der es sich auch um eine Personengesellschaft handelt. Bei dieser Rechtsform übernimmt eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH) die Komplementärstellung. Mit dieser Rechtsformwahl kann die Haftung des Komplementärs auf die Hafteinlage der GmbH beschränkt werden.

Weiterer Vorteil einer KG ist, dass Kommanditisten gewonnen werden können, die nicht am Unternehmen selber interessiert sind, die jedoch Kapital zur Finanzierung einer Biogasanlage aufbringen können. Somit können z. B. weitere Familienangehörige oder auch familienfremde Personen gewonnen werden, um die Finanzierung einer Biogasanlage zu erleichtern und zu gewährleisten.

Wie bei einem Einzelunternehmen und der GbR ist auch bei der KG kein Mindestkapital erforderlich. Grundsätzlich gilt auch hier die Formfreiheit bei der Gründung, doch muss bei einer GmbH & Co. KG zuvor die Komplementär-GmbH gegründet und durch eine notariell beglaubigte Anmeldung beim Handelsregister dort eingetragen sein. Zur Geschäftsführung bei einer KG ist regelmäßig nur der Komplementär berechtigt. Bei einer GmbH & Co. KG ist dies die GmbH, deren Geschäfte wiederum durch ihren Geschäftsführer erledigt werden.

Hinsichtlich der Buchführung gelten für die KG die Regelungen des Handelsgesetzbuchs. Danach ist immer – unabhängig von bestimmten Betragsgrenzen – eine komplette Buchführung erforderlich.

Die Einkommensteuerpflicht bei einer KG liegt nicht bei der Gesellschaft, sondern bei ihren Gesellschaftern, denn die KG ist nicht selten Steuersubjekt bei der Einkommensteuer. Deshalb wird auch hier zunächst auf der Ebene der KG Gewinn und Verlust ermittelt und dann den Gesellschaftern anteilig in einer einheitlichen und gesonderten Feststellung zugeordnet. Die Gesellschafter sind dann verpflichtet, den auf sie entfallenen Anteil selbständig zu versteuern.

Etwas anderes gilt insoweit für die Gewerbesteuer. Hier ist die KG selbständiges Steuersubjekt und hat diese kraft Rechtsform selber zu tragen.

Soweit die KG einen landwirtschaftlichen Betrieb betreibt, kann sie auch die Umsatzsteuerpauschalierung für landwirtschaftliche Betriebe in Anspruch nehmen.

### **9.4.2.3 Kapitalgesellschaft**

Kapitalgesellschaften spielen in der Land- und Forstwirtschaft noch keine große Rolle. Im Wesentlichen kommen als Kapitalgesellschaften die Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH) sowie die Aktiengesellschaft (AG) in Frage. Nachfolgend sollen jedoch nur die GmbH dargestellt werden, da die AG auf Grund der erhöhten Formvorschriften für landwirtschaftliche Betriebe regelmäßig ausscheidet.

Grundprinzip der Kapitalgesellschaften ist die strenge Trennung zwischen der Ebene der Gesell-



Tabelle 9-8: Die wichtigsten Rechtsformen im Überblick

	Einzelunternehmer	Personengesellschaften		Kapitalgesellschaften
		GbR Gesellschaft bürgerlichen Rechts	KG Kommanditgesellschaft	GmbH Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Kapitalaufbringung	aus eigenem Vermögen; kein Mindestkapital	alle Mitunternehmer/Gesellschafter gemeinsam; kein Mindestkapital		Gesellschafter anteilmäßig; Stammkapital von 25.000 €, bei Gründung muss mindestens die Hälfte eingezahlt sein
Haftung	Unbeschränkt mit privatem und betrieblichen Vermögen	Unbeschränkt mit privatem und betrieblichen Vermögen	Komplementär als Vollhafter wie EU; Kommanditist haftet mit Einlage; GmbH als Komplementär (GmbH + Co KG) haftet nur mit Gesellschaftsvermögen	Beschränkt auf das Gesellschaftsvermögen
Geschäftsführung	Einzelunternehmer alleine	Gemeinschaftliche Geschäftsführung	Komplementär; Kommanditist von Geschäftsführung ausgeschlossen	Geschäftsführer muss von Gesellschafterversammlung berufen werden; Fremd- oder Gesellschafter-GF möglich
Gewinn-, Ergebnisverteilung	Einzelunternehmer allein	jeder Gesellschafter nach Gewinnverteilung lt. Vertrag	vorab 4 % Verzinsung, Rest nach Köpfen bzw. nach Vertrag	nach Beschluss der Gesellschafterversammlung
Buchführungspflicht	ab 25.000 € Wirtschaftswert ab 30.000 € Gewinn oder ab 350.000 € Umsatz und Aufforderung der Finanzverwaltung	Wie Einzelunternehmer	Ja, nach dem Handelsgesetzbuch	Ja, nach den Buchführungs- und Bilanzierungspflichten des Handelsgesetzbuches
Umsatzsteuerpauschalierung	ja; Option zur Regelmäßigkeit möglich	Wie Einzelunternehmer		nein; wg. Rechtsform von Pauschalierung ausgeschlossen
Gewerbesteuerpflicht	Entfällt, solange nur Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft	Wie Einzelunternehmer	Wie Einzelunternehmer	ja
Steuersubjekt und Steuerart	Einzelunternehmer unterliegt der Einkommensteuer	nicht die Gesellschaft, sondern Mitunternehmer entsprechend Gewinnanteil unterliegen der Einkommenssteuer		Gesellschaft unterliegt der Körperschaftsteuer; Ausschüttung beim Anteilseigner der Einkommensteuer

schaft und der Ebene der Gesellschafter. Die Kapitalgesellschaft als juristische Person unterliegt der Körperschaftsteuer und die von ihr erwirtschafteten Einkünfte werden stets als Einkünfte aus Gewerbebetrieb behandelt.

Soweit die Kapitalgesellschaft an ihre Gesellschafter Erträge ausschüttet, haben diese im Zeitpunkt der Ausschüttung steuerpflichtige Einkünfte und müssen die Hälfte der Ausschüttung ihrer persönlichen Einkommensteuer unterwerfen (sog. Halbeinkünfteverfahren beim Gesellschafter).

Gründungsvoraussetzung einer GmbH ist der notarielle Abschluss des Gesellschaftsvertrages und die Anmeldung der Gesellschaft zum Handelsregister.

Die Gesellschafterversammlung muss dann einen oder mehrere Geschäftsführer bestellen, da die GmbH nur durch ihren Geschäftsführer handlungsfähig ist. Allerdings gibt es auch die Ein-Mann-GmbH.

Das Mindestkapital einer GmbH beträgt 25.000 €, wovon bei der Gründung mindestens die Hälfte eingezahlt sein muss. Wesentlicher Vorteil der GmbH ist, dass die Gesellschaft nur mit ihrem Gesellschaftsvermögen, also mindestens mit dem Mindestkapital, haftet. Es besteht daneben keine weitere persönliche Haftung der Geschäftsführer oder der Gesellschafter. Die GmbH unterliegt den Buchführungs- und Bilanzierungspflichten des Handelsgesetzbuchs.

Steuerlich sind die Erträge der Gesellschaft nach den derzeit geltenden Regeln des Körperschaftsteuerrechts definitiv mit 25 % zu besteuern. Daneben unterliegt die GmbH noch der Gewerbesteuer, die ca. 12 – 13 % des Gewerbeertrags ausmacht. Insgesamt beträgt daher die Steuerbelastung einer Kapitalgesellschaft ca. 38 %.

## 9.5 Literaturverzeichnis

- /9-1/ KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003. KTBL (Hrsg.), 18. Auflage (2002)
- /9-2/ CD-ROM; KTBL-Datensammlung: Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003 - Außenwirtschaft. KTBL (Hrsg.), (2002)
- /9-3/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 1. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2001)
- /9-4/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 2. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)
- /9-5/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 3. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2002)
- /9-6/ Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich. (FNR-FKZ: 00NR179). 4. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig (2003)
- /9-7/ Melchinger, T.: Ermittlung von Kalkulationsdaten im landwirtschaftlichen Güterumschlag für Front- und Teleskoplader. Diplomarbeit FH Nürtingen (2003)
- /9-8/ Mayer, M.: Integration von Radladern in alternative Mechanisierungskonzepte für den Futterbaubetrieb. Diplomarbeit FH Nürtingen (1998)
- /9-9/ Handke, B.: Vergleichende Untersuchungen an Hofladern. Diplomarbeit FH Nürtingen (2002)



# 10 Grundsätze bei der Projektplanung

Der Bau einer Biogasanlage bindet Kapital langfristig und legt das landwirtschaftliche Unternehmen fest. Vor Durchführung einer Maßnahme ist es deshalb notwendig zu prüfen, ob die geplante Investition aus ökonomischer Sicht besser ist als andere Investitionsalternativen (z. B. ein Stallneubau mit Ausdehnung der vorhandenen Tierhaltung). Dabei sind die durch die Flächenausstattung, die Art und den Umfang der Tierhaltung, die Arbeitskräfte und das verfügbare Kapital bestimmten Möglichkeiten des Unternehmens zu berücksichtigen. In jedem Fall muss das Unternehmen durch eine Investition wirtschaftlicher werden. Eine falsche Entscheidung ist mittelfristig kaum zu korrigieren, weil dann in der Regel das Geld fehlt, diese Korrektur zu finanzieren.

## 10.1 Vorüberlegungen

Bereits in einem sehr frühen Stadium der Überlegungen sollte man sich drei grundsätzliche Fragen stellen:

- Was will ich?
- Was kann ich?
- Was habe ich an Rohstoffen zur Verfügung?

Danach ist eine erste überschlägige Wirtschaftlichkeitsanalyse zu empfehlen, um abzuschätzen, ob es sich überhaupt lohnt, intensiv in die Planung einzusteigen.

### 10.1.1 Was will ich?

„Geld verdienen“ wird häufig ein erster Gedanke sein. Das ist notwendig, sonst macht die Investition keinen Sinn. Aber – habe ich genügend Zeit, neben der Bewirtschaftung meines Betriebes zusätzlich eine Biogasanlage zu betreiben? Für Überwachung und Betreuung sind mindestens 1 Stunde pro Tag einzu-

planen, wenn nicht nur Gülle vergoren werden soll. Reicht die eigene Fläche als Rohstoffbasis? Wenn nicht, muss zugepachtet und der Energiepflanzenanbau oder die Beschaffung geeigneter Rohstoffe organisiert werden. Beides bindet weitere Arbeitszeit. Wer arbeitet, will auch dafür entlohnt werden. Wie viel ist die eigene Arbeit wert? Das kann jeder selbst entscheiden – 15 € pro Stunde sollten es aber in jedem Fall sein.

Wird Eigenkapital zur Finanzierung eingesetzt, stellt sich die Frage einer angemessenen Verzinsung. Langfristige Geldanlagen erzielen mindestens 5 % Zinsen. Weniger darf es bei einer Biogasanlage nicht sein! Auch die Reduzierung von Geruchsbelastungen durch Gülle kann ein wichtiges, sogar existentielles Ziel sein, wenn beispielsweise Gülle auf siedlungsnahen Flächen ausgebracht werden muss.

Dies mag als Anregung genügen. Pauschale Antworten gibt es auf diese Frage nicht. Jeder hat eigene Vorstellungen und eigene Ziele.

### 10.1.2 Was kann ich?

Wer neu einsteigen will, sollte sich fragen: Bin ich bereit, etwas Neues zu lernen? Nur wer sich intensiv mit den biologischen Vorgängen im Gärbehälter und der Ernährung der Bakterien beschäftigt, wird auf längere Sicht hohe Leistungen erreichen. Am Anfang ist die Produktionstechnik noch nicht perfekt und für den einen oder anderen Fehler wird man Lehrgeld bezahlen. Die Leistung der Biogasanlage erreicht deshalb in der Anlaufphase (mindestens 1 Jahr) noch nicht das höchste Niveau. Zusätzlich muss mit viel Arbeit gerechnet werden und ein deutlich höherer Verbrauch an Hilfsstoffen wie Heizöl und Wasser ist einzuplanen. Ein gesunder Betrieb verkraftet diesen vorhersehbaren (Liquiditäts-) Engpass problemlos.

### 10.1.3 Was habe ich an Rohstoffen zur Verfügung?

In jedem Fall sollte man sich sehr genau überlegen, welche Substrate eingesetzt werden. Der Landwirt ist in erster Linie Erzeuger hochwertiger, von Schadstoffen unbelasteter und gesunder Nahrungsmittel und nicht Abfallverwerter. Für den Betreiber einer landwirtschaftlichen Biogasanlage hat es durchaus Vorteile, sich auf Ausgangsprodukte aus der Landwirtschaft zu beschränken. Mit Gülle, Mist, Futterresten und Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) vom eigenen Betrieb kann sicher kalkuliert werden. Die kontinuierliche Versorgung mit Substraten für die Biogaserzeugung ist so am Besten zu sichern. Wer ausschließlich diese Substrate einsetzt, bekommt außerdem eine deutlich höhere Vergütung für seinen in das Netz eingespeisten Strom (vgl. Kapitel 10.2.2).

Sollen in größerem Umfang betriebsfremde Substrate, seien es NawaRo, pflanzliche Reststoffe oder andere Kofermente, eingesetzt werden, ist der Abschluss von Lieferverträgen bereits im Vorfeld dringend zu empfehlen. Eine große und teure Biogasanlage in der Hoffnung zu bauen, die benötigten Substrate irgendwie zu bekommen, ist betriebswirtschaftlich nicht vertretbar.

## 10.2 Stromvergütung

Die Stromvergütung regelt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Eine Neufassung des EEG wurde am 02.04.2004 vom Deutschen Bundestag beschlossen und soll noch vor der Sommerpause in Kraft treten. Die Rahmenbedingungen für die Stromerzeugung aus Biomasse verbessern sich gegenüber dem alten EEG deutlich. In Abhängigkeit von der elektrischen Leistung legt das Gesetz unterschiedliche Mindestvergütungen für den eingespeisten Strom fest. Zusätzlich gibt es Bonuszahlungen für

- den ausschließlichen Einsatz von NawaRo und/oder Gülle und Schlempe,
- die Nutzung von Wärme sowie
- den Einsatz innovativer Technik.

Man muss sich also schon bei der Planung sehr genau überlegen, wie groß die Biogasanlage dimensioniert werden soll und welche Substrate zum Einsatz kommen sollen.

### 10.2.1 Mindestvergütung

Biogasanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 20 Megawatt, die ausschließlich Biomasse<sup>1</sup> einsetzen und im Jahre 2004 in Betrieb genommen worden sind, erhalten für Strom ab Inkrafttreten des Gesetzes eine Vergütung von mindestens

- 11,50 Cent pro Kilowattstunde für die ersten 150 Kilowatt elektrische Leistung,
- 9,90 Cent pro Kilowattstunde für die 150 Kilowatt übersteigende Leistung bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 500 Kilowatt,
- 8,90 Cent pro Kilowattstunde für die 500 Kilowatt übersteigende Leistung bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 5,0 Megawatt,
- 8,40 Cent pro Kilowattstunde für die 5,0 Megawatt übersteigende Leistung.

Etwas verwirrend ist, dass sich nur die vergütungsfähige Obergrenze von 20 MW auf die installierte Leistung bezieht, während sonst unter dem Begriff Leistung nicht die installierte Leistung zu verstehen ist. Die angegebenen Leistungsgrenzen (Schwellenwerte) dienen lediglich dazu, die Jahresstromerzeugung (Jahresarbeit) zu ermitteln, für die die jeweilige Mindestvergütung zu bezahlen ist. Die durchschnittliche Jahresarbeit errechnet sich aus dem jeweiligen Schwellenwert mal dem Kalenderjahr in Stunden.

Das folgende Beispiel soll die Berechnung der Stromvergütungen verdeutlichen:

Eine Biogasanlage wurde am 01. Juli 2004 in Betrieb genommen. Die Anlage erreicht im Jahr der Inbetriebnahme eine Betriebsdauer von 184 Tagen. In Stunden umgerechnet, sind das 4.416 Jahresstunden (184 Tage · 24 Stunden/Tag). Der Anlagenbetreiber erhält demzufolge im Jahr der Inbetriebnahme für die ersten 662.400 Kilowattstunden (4.416 Jahresstunden · 150 Kilowatt), die er in das Netz einspeist, eine Mindestvergütung von 11,50 Cent pro Kilowattstunde. Wird mehr eingespeist, bekommt er für die nächsten 1.545.600 Kilowattstunden (4.416 Jahresstunden · 500 Kilowatt - 662.400 Kilowattstunden) 9,90 Cent pro Kilowattstunde usw. (siehe Tabelle 10-1).

Beginnend ab dem 01. Januar 2005 werden die Mindestvergütungen jährlich für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um 1,5 Prozent (auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet) ge-

1. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wird ermächtigt, ... durch Rechtsverordnung, die der Zustimmung des Bundestages bedarf, Vorschriften darüber zu erlassen, welche Stoffe als Biomasse im Sinne dieser Vorschrift gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung angewandt werden dürfen und welche Umweltauflagen dabei einzuhalten sind. Bis zum Erlass einer Rechtsverordnung gilt die Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234).

Tabelle 10-1: Berechnung der Stromvergütungen

Betriebsdauer		bis einschließl. einer Leistung von kW <sub>e1</sub>	Eingespeiste Jahresarbeit		Vergütungssatz <sup>a</sup> Cent/kWh <sub>e1</sub>
Tage/Jahr	Stunden/Jahr		von kWh <sub>e1</sub>	bis kWh <sub>e1</sub>	
Inbetriebnahme 2004					
184	4.416	150	1	662.400	11,50
		500	662.401	2.208.000	9,90
		5.000	2.208.001	22.080.000	8,90
		20.000	22.080.001	88.320.000	8,40
Folgejahre <sup>b</sup>					
365	8.760	150	1	1.314.000	11,50
		500	1.314.001	4.380.000	9,90
		5.000	4.380.001	43.800.000	8,90
		20.000	43.800.001	175.200.000	8,40

a. Zuzüglich Umsatzsteuer

b. Sofern es sich nicht um ein Schaltjahr handelt

senkt. Maßgeblich für die Berechnung sind jeweils die Mindestvergütungen des Vorjahres. Die im Jahr der Inbetriebnahme gültigen Mindestvergütungen einschließlich eventueller Bonuszahlungen (siehe Kapitel 10.2.2 bis 10.2.4) sind für die Dauer von 20 Jahren zuzüglich des Jahres der Inbetriebnahme zu bezahlen. Die Umsatzsteuer ist in den Vergütungssätzen nicht enthalten.

Die Pflicht zur Vergütung entfällt für Strom aus Anlagen, die ab dem 01. Januar 2007 in Betrieb gehen, wenn für Zwecke der Zünd- und Stützfeuerung nicht ausschließlich Biomasse – dies wird in der Regel Rapsöl sein – oder Pflanzenölmethylester verwendet wird. Bei Biogasanlagen, die vorher in Betrieb genommen worden sind, gilt auch der Anteil, der der notwendigen fossilen Zünd- und Stützfeuerung zuzurechnen ist, weiterhin als Strom aus Biomasse. Umstritten ist, ob diese Regelung auch für den Austausch von Zündstrahlmotoren nach dem 01. Januar 2007 in Biogasanlagen, die vor diesem Zeitpunkt in Betrieb gegangen sind, gilt. Wie hoch der Anteil der notwendigen fossilen Zündfeuerung sein darf, ist im Gesetz nicht definiert. Die Notwendigkeit der fossilen Zündfeuerung wird man kaum verneinen können, wenn ihr Anteil im Jahresdurchschnitt nicht über 15 Prozent der Bruttoenergie liegt, die dem BHKW zugeführt wird. In der Anlaufphase der Biogasanlage lässt sich dieser 15 Prozentanteil allerdings oft nicht einhalten. Die Netzbetreiber vertreten in der Regel den Standpunkt, dass 10 Prozent die Grenze bilden.

### 10.2.2 Vergütungszuschlag „NaWaRo-Bonus“

Die Mindestvergütungen erhöhen sich zusätzlich um einen Vergütungszuschlag in Höhe von

- 6,00 Cent pro Kilowattstunde bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 500 Kilowatt,
  - 4,00 Cent pro Kilowattstunde bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 5 Megawatt,
- wenn der Strom ausschließlich

1. aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden,
2. „aus Exkrementen und/oder Urin von Nutztieren<sup>1</sup>, mit oder ohne Einstreu“<sup>2</sup> oder aus in einer landwirtschaftlichen Brennerei<sup>3</sup> angefallener Schlempe, für die keine anderweitige Verwertungspflicht nach dem Branntweinmonopolgesetz<sup>4</sup> besteht, oder

1. Nutztiere sind Tiere, die von Menschen gehalten, gemästet oder gezüchtet und zur Erzeugung von Lebensmitteln (wie Fleisch, Milch und Eiern) oder zur Gewinnung von Wolle, Pelzen, Federn, Häuten oder anderen Erzeugnissen tierischen Ursprungs genutzt werden.
2. Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte Nebenprodukte (ABl. EG Nr. L 273 S. 1), geändert durch Verordnung (EG) Nr. 808/2003 der Kommission vom 12. Mai 2003 (ABl. EU Nr. L 117 S. 1).
3. Im Sinne des § 25 des Gesetzes über das Branntweinmonopol in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 612-7, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 23. Dezember 2003 (BGBl. I S. 2924).
4. Nach § 25 Abs. 2 Nr. 3 oder Abs. 3 Nr. 3 des Gesetzes über das Branntweinmonopol

3. aus beiden Stoffgruppen gewonnen wird,
4. die Biomasseanlage ausschließlich für den Betrieb mit Stoffen nach Nummer 1 genehmigt ist, oder, soweit eine solche Genehmigung nicht vorliegt, der Anlagenbetreiber durch ein Einsatzstoff-Tagebuch mit Angaben und Belegen über Art, Menge und Herkunft der eingesetzten Stoffe den Nachweis führt, dass keine anderen Stoffe eingesetzt werden und
5. auf dem selben Betriebsgelände keine Biomasseanlagen betrieben werden, in denen Strom aus sonstigen Stoffen gewonnen wird.

Die Verpflichtung, diesen Vergütungszuschlag zu bezahlen, besteht ab dem Zeitpunkt, von dem an die o. g. Voraussetzungen erfüllt sind. Auch Altanlagen können den Vergütungszuschlag für die Dauer der Restlaufzeit der gesetzlich festgelegten Einspeisevergütung bekommen. Für alle Anlagen gilt: Sobald die Voraussetzungen nicht mehr erfüllt sind, entfällt der Anspruch auf den Vergütungszuschlag endgültig.

Nach dem Willen des Gesetzgebers sollen somit Anreize geschaffen werden, das vorhandene Biomassepotenzial besser zu erschließen, ohne dabei Mitnahmeeffekte auszulösen. Welche Rohstoffe konkret erlaubt sind, lässt sich aber aus dem Gesetzestext nur schwer ableiten.

#### **Ausblick:**

Die folgende Tabelle 10-2 soll einen unverbindlichen Überblick geben, welche Einsatzstoffe möglich sind. Diese Interpretationshilfe soll dem zukünftigen Anlagenbetreiber als Orientierung dienen, ersetzt jedoch nicht das Gespräch mit den Genehmigungsbehörden zur Festlegung eines gemeinsamen Weges. Weiterhin werden in Kürze Aktualisierungen des Gesetzestextes dahingehend erwartet, daß eine Definition bonusberechtigter Substrate konkretisiert wird.

### 10.2.3 Vergütungszuschlag „Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus“

Die Mindestvergütungen bis einschließlich einer elektrischen Leistung von 20 Megawatt erhöhen sich zusätzlich um jeweils 2,0 Cent pro Kilowattstunde, soweit es sich um Strom im Sinne von § 3 Abs. 4 des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes<sup>1</sup> handelt und dem Netzbetreiber ein entsprechender Nachweis<sup>2</sup> vorgelegt wird. Anstelle des Nachweises können für serienmäßig hergestellte KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 2 Megawatt geeignete Unterlagen des Herstellers vorgelegt werden, aus denen die thermische und elektrische Leistung sowie die Stromkennzahl hervorgehen. Ein Anspruch auf den „KWK-Bonus“ besteht allerdings nur für Wärme, die außerhalb der Biogasanlage genutzt wird (siehe Abb. 10-1). Der Anlagenbetreiber muss die Wärmenutzung nachweisen. Bei Anlagen bis 2 Megawatt elektrischer Leistung sollte die Installation von Wärmemengenzählern für den Nachweis ausreichen. Aus der gemessenen Wärmemenge und der Stromkennzahl lässt sich dann errechnen, wie viel Strom erzeugt werden musste, um die gemessene Wärmemenge auszukoppeln. Nur für diese errechnete elektrische Arbeit wird der „KWK-Bonus“ zusätzlich zur Stromvergütung bezahlt.

Dazu ein Beispiel: Ein Biogasanlagenbetreiber weist die Nutzung von 400.000 kWh Wärme nach. Die Stromkennzahl seines BHKW beträgt laut Herstellerangaben 0,625. Demzufolge war für die Auskopplung der 400.000 kWh Wärme die Erzeugung von 250.000 kWh Strom erforderlich ( $400.000 \text{ kWh}_{\text{therm}} \cdot 0,625 = 250.000 \text{ kWh}_{\text{el}}$ ). Der Anlagenbetreiber bekommt für diesen Stromanteil zusätzlich zur sonstigen Stromvergütung den „KWK-Bonus“. Die Wärmeauskopplung wird also insgesamt mit 5.000 € honoriert ( $250.000 \text{ kWh}_{\text{el}} \cdot 2 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ ).

1. KWK-Strom ist das rechnerische Produkt aus Nutzwärme und Stromkennzahl der KWK-Anlage. Bei Anlagen, die nicht über Vorrichtungen zur Abwärmeabfuhr verfügen, ist die gesamte Netto-Stromerzeugung KWK-Strom (BGBl I 2002, S. 1092).

2. Nachweis nach dem von der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft - AGFW - e.V. herausgegebenen Arbeitsblatt FW 308 - Zertifizierung von KWK-Anlagen - Ermittlung des KWK-Stromes vom November 2002 (BAnz. Nr. 218 a vom 22. November 2002).

Tabelle 10-2: Einsatzstoffe, die zum Bezug des Vergütungszuschlages berechtigen

Positivliste	Negativliste
<b>Kot und/oder Harn</b>	
<p>Kot und/oder Harn einschließlich Einstreu von <u>Nutztieren</u>, vom eigenen landwirtschaftlichen Betrieb oder von anderen landwirtschaftlichen Betrieben, sofern nach Ansicht der zuständigen Behörden keine Gefahr der Verbreitung einer schweren übertragbaren Krankheit besteht.</p> <p><u>Nutztiere</u> sind Tiere die von Menschen gehalten, gemästet oder gezüchtet und zur Erzeugung von Lebensmitteln (wie Fleisch, Milch und Eiern) oder zur Gewinnung von Wolle, Pelzen, Federn, Häuten oder anderen Erzeugnissen tierischen Ursprungs genutzt werden.</p> <p>Nutztiere sind dementsprechend: Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen, Geflügel, ...</p>	<p>Kot und/oder Harn einschließlich Einstreu von <u>Heimtieren</u>.</p> <p><u>Heimtiere</u> sind Tiere von Arten, die normalerweise von Menschen zu anderen Zwecken als zu landwirtschaftlichen Nutzzwecken gefüttert und gehalten, jedoch nicht verzehrt werden.</p> <p>Heimtiere sind dementsprechend: Pferde, Zoo- und Zirkustiere, ...</p>
<b>Schlempe</b>	
<p>Schlempe aus einer <u>landwirtschaftlichen Brennerei</u>, für die nach §25 des Gesetzes über das Branntweinmonopol keine anderweitige Verwertungspflicht besteht.</p> <p><u>Landwirtschaftliche Brennereien</u> können als Einzelbrennerei oder als Gemeinschaftsbrennerei betrieben werden.</p> <p>Eine Einzelbrennerei muss folgende Bedingungen erfüllen: Die Brennerei muss mit einem landwirtschaftlichen Betrieb verbunden sein (Brennereiwirtschaft). Brennerei und Landwirtschaft müssen für Rechnung desselben Besitzers betrieben werden. In der Brennerei dürfen nur Kartoffeln und Getreide verarbeitet werden. Die Rückstände des Brennereibetriebes müssen restlos an das Vieh der Brennereiwirtschaft verfüttert werden. Alle Dünger, der während der Schlempefütterung anfällt, muss auf den Grundstücken der Brennereiwirtschaft verwendet werden. Die Verpflichtung zur Schlempe- und Düngerverwertung entfällt, wenn in der Brennerei während des Betriebsjahres überwiegend Rohstoffe verarbeitet werden, die selbstgewonnen sind. Für Gemeinschaftsbrennereien gelten sinngemäß dieselben Bedingungen.</p>	<p>Schlempe aus nicht landwirtschaftlichen Brennereien und Bioethanolfabriken.</p>
<b>Pflanzen oder Pflanzenbestandteile, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben anfallen</b>	
<p><u>Ganzpflanzen</u>, die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.</p> <p>In Form von Grüngut, Silage od. Trockengut können dies sein: Der Aufwuchs von Wiesen und Weiden, Ackerfutterpflanzen einschließlich als Ganzpflanzen geerntete Getreide, Ölsaaten oder Leguminosen, ... Nicht aufbereitete oder aussortierte Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Schnittblumen, ...</p> <p><u>Pflanzenbestandteile</u>, die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.</p> <p>In Form von Grüngut, Silage oder Trockengut können dies sein: Körner, Samen, Corn-Cob-Mix, Knollen, Rüben, Obst, Gemüse, ... Kartoffelkraut, Rübenblätter, Stroh, ....</p>	<p><u>Ganzpflanzen</u>, die einer weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.</p> <p>Beispiele dafür sind: Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Schnittblumen, ..., die aufbereitet oder aussortiert wurden.</p> <p><u>Pflanzenbestandteile</u>, die einer weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.</p> <p>Eine unzulässige Aufbereitung wäre beispielsweise die Trennung von Getreide in verschiedene Korngrößenklassen oder die die Sortierung von Kartoffeln, Obst oder Gemüse.</p> <p>Beispiele dafür sind: Sortierte Getreide-, Kartoffel, Obst- oder Gemüsepartien, ... Getreideabputz, Rübenkleinteile und Rübenschnitzel als Nebenprodukt der Zuckerproduktion, Gemüseabputz, Kartoffelschalen, Pülpe, Treber, Trester, Presskuchen, Extraktionsschrote, Pflanzenöle, ...</p>
<b>Pflanzen oder Pflanzenbestandteile, die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen</b>	
<p>Material aus der Landschaftspflege ist in der Regel als Substrat für Biogasanlagen wenig geeignet aber zulässig.</p>	<p>Kommunaler Grasschnitt, Straßenbegleitgrün, Grünschnitt von Golf- und Sportplätzen.</p>

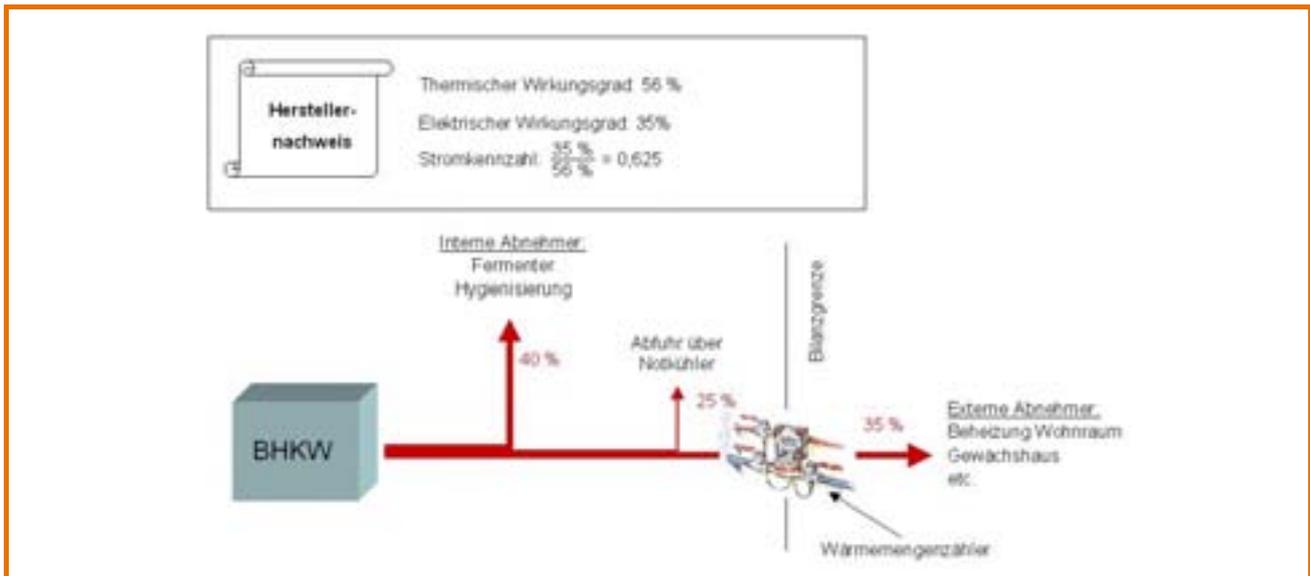


Abb. 10-1: Schematische Darstellung zum KWK-Bonus für Anlagen bis 2 Megawatt Leistung (geändert nach [10-1])

#### 10.2.4 Vergütungszuschlag „Technologie-Bonus“

Die Mindestvergütung erhöht sich bis einschließlich einer Leistung von 5,0 Megawatt um weitere 2,00 Cent pro Kilowattstunde, wenn

- der Strom in Anlagen gewonnen wird, die auch in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, und die Biomasse durch thermochemische Vergasung oder Trockenfermentation umgewandelt oder
- das zur Stromerzeugung eingesetzte Gas aus Biomasse auf Erdgasqualität aufbereitet worden ist oder
- der Strom mittels Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Mehrstoffgemisch-Anlagen, insbesondere Kalina-Cycle-Anlagen, oder Stirling-Motoren gewonnen wird.

Mit dem „Technologie-Bonus“ will der Gesetzgeber einen Anreiz zum Einsatz innovativer, besonders energieeffizienter und damit umwelt- und klimaschonender Anlagentechniken setzen, deren Anwendung regelmäßig mit höheren Investitionskosten verbunden ist.

#### 10.3 Beurteilungsmaßstab für die Wirtschaftlichkeit

Soll der Betriebszweig „Stromerzeugung aus Biogas“ eine zusätzliche Einkommensquelle für landwirtschaftliche Unternehmen sein, muss sich der Betrieb der Biogasanlage rentieren. Der Aufbau eines neuen Betriebszweiges macht nur Sinn, wenn mindestens

das gesamte einzusetzende Kapital (Eigen-/Fremdkapital) und die Arbeit (Fremd-/Familienarbeitskräfte) angemessen entlohnt werden. Die geeignete Kennzahl dafür ist der *Unternehmergewinn*. Unternehmergewinn heißt, dass nach Verzinsung des eingesetzten Kapitals und Entlohnung der Arbeit noch etwas bleibt für die Entlohnung der Betriebsleiterfunktion (bei natürlichen Personen) bzw. für die Dividende der Gesellschafter (bei juristischen Personen) und die Abgeltung des Risikos, das mit der Investition verbunden ist.

Die entscheidende Frage ist dabei:

Wie viel darf eine Biogasanlage kosten, wenn gerade noch ein Unternehmergewinn erzielt werden soll?

#### 10.4 Erträge

Die wichtigste Einnahmequelle ist der Stromverkauf. Dank des Erneuerbare-Energien-Gesetzes ist der Absatz und der Mindestpreis für den in das Netz eingespeisten Strom gesichert (siehe Kapitel 10.2). Darüber hinaus lassen sich in seltenen Fällen Entsorgungserlöse erzielen. Allerdings ist der Markt für Kosubstrate auf Grund der gestiegenen Nachfrage angespannt. Die Entsorgungserlöse sind in den letzten Jahren deutlich gesunken. Für manche Substrate, für die vor einigen Jahren noch Entsorgungserlöse erzielt worden sind, muss mittlerweile bezahlt werden.

Leider ist es meist nicht möglich, nennenswerte Abwärmemengen zu nutzen. Erträge daraus sollte nur dann angerechnet werden, wenn wirklich ein

sinnvolles und tragfähiges Nutzungskonzept vorliegt. Kann Abwärme lediglich zur Brauchwasserbereitung und Beheizung des Wohnhauses genutzt werden, lassen sich je nach Größe des Wohnhauses zwischen 3.000 und 5.000 l Heizöl substituieren. Mehr sollte nicht angesetzt werden. Ist der Heizölverbrauch deutlich höher, lohnt es sich eher, die Wärmedämmung des Gebäudes zu verbessern.

Einen Wert haben auch die Nährstoffe im ausgefaulten Substrat. Allerdings nur, wenn die organische Düngung mit dem Gärückstand tatsächlich zu einer Verminderung des Mineraldüngerzukaufs führt, dürfen diese eingesparten Kosten der Biogasanlage gut geschrieben werden. Betriebseigene Wirtschaftsdünger und Futterreste müssen in dieser Düngerwertberechnung unberücksichtigt bleiben. Sie fallen unabhängig davon an, ob eine Biogasanlage betrieben wird. Die Nährstoffmengen ändern sich durch die Behandlung in der Biogasanlage nicht. Wirtschaftsdünger haben demzufolge ausgefault keinen höheren Düngerwert als frisch.

Die Düngwertverbesserung stellt aber einen zusätzlichen Nutzen dar, wird häufig behauptet. Ein monetär bewertbarer Nutzen wurde allerdings bisher in pflanzenbaulichen Langzeitversuchen nicht nachgewiesen. Der höhere mineralische N-Anteil im ausgefaulten Substrat kann sogar zu höheren Nährstoffverlusten führen (vgl. Kapitel 8).

## 10.5 Kosten

Neben den Abschreibungen und dem Zinsansatz sind in Näherungsrechnungen, wie sie in der Praxis häufig angestellt werden, noch Versicherungsbeiträge, Reparatur- und Wartungskosten und bei einem Zündstrahlmotor die Zündölkosten angesetzt.

In diesem Zusammenhang ein Hinweis zur Anrechnung von Förderungen: Häufig wird die Meinung vertreten, dass bei der Abschreibung auf die Wiedergewinnung von Fördergeldern verzichtet werden könne, wodurch sich die Kapitalkosten deutlich vermindern. Betriebswirtschaftlich ist das nicht korrekt. Verzichtet man auf die Wiedergewinnung der Fördergelder, fehlt Geld, wenn vor Ende der Laufzeit der Gesamtinvestition größere Ersatzinvestitionen (Motoren und Technik) – ohne Fördermittel - zu finanzieren sind. Leider hat dieser Rechenansatz mittlerweile Schule gemacht, um Investitionen „schön“ zu rechnen.

Auch die Rohstoffe verursachen Kosten. Ob diese Kosten aber der Biogasanlage anzurechnen sind,

hängt von der Herkunft der Rohstoffe ab. Gülle oder Mist aus der eigenen Tierhaltung muss gelagert und ausgebracht werden, auch wenn keine Biogasanlage vorhanden ist. Die Kosten dafür hat die Tierhaltung zu tragen. Ist aber ein Transport zur Biogasanlage erforderlich, sind diese Transportkosten der Biogasanlage anzurechnen. Rohstoffe, die für die Biogasproduktion selbst erzeugt oder zugekauft werden, kosten Geld; das ist unstrittig. Nur variable Erzeugungskosten oder Beschaffungskosten (Rohstoff- und Transportkosten) anzusetzen, ist allerdings zu wenig (siehe Kapitel 10.9.2). Die eigene Arbeit beispielsweise, die für die Erzeugung der Rohstoffe und die Einbringung in den Fermenter aufgewendet wird, darf nicht unberücksichtigt bleiben. Nur wenn alle Produktionsfaktoren angemessen entlohnt werden können, ist eine Investition sinnvoll!

## 10.6 Arbeitszeitbedarf

Eine Faustzahl für den Arbeitszeitbedarf einer Biogasanlage lässt sich nicht angeben. In Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten ergeben sich ganz unterschiedliche Arbeitsansprüche. Wird nur Gülle vom eigenen Betrieb vergoren, fällt lediglich die zusätzliche Arbeit für die Anlagenbetreuung und die Wartung des BHKW an. Der Arbeitszeitbedarf liegt dann bei kleineren Anlagen in einer Größenordnung von einer Stunde pro Tag. Eine ganz andere Situation ergibt sich, wenn überwiegend NawaRo zum Einsatz kommen. Neben der Anlagenbetreuung ist dann auch der Arbeitszeitbedarf für den Anbau, die Ernte und Einlagerung, den Transport aus dem Lager zum Fermenter und schlussendlich die Ausbringung des Gärrestes der Biogasanlage anzulasten. Es empfiehlt sich deshalb den Arbeitszeitbedarf für den Betriebszweig Biogas in zwei Blöcke aufzuteilen, und zwar in den Arbeitszeitbedarf für

- die Anlagenbetreuung einschließlich BHKW-Wartung,
- die Rohstoffbereitstellung frei Fermenter. (näheres hierzu siehe auch Kapitel 9).

### 10.6.1 Arbeitszeitbedarf für Anlagenbetreuung und Wartung

Nach Erfahrungswerten liegt der Arbeitszeitbedarf für Anlagenbetreuung und Wartung in einer Größenordnung von 7 und 3 Stunden pro Jahr und Kilowatt installierter elektrischer Leistung (vgl. Abbildung 10-2), d. h. bei 100 kW installierter Leistung ist mit ei-

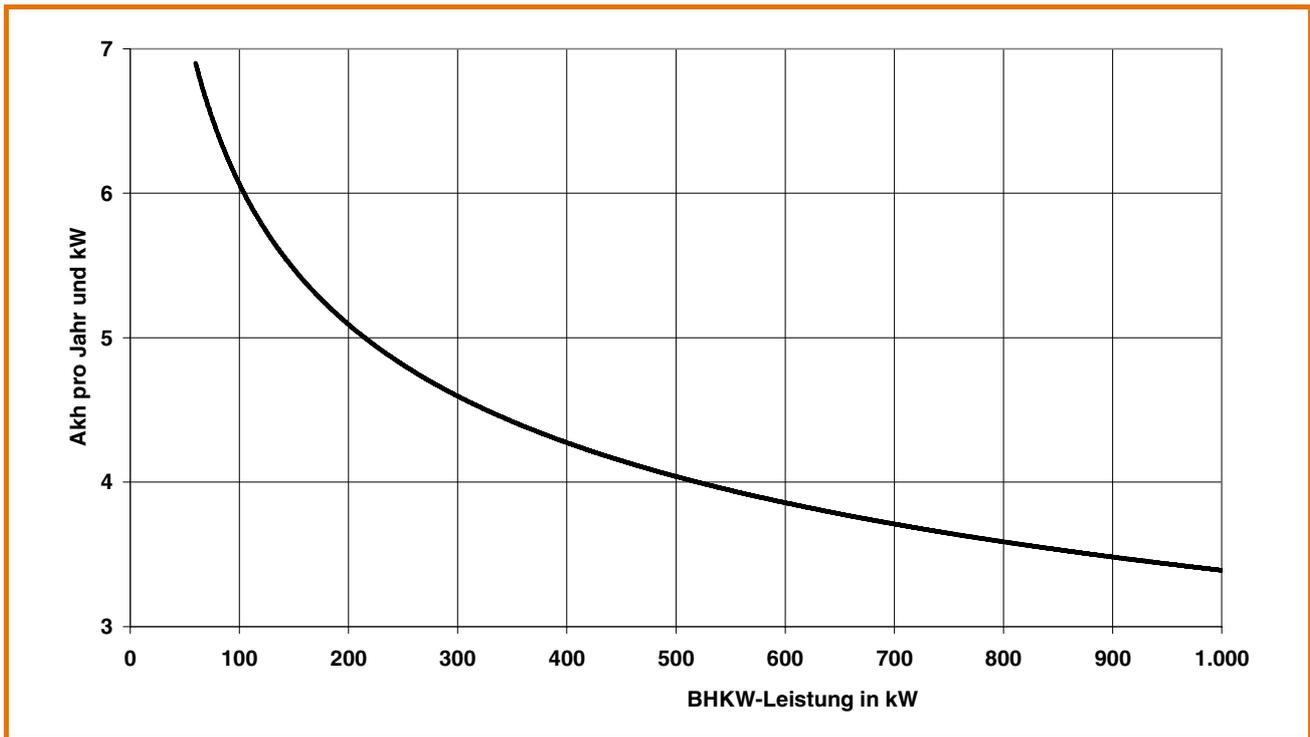


Abb. 10-2: Arbeitszeitbedarf für Anlagenbetreuung und Wartung (ergänzt nach [10-2])

nem Arbeitsaufwand von rund 600 AKh pro Jahr zu rechnen (6 AKh pro kW und Jahr  $\times$  100 kW). Mit zunehmender Anlagengröße nimmt in der Regel der Automatisierungsgrad zu und dementsprechend der Betreuungsaufwand ab (siehe Abb. 10-2). Exakt erhobene Zahlen zum Arbeitszeitbedarf für die Anlagenbetreuung und Wartung von Biogasanlagen gibt es leider nicht.

#### 10.6.2 Arbeitszeitbedarf für die Rohstoffbereitstellung

Zur Abschätzung des Arbeitszeitbedarfs für die Rohstoffbereitstellung, den Transport und die Ausbringung des Gärrestes gibt es, soweit es sich um in der Landwirtschaft gebräuchliche Substrate handelt, detaillierte und allgemein zugängliche Kalkulationsdaten. Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft bietet entsprechende Unterlagen an und aktualisiert die Inhalte ständig. Die Arbeitszeit für die Erzeugung und Bereitstellung von Rohstoffen wird in Kapitel 9 beispielhaft an der Modellanlage 5 (vgl. Kapitel 6) kalkuliert.

#### 10.7 Wichtige Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

Es ist wichtig zu wissen, welche Faktoren die Wirtschaftlichkeit maßgeblich beeinflussen. Sie müssen besonders sorgfältig erfasst bzw. abgeschätzt werden, um zu einem realitätsnahen Ergebnis zu kommen. Bei Biogas sind diese wesentlichen Einflussfaktoren, wenn man den Stromverkaufspreis als nicht beeinflussbare Größe außer Acht lässt,

- die Anschaffungskosten,
- die Gasausbeute,
- die Gasqualität und
- das BHKW.

Den größten Einfluss hat das BHKW, gefolgt von Gasausbeute, Gasqualität und den Anschaffungskosten. Gelingt es beispielsweise einem Anlagenbetreiber, den elektrischen Wirkungsgrad seines BHKW um 10 %, von 29 auf 32 %, zu verbessern, hat diese einen deutlich größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit als eine Verminderung der Anlagenkosten um den selben Prozentsatz von 10 %. Das eben Gesagte gilt im Prinzip, wenn auch weniger deutlich, für die Gasausbeute bzw. die Gasqualität. Trotzdem lohnt es sich bei der Investition auf jeden Euro zu schauen.

### 10.7.1 Anschaffungskosten

Die Anschaffungskosten lassen sich bei sorgfältiger Planung relativ genau kalkulieren. Viel Geld kann gespart werden, wenn man sich schon im Vorfeld der Investition bestens informiert, mit anderen Bauwilligen zusammenarbeitet, um gemeinsam größere Stückzahlen und Gewerke auszuschreiben und geschickt verhandelt. Das zahlt sich über die gesamte Laufzeit der Investition aus. Denn im Normalfall sind bei einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mindestens 50 % der jährlichen Anlagenkosten (ohne Rohstoffkosten) kapitalbedingt, d. h. sie werden durch die Abschreibung, die Kapitalverzinsung und die investitionsproportionale Versicherungshöhe – also die Anschaffungskosten – bestimmt.

Nicht zu vernachlässigen sind weiterhin die Netzanschlusskosten. Da die Netze im ländlichen Raum häufig schwach ausgebaut sind, kann, je nach Anschlusskapazität, eine lange Zuleitung zu einem entfernten Netzverknüpfungspunkt notwendig sein. Die Kosten der Netzanbindung können dann im ungünstigen Fällen mehrere 10.000 € betragen. Vor der Entscheidung zum Bau einer Anlage ist daher eine netztechnische Untersuchung des jeweils zuständigen Netzbetreibers zwingend erforderlich. Dabei hat der Netzbetreiber die insgesamt kostengünstigste technisch geeignete Variante der Netzanbindung zu wählen und ist zur Offenlegung der Netzdaten verpflichtet. Der Bauherr einer Biogasanlage wird allerdings in der Regel überfordert sein, die zur Festlegung eines Verknüpfungspunktes angestellten Berechnungen zu prüfen oder zu entscheiden, ob der Bau einer eigenen Transformatorstation wirtschaftlich sinnvoll ist. Es empfiehlt sich daher, fachkundige Beratung z. B. durch den Planer oder Anbieter der Biogasanlage, einen örtlichen Elektrobetrieb oder ein Planungs- und Beratungsbüro für elektrische Energieanlagen einzuholen. Sind Meinungsverschiedenheiten mit dem Netzbetreiber nicht lösbar, sollte man sich im Einzelfall auch nicht davor scheuen, einen Fachanwalt zu konsultieren.

Wie viel eine Biogasanlage kostet, hängt u. a. von den Substraten ab, die eingesetzt werden sollen. Die geringsten Investitionskosten verursachen reine Gülleanlagen. Im günstigsten Fall reicht ein Fermenter mit Vorgrube, einschließlich einfacher Rühr- und Pumpentechnik, und ein kleines BHKW aus. Sollen auch nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz kommen, wird zusätzliche Peripherie benötigt, d. h. zusätzlicher Siloraum, einen Feststoffeintrag, ein Gärrestlager und angepasste Rührtechnik. Das verteuert eine Anlage ganz beträchtlich.

Ganz allgemein gilt: Mit zunehmender Anlagengröße ist mit einer Anschaffungs-Kostendegression zu rechnen (siehe Abb. 10-3). Bei kleineren Anlagen (unter 100 kW) für Gülle und nachwachsende Rohstoffe müssen mit spezifischen Investitionskosten von 3.000 bis zu 5.000 € pro kW installierter elektrischer Leistung kalkuliert werden. Will man die Kostendegression besser nutzen, sollte die Biogasanlage auf eine elektrische Leistung von ca. 150 kW ausgelegt werden. Die spezifischen Investitionskosten liegen dann in einer Größenordnung von 2.500 bis 3.000 €. Größere Anlagen können Anschaffungskosten von rund 2.000 €/kW erreichen.

### 10.7.2 Gasausbeute

Die Höhe der zu erwartenden Gaserträge wird von vielen Faktoren bestimmt (vgl. Kapitel 4). Eine Prognose ist deshalb schwierig. Da der prognostizierte Gasertrag die Wirtschaftlichkeit ganz wesentlich beeinflusst, sollte man bei jeder Kalkulation die angenommenen Gasausbeuten kritisch prüfen.

Bei der ausschließlichen Vergärung von Rindergülle (8,8 % TS; 85 % oTS an der TS) lassen sich etwa 21 m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas je m<sup>3</sup> Gülle erzeugen. Deutlich höhere Gasausbeuten deuten darauf hin, dass Futterreste und Stroh mit der Gülle in der Biogasanlage vergoren werden. Schon die Zugabe von 0,5 kg gehäckseltem Stroh je GV und Tag, kann die Gasausbeute aus der Gülle um bis zu 15 % steigern. Es ist also auch notwendig, Futterreste und Stroh mengenmäßig zu erfassen und entsprechende Gasausbeuten anzusetzen. Leider gibt es für viele Substrate keine Literaturangaben zu Gasausbeuten und Methangehalten, auf die man zurückgreifen könnte, oder die angegebenen Werte weisen so große Spannen auf, dass fast jedes gewünschte Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung möglich und begründbar ist. Wertlos sind diese Angaben, wenn nicht mindestens der TS- und oTS-Gehalt, besser die wertbestimmenden Bestandteile (Fett, Eiweiß und Kohlenhydrate) des Substrats, angegeben sind. Ein Beispiel soll das verdeutlichen: Die zu erwartende Gasausbeute von Maissilage schwankt je nach TS-Gehalt bzw. Reifestadium und Qualität zwischen 500 und 680 l<sub>N</sub>/kg oTS bzw. 105 und 228 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/t Frischmasse. Häufig sind die angegebenen Gasausbeuten nicht auf Normalbedingungen korrigiert oder es ist nicht angegeben, dass sich die Angaben auf Normgas bei 1.013 hPa und 0°C beziehen. Bei 30 °C und 960 hPa beispielsweise hat Gas ein um rund 17 % größeres Volumen aber einen um denselben Prozentsatz geringeren Heizwert als Normgas!

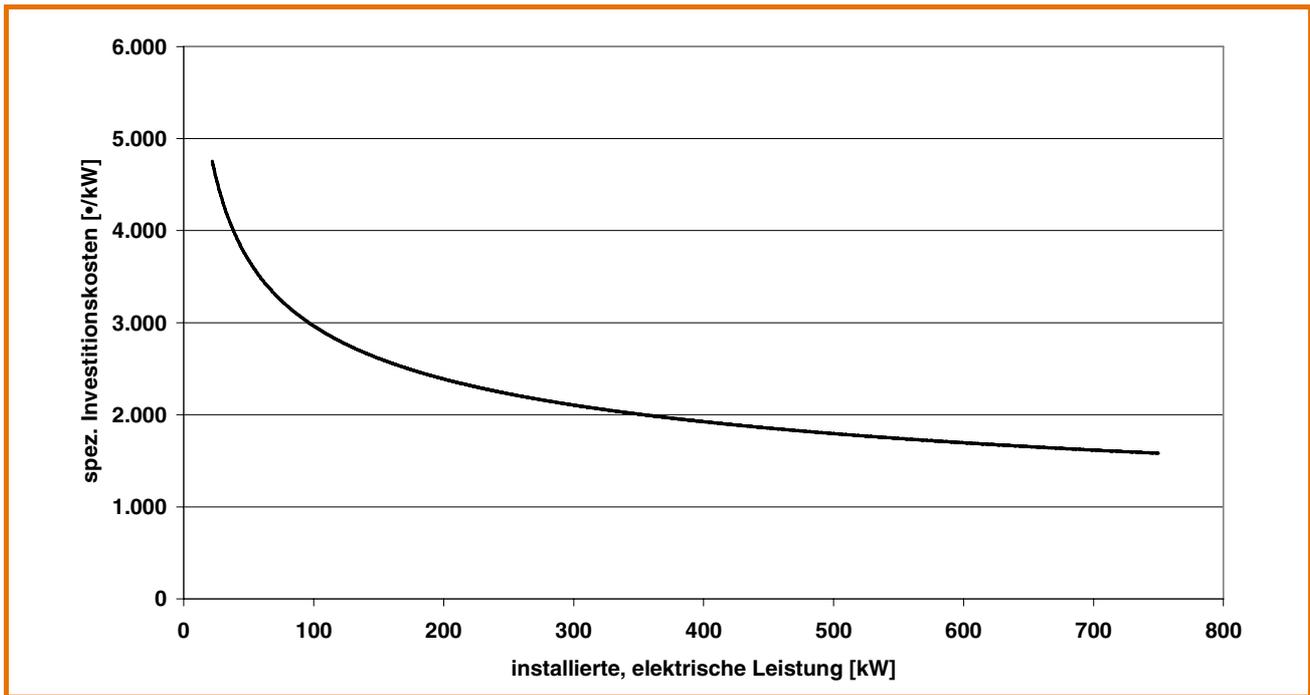


Abb. 10-3: Spezifische Investitionskosten (ergänzt nach [10-3])

Literaturangaben, die nicht erkennen lassen, ob es sich um Normgas handelt, sollten bei einer abschlägigen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nicht herangezogen werden. Sie können zu fatalen Fehleinschätzungen führen.

#### Vereinfachte Formel für die Umrechnung auf Normvolumen:

$$V_N = V_G \cdot P_L \cdot 0,269 / (273 + T_G)$$

$V_N$  = Normvolumen

$V_G$  = Gasvolumen [m<sup>3</sup>] · Luftdruck [hPa]

$P_L$  = Luftdruck [hPa] minus Unterdruck in der Gasregelstrecke (ca. 10-15 hPa)

$T_G$  = Gastemperatur [°C]

Man ist deshalb fast gezwungen, Gärtests durchführen zu lassen, die allerdings nicht unbedingt auf Praxisanlagen übertragbar sind. Ein weiterer Weg erlaubt die näherungsweise Berechnung der Gasausbeute und des Methangehaltes eines Substrates über bestimmte Bezugsgrößen (siehe dazu Kapitel 10.9.1).

#### 10.7.3 Gasqualität

Die Gasqualität lässt sich über zwei Kenngrößen definieren, dem Methangehalt und dem Schwefelwasserstoffgehalt.

Der Methangehalt wird in Kalkulationen häufig pauschal mit 60 bis 65 Vol% angesetzt. Das entspricht einem Energieinhalt (Heizwert<sub>Hu</sub>) von 6,0 bis

6,5 kWh/m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas. Wird der durchschnittliche Methangehalt anhand der Inputmaterialien berechnet oder wird in Biogasanlagen über eine Gasanalyse exakt gemessen, so werden meist deutlich niedrigere Methangehalte verzeichnet. Bei reiner Güllevergärung (Rindergülle) sind Methangehalte von ca. 55 Vol% zu erwarten. Werden mit Gülle fett- und eiweißarme Substrate (z. B. Maissilage) kofermentiert, liegen die Methangehalte sogar noch deutlich darunter.

Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) lässt das Motoröl schneller „altern“ und kann zum vorzeitigen Ableben des Motors führen (vgl. Kapitel 5). Erhöhte H<sub>2</sub>S-Konzentrationen im Biogas sind bei Kofermentation von Substraten mit hohem Eiweißgehalt (insbesondere tierische Eiweiße) zu erwarten. Wird biologisch entschwefelt, können H<sub>2</sub>S-Spitzen auch bei langen Beschickungsintervallen, häufigem Substratwechsel und langen Rührintervallen auftreten. In all diesen Fällen müssen erhöhte Wartungsaufwendungen (Verkürzung der Ölwechselintervalle) und eventuell eine deutlich geringere Lebensdauer des BHKW-Motors einkalkuliert werden.

#### 10.7.4 BHKW

Für die Verstromung kommen Zündstrahl- oder Gas-Otto-Motoren zum Einsatz. Zündstrahler sind meist billiger und haben bessere elektrische Wirkungsgrade als vergleichbare Gas-Otto-Motoren. Sie können im Notfall – Ausfall der Biogasanlage oder

sehr schlechte Gasqualität – auch mit Heizöl betrieben werden. Zündstrahler sollten bei guter Wartung, kontinuierlichem Betrieb und nicht zu hohen  $\text{H}_2\text{S}$ -gehalten im Biogas ( $< 200$  ppm) vier bis fünf Jahre, also ca. 35.000 Betriebsstunden, ihren Dienst tun. Spezielle Gasmotoren sind langlebiger: bei ihnen kann von einer Standzeit von ca. 9 Jahren ausgegangen werden. Üblicherweise müssen sie nach ca. 40.000 Betriebsstunden generalüberholt werden. Dies ist mit erheblichen Kosten verbunden. Es ist also nicht sachgerecht, für Gas-Otto-Motoren geringere Wartungskosten anzusetzen als für Zündstrahler. Eigenwartung ist in der Regel günstiger als Fremdwartung, aber nur für den, der sich wirklich auskennt. Der Motor ist das Herzstück der Biogasanlage und jeder Wartungsfehler kostet viel Geld. Belastbare Zahlen über die Kosten der Eigenwartung gibt es leider nicht. Als Größenordnung für die Kosten der Eigenwartung ist von ca. 0,4 Ct pro kWh erzeugten Strom auszugehen (ohne Lohnansatz). Die Arbeitszeit, ca. 1 Stunde pro Woche, ist im Ansatz für die Anlagenbetreuung zu berücksichtigen. Wird ein Vollwartungsvertrag geschlossen, muss man für BHKW bis 150 kW mit 1,5 bis 1,8 Ct/kWh<sub>el</sub> rechnen. Über 150 kW sind es ca. 1,3 bis 1,5 Ct/kWh<sub>el</sub>.

Ob der Zündstrahler oder der Gas-Otto-Motor die ökonomisch bessere Wahl ist, lässt sich pauschal nicht beantworten. Abb. 10-4 soll hierzu die Überlegungen verdeutlichen: Hat ein Gas-Otto-Motor einen elektrischen Wirkungsgrad von 25 %, muss der Wirkungsgrad eines Zündstrahlaggregats (Zündölverbrauch: 10 % der Bruttoenergie, Stromvergütung: 9,9 Ct/kWh) um 1,8 % höher liegen, wenn unter dem Strich dasselbe herauskommen soll. Mit zunehmendem elektrischen Wirkungsgrad wird dieser Abstand geringer. Ab einem elektrischen Wirkungsgrad von 37 % darf der Zündstrahler sogar im Wirkungsgrad etwas schlechter sein als ein Gas-Otto-Motor ähnlicher Leistung. Wird jedoch unter sonst gleichen Bedingungen der Zukaufspreis für Zündöl um  $\pm 5$  Ct/l variiert, verändert sich der Abstand um  $\pm 0,7$  %. Unter den Modellannahmen sind also Zündstrahler aus ökonomischer Sicht die erste Wahl, wenn sie tatsächlich einen um 3 bis 4 % höheren Wirkungsgrad erreichen als vergleichbare Gas-Otto-Motoren (vgl. Kapitel 5). Mit zunehmender Einspeisevergütung erhöht sich ihre relative Vorzüglichkeit nochmals deutlich.

Wird *mehr* Zündöl verbraucht (Zündölverbrauch: 15 % der Bruttoenergie, Strompreis: 9,9 Ct/kWh) ist das Ergebnis nicht mehr so eindeutig. Bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Gas-Otto-Motors von 25 % muss der Zündstrahler mindestens 28,3 % erreichen,

um gleich wirtschaftlich zu sein. Mit zunehmendem Wirkungsgrad verringert sich auch hier der Abstand. Wird mehr Zündöl verbraucht, wirken sich Preisänderungen des Zündöls stärker aus. Eine Erhöhung bzw. Verminderung des Zündölpreises um 5 Ct/l verändert den Wirkungsgradabstand um  $\pm 1$  %. Steigt die Einspeisevergütung, ist auch bei höherem Zündölverbrauch der Zündstrahler eindeutig überlegen.

Trotzdem werden in der Praxis ab ca. 200 kW Gas-Otto-Motoren bevorzugt. Der Grund dafür liegt in der Mineralölsteuer: Nur wer gegenüber der Zollbehörde nachweisen kann, dass der jahresdurchschnittliche Anlagenwirkungsgrad mindestens 60 % beträgt, kann Zündöl zum verminderten Steuersatz für „Mineralöl zu Heizzwecken“ (Heizöl) beziehen. Mit dem Betrieb der Biogasanlage wird immer die gesamte elektrische Energie genutzt, so dass mindestens der elektrische Wirkungsgrad als Größe für die Berechnung des Anlagenwirkungsgrades zur Verfügung steht. Die übrigen Prozente des Anlagenwirkungsgrades müssen dann über die Wärmenutzung nachgewiesen werden. Einen Teil der Abwärme benötigt die Biogasanlage selbst (siehe Kapitel 10.8). Aber: je größer die Anlage dimensioniert ist, desto geringer ist dieser thermische Prozessenergiebedarf im Verhältnis zur Gesamtwärmeerzeugung. Gibt es keine zusätzliche Möglichkeit, die Abwärme zu nutzen, fällt mit zunehmender Anlagenleistung der Nachweis des Mindestanlagenwirkungsgrades immer schwerer. Gelingt der Nachweis nicht und muss die volle Mineralölsteuer für Dieselkraftstoff entrichtet werden, können Zündstrahler erst ab einer durchschnittlichen Stromvergütung von ca. 16,00 Ct/kWh mit Gas-Otto-Motoren konkurrieren, wenn Zündöl (Dieselkraftstoff oder Biodiesel) weniger als 75,00 Ct/l ohne Mehrwertsteuer kostet.

In jedem Fall sollte das BHKW einen möglichst hohen elektrischen Wirkungsgrad haben. Firmenangaben liegen je nach Leistungsklasse der Aggregate zwischen 29 und 40 % für Zündstrahl-BHKW bzw. zwischen 26 und 38 % für Gas-Motor-BHKW. Diese Werte werden in der Regel bei optimalen Betriebszuständen mit normiertem Gas auf dem Prüfstand gemessen. Ob diese Wirkungsgrade auch unter Praxisbedingungen über die gesamte Lebensdauer erreicht werden, ist zweifelhaft. Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung empfiehlt es sich daher, von geringeren Wirkungsgraden auszugehen. Ein Sicherheitsabschlag von mindestens 10 % erscheint gerechtfertigt. Sehr hilfreich kann auch die Vereinbarung des Wirkungsgrades als Gewährleistungsparameter sein, um realistische Werte für eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung zu erhalten.

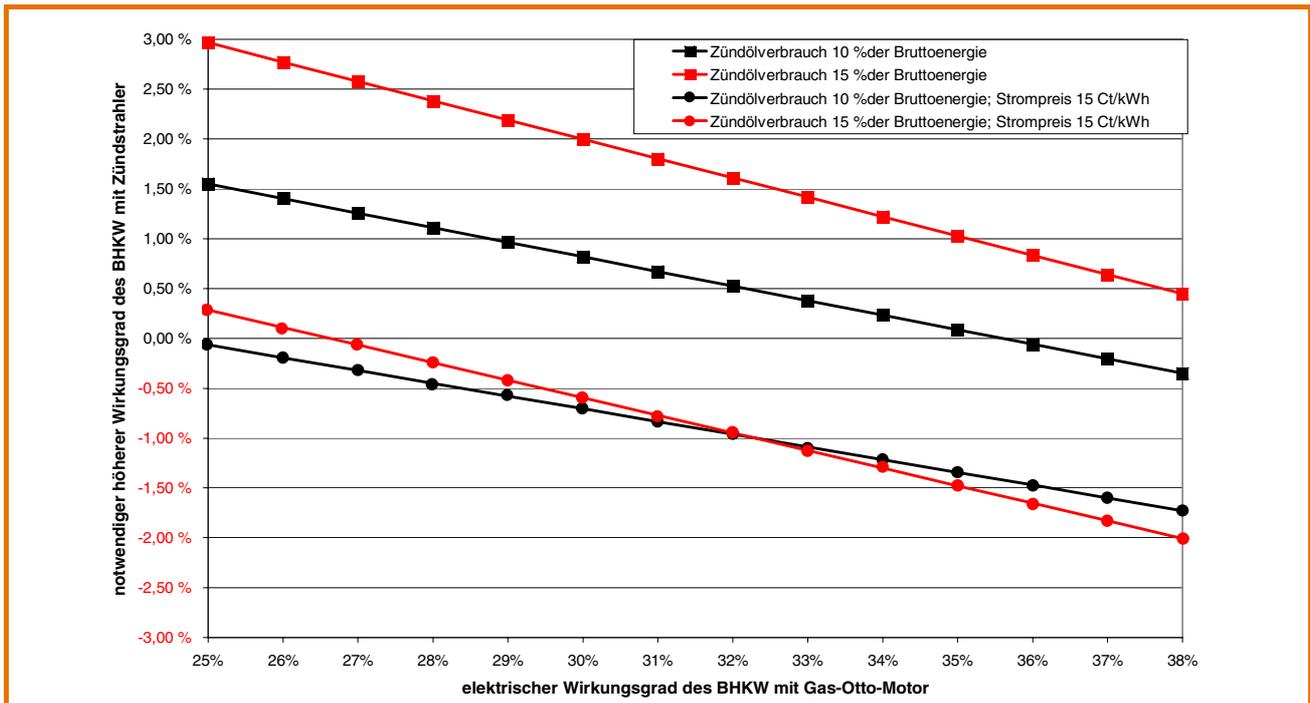


Abb. 10-4: Höherer Wirkungsgrad von Zündstrahlmotoren im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren

**Annahmen:**

Anschaffungspreis BHKW mit Zündstrahlmotor	550 €/kW	Zinsansatz	6 %
davon Zündstrahlmotor	150 €/kW	Rep./Wartung inkl. Lohnansatz	1 Ct/kWh <sub>el</sub>
Anschaffungspreis BHKW mit Gas-Otto-Motor	880 €/kW	Versicherung	0,5 %
Abschreibung BHKW mit Gas-Otto-Motor	9 Jahre	Zündölanteil an der Bruttoenergie	10 bzw. 15 %
Abschreibung Zündstrahlmotor	4,5 Jahre	Zündölkosten	40 Ct/l
Abschreibung BHKW (ohne Zündstrahlmotor)	9 Jahre	Stromeinspeisevergütung	9,9 bzw. 15,0 Ct/kWh <sub>el</sub>
Laufleistung	8.000 h/a		

**10.8 Kalkulationsbeispiel**

Als Kalkulationsbeispiel soll eine kleine Gülleanlage betrachtet werden, um den Rechengang möglichst übersichtlich zu halten. Ausgangspunkt der Berechnung ist ein Tierbestand von rund 150 Rinder-GV. Der Gülleanfall soll 3.000 m<sup>3</sup> betragen. Pro GV und Tag werden durchschnittlich 0,5 kg gehäckseltes Stroh eingestreut. Dies ergibt eine jährliche Strohmenge von rund 27 t, die über den Stall der Biogasanlage zugeführt wird. Zusätzlich fallen 0,5 kg Futterreste (Gras und Maissilage) pro GV und Tag an (Futterverlust < 1,5 %), die ebenfalls in der Biogasanlage verwertet werden (siehe Tabelle 10-3). Das Inputmaterial hat einen durchschnittlichen TS-Gehalt von weniger als 10 % und ist damit problemlos pumpfähig.

Aus diesem Substratmix lassen sich pro Jahr knapp 76.000 m<sup>3</sup> Biogas mit einem Methangehalt

von 54,5 Vol% erzeugen. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung (siehe Tabelle 10-5) wird der Gasertrag und der Methangehalt übernommen. Kalkulatorisch wird eine Gaserzeugungs- und -verwertungszeit von 360 Tagen im Jahr zugrunde gelegt. Es wird kalkulatorisch davon ausgegangen, dass die Gasproduktion an 5 Tagen im Jahr durch Störungen ausfällt und somit nicht zur Verwertung zur Verfügung steht. Die Anlagenverfügbarkeit beträgt damit knapp 99 % – eine sehr optimistische Annahme. Zur Verstromung kommt ein Zündstrahlaggregat mit einem sehr günstigen Zündölverbrauch zum Einsatz. Der angenommene Verbrauch beträgt 10 % der zugeführten Bruttoenergie. Dies entspricht bei einem Heizwert des Biogases von 5,45 kWh/m<sub>N</sub><sup>3</sup> einem Zündölverbrauch von ca. 6,1 l pro 100 m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas. Die Bruttoenergieerzeugung der Anlage einschließlich Zündöl beträgt 452.714 kWh (Rechengang: (75.798 m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas · 5,45 kWh/ m<sub>N</sub><sup>3</sup>



Tabelle 10-3: Abschätzung der Gaserträge und Gasqualität

Frishmasse (FM) t /Jahr	Substrate	TS-Gehalt	oTS-Gehalt der TS	Gasausbeute		Methan-gehalt
		%	%	I <sub>N</sub> /kg oTS	Nm <sup>3</sup> /t FM	%
3.000	Rindergülle	8,8	85,0	280	21	55
27	Futterreste (Silomais/Grassilage)	34,0	92,5	585	184	53
27	Einstreu – Weizenstroh	86,0	91,4	369	290	51
3.054	Substrate im Durchschnitt	9,7	85,1	298	24,8	54,5

Biogas)/(1 - 0,1 (Zündölverbrauch 10%)) = 452.714 kWh). Rund 45 % davon sollen als nutzbare Wärme anfallen. Die Höhe dieses thermischen Wirkungsgrades ist stark von der Wartung des Aggregats abhängig (Reinigung der Wärmetauscher).

Ein Teil der gewonnenen thermischen Energie benötigt die Biogasanlage selbst (thermische Prozessenergie); einerseits um die täglich zugeführte Substratmenge auf das Temperaturniveau im Fermenter anzuwärmen und andererseits um die Temperatur im Fermenter konstant zu halten. Zur Berechnung der Aufheizenergie ist angenommen, dass die Erwärmung von 1 t Substrat um 1 K rund 1,16 kWh<sub>therm</sub> Energie benötigt (spezifische Wärmekapazität von Wasser). Damit wird der Energiebedarf zwar etwas überschätzt, da mit zunehmendem TS-Gehalt der spezifische Wärmebedarf sinkt; man ist aber auf der sicheren Seite. Der Rechengang ist relativ einfach: Beträgt, wie im Beispiel angenommen, die Zulauftemperatur des Substrats im Jahresdurchschnitt 12 °C und die Temperatur im Fermenter 38 °C, muss das Substrat um 26 K angewärmt werden.

Bei einer täglichen Substratzufuhr von 8,37 t (3.054 t/Jahr : 365 Tage/Jahr = 8,37 t/Tag) errechnet sich ein Nettoenergiebedarf in Höhe von 252,4 kWh<sub>therm</sub> ((8,37 t · 1,16 kWh<sub>therm</sub> pro t und K) · 26 K). Werden weiterhin 20 % Heizleitungsverluste angenommen (Wirkungsgrad der Fermenterheizung: 80 %), beträgt der Aufheizenergiebedarf 315,5 kWh<sub>therm</sub> pro Tag. Jährlich werden somit rund 115.200 kWh<sub>therm</sub> benötigt. Hinzu kommt noch der Wärmebedarf zum Ausgleich der Abstrahlungsverluste des Fermenters. Die Höhe dieser sogenannten „Transmissionsverluste“ hängt

- von der Oberfläche des Fermenters
- der Isolierung und
- der Temperaturdifferenz zwischen Betriebstemperatur im Fermenter und der Umgebungstemperatur ab. Für eine durchschnittliche Umgebungstemperatur von 8 °C – die Jahresdurchschnittstemperatur in Deutschland liegt zwischen 7-9 °C – sind die Zusammenhänge in Tabelle 10-4 dargestellt.

Tabelle 10-4: Berechnung der Transmissionsverluste

1. Berechnung der Fermenteroberfläche					
Substratanfall pro Tag	[t]	8,37	notwendiges Fermentervolumen	[m <sup>3</sup> ]	418
Verweildauer im Fermenter	[Tage]	50	Bruttobehältervolumen bei 10 % Zuschlag	[m <sup>3</sup> ]	460
Radius	[m]	12	Höhe	[m]	4,1
Fläche Deckel	[m <sup>2</sup> ]	113	Fläche Boden	[m <sup>2</sup> ]	113
Fläche Wand (Umfang · Höhe)	[m <sup>2</sup> ]	153	Gesamtoberfläche	[m <sup>2</sup> ]	380
2. Isolation des Fermenters					
Stahlbeton B 25 (200 mm) + Isolierung (extrudiertes PS)	[mm]	100	160	200	
k-Wert	[W/m <sup>2</sup> K]	0,363	0,235	0,19	
3. Energiebedarf zum Wärmeverlustausgleich (Fermenter-Innentemperatur: 38 °C; Außentemperatur: 8 °C)					
Wärmeverluste des Fermenters <sup>a</sup>	[kWh/Jahr]	36.2124	23.444	18.955	
Zuschlag für Kältebrücken, Rührer usw. [%]			15%		
Energiebedarf zum Ausgleich der Wärmeverluste	[kWh/Jahr]	41.464	26.961	21.789	
Bruttoenergiebedarf zum Wärmeverlustausgleich bei einem Wirkungsgrad der Heizung von 80 %	[kWh/Jahr]	52.057	33.701	27.242	

a. Rechengang: Wärmeverlust = 0,024 · Gesamtoberfläche · k-Wert · (Innentemp. - Außentemp) · 365 Tage

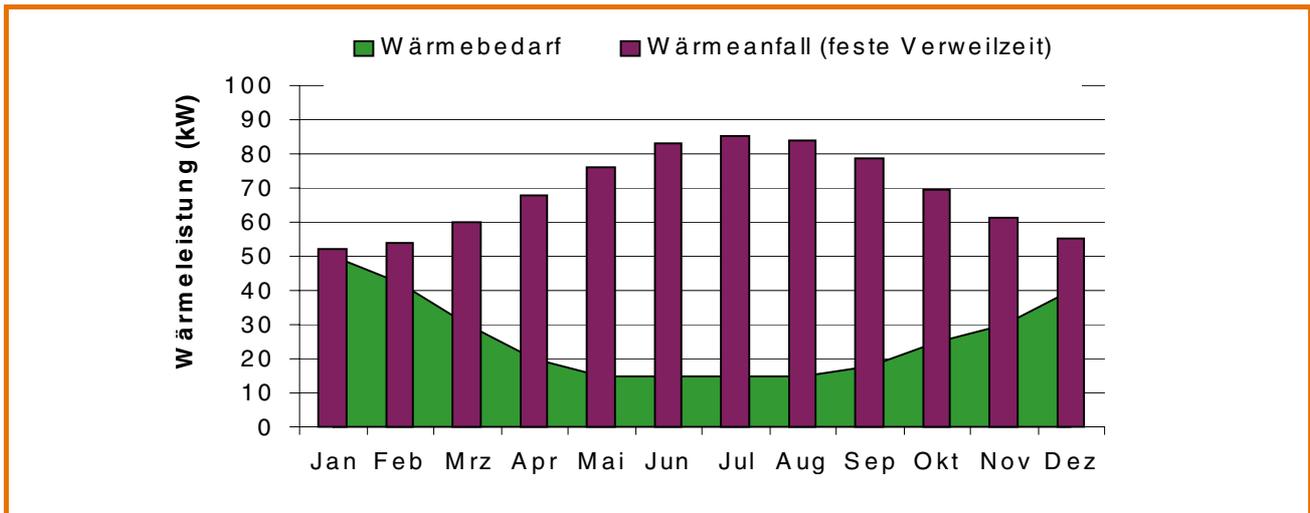


Abb. 10-5: Wärmebilanz einer Biogasanlage (nach [10-4])

Insgesamt liegt der Prozessenergieverbrauch bei rund  $142.500 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ ; das sind ca. 70 % der erzeugten thermischen Energie. Bei massiver Kofermentation kann dieser Anteil deutlich unter 20 % sinken. Die restliche Wärme dient der Brauchwassererwärmung und Heizung des Wohnhauses. Im Modell sollen dadurch 3.000 l Heizöl substituiert werden. Dafür verbraucht die Biogasabwärmeheizung mit einem thermischen Wirkungsgrad von 80 % bei einem unterstellten Kesselwirkungsgrad der Ölheizung von 95 % rund  $35.600 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ . Das sind 58 % der verwendbaren thermischen Energie. Die Biogasanlage erhält bei einem angenommenen Heizölpreis von 40 Ct/l eine Gutschrift von 1.200 €. Ob es allerdings bei kleineren Anlagen mit reiner Güllevergärung überhaupt möglich ist, 3.000 l Heizöl zu ersetzen, muss im Einzelfall genau geprüft werden. Im Winter bei längeren Kälteperioden wird es auf jeden Fall eng (siehe Abb. 10-5). Eine gute Fermenterisolierung ist deshalb ganz wichtig (mindestens 200 mm extrudierte Polystyrolplatten).

Der elektrische Wirkungsgrad des BHKW ist – fast unrealistisch hoch für ein so kleines Aggregat – mit 27 % angesetzt; d. h., aus der Bruttoenergie lassen sich rund  $122.300 \text{ kWh}$  Strom erzeugen. Bei angenommenen 8.000 Betriebsstunden pro Jahr reicht dafür ein BHKW mit 20 kW leicht aus. Der Betrieb von Rührwerken, Pumpen und sonstigen Verbrauchern benötigt Strom. Dieser Eigenstromverbrauch hängt wesentlich von der Anzahl der Rührwerke und deren Laufzeit ab. Er liegt in einer Größenordnung von 3 bis 8 % des erzeugten Stroms. Im Beispiel sind 4 % ( $4.889 \text{ kWh}$ ) angesetzt. Dafür den selbst erzeugten Strom zu nutzen, macht nur dann Sinn, wenn der Stromzukaufspreis höher ist als die Einspeisevergütung.

Die Einnahmen errechnen sich aus der verkauften Strommenge mal dem jeweiligen Vergütungssatz. Die Mindestvergütung für die kleine Anlage beträgt 11,50 Ct pro  $\text{kWh}_{\text{el}}$  (siehe Kapitel 10.2.1). Da nur Gülle verwertet wird, erhält die Anlage zusätzlich den „NawaRo-Bonus“ in Höhe von 6,00 Ct pro  $\text{kWh}_{\text{el}}$  (siehe Kap. 10.2.2). Die Einnahmen aus Stromverkauf betragen insgesamt 21.391 €. Über einen Wärmemengenzähler soll der Anlagenbetreiber zudem nachweisen können, dass die dem Energieinhalt von 3.000 l Heizöl entsprechende Wärmemenge im Wohnhaus tatsächlich genutzt wird. Der Anlagenbetreiber hat deshalb Anspruch auf den „KWK-Bonus“ (siehe Kap. 10.2.3). Die Stromkennzahl seines BHKW beträgt laut Herstellerangaben 0,60. Für die Auskopplung der  $30.000 \text{ kWh}$  Wärme ( $3.000 \text{ l Heizöl} \cdot 10 \text{ kWh/l}$ ) müssen rechnerisch  $18.000 \text{ kWh}$  Strom ( $30.000 \text{ kWh}_{\text{therm}} \cdot 0,60 = 18.000 \text{ kWh}_{\text{el}}$ ) erzeugt werden. Der Anlagenbetreiber bekommt für diesen Stromanteil zusätzlich 360 € ( $18.000 \text{ kWh}_{\text{el}} \cdot 2 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ ) vergütet. Die Erträge aus Stromverkauf, Kraft-Wärme-Kopplung und ersparten Heizölkosten belaufen sich auf insgesamt 22.951 € pro Jahr.

Nun zu den Investitionen und Kosten: Gülleanlagen sind in der Regel kostengünstiger zu erstellen als Anlagen mit Kofermentation, da auf Silos, zusätzliche Gärrestlager und aufwendige Feststoffeinbringetechnik verzichtet werden kann. Die Anschaffungskosten sollen 220 € pro  $\text{m}^3$  Fermenterraum, insgesamt 101.200 €, betragen. Das sind bezogen auf die installierte elektrische Leistung rund  $5.000 \text{ €/kW}_{\text{el}}$ . Mit  $460 \text{ m}^3$  ist der Fermenter für einen Tierbestand von 150 GV großzügig dimensioniert. Dies drückt auch die lange Verweilzeit von 50 Tagen aus. In der Praxis sind allerdings noch deutlich längere Verweilzeiten

üblich. Im Durchschnitt liegt sie bei rund 60 Tagen. Ausgehend von unterschiedlichen Investitionssummen werden die langfristig nutzbaren Anlagegüter und bauliche Investitionen (Anhaltswert: 60 % der Investition) auf die Laufzeit der garantierten Einspeisevergütung abgeschrieben – in der Hoffnung, daß der Fermenter so lange genutzt werden kann. Die Technik (ca. 40 % der Investition) erreicht diese Standzeiten nicht. Die Abschreibungsdauer sollte nicht mehr als 10 Jahre betragen. Der Zündstrahlmotor, nicht das gesamte BHKW, ist spätestens nach ca. 4 - 5 Jahren zu ersetzen. Eine Laufleistung von 8.000 Stunden pro Jahr unterstellt, hat er dann immerhin 32.000 bis 40.000 Betriebsstunden erreicht. In der Beispielskalkulation ist deshalb der Motor separat mit Anschaffungskosten von 150 €/kW berücksichtigt. Der Mischzinssatz für Fremd- und Eigenkapital soll 6 v. H. betragen. Förderungen sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Für Unterhalt, Reparatur und Wartung von langlebigen Wirtschaftsgütern sind 2 % und für die Technik 3 % des Investitionsvolumens angenommen. Für den Zündstrahlmotor wurden 0,4 Ct pro Kilowattstunde erzeugter Strom angesetzt. Der Betrag von 489 € ist allerdings sehr knapp bemessen und dürfte gerade für die notwendigen Wartungsmaßnahmen reichen. Die Entlohnung der eigenen Arbeit darf nur der vergessen, wer umsonst arbeiten will. Bei 275 AKh/Jahr – dieser Arbeitszeitbedarf ist auch für kleine Gülleanlagen ohne Kofermentation sehr knapp bemessen – und einem Stundenlohn von 15 € errechnet sich ein Lohnansatz von 4.125 €/Jahr. Hinzu kommen noch die Zündölkosten in Höhe von 1.811 €. Obwohl die Motorleistung gering ist und der Zündölanteil nur 10 % der Bruttoenergie beträgt, werden jährlich rund 4.500 l verbrannt. Die elektrische Prozessenergie in Höhe von rund 4.900 kWh pro Jahr wird für 587 € zugekauft. Kosten für die Bereitstellung von Substraten oder die Gärrestlagerung und -ausbringung fallen nicht an, da nur Gülle aus dem eigenen Betrieb verwertet wird. Ein Düngerwert ist nicht angesetzt (siehe 10.4).

Insgesamt ist je nach Investitionssumme mit Jahreskosten von ca. 19.000 bis 21.800 € zu rechnen; d. h., der Ertrag von rund 23.000 € reicht bei günstigen Annahmen (guter elektrischer Wirkungsgrad, geringes Investitionsvolumen für eine kleine Gülleanlage, geringer Arbeitszeitbedarf) aus, alle Kosten zu decken. Die eingesetzte Arbeitszeit wird mit rund 15 € pro Stunde entlohnt und es wird zusätzlich ein kleiner Unternehmergewinn erzielt. Das ist in der Landwirtschaft nicht selbstverständlich!

Die Tierbestände sind allerdings meist zu klein, um eine Biogasanlage ausschließlich mit Gülle zu be-

schicken. 150 RiGV reichen gerade aus, ein BHKW mit rund 15 bis 20 kW elektrischer Leistung zu betreiben. Sehr schnell stellt sich deshalb bei jeder Planung die Frage nach geeigneten Kofermenten. Selbst in dieser kleinen Anlage ließen sich, geeignete Rühr- und Pumpentechnik vorausgesetzt, zusätzlich ca. 750 t NawaRo (Mais- oder Grassilage) pro Jahr problemlos verarbeiten, wenn der Durchsatz erhöht bzw. die durchschnittliche Verweilzeit um 10 Tage auf 40 Tage verkürzt würde.

## 10.9 Einsatz von Kofermenten

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen sollen meist bekannte Futterpflanzen als Substrat zum Einsatz kommen. Praxiserprobte, schlagkräftige und kostengünstige Mechanisierungsketten für Anbau, Ernte- und Einlagerung sind auf den Betrieben vorhanden oder die Leistungen können in der Region überbetrieblich zugekauft werden.

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit sind zuverlässige Daten über den erzielbaren Gas- bzw. Energieertrag nötig, aber oft nicht vorhanden. Gärversuche kosten Zeit und Geld. Zusätzlich bleibt eine Unsicherheit, da im Labor die tatsächlichen Betriebsbedingungen kaum praxisgerecht abzubilden sind. Der zu erwartende Ertrag ist von vielen Faktoren abhängig; z. B. der Pflanzenart, der Sorte, dem Standort, dem Erntezeitpunkt, der Qualität der Konservierung und nicht zuletzt davon, wie gut der Betreiber seine Anlage im Griff hat. Schneller und kostengünstiger ist es, über bestimmte Bezugsgrößen die Gasausbeuten und den Methangehalt näherungsweise zu berechnen. Die Genauigkeit reicht in der Regel aus.

### 10.9.1 Berechnung der Gasausbeuten

Ausgangspunkt der Berechnung sind folgende Annahmen (/10-5/):

- Der Biogas-/Methanertrag eines Substrates wird im wesentlichen durch den Gehalt an Proteinen, Fetten und Kohlenhydraten sowie der Verdaulichkeit dieser Stoffgruppen bestimmt.
- Die Umsetzungs- und Abbauprozesse in einem Gärbehälter verlaufen ähnlich wie im Rindermagen.

Stimmen die Annahmen, dann können für „Futtermittel“, die in einer Biogasanlage eingesetzt werden sollen, Nährstoffgehalte und Verdaulichkeitsquotienten (VQ) aus Futterwerttabellen angesetzt, und die zu erwartenden Gasausbeuten näherungsweise berechnet

Tabelle 10-5: Kalkulationsbeispiel zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage

<b>Geschätzter Gasertrag (siehe Tabelle Gaserzeugung)</b>					<b>75.798</b>				
Bruttoenergieerzeugung:									
keine Gasverwertung oder -produktion an	5	Tagen pro Jahr	Verfügbarkeit	99%					
Energiegehalt Substrat			5,45 kWh/m <sup>3</sup>	kWh/Jahr	407.443				
Energiegehalt Zündöl bei einem Anteil von	10,00	%		kWh/Jahr	45.271				
<b>Bruttoenergieerzeugung: Substrat + Zündöl</b>					<b>kWh/Jahr</b>	<b>452.714</b>			
gewonnene thermische Energie:									
	45	% WG		kWh/Jahr	203.721				
Temperaturniveau im Fermenter	38	°C							
durchschnittliche Substrattemperatur bei Zugabe	12	°C							
abz. thermische Prozeßenergie					kWh/Jahr	-142.492			
<b>Verwendbare thermische Energie</b>					<b>kWh/Jahr</b>	<b>61.229</b>			
gewonnene elektrische Energie:									
Motorlaufzeit	8.000	Std./Jahr							
Wirkungsgrad <sub>el</sub>			notw. Mindestleistung	kWh/Jahr	122.233				
Zündstrahler-BHKW	27	%	15 kW	122.233					
abzüglich elektrische. Prozeßenergie					4,0%	der Stromerzeugung	kWh/Jahr	0	Zukauf ist preiswerter!
<b>Verwendbare elektrische Energie</b>					<b>kWh/Jahr</b>	<b>122.233</b>			
<b>Einnahmen einschließlich ersparter Heizölkosten</b>									
elektrische Energieverwertung									
Mindestvergütung	11,50	Ct/kWh	EUR /Jahr	14.057					
NawaRo-Bonus	6,00	Ct/kWh	EUR /Jahr	7.334					
thermische Energieverwertung									
KWK-Bonus	2,00	Ct/kWh	EUR /Jahr	360					
Stromkennzahl lt. Herstellerangabe	0,60								
Energieinhalt Heizöl	10	kWh/l							
Heizölpreis	0,40	EUR /l							
Biogasheizung: therm. Wirkungsgrad	80	%							
Ölheizung: Kesselwirkungsgrad	95	%							
Wärmenutzung (im Betrieb oder Wohnhaus)	58	%	≈ 3.000 l Heizöl	EUR /Jahr	1.200				
<b>Summe Erträge</b>					<b>22.951</b>				

						-10 %		10,0 %							
<b>Investition</b>															
Fermentergröße	460	m <sup>3</sup>	EUR/m <sup>3</sup> Fermenter	198	220	242									
Fermenterhöhe	4,1	m													
Fermenterdurchmesser	12	m													
Verweilzeit	50	Tage													
Bau und Technik						EUR	88.080	98.200	108.320						
davon für Zündstrahlmotor (ZS)						notw. Leistung	15 kW	installierte Leistung	20 kW	Kosten pro kW	150 EUR /kW	EUR	3.000	3.000	3.000
<b>Gesamtinvestition</b>						<b>EUR</b>	<b>91.080</b>	<b>101.200</b>	<b>111.320</b>						
<b>Geschätzte Jahreskosten</b>															
Abschreibung:															
Bau/ langlebige Güter	60	% (Anteil)	20,0	Jahre	EUR /Jahr	2.642	2.946	3.250							
Technik	40	% (Anteil)	10,0	Jahre	EUR /Jahr	3.523	3.928	4.333							
Zündstrahlmotor			4,5	Jahre	EUR /Jahr	667	667	667							
Zins			6,0	%	EUR /Jahr	2.732	3.036	3.340							
Versicherung			0,5	%	EUR /Jahr	455	506	557							
Grundstückspacht	0	EUR /Jahr													
Reparaturen/Wartung:															
Bau	2,0	%													
Technik	3,0	%													
Zündstrahlmotor/Generator	0,4	Ct/kWh <sub>el</sub>													
Lohnkosten/-ansatz	275	Std./Jahr	15	EUR /Std	EUR /Jahr	4.125	4.125	4.125							
Zündölkosten bei einem Zündölanteil von	10%	4.527	l/Jahr	0,40	EUR /Liter	EUR /Jahr	1.811	1.811	1.811						
elektrische Prozessenergie Zukaufspreis	12,00	Ct/kWh	4.889	kWh/Jahr	EUR /Jahr	587	587	587							
<b>Gesamtsumme Jahreskosten Biogasanlage</b>						<b>EUR/Jahr</b>	<b>19.145</b>	<b>20.451</b>	<b>21.756</b>						
<b>Rohstoffkosten</b>						0									
<b>Düngerwert (ohne Gülle,Mist aus der betriebeigenen Tierhaltung)</b>						0									
<b>Unternehmergewinn/-verlust</b>						<b>EUR/Jahr</b>	<b>3.805</b>	<b>2.500</b>	<b>1.194</b>						



Tabelle 10-6: Grassilage, 1. Schnitt, Mitte der Blüte - Rohnährstoffgehalte und VQ pro 1000 g Trockenmasse

TS-Gehalt	Rohfaser	VQ <sub>Rfas</sub>	NfE	VQ <sub>NfE</sub>	Rohprotein	VQ <sub>RP</sub>	Rohfett	VQ <sub>Rfett</sub>
%	g	%	g	%	g	%	g	%
36	293	74,30	436	69,97	132	65,09	37	67,51

werden. Die Nährstoffgehalte und die Verdaulichkeiten variieren je nach Reifegrad und Art der Konservierung. Es gibt also wie in der Fütterung keine einheitliche Futtermittelqualität.

Am Beispiel von Grassilage, 1. Schnitt, Mitte der Blüte, soll die Berechnung der Gasausbeute im Einzelnen erläutert werden. Die Rohnährstoffgehalte und VQ sind aus dem DV-Programm ZIFO übernommen (/10-6/) (siehe Tabelle 10-6).

Aus diesen Vorgaben lassen sich der Gehalt an organischer Trockensubstanz (oTS), die Masse der verdaulichen Kohlenhydrate, des verdaulichen Rohproteins und des verdaulichen Rohfetts pro Kilogramm Trockensubstanz (TS) wie folgt errechnen:

oTS-Gehalt:  
 $(\text{Rohfaser} + \text{NfE} + \text{Rohprotein} + \text{Rohfett}) / 1000 = 89,80 \%$   
 Verdauliche Kohlenhydrate:  
 $(\text{Rohfaser} \cdot \text{VQ}_{\text{Rfas}}) + (\text{NfE} \cdot \text{VQ}_{\text{NfE}}) = 522,77 \text{ g}$   
 Verdauliches Rohprotein:  
 $(\text{Rohprotein} \cdot \text{VQ}_{\text{RP}}) = 85,92 \text{ g}$   
 Verdauliches Rohfett:  
 $(\text{Rohfett} \cdot \text{VQ}_{\text{Rfett}}) = 24,98 \text{ g}$

Den verdaulichen Inhaltsstoffen wird eine spezifische Gasbildungsrate sowie ein Methangehalt zugeordnet (siehe Tabelle 10-7). Danach können bei der Vergärung dieser Grassilage rund 562 l Biogas pro Kilogramm

oTS mit einem Methangehalt von 53,6 % erwartet werden. Das entspricht einer Gasausbeute von knapp 182 m<sup>3</sup> pro 1.000 kg Frischmasse (561,7 · 0,898 · 0,36).

In Tabelle 10-8 sind auf der Basis des Rechenmodells die zu erwartenden Gasausbeuten und die Methangehalte für ausgewählte pflanzliche Substrate zusammengestellt. Dabei handelt es sich um Durchschnittswerte, die in der Praxis über-, aber auch unterschritten werden können.

### 10.9.2 Bereitstellungskosten von Kofermenten

Kofermentation ist dann sinnvoll, wenn die Erträge aus der Verwertung der Kofermente den Aufwand der Bereitstellung, der Lagerung und Verwertung in der Biogasanlage übersteigen. Wie hoch die Erträge im Einzelfall sind, hängt ab von

- der Qualität der Kofermente (Verdaulichkeit, Gasausbeute, Gasqualität),
- der Ausfallzeit (Verweilzeit),
- dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW und
- der Qualität der Prozessführung, sprich der Fähigkeit des Anlagenbetreibers.

Ähnlich vielschichtig sind die Zusammenhänge auf der Aufwandsseite. Viele Anlagenbetreiber haben bei der Planung ihrer Anlage Kapazitäten vorgehalten. Sei es um Kofermente mit vergären zu können, oder bei Viehaufstockungen genügend Reserven zu haben. Die meisten Biogasanlagen wurden schlicht zu groß gebaut. Es gibt also noch Reserven in vielen Biogasanlagen, die zu nutzen sich lohnt. Der Aufwand wird ganz wesentlich davon beeinflusst, ob durch den Einsatz von Kofermenten nur die Auslastung einer bestehenden Anlage verbessert werden soll oder ob die Anlage erweitert werden muss, sprich Investitionen notwendig sind. Zu prüfen ist insbesondere, ob das vorhandene BHKW genügend Leistungsreserven hat, um das zusätzlich anfallende Biogas zu verstromen.

Tabelle 10-7: Grassilage, 1. Schnitt, Mitte der Blüte - Gasausbeute in l/kg TS (ergänzt nach /10-7/)

Stoffgruppe	Gasausbeute	CH <sub>4</sub> -Anteil	Masse	Gasausbeute	CH <sub>4</sub> -Anteil
	l/kg OS	Vol%	kg/kg oTS	l/kg oTS	Vol%
Kohlenhydrate	790	50	0,582	459,9	40,9
Rohprotein	700	71	0,096	67,0	8,5
Rohfett	1250	68	0,028	34,8	4,2
<b>Summe</b>	-	-	<b>0,706</b>	<b>561,7</b>	<b>53,6</b>

Tabelle 10-8: Maximale Kosten der Bereitstellung von Kofermenten frei Biogasanlage - bei nicht ausgelasteten Anlagen mit Zündstrahl-BHKW<sup>a</sup>

	Gasausbeute	Methangehalt	Stromertrag	Mindestvergütung	Stromerlös	Variable Kosten			Max. Bereitstellungs-kosten	Leistungsbedarf	Notw. Grubenraum
	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /t FM	%	kWh/t FM	Ct/kWh <sub>el</sub>	€/t FM	Wartung	Zündöl	Ausbringung			
						€/t FM	€/t FM	€/t FM	€/t FM	kW/10 t FM	m <sup>3</sup> /10 t FM
Altbrot (65% TS)	482,0	52,7	903	11,5	103,86	13,55	11,29	1,47	77,55	1,2	1,8
Altfrittierfett (95% TS)	874,0	68,0	2.113	11,5	243,01	31,70	26,41	0,50	184,40	2,9	0,6
Backabfälle (87,7% TS)	650,6	52,8	1.221	11,5	140,46	18,32	15,27	0,59	106,28	1,7	0,7
CCM 3,5% Rfas (65% TS)	425,8	52,7	798	11,5 + 6	139,62	11,97	9,97	1,76	115,92	1,1	2,2
Fettabscheiderrückstand (5% TS)	45,0	68,0	109	11,5	12,51	1,63	1,36	3,82	5,70	0,1	4,7
Geflügelkot (15% TS)	56,3	65,0	130	11,5 + 6	22,77	1,95	1,63	3,74	15,45	0,2	4,6
Gehaltsfuttermübe (14,6% TS)	90,2	51,1	164	11,5 + 6	28,68	2,46	2,05	3,52	20,65	0,2	4,3
Gemüseabfälle (15% TS)	57,0	56,0	113	11,5	13,05	1,70	1,42	3,71	6,22	0,2	4,6
Gerstenstroh (86% TS)	312,0	50,5	560	11,5 + 6	98,04	8,40	7,00	2,32	80,31	0,8	2,9
Glycerin (100% TS)	845,7	50,0	1.503	11,5	172,90	22,55	18,79	0,02	131,53	2,1	0,0
GPS Getreide mittl. Kornanteil (40% TS)	194,8	52,3	362	11,5 + 6	63,39	5,43	4,53	2,97	50,46	0,5	3,7
Grassil. anw. 1.Sch.Mitte Blüte (40% TS)	201,7	53,6	384	11,5 + 6	67,27	5,77	4,80	2,95	53,75	0,5	3,6
Grassilage Ø aller Schnitte (35% TS)	182,3	54,1	351	11,5 + 6	61,37	5,26	4,38	3,05	48,67	0,5	3,8
Wiesengras 1.Schn. Rispschieb. (18% TS)	98,1	53,9	188	11,5 + 6	32,90	2,82	2,35	3,49	24,24	0,3	4,3
Heu Wiese 2.f.Sch. Beginn Blüte (86% TS)	404,4	53,1	764	11,5 + 6	133,61	11,45	9,54	1,88	110,74	1,0	2,3
Kartoffel roh stärkereich (26% TS)	177,1	51,4	324	11,5 + 6	56,64	4,85	4,05	3,06	44,68	0,4	3,8
Kartoffel roh mittl. Stärkegehalt (22% TS)	150,1	51,5	275	11,5 + 6	48,10	4,12	3,44	3,20	37,34	0,4	3,9
Kartoffelschälabfälle roh (11% TS)	67,7	51,4	124	11,5	14,23	1,86	1,55	3,64	7,19	0,2	4,5
Kartoffelschlempe frisch (6% TS)	35,0	56,3	70	11,5 + 6	12,26	1,05	0,88	3,82	6,51	0,1	4,7
Käseabfall (79,3% TS)	673,8	67,5	1.617	11,5	185,97	24,26	20,21	1,02	140,48	2,2	1,3
Labmolke frisch (5% TS)	34,4	53,1	65	11,5	7,47	0,97	0,81	3,82	1,86	0,1	4,7
Magermilch frisch (8,6% TS)	57,6	57,7	118	11,5	13,59	1,77	1,48	3,71	6,63	0,2	4,6
Markstammkohl grün (11,5% TS)	63,2	54,3	122	11,5 + 6	21,35	1,83	1,53	3,67	14,33	0,2	4,5
Rindergülle (8,8% TS)	21,0	55,0	41	11,5 + 6	7,19	0,62	0,51	3,89	2,17	0,1	4,8
Rapskuchen kaltgepresst 15% Fett (91% TS)	579,2	62,5	1.287	11,5	148,02	19,31	16,09	1,24	111,38	1,8	1,5
Rübenkleinteile, Rübenschwänze (17% TS)	95,9	51,8	177	11,5	20,31	2,65	2,21	3,49	11,96	0,2	4,3
Speisereste fettreich (18% TS)	126,5	61,9	278	11,5	32,02	4,18	3,48	3,39	20,97	0,4	4,2
Schweinegülle (6% TS)	20,4	60,0	44	11,5 + 6	7,62	0,65	0,54	3,90	2,52	0,1	4,8
Maissilage teigreif, mittl. Kö. (28% TS)	154,5	52,1	286	11,5 + 6	50,09	4,29	3,58	3,18	39,03	0,4	3,9
Maissilage wachsreif, mittl. Kö. (33% TS)	185,3	52,2	344	11,5 + 6	60,19	5,16	4,30	3,02	47,71	0,5	3,7
<b>Maissilage wachsreif, körnerreich (35% TS)</b>	<b>201,5</b>	<b>52,3</b>	<b>375</b>	<b>11,5 + 6</b>	<b>65,57</b>	<b>5,62</b>	<b>4,68</b>	<b>2,94</b>	<b>52,33</b>	<b>0,5</b>	<b>3,6</b>
Roggen Körner (87% TS)	597,0	52,0	1.104	11,5 + 6	193,16	16,56	13,80	0,84	161,97	1,5	1,0
Weizen Körner (87% TS)	598,2	52,8	1.123	11,5 + 6	196,53	16,85	14,04	0,86	164,79	1,5	1,1
Weizenspreu (89% TS)	262,4	50,7	473	11,5	54,40	7,10	5,91	2,59	38,80	0,7	3,2
Zuckerrübenblatt grün sauber (16% TS)	85,1	53,7	162	11,5 + 6	28,43	2,44	2,03	3,56	20,41	0,2	4,4
Zuckerrübe frisch (23% TS)	147,1	50,8	266	11,5 + 6	46,50	3,99	3,32	3,21	35,98	0,4	4,0

a. Annahmen:

BHKW-Wirkungsgrad <sub>el</sub>	32	%	Bodennahe Ausbringung überbetrieblich	4,00	€/m <sup>3</sup>
BHKW-Laufzeit	8.000	Stunden/Jahr	Wartung Biogasanlage einschließlich Prozessenergie <sub>el</sub>	1,5	ct/kWh <sub>el</sub>
Zündölanteil	10	% der Bruttoenergie	Sicherheitszuschlag zum Leistungsbedarf	10	%
Zündölpreis	40,0	Ct/l	Lagerdauer ausgefaultes Substrat	180	Tage

### 10.9.2.1 Maximale Bereitstellungskosten für Kofermente für nicht ausgelastete Anlagen

Sind freie Kapazitäten vorhanden, reicht es für eine erste überschlägige Abschätzung, ob der Einsatz eines Koferments sinnvoll sein könnte, aus, von den erwarteten Mehrerträgen die variablen Kosten der Verstromung, also die zusätzlichen Kosten für

- die Wartung der Anlage einschließlich der zusätzlich benötigten elektrischen Prozessenergie,
- das Zündöl zur Verstromung des zusätzlichen Biogases,
- die Ausbringung des ausgefaulten Substrats

abzuziehen. Der zusätzliche Wartungsaufwand der Gesamtanlage ist mit 1,5 Ct/kWh<sub>el</sub> angenommen. Zündölkosten fallen naturgemäß nur dann an, wenn ein Zündstrahlaggregat eingesetzt wird. Unbedingt anzusetzen sind die Kosten für die Ausbringung des Gärrestes. Bei Eigenmechanisierung sind das mindestens die variablen Maschinenkosten und ein Lohnansatz für die aufgewendete Arbeit. Der verbleibende Betrag gibt dann an, wie viel ein Koferment frei Biogasanlage maximal kosten darf. In Tabelle 10-8 sind diese maximalen Bereitstellungskosten für einige Substrate zusammengestellt. Erlöse aus Wärmenutzung wurden nicht berücksichtigt.

Wie die Tabelle zu interpretieren ist, soll am Beispiel „Maissilage wachstreu, körnerreich 35 % TS“ (fett hervorgehoben) verdeutlicht werden:

Pro Tonne Silage bringt guter Silomais 65,57 € Stromerlös bei ausschließlicher Vergärung von Silomais als nachwachsender Rohstoff. Demgegenüber stehen die Wartungskosten für die Biogasanlage in Höhe von 5,62 €, Zündölkosten von 4,68 € und Ausbringkosten von 2,94 €. Die Bereitstellung dieser Maissilage frei Biogasanlage darf also maximal 52,33 €/t kosten, um Kostenneutralität zu erreichen.

Rechnet man mit spitzem Bleistift, müssen aus diesem Betrag neben den Produktions- oder den Beschaffungskosten frei Hof (bei betriebsfremden Substraten) noch folgende Vorkosten abgedeckt werden können:

- die variablen Kosten des beanspruchten Siloraums, des Lagerplatzes oder des Lagerbehälters;
- die Kosten, die durch den Transport des Substrates zum Fermenter entstehen;
- die Zusatzkosten bei Energiepflanzen von Stilllegungsflächen für die Überwachung der Einlagerung durch eine sachkundige Person und die Denaturierung;
- der Lohnansatz für die Arbeitszeit, die der Anbau, die Ernte, der Transport bis zum Fermenter und die zusätzliche Anlagenbetreuung verursacht;

- die Festkosten für den Siloraum, den Lagerplatz oder den Lagerbehälter, wenn es sich nicht um bereits abbeschriebene Betriebsvorrichtungen handelt;
- die Nutzungskosten, falls alternative Nutzungsmöglichkeiten für die Fläche bestehen, auf der nachwachsende Rohstoffe für die Verwertung in einer Biogasanlage angebaut werden oder
- die Pachtkosten, wenn nachwachsende Rohstoffe auf Pachtflächen erzeugt werden;
- ein Gemeinkostenanteil (Betriebskosten, die nicht unmittelbar zuzuordnen sind und deshalb anteilig auf die Fläche umgelegt werden).

Auf der Ertragsseite kommt zu den Stromerlösen noch ein Düngewert hinzu, wenn die entsprechende Menge Mineraldünger tatsächlich eingespart wird. Erfolgt der Anbau auf Stilllegungsflächen, können auch die eingesparten Pflegekosten (Begrünung, Mulchen) als Ertrag angerechnet werden. Kein Ertrag der Biogasanlage sind Prämienzahlungen, die der Betrieb unabhängig von der Biogaserzeugung erhält.

### 10.9.2.2 Maximale Bereitstellungskosten von Kofermenten mit Berücksichtigung von Festkosten (Anlagenerweiterung)

Sind zur Verwertung von Kofermenten Investitionen notwendig, müssen neben den variablen Kosten der Verstromung auch die Festkosten für die beanspruchten Kapazitäten (Fermenter, Güllelager, BHKW und Technik) in Ansatz gebracht werden (siehe Tabelle 10-9). Wird beispielsweise eine neue Biogasanlage für die Vergärung von Silomais gebaut, belasten neben den variablen Kosten (siehe Beispiel Seite 10-26) die Festkosten in Höhe von 10,70 €/t die Maissilage. Die Bereitstellung von Maissilage dieser Qualität frei Biogasanlage darf dann maximal 41,63 €/t kosten. Ist in einer bestehenden Biogasanlage die zusätzliche Kofermentation von Maissilage geplant, und ist nur eine Erweiterung des BHKW erforderlich, entfallen auf die Maissilage lediglich die anteiligen Festkosten des BHKW. Im Beispiel sind das 5,00 €/t. Die maximalen Bereitstellungskosten der Maissilage frei Biogasanlage liegen dann bei 47,33 €/t.

Ob darüber hinaus Lagertanks, Gasspeicher, eine Hygienisierungseinrichtung oder zusätzliche Rührwerke erforderlich sind, hängt von den eingesetzten Kofermenten ab. In jedem Fall erhöht sich der Aufwand deutlich.

Die Abbildung 10-6 zeigt exemplarisch, welche Ertrags- bzw. Kostenpositionen zu berücksichtigen sind und wie sich verschiedene Kofermente verhalten.

Tabelle 10-9: Maximale Bereitstellungskosten von Kofermenten frei Biogasanlage mit Ansatz von Festkosten - Zündstrahl-BHKW<sup>a</sup>

	Gasausbeute m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /t FM	Methan- gehalt %	Strom- erlös <sup>b</sup> €/t FM	Variable Kosten gesamt €/t FM	Festkosten			Max. Bereitstell- ungs- kosten €/t FM
					BHKW €/t FM	Fermenter u. Technik €/t FM	Gülle- lager €/t FM	
Altbrot (65% TS)	482,0	52,7	103,86	26,31	12,05	4,16	0,77	60,57
Altfrittierfett (95% TS)	874,0	68,0	243,01	58,62	28,19	4,16	0,26	151,77
Backabfälle (87,7% TS)	650,6	52,8	140,46	34,18	16,29	4,16	0,31	85,51
CCM 3,5% Rfas (65% TS)	425,8	52,7	139,62	23,70	10,64	4,16	0,92	100,19
Fettabscheiderrückstand (5% TS)	45,0	68,0	12,51	6,81	1,45	4,16	2,00	-1,92
Geflügelkot (15% TS)	56,3	65,0	22,77	7,32	1,74	4,16	1,96	7,59
Gehaltsfuttermübe (14,6% TS)	90,2	51,1	28,68	8,03	2,19	4,16	1,84	12,46
Gemüseabfälle (15% TS)	57,0	56,0	13,05	6,83	1,51	4,16	1,94	-1,40
Gerstenstroh (86% TS)	312,0	50,5	98,04	17,73	7,47	4,16	1,22	67,45
Glycerin (100% TS)	845,7	50,0	172,90	41,37	20,06	4,16	0,01	107,30
GPS Getreide mittl. Kornanteil (40% TS)	194,8	52,3	63,39	12,93	4,83	4,16	1,56	39,90
Grassilage anw. 1.Sch.Mitte Blüte (40% TS)	201,7	53,6	67,27	13,52	5,13	4,16	1,54	42,91
Grassilage Ø aller Schnitte (35% TS)	182,3	54,1	61,37	12,70	4,68	4,16	1,60	38,23
Wiesengras 1.Schn. Rispschieb. (18% TS)	98,1	53,9	32,90	8,66	2,51	4,16	1,83	15,74
Heu Wiese 2.f.Sch. Beginn Blüte (86% TS)	404,4	53,1	133,61	22,88	10,19	4,16	0,99	95,40
Kartoffel roh stärkereich (26% TS)	177,1	51,4	56,64	11,96	4,32	4,16	1,60	34,60
Kartoffel roh mittl. Stärkegehalt (22% TS)	150,1	51,5	48,10	10,76	3,67	4,16	1,68	27,83
Kartoffelschälabfälle roh (11% TS)	67,7	51,4	14,23	7,04	1,65	4,16	1,91	-0,54
Kartoffelschlempe frisch (6% TS)	35,0	56,3	12,26	5,75	0,93	4,16	2,00	-0,59
Käseabfall (79,3% TS)	673,8	67,5	185,97	45,49	21,57	4,16	0,53	114,21
Labmolke frisch (5% TS)	34,4	53,1	7,47	5,61	0,87	4,16	2,00	-5,17
Magermilch frisch (8,6% TS)	57,6	57,7	13,59	6,96	1,58	4,16	1,94	-1,06
Markstammkohl grün (11,5% TS)	63,2	54,3	21,35	7,03	1,63	4,16	1,92	6,61
Rindergülle (8,8% TS)	21,0	55,0	7,19	5,02	0,55	4,16	2,04	-4,59
Rapskuchen kaltpress. 15% Fett (91% TS)	579,2	62,5	148,02	36,63	17,17	4,16	0,65	89,40
Rübenkleinteile, Rübenschwänze (17% TS)	95,9	51,8	20,31	8,35	2,36	4,16	1,83	3,61
Speisereste fettreich (18% TS)	126,5	61,9	32,02	11,05	3,71	4,16	1,78	11,31
Schweinegülle (6% TS)	20,4	60,0	7,62	5,10	0,58	4,16	2,04	-4,27
Maissilage teigreif, mittl. Kö. (28% TS)	154,5	52,1	50,09	11,05	3,82	4,16	1,67	29,38
Maissilage wachsreif, mittl. Kö. (33% TS)	185,3	52,2	60,19	12,48	4,59	4,16	1,58	37,37
Maissilage wachsreif, kö.reich (35% TS)	201,5	52,3	65,57	13,24	5,00	4,16	1,54	41,63
Roggen Körner (87% TS)	597,0	52,0	193,16	31,19	14,73	4,16	0,44	142,64
Weizen Körner (87% TS)	598,2	52,8	196,53	31,74	14,98	4,16	0,45	145,19
Weizenspreu (89% TS)	262,4	50,7	54,40	15,60	6,31	4,16	1,36	26,96
Zuckerrübenblatt grün sauber (16% TS)	85,1	53,7	28,43	8,02	2,17	4,16	1,86	12,21
Zuckerrübe frisch (23% TS)	147,1	50,8	46,50	10,52	3,54	4,16	1,68	26,59

a. Annahmen: siehe Tabelle 10-8 und

Investition Fermenter und Bau	200	€/m <sup>3</sup>	Abschreibung Bau	20	Jahre
Investition Technik (ohne BHKW)	130	€/m <sup>3</sup>	Abschreibung Technik	10	Jahre
Investition BHKW	550	€/kW	Abschreibung BHKW (ohne Motor)	9	Jahre
davon Zündstrahlmotor	150	€/kW	Abschreibung Motor	4,5	Jahre
Investition Güllelager	50	€/m <sup>3</sup>	Zinsansatz	6	%
Verweilzeit	40	Tage	Versicherung	0,5	%
Zuschlag zum Fermenterraum	10	%	Notw. Fermenterraum mit Zuschlag	0,12	m <sup>3</sup>

b. Stromertrag inkl. Zündölanteil (10% der Bruttoenergie)

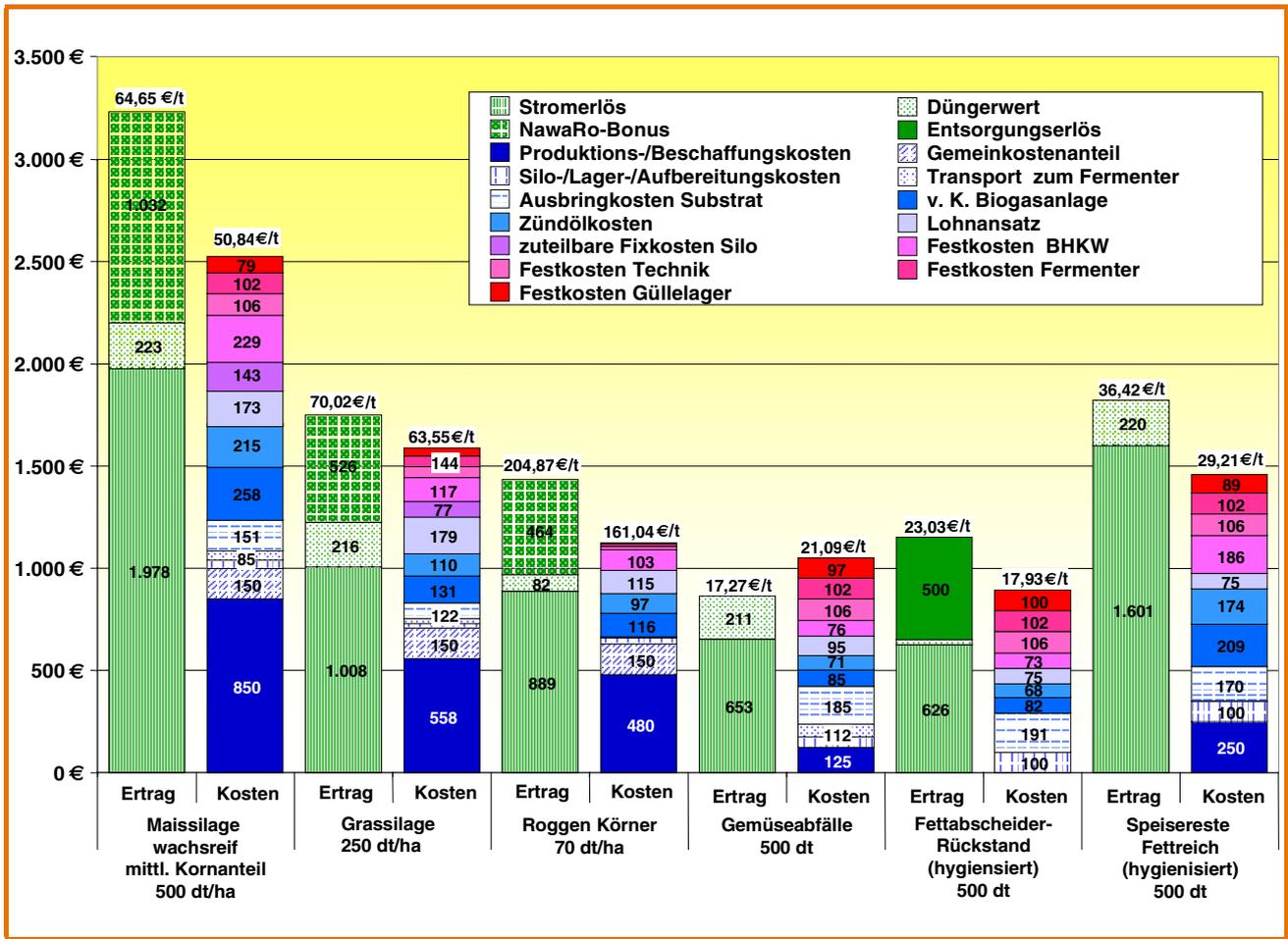


Abb. 10-6: Wirtschaftlichkeit von Kofermenten - ohne Ansatz von Nutzungskosten oder Pachtzahlungen

Annahmen: siehe Tabellen 10-8 und 10-9 und

Investition Silo/Lager	25	€/m <sup>3</sup>	Lohnansatz	15	€/AKh
variable Kosten Silo	58	Ct/m <sup>3</sup>	N-Preis	56	Ct/kg
Transportkosten Lager-Fermenter	62	Ct/m <sup>3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Preis	55	Ct/kg
Arbeitszeitbedarf Transport Fermenter	3,8	Min/m <sup>3</sup>	K <sub>2</sub> O-Preis	28	Ct/kg

Gute Produktionstechnik auf dem Feld und in der Biogasanlage vorausgesetzt, lässt sich auf besseren Maisstandorten ein Ertrag von 2.200 €/ha erzielen. Er setzt sich zusammen aus dem Stromerlös (ohne „NawaRo-Bonus“) in Höhe von 1.978 €/ha (11,50 Ct/kWh<sub>el</sub> · 17.200 kWh<sub>el</sub>) und dem Düngewert. Der Düngewert in Höhe von 223 €/ha lässt sich allerdings nur realisieren, wenn die Nährstoffe (3,1 kg N; 1,75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 6,36 K<sub>2</sub>O pro t Maissilage) in vollem Umfang genutzt werden und die entsprechende Menge Mineraldünger eingespart wird. Das ist in der Praxis leider kaum möglich. Demgegenüber stehen variable Kosten ohne Lohn von ca. 1.560 €/ha. Der Arbeitszeitbedarf für Anbau, Ernte und Transport der Silage zum Fermenter soll knapp 12 AKh betragen; bewertet mit 15 €/AKh ergibt sich ein Lohnansatz von 173 €/ha Silomais. Der Deckungsbeitrag beträgt 467 €/ha und liegt damit um 244 € über dem

kalkulatorischen Düngewert. Es lohnt sich also, Silomais zur Verbesserung der Auslastung einer Biogasanlage einzusetzen. Beträgt die Stromvergütung nur 9,90 Ct/kWh<sub>el</sub> gilt diese Aussage nicht mehr uneingeschränkt. Bringt man die Festkosten für eine Anlagen- und Siloerweiterung zusätzlich in Ansatz (660 €/ha), rechnet sich Silomais nicht mehr. Zur Deckung der Gemeinkosten bleibt nichts übrig. Werden ausschließlich Gülle und/oder NawaRo in der Biogasanlage eingesetzt, erhöht sich der Stromvergütung um den „NawaRo-Bonus“ in Höhe von 6,00 Ct/kWh<sub>el</sub> (siehe Kap. 10.2.2). Umgerechnet auf den Stromerlös pro Hektar Silomais sind das 1.032 €. Damit lassen sich die angenommenen Fest- und Gemeinkosten leicht abdecken. Kann der Düngewert zur Hälfte realisiert werden, bleiben 578 €/ha übrig (ohne Anrechnung von Nutzungskosten oder Pachtzahlungen). Das Beispiel macht deutlich, wie nahe Wirtschaftlichkeit und Un-

wirtschaftlichkeit beieinander liegen. Für die Kofermentation von Getreide stellt sich die Situation ähnlich dar. Der Einsatz von Grassilage führt zu einem etwas schlechteren Ergebnis. Der „NawaRo-Bonus“ allein reicht knapp nicht, neben den Festkosten die Gemeinkosten zu decken. Allerdings sollte es auf Grünland leichter möglich sein, Mineraldünger durch organischen Dünger zu substituieren und damit Einsparungen in Höhe des kalkulierten Düngerwertes zu realisieren.

Festzuhalten bleibt: Der Vergütungszuschlag „NawaRo-Bonus“ macht den Anbau und die Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen in der Biogasanlage interessant.

Verlockend ist es, betriebsfremde Substrate, im engeren Sinne Bioabfälle, einzusetzen – wenn sie erhältlich sind. Wer beispielsweise Gemüseabfälle, Fettabscheider-Rückstand oder Speisereste in seiner Biogasanlage verwerten will, sollte allerdings bedenken, dass er dann auf den „NawaRo-Bonus“ ein für alle mal verzichten muss und deutlich schärfere Auflagen bei Genehmigung und Betrieb der Anlage zu erfüllen hat (vgl. Kapitel 7). Für landwirtschaftliche Betriebe mit Biogasanlage wird sich dieser Verzicht in vielen Fällen nicht auszahlen. Abb. 10-6 zeigt: Die Abnahme von Gemüseabfällen zur besseren Auslastung der Biogasanlage ist bei Beschaffungskosten von 2,5 €/t frei Hof nicht zu empfehlen. Unter dem Strich sollte zumindest der Düngerwert übrig bleiben. Die Vergärung von Fettabscheiderrückstand schlechter Qualität (5 % TS) rechnet sich nur mit entsprechenden Entsorgungserlösen. In die Verwertung von Speiseresten einzusteigen, ist auch nicht sonderlich lukrativ, wenn das Substrat 5 €/t kostet. Bioabfälle, müssen in der Regel „Geld mitbringen“, sonst lohnt sich für den Betreiber das Risiko nicht, die Biogasanlage mit häufig wechselnden Substraten zu belasten. Für viehstarke Betriebe sind betriebsfremde Substrate keine Alternative. Sie haben meist nur wenig Spielraum, zusätzliche Nährstoffe aus dem Gärrest auf eigenen Flächen sinnvoll, d. h. nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis, unterzubringen (siehe Kapitel 7). Den Gärrest aus dem Betriebskreislauf auszuschleusen und als sog. Sekundärrohstoffdünger in Verkehr zu bringen oder Flächen zur Verwertung des Gärrestes zuzupachten, ist in der Regel nicht kostendeckend.

Ob sich der Einsatz eines bestimmten Koferments wirklich lohnt oder nicht, lässt sich pauschal nicht beantworten. Da hilft nur das Eine: „Rechnen!“

### 10.9.3 Sensitivitätsanalyse

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gehen immer von Annahmen aus, die die Wirklichkeit mehr oder weniger gut abbilden. Wichtig ist es deshalb zu prüfen, wie sich das Ergebnis verändert, wenn einzelne Annahmen übertroffen oder unterschritten werden. Die Ergebnisse einer sogenannten Sensitivitätsanalyse sind in Tabelle 10-10 für die in Abb. 10-6 dargestellten Substrate zusammengestellt.

Lässt man den Strompreis, der vom Anlagenbetreiber kaum verändert werden kann, außer Acht, hat der elektrische Wirkungsgrad des BHKW den größten Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis. Eine 10 %ige Anhebung des elektrischen Wirkungsgrades von 32 auf rund 35 % – mehr ist bei realistischer Sichtweise kaum möglich – führt zu einem geringfügig besseren Ergebnis als die Erhöhung des Gasertrags oder des Methangehalts um denselben Prozentsatz.

Deutlich geringer wirken sich Änderungen auf der Kostenseite aus. Die Verminderung der Bereitstellungskosten um 10 Prozent hat bei NawaRo mehr Gewicht als die Senkung der Anschaffungskosten der Biogasanlage. Meist ist es allerdings leichter, die Anschaffungskosten zu senken als die Anlagenleistungen zu erhöhen oder die Bereitstellungskosten zu senken. Änderungen der variablen Kosten der Biogasanlage haben nur untergeordnete Bedeutung. Sie sind allerdings mit 1,5 Ct/kWh<sub>el</sub> in der Kalkulation sehr niedrig angesetzt.

### 10.10 Modellanlagen

Die Modellanlagen sind in Kapitel 6 ausführlich erläutert. Auf die Beschreibung der Modellanlagen kann deshalb hier verzichtet werden. Die in den Biogasanlagen eingesetzten Substrate und Kosubstrate sind in der folgenden Tabelle 10-11 zusammengestellt.

### 10.11 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Gülle, Futterreste und Einstreu vom eigenen Betrieb stehen der Biogasanlage kostenfrei zur Verfügung. Für die anderen Kosubstrate sind die Kosten frei Biogasanlage einschließlich Ausbringung des ausgefaulten Substrats beispielhaft kalkuliert. Tabelle 10-12 zeigt: Werden alle Kostenpositionen berücksichtigt (vgl. Kapitel 10.9.2), kommen bei nachwachsenden Rohstoffen erhebliche Beträge zusammen. Liegen die Kosten in einer Musterkalkulation deutlich niedriger,

Tabelle 10-10: Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit von Substraten (vgl. Abbildung 10-6)

Substrat		Silomais	Grassilage	Roggen	Gemüseabfälle	Fettabscheiderückstand	Speisereste
Stromvergütung	Ct/kWh	17,50	17,50	17,50	11,50	11,50	11,50
Parameter	Änderung	€/t	€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
elektrischer Wirkungsgrad	±10 %	5,04	5,14	16,19	0,98	0,94	2,41
Gasertrag	±10 %	4,76	4,85	15,18	0,89	0,81	2,15
Methangehalt	±10 %	4,54	4,63	14,57	0,82	0,81	2,00
Bereitstellungskosten <sup>a</sup>	±10 %	2,50	3,44	8,91	0,66	0,35	0,85
Anschaffungskosten Biogasanlage	±10 %	1,32	1,35	1,93	0,76	0,76	0,97
variable Kosten Biogasanlage	±10 %	0,52	0,53	1,66	0,17	0,16	0,42

a. Frei Fermenter ohne Ausbringkosten

Tabelle 10-11: In den Modellanlagen eingesetzte Substrate

Substrate	TS-Gehalt %	oTS-Gehalt der TS %	Gasausbeute		Methan- gehalt %	Nährstoffgehalt		
			I <sub>N</sub> /kg oTS	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /t FM		N <sup>a</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
						kg/t FM		
Rindergülle	8,8	85,0	280,0	21,0	55,0	3,49	1,70	6,29
Schweinegülle	6,0	85,0	400,0	20,4	60,0	3,68	2,52	2,40
Maissilage wachsreif, mittlere Korngröße	33,0	95,8	586,1	185,3	52,2	3,08	1,75	6,36
Grassilage	35,0	89,2	583,8	182,3	54,1	6,21	2,98	12,63
Futterreste (Silomais/Grassilage)	34,0	92,5	585,0	184,0	53,0	4,65	2,37	9,50
Einstreu – Weizenstroh	86,0	91,4	369,0	290,0	51,0	3,67	1,58	10,32
Roggen Körner	87,0	97,8	701,7	597,0	52,0	11,33	6,57	6,26
Fettabscheiderrückstand	5,0	90,0	1.000,0	45,0	68,0	0,67	0,18	0,15
Speisereste fettreich	18,0	92,3	761,5	126,5	61,9	4,91	1,90	2,16

a. Nährstoffverlust von 28 % ist berücksichtigt

sollte geprüft werden, ob eventuell der Lohnansatz und die Kosten für die Ausbringung des ausgefaulten Substrats vergessen wurden. Auch Nutzungs- oder Pachtkosten und Gemeinkosten, hier beispielhaft mit **nur** 100 bzw. 150 €/ha angesetzt, sind in Musterkalkulationen meist nicht berücksichtigt. Sie müssen aber von dem Betriebszweig Biogasanlage getragen werden können, wenn sich die Investition lohnen soll.

Sind die Kosten der Substrate ermittelt, lässt sich mit Hilfe der Tabelle 10-12 auch ohne genaue Kenntnis der Anlagenkosten überschlägig abschätzen, ob sich eine Biogasanlage rechnen kann. Wenn von den Stromerlösen die Kosten für die Wartung der Biogasanlage sowie die Zündölkosten abgezogen werden und die Erlöse bzw. Kosten der Substrate addiert werden, so muss „etwas übrig bleiben“ zur Entlohnung der Arbeit für die Anlagenbetreuung und zur Deckung der Festkosten der Anlage. In Tabelle 10-13 ist diese Rechnung aufgezeigt.

Das Ergebnis ist erfreulich. Bei den angenommenen Vergütungssätzen für kleine Anlagen bleibt mit Ausnahme der Grassilage ein Beitrag zur Deckung der Lohnkosten übrig, ohne auf den Düngerwert zurückgreifen zu müssen. Konkurrenzlos ist zugekaufter Roggen mit einem Preis von 8,50 €/dt netto frei Hof. Dabei darf es sich aber nicht um aufbereitete Chargen handeln, sonst wird der Vergütungszuschlag „NawaRo-Bonus“ endgültig entzogen! Eigenerzeugter Roggen und Maissilage schneiden deutlich besser ab als die beiden Bioabfälle. Dank des Vergütungszuschlages „NawaRo-Bonus“ ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe attraktiv. Es macht also Sinn, sich auf die ausschließliche Vergärung von Gülle und NawaRos zu beschränken.

Auf die Modellanlagen bezogen kann man also ein positives Ergebnis erwarten, sofern die Anschaffungskosten im Rahmen bleiben und gute Leistungen erreicht werden.

Tabelle 10-12: Erlöse/Kosten der Substrate

Masse	t/ha bzw. t	Maissilage <sup>a</sup>	Grassilage	Roggen <sup>b</sup>	Roggen Zukauf	Fett- abscheider- rückstand	Speisereste
		50	25	7	1	50	50
Entsorgungserlöse	€/t	-	-	-	-	10,00	-
Eingesparte Kosten für Begrü- nung/Mulchen	€/t	2,00	-	-	-	-	-
Produktions-/Beschaffungskosten	€/t	-17,00	-22,32	-68,57	-85,00	-	-5,00
Zusatzkosten NawaRo (Prüfer + Denaturierung)	€/t	-2,00	-	-	-	-	-
Silo-/Lager-/Aufbereitungskosten	€/t	-0,83	-0,89	-4,16	-4,16	-2,00	-2,00
zuteilbare Fixkosten Silo	€/t	-2,86	-3,08	-	-	-	-
Transport der Silage/ Substrate zum Fermenter	€/t	-0,89	-0,95	--	-	-	-
Ausbringkosten Substrat	€/t	-3,02	-3,05	-0,84	-0,84	-3,82	-3,39
Lohnansatz	€/t	-3,46	-7,16	-16,36	-1,00	-1,50	-1,50
Nutzungskosten	€/t	-	-	-14,29	-	-	-
Gemeinkostenanteil	€/t	-3,00	-6,00	-21,43	-	-	-
Erlöse/(-)Kosten frei Fermenter	€/t	-31,06	-43,45	-125,65	-91	2,68	-11,89

a. Anbau auf Stilllegungsfläche - eine alternative Nutzungsmöglichkeit besteht nicht

b. Anbau auf ausgleichszahlungsberechtigter Fläche

Tabelle 10-13: Überschlägige Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

		Rinder- gülle	Schweine- gülle	Mais- silage	Gras- silage	Roggen Eigener- zeugung	Roggen Zukauf	Fettab- scheider- rückstand	Speise- reste
Stromerlöse (Tabelle 10-8, Spalte 5)	€/t	7,19 <sup>a</sup>	7,62 <sup>a</sup>	60,19 <sup>a</sup>	61,37 <sup>a</sup>	193,16 <sup>a</sup>	193,16 <sup>a</sup>	12,51	32,02
Anlagenwartung (Tabelle 10-8, Spalte 6)	€/t	-0,62	-0,65	-5,16	-5,26	-16,56	-16,56	-1,63	-4,18
Zündölkosten (Tabelle 10-8, Spalte 7)	€/t	-0,51	-0,54	-4,30	-4,38	-13,80	-13,80	-1,36	-3,48
Erlöse(+)/Kosten(-) frei Fermenter (Tabelle 10-12)	€/t	- <sup>b</sup>	- <sup>b</sup>	-31,06	-43,45	-125,65	-91	2,68	-11,89
Beitrag zur Deckung der Fest- kosten der Anlage	€/t	6,06	6,43	19,67	8,28	37,15	71,8	12,2	12,47
Festkosten (siehe Tabelle 10-9)		-4,71 <sup>c</sup>	-4,74 <sup>c</sup>	-10,33	-10,44	-19,33	-19,33	-7,61	-9,65
Beitrag zur Deckung der Lohnkosten der Anlage		1,35	1,69	9,34	-2,16	17,82	52,47	4,59	2,82
Düngerwert	€/t	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	4,46	8,64	11,71	11,71	0,52	4,40

a. einschließlich NawaRo-Bonus

b. betriebseigene Gülle

c. ohne Festkosten Güllelager



## 10.12 Kalkulation der Modellanlagen

Die Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgt nach dem in Kapitel 10.8 beschriebenen Schema. Auf eine detaillierte Beschreibung wird deshalb verzichtet. Die Ergebnisse der Kalkulationen sind in Tabelle 10-14 zusammengestellt (Kosten für den Gülletransport sind nicht angesetzt).

Die Ergebnisse entsprechen nicht ganz den Erwartungen:

**Modellanlage 1** - Einzelbetriebliche Anlage mit Rinderhaltung 120 GV, NaWaRo-Einsatz - Die Modellanlage 1 verfehlt die Wirtschaftlichkeitsschwelle trotz der hohen Einspeisevergütung ganz knapp. Sie ist mit Anschaffungskosten von 583 €/m<sup>3</sup> Fermenterraum bzw. 4.456 €/kW installierter elektrischer Leistung zu teuer für die Vergärung von Gülle, Mais und Gras. Nur wenn sich Grassilage durch kostengünstigere NawaRo ersetzen lässt, ist unter sonst gleichen Annahmen eine „schwarze Null“ erreichbar.

Auch in **Modellanlage 2** kommen nur Gülle (160 GV Schwein) und NawaRo zum Einsatz. Auch diese Modellanlage ist, bezogen auf die spezifische Investition, zu teuer. Ein kleiner Unternehmergewinn wird trotzdem erzielt. Die Ursachen dafür sind zum einen der bessere Wirkungsgrad des BHKW und zum anderen der Substratmix. Neben Maissilage kommt kostengünstig zugekaufter und eigenerzeugter Roggen zum Einsatz.

Beide Anlagen werden, ohne zusätzliche Möglichkeiten der Wärmeverwertung, Probleme haben, den Mindestanlagenwirkungsgrad für den Bezug von steuerbegünstigtem Zündöl nachzuweisen.

**Modellanlage 3** - Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 250 GV und Mastschweinehaltung 160 GV und NaWaRo-Einsatz - erzielt dank des „NawaRo-Bonus“ und des Wärmeverkaufs einen stattlichen Unternehmergewinn. Die Einnahmen aus genutzter bzw. verkaufter Wärme betragen rund 13.000 €. Dazu erhält die Anlage für die Wärmenutzung einen Vergütungszuschlag „KWK-Bonus“ in Höhe von 8.400 €. Kostensenkend und damit gewinnsteigernd wirken sich auch die im Vergleich zu den beiden kleinen NawaRo-Anlagen deutlich geringeren spezifischen Anschaffungskosten aus. Sie sind um rund 30 Prozent niedriger.

Das Ergebnis der **Modellanlage 4** - Genossenschaftsanlage mit Rinderhaltung 2000 GV - zeigt eindrucksvoll, dass die Monovergärung von betriebs-eigener Gülle lukrativ sein kann, wenn kostengünstig

gebaut wird. Der kalkulierte Unternehmergewinn beträgt rund 160.000 € bei einem Investitionsvolumen von 653.000 €. Die spezifischen Anschaffungskosten einschließlich BHKW liegen unter 200 €/m<sup>3</sup> Fermenter. Das BHKW ist groß genug, um einen sehr guten Wirkungsgrad zu erreichen und Kosten für die Substratbereitstellung, -lagerung und -ausbringung fallen nicht an. Insgesamt sehr gute Voraussetzungen für die Biogaserzeugung.

**Modellanlage 5** - Gemeinschaftsanlage mit Rinderhaltung 520 GV und Mastschweinehaltung 320 GV, NaWaRo-Einsatz - ist dank des „NawaRo-Bonus“ hoch profitabel. Nicht zuletzt auf Grund der Größe sind die spezifischen Anschaffungskosten mit rund 320 €/m<sup>3</sup> Fermenterraum nochmals deutlich günstiger als bei Modellanlage 3.

Die **Modellanlage 6** - Gemeinschaftsanlage mit 520 GV Rinderhaltung und 320 GV Mastschweinehaltung, Einsatz von NaWaRos und Abfällen bekommt wegen des Einsatzes von Abfällen keinen Vergütungszuschlag „NawaRo-Bonus“. Trotzdem sind rund 45 % der eingesetzten Kofermente nachwachsende Rohstoffe. Das macht in einer Bioabfallvergärungsanlage keinen Sinn. Zwar hat das BHKW einen hervorragenden Wirkungsgrad und die Anschaffungskosten sind vertretbar, das reicht aber nicht, die hohen Rohstoffkosten aufzufangen. Die Anlage macht Verluste in Höhe von 22.297 € pro Jahr.

Die konsequente Ausrichtung auf „NawaRo-Anlage“ oder „Bioabfall-Anlage“ könnte die Wirtschaftlichkeit deutlich verbessern. Es besteht beispielsweise kein auf den ersten Blick ersichtlicher Grund, Maissilage und eigenen Roggen einzusetzen, wenn Speisereste, Fettabscheider oder andere Bioabfälle in entsprechenden Mengen zu bekommen sind. Wenn nicht, wäre es sinnvoll, konsequent auf die Erzeugung und Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen zu setzen, um den Vergütungszuschlag „NawaRo-Bonus“ zu erhalten. Schon der ersatzlose Verzicht auf Bioabfälle würde der Anlage profitabel machen. Der Unternehmergewinn betrüge über 80.000 €.

Tabelle 10-14: Kalkulation der Modellanlagen

<b>Kennwerte</b>	Einheit	Modell I	Modell II	Modell III	Modell IV	Modell V	Modell VI
<b>Substrate</b>							
Rindergülle	t FM/Jahr	2.160		4.536	36.000	9.360	9.360
Schweinegülle	t FM/Jahr		1.728	1.728		3.456	3.456
Futterreste	t FM/Jahr	22		46	365	95	95
Einstreu	t FM/Jahr	0					
Maissilage	t FM/Jahr	600	600	1.000		2.500	1.700
Grassilage	t FM/Jahr	400		200		1.500	
Roggen 40% Eigen; 60% Zukauf	t FM/Jahr		250	365		500	1500
Fettabscheiderfett	t FM/Jahr						1000
Speisereste	t FM/Jahr						3000
Summe	t FM/Jahr t FM/Tag	3.182 8,7	2.578 7,1	7.875 21,6	36.365 99,6	17.411 47,7	20.111 55,1
<b>Input</b>							
ø TS-Gehalt Inputmaterial	%	16,8	20,1	15,7	9,1	16,4	17,5
theoretischer ø Abbaugrad oTS	%	63,2	79,0	67,0	37,8	66,6	75,5
Verweilzeit	Tage	43	60	43	30	45	48
Gärbehältervolumen (netto)	m³	375	424	928	2.999	2.147	2.645
Gärbehältervolumen (brutto)	m³	420	480	1.100	3.300	2.400	3.000
Raubelastung	kg oTS /m³ und Tag	3,2	2,9	3,0	2,3	3,0	3,1
Gärtemperatur	°C	38	38	38	38	38	38
Substratzulufttemperatur	°C	12	12	12	12	12	12
zusätzl. Gärrestlagerkapazität (ohne Gülle)	m³	410	270	530	0	1.700	2.770
<b>Output</b>							
erwarteter Gasertrag	mN³/Jahr	233.490	295.681	578.634	823.160	1.319.724	1.919.534
erwarteter Methangehalt	%	53,4	53,0	53,2	54,8	53,4	55,0
Ausfall der Gasproduktion	Tage/Jahr	5	5	5	5	5	5
Methanerzeugung	mN³/Jahr	122.869	154.649	303.585	445.311	695.010	1.040.840
Methanerzeugung	mN³/Tag	337	424	832	1220	1904	2852
Heizwert	kWh/mN³	10	10	10	10	10	10
Bruttoenergie im Biogas	kWh/Jahr	1.228.689	1.546.488	3.035.848	4.453.107	6.950.103	10.408.399
<b>BHKW</b>							
Bauart		Zündstrahl-Motor				Gas-Otto-Motor	
Wirkungsgrad <sub>el</sub> lt. Hersteller	%	33	35	36	37	39	40
Wirkungsgrad <sub>therm</sub> lt. Hersteller	%	50	49	48	47	50	53
Stromkennzahl lt. Hersteller		0,66	0,72	0,76	0,80	0,77	0,75
Motorlaufzeit	Std./Jahr	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
realer Wirkungsgrad <sub>el</sub>	%	30	32	33	34	35	36
realer Wirkungsgrad <sub>therm</sub>	%	40	39	38	38	40	42
Zündölanteil	%	10	10	10	10	entfällt	
Zündölverbrauch	l/Jahr	13.652	17.183	33.732	49.479		
Heizwert Zündöl	kWh/l	10	10	10	10		
Bruttoenergie im Zündöl	kWh/Jahr	136.521	171.832	337.316	494.790		
zugeführte Bruttoenergie insgesamt	kWh/Jahr	1.365.210	1.718.320	3.373.164	4.947.896	6.950.103	10.408.399
berechnete Leistung	kW	51	69	139	210	304	468
installierte Leistung	kW	55	75	150	220	330	500
<b>Energieerzeugung</b>							
Bruttoenergie <sub>gesamt</sub>	kWh/Jahr	1.365.210	1.718.320	3.373.164	4.947.896	6.950.103	10.408.399
davon Stromerzeugung	kWh <sub>el</sub> /Jahr	409.563	549.862	1.113.144	1.682.285	2.432.536	3.747.024
	kWh <sub>el</sub> /Tag	1.122	1.506	3.050	4.609	6.664	10.266
davon Wärmerzeugung	kWh <sub>therm</sub> /Jahr	546.084	673.581	1.295.295	1.880.201	2.780.041	4.413.161

Tabelle 10-14: Kalkulation der Modellanlagen (Forts.)

<b>Kennwerte</b>	Einheit	Modell I	Modell II	Modell III	Modell IV	Modell V	Modell VI
<b>Energieverbrauch</b>							
Prozessenergie <sub>el</sub>	% der Erzeugung kWh/Jahr	3 12.287	4 21.994	5 55.657	5 84.114	6 145.952	7 262.292
Prozessenergie <sub>therm</sub>	% der Erzeugung kWh/Jahr	28 152.400	20 136.400	27 355.500	78 1.461.400	27 747.000	40 1.765.300
<b>Investitionen</b>							
Investition pro m <sup>3</sup> Fermenter	€/m <sup>3</sup>	564	575	399	191	286	340
davon Technikanteil	%	40	40	40	40	40	40
zusätzl. Invest. Motor	€/kW	150	150	100	100	240	160
Gesamtinvestition	€	245.057	287.100	453.976	653.400	765.050	1.098.900
	€/kW	4.456	3.828	3.027	2.970	2.318	2.198
	€/m <sup>3</sup>	583	598	413	198	319	366
<b>Erträge</b>							
Einspeisevergütung	Ct/kWh	17,50	17,50	17,50	17,15	16,76	10,46
<b>Ertrag aus Stromverkauf</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>71.674</b>	<b>96.226</b>	<b>194.800</b>	<b>288.507</b>	<b>407.797</b>	<b>391.979</b>
Heiz-/Zündölpreis <sup>1)</sup>	Ct/l	40	40	35	35	40	40
Substituiertes Heizöl Wohnhaus	l/Jahr	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
<b>Ertrag substituiertes Heizöl</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>1.200</b>	<b>1.200</b>	<b>1.050</b>	<b>1.050</b>	<b>1.200</b>	<b>1.200</b>
Wärmeverkauf/ -nutzung	kWh <sub>therm</sub> /Jahr	-	-	526.274	-	-	-
Wärmeerlös	Ct/kWh <sub>therm</sub>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Ertrag aus Wärmeverkauf</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>13.157</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>KWK-Bonus für Wärmenutzung</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>396</b>	<b>431</b>	<b>8.414</b>	<b>477</b>	<b>462</b>	<b>448</b>
Wärmenutzung (ohne Prozessenergie <sub>therm</sub> )	in % der Erzeugung	5,5%	4,5%	42,9%	1,6%	1,1%	0,7%
<b>Gesamtertrag</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>73.270</b>	<b>97.857</b>	<b>217.421</b>	<b>290.035</b>	<b>409.459</b>	<b>393.628</b>
<b>Kosten</b>							
AFA Langlebige Güter	%	5	5	5	5	5	5
AFA Technik (ohne Motor)	%	10	10	10	10	10	10
AFA Zündstrahlmotor	%	22	22	22	22	22	22
AFA GOM	%	11	11	11	11	11	11
<b>Abschreibungen</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>18.410</b>	<b>21.810</b>	<b>34.062</b>	<b>49.087</b>	<b>56.810</b>	<b>80.212</b>
Zinsansatz	%	6	6	6	6	6	6
<b>Zinsansatz</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>7.352</b>	<b>8.613</b>	<b>13.619</b>	<b>19.602</b>	<b>22.952</b>	<b>32.967</b>
Versicherungen	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Versicherungen</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>1.225</b>	<b>1.436</b>	<b>2.270</b>	<b>3.267</b>	<b>3.825</b>	<b>5.495</b>
Uha/Rep. Langlebige Güter	%	2	2	2	2	2	2
Uha/Rep. Technik	%	3	3	3	3	3	3
Uha/Rep. Zündstrahler	Ct/kWh <sub>el</sub>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Uha/Rep. GOM	Ct/kWh <sub>el</sub>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Unterhalt/Reparaturen</b>	<b>€</b>	<b>7.322</b>	<b>8.820</b>	<b>14.988</b>	<b>21.883</b>	<b>26.191</b>	<b>39.442</b>
<b>Zündölkosten Prozessenergie<sub>el</sub><sup>2)</sup></b>	<b>€/Jahr</b>	<b>5.461</b>	<b>6.873</b>	<b>11.806</b>	<b>17.318</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Betreuung Biogasanlage	Akh/Jahr	365	548	1.095	730	1.095	1.825
Lohnansatz	€/Std.	15	15	15	15	15	15
<b>Lohnansatz</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>5.475</b>	<b>8.213</b>	<b>16.425</b>	<b>10.950</b>	<b>16.425</b>	<b>27.375</b>
<b>Kosten Anlage</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>-46.473</b>	<b>-57.963</b>	<b>-98.736</b>	<b>-130.518</b>	<b>-140.797</b>	<b>-211.719</b>
<b>Rohstoffkosten</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>-36.016</b>	<b>-44.851</b>	<b>-78.024</b>	<b>0</b>	<b>-195.255</b>	<b>-243.082</b>
<b>Düngerwert</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>6.142</b>	<b>5.609</b>	<b>10.473</b>	<b>0</b>	<b>30.005</b>	<b>38.877</b>
<b>Unternehmergewinn</b>	<b>€/Jahr</b>	<b>-3.077</b>	<b>651</b>	<b>51.134</b>	<b>159.517</b>	<b>103.413</b>	<b>-22.297</b>
<b>Kosten der Stromerzeugung</b>	<b>Ct/kWh<sub>el</sub></b>	<b>20,14</b>	<b>18,70</b>	<b>15,88</b>	<b>7,76</b>	<b>13,81</b>	<b>12,14</b>

1. Bei einem Zündölverbrauch über 20.000 l/Jahr ist ein um 5 Ct/l günstigerer Einkaufspreis unterstellt

Tabelle 10-15: Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Modellanlagen

Parameter	Änderung	Gewinnänderung der Modellanlagen in €/Jahr					
		Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Modell 6
Elektrischer Wirkungsgrad	±10%	6.830	9.159	18.400	24.943	37.426	32.798
Gasertrag	±10%	6.284	8.472	17.219	23.211	37.154	32.661
Methangehalt	±10%	6.284	8.472	17.219	23.211	37.154	32.661
Rohstoffkosten	±10%	3.602	4.485	7.802	0	19.526	24.308
Anschaffungskosten (A)	±10%	3.267	3.848	6.049	8.711	10.005	14.313

### 10.13 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse soll zeigen, wie sich der Unternehmergewinn der Modellanlagen verändert, wenn einzelne Modellannahmen übertroffen oder unterschritten werden. Die Ergebnisse für die wichtigsten Einflussfaktoren sind in Tabelle 10-15 zusammengefasst. Danach verbessert sich unter sonst gleichen Annahmen das Ergebnis beispielsweise von Modellanlage 1 um 6.830 €, wenn der elektrische Wirkungsgrad des BHKW um 10 % besser ist als in der Kalkulation angenommen (Wirkungsgrad 33 statt 30 %). Aus dem kalkulierten Verlust würde ein Unternehmergewinn in Höhe von 3.753 €. Wird der angenommene Wirkungsgrad in der Praxis um 10 Prozent unterschritten, verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit um 6.830 €. Entsprechend sind die Ergebnisse der anderen Parameter zu interpretieren.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass auch die Modellanlagen 1 und 6 unter den derzeitigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich zu betreiben sind. Um aus den jeweils erwarteten Verlust einen Gewinn zu machen, ist es ausreichend, einen der Leistungs- oder Kostenparameter im praktischen Betrieb um 10 Prozent zu verbessern – ohne die Anderen zu verschlechtern!

Allerdings wird es kaum möglich sein, den elektrischen Wirkungsgrad um 10 % anzuheben, da schon in den Modellannahmen sehr hohe Wirkungsgrade angesetzt sind. Die Methangehalte lassen sich ohne Änderung der Substratzusammensetzung nur wenig beeinflussen. Ansatzpunkte zur Einsparung bieten die Rohstoffkosten. Hier sind die unternehmerischen Qualitäten des Anlagenbetreibers ausschlaggebend. Einsparpotentiale, die deutlich über 10 % liegen, gibt es bei den Anschaffungskosten. Durchaus realistisch ist es auch, bei guter Prozessführung den Gasertrag in einer Größenordnung von 10 % gegenüber den Modellannahmen zu steigern.

### 10.14 Literaturverzeichnis

- /10-1/ Fachverband Biogas (2004) – persönliche Mitteilung
- /10-2/ Mitterleitner, H. (2003) – persönliche Mitteilung
- /10-3/ Mitterleitner, H. (2003) – persönliche Mitteilung
- /10-4/ Reinhold, G. (2003) – persönliche Mitteilung
- /10-5/ Keymer, U.; Schilcher, A. (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten in Biogasanlagen vergärbare Substrate. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising
- /10-6/ Rutzmoser, K.; Spann, B. (2001): Zielwert Futteroptimierung. Bayerische Landesanstalt für Tierzucht, Grub
- /10-7/ Baserga, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512, Tänikon, Schweiz

# 11

## Umsetzung eines Projektes

Die Umsetzung, das heißt die Realisierung eines Biogasprojekts, umfasst alle Arbeiten zwischen der Wirtschaftlichkeitsanalyse und der Aufnahme des Anlagenbetriebs. Die einzelnen Schritte der Realisierung können Abbildung 11-1 entnommen werden.

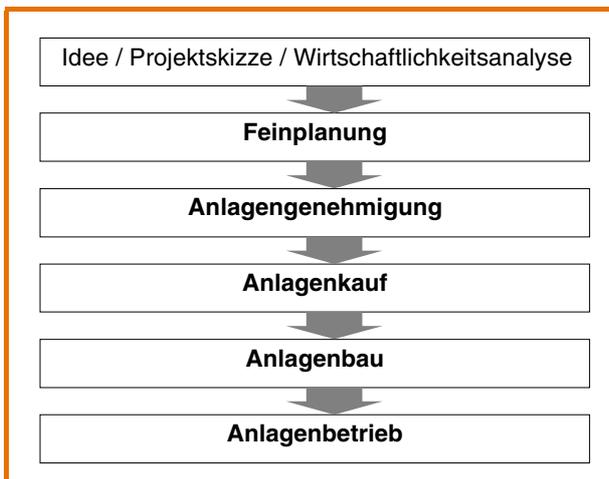


Abb. 11-1: Realisierungsschritte eines Projektes zur Biogasgewinnung und -nutzung

Um einen umfassenden Überblick über diese Realisierungsschritte zu geben und die wesentlichen Detailarbeiten darzustellen, werden sie in den nachfolgenden Abschnitten in Form von übersichtlichen Checklisten zusammengefasst.

### 11.1 Idee und Projektskizze

Ist die Idee für ein Biogasprojekt entstanden, empfiehlt sich für den Projektinitiator als Grundlage für das Vorgehen bei der Ideenumsetzung die Erstellung einer Projektskizze, die die erste Grundlage für eine Projektbeurteilung sein sollte. Die Projektskizze ist die Grundlage für die Beurteilung der prinzipiellen Finanzierbarkeit des Vorhabens, die Herstellung erster wichtiger Kontakte und die Beantragung von Fördermitteln.

Von Bedeutung ist an diesem Punkt der Projektvorbereitung vor Allem die Betrachtung des Gesamtsystems von der Substraternte/Substratlieferung, der Substrataufbereitung, der Vergärung an sich bis hin zum Energieabsatz. Aus diesem Grund sollten für die Erstellung der Projektskizze die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt werden und unter Zuhilfenahme der in der vorliegenden Handreichung zur Verfügung gestellten Kalkulationsgrundlagen evaluiert werden (nach /11-3/):

1. Ermittlung der verfügbaren Substrate; Festlegung der Biomasse-Bereitstellungskette
2. Grobe technische Anlagenauslegung
3. Prüfung der verfügbaren Flächen
4. Prüfung der verfügbaren Substratmengen
5. Abschätzung von Kosten, Förderung, Wirtschaftlichkeit
6. Abschätzung der Genehmigungsfähigkeit und Akzeptanz der Anlage

### 11.2 Feinplanungsphase

In der Feinplanungsphase sollten die in den folgenden Checklisten angeführten Punkte beachtet werden:

**1. Schritt: Bilanzierung und Besichtigung**

Langfristig verfügbare Substrate prüfen	<p>Welche hoferigenen Substrate stehen langfristig zur Verfügung ?</p> <p>Werde ich meinen Betrieb mittelfristig/langfristig verändern?</p> <p>Was wird das für Auswirkungen auf meine Biogasanlage haben? (biologisch/stofflich, verfahrenstechnisch? energetisch?)</p> <p>Kann ich auf Substrate <b>außerhalb</b> meines Betriebes langfristig zählen?</p> <p>Ist die Verwertung von diesen Substraten im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen lohnend? (Frage der Verhältnismäßigkeit)</p>
Verfügbares eigenes Zeitkontingent prüfen	<p>Der tägliche Arbeitszeitbedarf für Routine- als auch Kontroll- und Wartungsarbeiten ist zu überprüfen (vgl. Kapitel 9).</p> <p>Ist das mit meiner betrieblichen Situation zu vereinbaren?</p> <p>Welches Arbeitszeitmodell ist familiär möglich? (z.B. Hofnachfolger)</p> <p>Müssen Fremdarbeitskräfte eingesetzt werden?</p>
Möglichkeiten der Wärmenutzung prüfen	<p>Ist die Abwärme aus dem KWK-Prozess im eigenen Betrieb zu verwerten?</p> <p>Stehen die Umrüstungsarbeiten/-kosten dafür im Verhältnis zum Nutzen?</p> <p>Gibt es außerhalb meines Betriebes Möglichkeiten, Wärme abzugeben?</p> <p>Welche Wärmemengen sind monatlich zu liefern?</p>
Besichtigung von Biogasanlagen	<p>Anlagenbesichtigungen als Erfahrungsplattform und Informationsportal</p> <p>Welche baulichen Möglichkeiten bietet der Markt?</p> <p>Wo treten bauliche/verfahrenstechnische Probleme auf?</p> <p>Wie sind diese Probleme gelöst worden?</p> <p>Welche Erfahrungen haben die Betreiber mit verschiedenen Komponenten/Substratkombinationen gemacht?</p>
Ermittlung des verfügbaren Kostenbudgets	<p>„Kassensturz“ –</p> <p>Mit welcher Einkommensentwicklung ist zu rechnen?</p> <p>Werden sich die Situation oder die Vermögensverhältnisse in der nächsten Zeit gravierend verändern?</p>
<b>Ziel 1. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Erste Beurteilung der betrieblichen Möglichkeiten</b></li> <li>- <b>Marktkennntnisse über Anlagen-/Komponentenangebot</b></li> </ul>

**2. Schritt: Entwicklung des Baukonzeptes**

<p>Beauftragung eines erfahrenen und seriösen Planers/Planungsabteilung eines erfahrenen und seriösen Anlagenherstellers</p> <p>Kontaktaufnahme zu landwirtschaftlichem Berater</p>	<p>Diese Personen sind für die Weiterentwicklung und Planung des Projektes von großer Bedeutung und werden bei allen weiteren Schritten involviert sein.</p> <p>Sie verfügen über Kontakte zu Mitarbeitern bei Genehmigungsbehörden und zu Beauftragten in den Kammern.</p> <p>Sie haben Erfahrung bei dem Bau und Betrieb von Biogasanlagen sammeln können und stehen bei weiteren Fragen, beginnend bei Standortauswahl und Standortanforderungen bis hin zur Konzeption und Ausführung, kompetent zur Verfügung.</p>
Festlegung der Konstruktions- und Verfahrensweise sowie der Anlagendimensionierung	<p>Definition der Standorteigenschaften, evtl. Einholung eines Bodengutachtens.</p> <p>Standortauswahl (Hilfsmittel: Lageplan über Betrieb, Gebäude, Siloflächen in DIN A3).</p> <p>Entscheidung zum Einsatz sinnvoller Anlagenkonfiguration/-konstruktion und Anlagentechnik unter Berücksichtigung zukünftiger Betriebsausrichtung und biogasanlagenbedingt betrieblicher Umstrukturierungsmaßnahmen.</p> <p>Dimensionierung der Anlagenkomponenten nach Potenzialanalyse.</p> <p>Frage der Verfahrensweise: Wie soll das Projekt durchgeführt werden?</p> <p>Soll schlüsselfertig gebaut werden („Turn-Key“-Anlage)?</p> <p>Sollen die Einzelgewerke separat beauftragt werden?</p> <p>Welche Eigenleistungen sind in welchem Umfang geplant?</p> <p>Kann in Bauherrengemeinschaft gebaut werden?</p> <p>Welche Gewerke werden detailliert ausgeschrieben? (z. B. Erdarbeiten, Elektrik...)</p> <p>Raum für Ausführungsvarianten lassen!</p>
<b>Ziele 2. Schritt:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Beauftragung eines erfahrenen Planers</b></li> <li>- <b>Landwirtschaftlichen Berater kontaktieren</b></li> <li>- <b>Festlegung der Konstruktions- und Verfahrensweise</b></li> <li>- <b>Erstellung und Ausarbeitung genehmigungsfähiger Vorplanungsunterlagen zur Präsentation</b></li> </ul>

### 3. Schritt: Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

Detaillierten Kostenplan erstellen	<p>Auf Grund der Festlegung der Verfahrensweise ist eine Detailplanung der Kosten möglich. Der Kostenplan sollte so gestaltet sein, dass eine Kostenkontrolle jederzeit möglich ist. Die Kostenpositionen sollten in folgende Blöcke untergliedert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Investitionskosten für die Einzelkomponenten</li> <li>- Substratkosten „frei Fermenter“</li> <li>- Abschreibung</li> <li>- Unterhalt, Wartung und Reparatur</li> <li>- Verzinsung</li> <li>- Versicherung</li> <li>- Lohnkosten</li> <li>- Finanzierungs- und Genehmigungskosten</li> <li>- Planungskosten</li> <li>- EVU-Kosten, Netzanschlusskosten</li> <li>- evtl. Transportkosten</li> <li>- Gemeinkosten (Telefon, Räume, Versorgung etc.)</li> </ul> <p>Die Investitionskosten der Einzelkomponenten sollten untergliedert werden, bei Eigenleistung oder Vergabe von Einzelgewerken sollten diese detailliert beziffert werden. (vgl. Checkliste Bau von Biogasanlagen).</p>
Fördermöglichkeiten	<p>Neben dem Marktanzreizprogramm und dem zinsverbilligten Darlehen der KfW auf Bundesebene gibt es in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Förderprogramme. Diese Fördergelder sind mit den Bundesgeldern zum Teil kumulierbar und können bis zu 40% der Investitionskosten betragen. Welche Förderstellen sind anzuschreiben? Welche Voraussetzungen zur Beantragung bzw. Inanspruchnahme von Fördergeldern sind gefordert? Welche Fristen sind einzuhalten? Welche Unterlagen müssen eingereicht werden?</p>
Finanzierung	<p>Der Fremdfinanzierungsbedarf muss ermittelt werden. Es sollte die von den Finanzinstituten angebotene Finanzierungsberatung in Anspruch genommen werden, Finanzierungs-konzepte sollten gründlich im Hinblick auf die betriebliche Situation geprüft werden. Die Finanzierungsangebote sollten verglichen werden.</p>
<b>Ziel 3. Schritt</b>	<p><b>Wirtschaftlichkeitsanalyse erstellen; dabei Bewertung weiterer Vorteile (z. B. Geruch, Fließfähigkeit der Biogasgülle etc.) berücksichtigen</b>  <b>Folge: → evtl. Kontaktaufnahme zu (Nachbar)Betrieben, um</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zusätzlich Substrate zu aquirieren,</li> <li>- Betreibergemeinschaften zu gründen</li> </ul> <p>⇒ erneute Wirtschaftlichkeitsanalyse (Schritt 3)</p>

### 4. Schritt: Kontaktaufnahme und Behördengespräche

Kontaktaufnahme zu Behörden und Institutionen, die für das Genehmigungsverfahren bzw. Bauvorhaben von Bedeutung sind	<p>Der „Runde Tisch“-Termin (Genehmigungsbehörden (Bauamt, StUA, Gewerbeaufsichtsamt etc.) und evtl. Veterinärbehörde) als Gelegenheit zur Vorstellung des Bauvorhabens sollte umgesetzt werden. Es wird nicht nur der persönliche Kontakt zu den Ansprechpartnern der Behörden hergestellt, sondern es werden die Rahmenbedingungen des Bauvorhabens genauestens abgeklärt. Ist das Vorhaben im Außenbereich privilegiert? Sind Änderungen/Forderungen notwendig und möglich? Welche Auflagen werden gemacht? Welche Unterlagen werden zusätzlich gefordert?</p>
Kontaktaufnahme zu EVU	<p>Termin zum persönlichen Gespräch vereinbaren, um das Bauvorhaben zu präsentieren. Dieser Termin dient der Abklärung von Schnittstellen:          Der günstigste Einspeisepunkt wird definiert, der Leistungsumfang zu Änderungen/Erweiterungen des Netzes sollte sorgfältig formuliert werden und es sollte ein Kostenvoranschlag eingeholt werden. Dieser sollte auf jeden Fall mit dem Angebot anderer Anbieter verglichen werden.</p>
<b>Ziel 4. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstellung des Bauvorhabens bei genehmigenden Institutionen und EVU</li> <li>• Einschätzung der Realisierbarkeit auf Genehmigungsebene, Klärung der Außenbereichsproblematik und weiterer Rahmenbedingungen, Auflagen und Forderungen</li> <li>• Leistungsumfang EVU abklären und Angebot einholen</li> <li>• Angebot EVU vergleichen</li> </ul> <p>Nachdem evtl. zusätzliche Forderungen von Genehmigungsseite formuliert wurden und das EVU-Angebot vorliegt:          ⇒ entstehende Kosten kalkulieren und Schritt 3 wiederholen!</p>

### 11.3 Genehmigungsplanung

Die Genehmigungsplanung umfasst im Wesentlichen die Erstellung des Bauantrages und wird von Entscheidungen in der Feinplanungsphase gespeist. Die Genehmigungsplanung sollte in engem Kontakt mit

dem Anlagenhersteller/Anlagenplaner und dem landwirtschaftlichen Berater erfolgen. Eine Übersicht über Aufgaben in der Phase der Genehmigungsplanung sowie die zu beachtenden gesetzlichen Regelwerke gibt die nachfolgende Checkliste.

#### Zusammenstellung der Bauantrags-Unterlagen

Je nach Genehmigungstatbestand und genehmigender Behörde werden mehr oder weniger umfangreiche Unterlagen benötigt. Die nachstehende Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, in Einzelfällen können weitere Unterlagen gefordert werden.

Bauantrags-Formulare	Bei der für das Baugenehmigungsverfahren (Verfahren nach BImSchG oder Baurecht?) zuständigen Behörde anfordern. Beim Verfahren nach BImSchG sind die in diesem Rahmen geforderten Unterlagen den Bauantrags-Formularen zu entnehmen.
Qualifizierter Lageplan (1:100)	Dieser ist beim Katasteramt des Kreises zu erwerben.
Qualifizierter Flächennachweis	Dieser wird in einigen Bundesländern von allen an dem Betrieb der Biogasanlage beteiligten landwirtschaftlichen Betrieben gefordert, auch wenn die Landwirte nicht Mitbetreiber sind, sondern "nur" Substrate liefern und Gärrest abnehmen. Er wird unter Zuhilfenahme des landwirtschaftlichen Beraters und des Planers erstellt.
Anlagen- und Betriebsbeschreibung	Diese wird vom Planer erstellt.
Aufstellungsplan	Dieser wird vom Planer erstellt.
Detailzeichnungen	Diese werden vom Planer erstellt. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrleitungspläne (Substrat / Gas) mit Gefälle, Fließrichtung, Dimensionierung und Materialeigenschaften</li> <li>• Berücksichtigung des EX-Zonen-Bereiches</li> <li>• Art und Ausführung der Umschlagplätze für Gülle, Silagen und sonstige Kofermente</li> <li>• Maschinenraum mit den erforderlichen Installationen</li> <li>• Heizleitungspläne mit Anbindung der Wärmeerzeuger und -verbraucher</li> <li>• Stromflussdiagramm zur Einbindung des BHKW in den Betrieb</li> <li>• Gasspeicher, Gassicherheitsstrecke</li> <li>• Substrat-Lagerstätten</li> </ul>
Statiken für Großkomponenten der Biogasanlage und Schornstein	Die Statiken der Großkomponenten werden vom Anlagenhersteller / Komponentenhändler erstellt und geliefert. Die Statiken für den Schornstein sowie das Gutachten zur Berechnung der Schornsteinhöhe werden von einem Prüfenieur erstellt und geliefert.
Lärmgutachten nach TA Lärm; Geruchsgutachten und Emissionsquellenplan nach TA Luft	Entscheidet die genehmigende Behörde aufgrund der besonderen Gegebenheiten des Standortes, dass ein Gutachten erstellt werden muss, so ist hierzu ein zugelassener Sachverständiger nach §29 BImSchG zu beauftragen. Im Regelfall erfolgt die Beauftragung über den Planer.
Brandschutzkonzept	Dieses wird vom Planer/Anlagenhersteller erstellt.

#### Einhaltung der Anforderungen von Rechtsvorschriften

Die Anforderungen der nachstehenden Rechtsvorschriften sollten unbedingt eingehalten werden (vgl. dazu auch Kapitel 7)

Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Es soll auf die Einhaltung der wichtigsten Gesetzesbereiche hingewiesen werden.

BiomasseV Vorschriften aus dem Bereich des Immissionsschutzes <ul style="list-style-type: none"> <li>• BImSchG mit TA Luft und TA Lärm</li> <li>• UVPG</li> </ul> Vorschriften aus dem Bereich der Abfallwirtschaft <ul style="list-style-type: none"> <li>• Landesabfallgesetz</li> <li>• BioabfallV</li> <li>• EU-Richtlinie 1774</li> </ul>	Vorschriften aus dem Bereich des Düngemittelrechts <ul style="list-style-type: none"> <li>• Düngemittelgesetz</li> <li>• Düngemittelverordnung</li> <li>• Düngeverordnung</li> </ul> Vorschriften aus dem Bereich der Wasserwirtschaft <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserhaushaltsgesetz</li> <li>• Landeswassergesetze</li> </ul> Vorschriften aus dem Bereich Naturschutz Vorschriften aus den „Sicherheitsregeln für Biogasanlagen“ Vorschriften aus dem Bereich der Arbeitssicherheit
---	--

## 11.4 Anlagenkauf

Den erfolgreichen Abschluss der verschiedenen Planungsphasen stellt der Vertrag über die Herstellung bzw. den Kauf der Biogasanlage dar. Die Vielzahl der möglichen Verträge, die zwischen Planung und Betrieb der Anlage notwendig sein können, sollte einigen allgemeingültigen Grundsätzen folgen. Es wurden die folgenden Leit motive entwickelt /11-1/:

1. Man schlieÙe Verträge nur mit Partnern ab, mit denen man eine gute Zusammenarbeit erwartet.
2. Man formuliere Verträge so, als ob man mit den Vertragspartnern im Streit wäre.
3. Man vermeide jeden Versuch einer Übervorteilung der Partner – nur ein Vertrag, der allen Vertragspartnern Vorteile verschafft, ist ein guter Vertrag! Nur ein solcher Vertrag motiviert alle Partner zu entsprechenden Leistungen.

Dabei ist das beste Vertragswerk kein Ersatz für eine gute Vertrauensbasis zwischen den Auftragnehmern und Auftraggeber.

Grundsätzlich können über die Biogasanlage oder einzelne Bauabschnitte Kauf- oder Werkverträge abgeschlossen werden. Dabei ist bei einem Kaufvertrag eine existierende, fertige Sache, also hier die Biogasanlage bzw. Biogasanlagenkomponente Gegenstand des Vertrages, wohingegen beim Werkvertrag die Herstellung eines „Werkes“, also hier die Herstellung der Anlage bzw. Anlagenkomponente Vertragsgegenstand ist. Beide Vertragsarten unterscheiden sich wesentlich in den Gewährleistungsregelungen, die im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) festgelegt sind, insbesondere in Bezug auf Rechtsmängel.

Bei Abschluss von Verträgen über Anlagenkomponenten oder die schlüsselfertige Gesamtanlage ist zu beachten, dass ein Gesamtvertrag mit einem Generalunternehmer über die schlüsselfertige Erstellung der Gesamtanlage, zum Teil bis zur Inbetriebnahme die Gewährleistung bis zur endgültigen Übergabe beim Generalunternehmen belässt. Bei Verträgen über Einzelsysteme oder Anlagenkomponenten liegt die Verantwortung für die Gesamtanlage beim Auftraggeber.

Die Vertragsgestaltung kann unabhängig von der Vertragsqualität sehr vielfältig erfolgen, es können über die Anlage beispielsweise eine ganze Reihe von einzelnen Verträgen geschlossen werden (z. B. Bauvertrag, Inbetriebnahme, Lieferung und Montage, Anlagenbetrieb, Service, Wartung, auch Teilverträge für Teilleistungen wie z. B. das BHKW sind möglich, Pachtvertrag für das Biogasanlagengelände).

Auf Grund dieser Vielgestaltigkeit ist es nicht möglich, eine klare Ja-Nein-Checkliste für die Vertragsprüfung und Vertragsformulierung anzubieten. Aus diesem Grund können die nachfolgenden Hinweise für Vertragsinhalte nur als Anregungen und Empfehlungen verstanden werden, die eine fachkundige Rechtsberatung vor der Vertragsunterschrift nicht ersetzen können.

### Allgemeine und organisatorische Regelungen

Folgende allgemeine und organisatorische Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise sollten im Vertrag über die Biogasanlage beachtet werden:

- Generalklauseln sparsam verwenden, um Auslegungsspielräume zu begrenzen /11-2/
- Allgemeine Geschäftsbedingungen des Auftragnehmers, die in der Regel Vertragsbestandteil werden, müssen beachtet werden
- das Angebot mit detaillierten Gültigkeitsangaben und ggfs. Zeichnungen kann zum Vertragsbestandteil gemacht werden (dabei ist die Angebotsbindungsfrist zu beachten), im Angebot sollten alle in dieser Handreichung aufgeführten, für den spezifischen Einsatzfall notwendigen Anlagenteile enthalten sein
- die Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) sollte zum Vertragsbestandteil erklärt werden
- Aufgabenverteilung, Vorgehensweise und Verantwortlichkeiten während der Bau- und Inbetriebnahmephase sowie während eines möglichen Probetriebes
- Definition der Bauleitung des Vorhabens
- Regelung der Flächeninanspruchnahme der Bauarbeiten
- Regelung der Anlagenabnahme und Abnahme von Teilleistungen
- Regelungen zum Umgang mit Änderungsforderungen durch den Auftraggeber und mit einer veränderten Leistungsausführung durch den Auftragnehmer
- möglicherweise Integration eines Finanzierungsvorbehaltes bei Fördermittelnutzung
- Möglichkeiten für die Berücksichtigung bei der Erwirkung von Preisnachlässen durch den Auftraggeber bei Bauleistungen
- Einschluss der Klausel, dass alle weiteren Vereinbarungen, die den Vertragsinhalt ändern, der Schriftform bedürfen
- Einschluss der Klausel, dass bei Unwirksamkeit einzelner Bestandteile der übrige Vertrag unberührt bleibt



### Termine und Fristen

Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise zu folgenden Terminen und Fristen sollten im Vertrag über die Biogasanlage beachtet werden:

- Zeitpunkt des Anlagenüberganges auf den Auftraggeber
- Termine für Lieferung, Komponentenfertigung, Anlagenmontage, Inbetriebnahme, Probetrieb, Abnahme und Übergabe (Hinweis: es ist zu prüfen, ob angegebene Termine mit den zur Bauzeit üblichen klimatischen Bedingungen und der Abhängigkeit verschiedener Gewerke voneinander vereinbar sind)
- Ausführungsfristen von Leistungen durch Auftragnehmer als auch durch Auftraggeber
- Fristen zur Geltendmachung von Ansprüchen bei Nichterfüllung von Vertragsbestandteilen

### Leistungen

Folgende Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise, die die direkten Leistungen zur Erstellung der Biogasanlage betreffen, sollten bei der Vertragsformulierung über die Biogasanlage beachtet werden:

- Angaben zu Planungsleistungen, die im Vertrag eingeschlossen sind, und Planungsleistungen, die über den Vertrag hinaus erbracht werden sollen
- Inanspruchnahme von Leistungen des Bauherrn (Wasseranschluss, Abwasseranschluss, elektrische Energie, Telefon, Toiletten, Lagerplätze, Zufahrten etc.)
- Exakte Klärung von Schnittstellen und daraus folgenden Abhängigkeiten (Eigenleistung/Leistungsumfang/verschiedene Auftragnehmer) /11-2/
- klare Leistungsgrenzen (Anbindung von Leitungen für Substrat, Heizung, Elektrizität, Wasser, Abwasser) und vom Bauherrn zu erbringende Vorleistungen und Nacharbeiten
- Detaillierte Darstellung der vertraglich garantierten Leistungen
- Erbringung der Leistungen nach den anerkannten Regeln der Technik
- Spezifikation der Dimensionen, Typen, Leistungen, Materialien und Herstellerfirmen der Anlagenkomponenten
- klare Definition der Einsatzmaterialien, möglichst mit Angabe der Bandbreite der Eigenschaften, Definition von Substraten, die nicht von der Biogasanlage verarbeitet werden können
- Vereinbarung von Werkstattinspektionen zur Komponentenprüfung vor Auslieferung im Herstellungswerk von Teilen, die für die Gesamtanlage

von hoher Bedeutung sind, können vereinbart werden

- ggfs. Geräuschemissionswerte und andere Emissionswerte
- eventuell Schulungen des zukünftigen Betriebspersonales
- Lieferung von Dokumentation, Betriebsanweisungen und Betriebshandbüchern für die Anlage
- möglicherweise der Umfang von Betreuungsleistungen nach der Übergabe
- Berücksichtigung bundeslandspezifischer Besonderheiten
- Aufwendungen für Gebühren und Gutachten (z. B. Genehmigung, Vermessung, Geruch, Schall, Statik)
- Elektrizitätsnetzanbindung
- Verwertung von Baureststoffen, Bodenaushub
- technische Inbetriebnahme und biologische Inbetriebnahme

### Zahlungen

Folgende Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise, die die vom Auftraggeber zu leistenden Zahlungen betreffen, sollten bei der Vertragsformulierung über die Biogasanlage beachtet werden:

- Akzeptierbarkeit der vorgeschlagenen Zahlungsbedingungen
- Angaben zu Zahlungszielen und Kosten für Anlagenkomponenten und Bauabschnitte
- Zahlungsplan
- Art der Vergütung (z.B. Festpreise, Abrechnung nach Aufwand), Regelungen zu Kosten, die über die Erbringung der Vertragsleistung hinausgehen
- Einschluss eines Zahlungsplanes (kann auch unabhängig vom Vertrag aufgestellt und als Vertragsbestandteil definiert werden)
- Regelungen für den Fall von nicht fristgerechten Zahlungen
- Regelungen über Abschlagszahlungen

### Gewährleistung und Haftung

Folgende Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise, die Gewährleistungs- und Haftungsfragen betreffen, sollten bei der Vertragsformulierung über die Biogasanlage beachtet werden:

- Klare Trennung von Gewährleistungsansprüchen, die vertragliche Leistungen und Eigenleistungen betreffen
- Regelung von Gewährleistungsansprüchen während der Bauphase, Inbetriebnahmephase und des Probetriebes

- Umfang der Garantie- und Nachbesserungsleistungen (z.B. Verfügbarkeit der Biogasanlage, Mindestgaserträge)
- Abschluss einer Bauherrenhaftpflichtversicherung kann gefordert werden
- Einschluss der Haftung der Auftragnehmer für Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit, Verkehrssicherheit auf der Baustelle
- Regelungen zur Geltung der Gewährleistungsbedingungen (z. B. bezüglich Anlagenwartung, Instandsetzungsarbeiten, zusätzlicher Installationen)
- Regelungen zum Gewährleistungsumfang (bezogen auf Teilleistungen)
- Einschluss der Gewährleistungsrechte und Gefahrübergänge nach VOB/B ist sinnvoll

**Der Fall der Fälle – Nichterfüllung und Auflösung des Vertrages**

Für den Fall des Eintretens von Gründen für die Auflösung des Vertrages oder die einseitige Nichterfüllung sollten bereits bei Vertragsformulierung folgende Vorschläge für Regelungen sowie Hinweise beachtet werden:

- Ausreichende Berücksichtigung möglicher Vertragsstörungen, das heißt ausgewogene Vereinbarungen für voraussehbare Differenzen, um Meinungsverschiedenheiten unterhalb der Schwelle gerichtlicher Auseinandersetzungen beilegen zu können /11-2/
- Regelungen zum Rücktritt eines Partners vom Vertrag
- Regelungen im Fall von nicht fristgerechten Zahlungen
- Vertragsstrafen (Umfang und Bedingungen)

**11.5 Anlagenbau**

Für den Anlagenbau bzw. die Bauplanung sollte die folgende Checkliste beachtet werden.

1. Schritt: Vorbereitung	
Ausarbeitung der Ausführungsplanung	Wenn eine Biogasanlage allein auf Basis der 1:100 Genehmigungsplanung errichtet wird, kommt es häufig zu Änderungen, deren Notwendigkeit erst auf der Baustelle erkannt wird. Eine detaillierte Ausführungsplanung, z.B. für Elektro- und Heizungsinstallationen, vermindert notwendige Spontanentscheidungen während des Bauprozesses, deren Auswirkungen auf Parallel- oder Folgegewerke nicht durchdacht sind und daher Mehrkosten verursachen können.
Aufstellung eines Bau-Ablaufplanes	Dieser vom Planer angefertigte Plan zeigt auf, wann welche Gewerke auszuführen sind, damit Folgegewerke nicht behindert werden. Die Abhängigkeiten und das Ineinandergreifen der einzelnen Arbeitsschritte werden erkennbar (z. B. Vorbereitungs-, Durchführungs- und z. B. Trocknungszeiten) und Engpässe können identifiziert werden. Im Ablaufplan sollten Ausfallzeiten (evtl. Feiertage) und vor allem Eigenleistungszeiträume berücksichtigt werden
<b>Ziel 1. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Detailplanung</b></li> <li>- <b>Umfassender Bau-Ablaufplan</b></li> </ul>



## 2. Schritt: Die Entscheidung zur Eigenleistung

Eigene Fähigkeiten prüfen Verfügbares eigenes Zeitkontingent prüfen	Welche Eigenleistungen kann ich qualitativ hochwertig erbringen? Welche Eigenleistung führt zu einer guten Kosten-Nutzen-Ausnutzung ohne qualitative Einbußen? Wann soll Baubeginn sein? Ist meine zeitliche Einbindung in die Baustelle unter Berücksichtigung des Bau-Ablaufplanes mit meiner betrieblichen Situation zu vereinbaren? Welche Helfer kann ich organisieren? Für welchen Zeitraum benötige ich wen?
Eigenleistung mit Planer abstimmen	Der Überwachungsaufwand für den Planer ist normalerweise höher, da in Eigenleistung erbrachte Gewerke besonders kontrolliert werden müssen. Die Ablaufplanung muss ebenfalls auf den höheren Zeitaufwand der Eigenleistungsgewerke abgestimmt sein.
Schnittstellen zu Folgegewerken definieren	Jedes Gewerk besitzt mittel- und unmittelbare Schnittstellen zu Vorläufer-, Nachfolge- oder Parallelgewerken (z.B. Trocknungszeiten, Arbeitssicherheit, Begehungsverbote, Gewerkvorleistungen) Besonders wichtig ist die Betrachtung der Eigenleistungsgewerke und der Unternehmerleistungen. Wird die Unternehmerleistung zeitlich oder bautechnisch behindert, führt dies zu Wartezeiten, Folgekosten und Gewährleistungsproblemen.
<b>Ziel 2. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fähigkeiten prüfen</li> <li>- Zeitliches Kontingent prüfen</li> <li>- Eigenleistungsarbeiten mit Planer absprechen und im Bau-Ablaufplan berücksichtigen</li> <li>- Schnittstellen zu mittel- oder unmittelbaren Gewerken definieren</li> </ul>

## 3. Schritt: Vergabe der Hauptgewerke

Vergabe der Hauptgewerke	In Absprache mit dem Planer werden durch ihn die Hauptgewerke vertraglich vergeben (siehe auch Kapitel 11.4). Auf freihändige Vergabe verzichten und Alternativangebote einholen! Evtl. Mehrkosten bei ortsansässigen Anbietern in Kauf nehmen unter Berücksichtigung der zeitlich schnelleren Anreise bei Wartungs- und Kontrollarbeiten (kurze Fahrtzeiten, wenig Entgelt für Anfahrtswegen).
--------------------------	---

## 4. Schritt: Baustellenvorbereitung

Organisation und Sicherung der Baustelle	Aufmaß und Sicherung der Baustelle (Bauzaun, Bauschild) veranlassen. Abschließbare Lagerstätte für Materialien und Baustellen-Toilette zur Verfügung stellen. Die Verantwortlichkeit für beide Punkte kann dem ausführenden Unternehmen übertragen werden. Der Bauherr sollte eine Haftpflichtversicherung und eine Bauwesenversicherung abschließen. Die Kosten letzterer können dem ausführenden Unternehmer übertragen werden. Abschluss einer Rohbauversicherung. Den ausführenden Unternehmen muss Wasser und Strom frei zugänglich zur Verfügung stehen. Überschreitet die Baustelle gewisse Grenzen, kann die Koordination für Sicherheit und Gesundheitsschutz nach Baustellenverordnung gegen Honorar an den Bauleiter delegiert werden.
<b>Ziele 4. Schritt:</b>	- Organisation und Sicherung der Baustelle

**5. Schritt: Qualitätssicherung während des Baus**

Qualitätsanforderungen bereits im Leistungsumfang des Auftrages festlegen und kontrollieren	Qualitätskontrolle fängt mit der Vorgabe verbindlicher Qualitätsstandards an. Falls exakte Materialvorgaben im Leistungsumfang vereinbart wurden, diese kontrollieren.
Auf der Baustelle präsent sein Bautagebuch führen	Sie sollten die Baustelle jeden Tag besuchen, wenn die Handwerker schon oder noch anwesend sind. So sind Sie als Ansprechpartner immer erreichbar. Ihre Beobachtungen sollten Sie detailliert in einem Bautagebuch festhalten. Dazu gehört u.a. welcher Baufortschritt sich ergeben hat und welche Unklarheiten, Mängel auftraten. Hier können auch Nebenauslagen für das Finanzamt dokumentiert werden!
Fotodokumentation anlegen	Per Fotoapparat sollten Baufortschritt, eingesetzte Materialien, Installationen etc. festgehalten werden.
Baumängel rügen und zeitnah beseitigen lassen	Baumängel, die erkannt werden, sollten ohne zeitliche Verzögerung schriftlich gerügt werden, wenn sie nicht umgehend beseitigt werden. Nur so wahren Sie Ihre Rechtsposition und können nach tatenloser Fristverstreichung androhen, eine weitere Mängelbeseitigung durch den Handwerker zu verweigern. Sie können den Mangel dann zu seinen Lasten durch einen Dritten beseitigen lassen. Baumängel, die sofort fachmännisch behoben werden, bergen wenig Folgeprobleme. Werden Baumängel verschleppt und erst später beseitigt, so kommt es im Ablaufplan oftmals zum Termin-Chaos. Das kostet Zeit, Nerven und Geld.
<b>Ziel 5. Schritt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Leistungsumfang und Materialauswahl kontrollieren</b></li> <li>- <b>Tägliche Baustellenbesuche</b></li> <li>- <b>Bautagebuch führen und Fotodokumentation erstellen</b></li> <li>- <b>Baumängel zeitnah anmahnen und beseitigen lassen</b></li> </ul>

**6. Schritt: Inbetriebnahme, Probetrieb und Abnahme der Biogasanlage**

Inbetriebnahme	Die Inbetriebnahmephase dient der Überprüfung der Funktionsfähigkeit aller wichtigen Anlagenteile (Aggregate, Gewerke etc.). Falls möglich, werden auch die meisten Steuer- und Alarmsignale der Steuerung überprüft und erfasst. Die Inbetriebnahme einer Biogasanlage kann als technische, sog. „kalte“ Inbetriebnahme z.B. im Rahmen der Dichtigkeitsprüfung des Fermenters mit Wasser erfolgen („Wasserfahrt“). In diesem Rahmen können teilweise auch Sensoren, z.B. Füllstandssensoren, auf ihre technische Tauglichkeit überprüft werden. Andere Mess- und Regeltechnik kann erst im laufenden Betrieb getestet werden (z.B. Überdruck-Unterdruck-Sicherung am Fermenter). Es können weiterhin Inbetriebnahmen für Einzelkomponenten erfolgen, so z.B. die Inbetriebnahme des BHKWs mit Zündöl oder Erdgas oder die Inbetriebnahme von Pumpen oder Schiebern. Die „warme“ oder auch biologische Inbetriebnahme geht mit dem Befüllen und Aufheizen des Fermenters einher und ist als „schwimmender Übergang“ zum Probetrieb zu verstehen.
Probetrieb	Der Probetrieb wird als „Leistungsfahrt“ verstanden und soll dem Bauherren und Betreiber der Biogasanlage dazu dienen, sich zu vergewissern, dass alle Anlagenkomponenten die in der Leistungsbeschreibung festgelegten Leistungen störungsfrei über einen definierten Zeitraum erbringen. Die Festlegung des Zeitraumes erfolgt individuell, der Zeitraum ist Gegenstand des vereinbarten Vertrages mit dem Anlagenhersteller. Dabei ist zu beachten, dass die Kosten eines monatelangen Probetriebes anteilig auch auf die Investitionssumme und damit auf die Kosten des Anlagenkäufers umgelegt werden. Es ist also abzuschätzen, wie schnell sich eine stabile Mikroorganismenpopulation und damit ein stabiler Biogasprozess einstellt, denn erst dann kann die Leistungsfähigkeit der Anlage getestet werden. Dieser Zeitraum ist stark abhängig vom eingesetzten Substratmix und wird bei gleichbleibender, wenig schwankender Mischung sehr viel schneller erfolgen als mit einer Mischung wechselnder Substrate. Es sollte also immer eine Kosten-Nutzen-Analyse erfolgen, damit der Probetrieb nicht unnötig in die Länge gezogen wird und Kosten verursacht, trotzdem jedoch Sicherheit in Bezug auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Anlage bietet. Erst nach dem erfolgreichen Probetrieb erfolgt die Abnahme der Biogasanlage oder der Teilkomponenten.



## 6. Schritt: Inbetriebnahme, Probetrieb und Abnahme der Biogasanlage (Fortsetzung)

Abnahme	<p>Auf die förmliche Abnahme auch von Teilgewerken sollten Sie nie verzichten, auch wenn diese durch Ingebrauchnahme Basis für ein Folgewerk sind.</p> <p>Bei Feststellung von Mängeln wird die Beseitigung erschwert, falls kein Abnahmeprotokoll vorliegt. Das Abnahmeprotokoll dient somit als Dokumentation der Mängel und als Nachweis des Verursachers von Mängeln.</p> <p>Bei der Abnahme sollte immer fachkundige Unterstützung eingeholt werden (z.B. Facharbeiter, Gutachter).</p> <p>Im Falle wesentlicher Mängel kann die Abnahme und damit die Schlusszahlung verweigert werden. Bei unwesentlichen Mängeln muss abgenommen werden, von der Schlusszahlung kann aber der dreifache Betrag der voraussichtlichen Schadensbeseitigungssumme abgezogen werden.</p> <p>Eine schlüsselfertige Biogasanlage geht erst nach der erfolgreichen Abnahme in den Besitz und damit in die Haftung des Anlagenkäufers über („Gefahrenübergang“).</p> <p>Wird die Biogasanlage durch Vergabe von Teilgewerken erbaut, so kann niemals die Abnahme der Gesamtanlage erfolgen, sondern immer nur eine „Teilabnahme“ der jeweiligen Bauteile oder Gewerke.</p> <p>Der Zeitpunkt des Gefahrenübergangs der Kompletanlage ist hierbei noch ungeklärt</p>
---------	--

Ziel 6. Schritt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inbetriebnahme der Biogasanlage</li> <li>- Probetrieb der Biogasanlage, Zeitraum individuell aushandelbar</li> <li>- Abnahme der Biogasanlage bzw. der Teilgewerke</li> </ul> <p>⇒ fachkundige Unterstützung einholen ⇒ förmliches Abnahmeprotokoll erstellen</p>
-----------------	--

## 11.6 Anlagenbetrieb

Um einen stabilen Anlagenbetrieb zu gewährleisten, ist es empfehlenswert, die Hinweise der folgenden Checkliste zum Anlagenbetrieb zu berücksichtigen.

### Allgemein

- Betriebshandbuch anlegen und führen (Nachweispflicht!)
- Notfall-/Rettungsplan erarbeiten! Hilfestellung durch Berater, Berufsgenossenschaft
- Einweisung und Einarbeitung des Personals

### Animpfen

- Befüllen des Fermenters mit abgelagerter Gülle oder ausgefaultem Material aus anderen Biogasanlagen gleicher Betriebsweise.
- Aufheizen des Fermenters (mesophil: ca. 39 °C; thermophil: ca. 55 °C).
- Erste Gasproduktion abwarten.
- Analyse des produzierten Gases. Warten, bis Methangehalt über 50 % gestiegen ist.
- Analytik des Fermenterinhalt (Temperatur, pH-Wert, Gehalt an flüchtigen Säuren, Stickstoff- und Ammoniumgehalt, Kalkreserve) durch Labor (z.B. LUFA) → Kontakt über Berater, Anlagenbauer oder Planungsbüro.
- Beginn der Substratzugabe

### Substratzugabe

- Zugabe geringer Mengen geeigneten Substrates (z.B. Gülle), um Überlastung der Biologie zu vermeiden → Verweilzeit sollte in den ersten Wochen möglichst lang gewählt werden (kann bis zu 120 Tagen betragen) → Die Analyse des Fermenterinhalt sowie die Gasanalytik bestimmen hier die Steigerung der Substratzugabe bzw. die Verringerung der Verweilzeit.
- Laufende Analytik des produzierten Gases → Methangehalt darf nicht unter 50 % fallen.
- Regelmäßige Kontrolle bzw. Analyse des Fermenterinhalt
- Bei stabiler Gasproduktion langsame (wöchentliche) Steigerung der täglichen Zugabemenge → Verringerung der Verweilzeit um jeweils ca. 10 %.

**! Bei Verschlechterung der Gasqualität auf bzw. unter 50 % Methan im Biogas sofortiger Stopp der Substratzugabe und Analytik des Fermenterinhalt auf Säuregehalt und pH-Wert!**

**! Sinkt die Gasproduktion „von heute auf morgen“ ab, sofortiger Stopp der Substratzugabe und Analytik des Fermenterinhalt auf Säuregehalt und pH-Wert!**

**Keinesfalls Zugabemenge steigern, da eine Überlastung der Fermenterbiologie wahrscheinlich ist!**

**! „Viel hilft viel“ gilt NICHT bei der „Fütterung“ von Biogasanlagen!**

- Bei Überlastung der Biologie, Wartezeit von mindestens einer Woche einhalten → laufende Kontrolle des pH-Wertes bzw. Analyse des Säuregehaltes im Fermenterinhalt.
- Bei steigendem Methangehalt im Biogas, Substratzugabe **vorsichtig** wiederaufnehmen → Absprache mit Berater, Anlagenplaner.

#### Gasspeicher / BHKW

- regelmäßige Dichtigkeitskontrolle.
- Kontrolle aller Sicherheitseinrichtungen → „Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen“ beachten!
- **Bei externem Gasspeicher:** Kontrolle der Gasleitungen und Schieber auf Freigängigkeit, Verstopfungen, Dichtigkeit, Frost.
- **Bei eingehausten Folienspeichern:** Gasblase muss sich frei entfalten können. Es dürfen keine spitzen Gegenstände (Schrauben, Kanten etc.) in die Einhausung ragen.
- laufende bzw. regelmäßige Kontrolle der Gasqualität ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , evtl.  $\text{O}_2$ ).
- Bei biologischer Entschwefelung über Sauerstoffeintrag, Luftzufuhr kontrollieren (ca. 3-5 % der Gasproduktion).
- Kondensatfalle regelmäßig kontrollieren und entleeren

**! Biogasanlagen arbeiten mit einem Überdruck im Bereich bis ca. 20 mbar! Dies entspricht einer Wassersäule von bis zu 20 cm. Sammelt sich zuviel Kondensat in den Leitungen an, wird der Gasfluss unterbrochen.**

- Sicherheitseinrichtungen des BHKW regelmäßig kontrollieren und warten (Not-Aus, automatische Abschaltung bei zu geringen Methangehalten etc.).
- **Bei Gasmotoren:** Gasmischventil regelmäßig auf korrekte Funktion überprüfen und Wartungsintervalle einhalten.
- **Bei Zündstrahl-Motoren:** Zündölanteil regelmäßig kontrollieren (< 10 %).

#### 11.7 Literaturverzeichnis

- /11-1/ ULLRICH, H. (1983): Anlagenbau. Georg-Thieme Verlag, Stuttgart, 1983
- /11-2/ VDI (1997): VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.): Vertragsmanagement für energietechnische Anlagen: Planung bis Betrieb. VDI-Bericht 1337, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997
- /11-3/ Fichtner GmbH & Co KG, Stuttgart, zitiert in: Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

# Stellung und Bedeutung von Biogas als regenerativer Energieträger in Deutschland



Die energie- und umweltpolitischen Diskussionen in Deutschland werden seit mehr als drei Jahrzehnten durch die energiebedingten Umweltauswirkungen maßgeblich mitbestimmt. Beispielsweise fokussiert sich gegenwärtig die öffentliche Diskussion u. a. auf die möglichen Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts. Zur Vermeidung oder zumindest zur Reduktion der energiebedingten Umweltauswirkungen gelten regenerative Energien oft als „Hoffnungsträger“.

Seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 hat die Erzeugung und Nutzung von Biogas, insbesondere in der Landwirtschaft, erheblich zugenommen. Unterstützt wird diese Entwicklung durch das Marktanzreizprogramm (MAP) des Bundes und diverse Investitionsförderprogramme einiger Bundesländer. Hinzu kommt, dass die Potenziale an organischen Stoffströmen, die zur Biogaserzeugung genutzt werden können, durchaus beachtlich sind. Damit liegen heute Randbedingungen vor, die erwarten lassen, dass die Erzeugung und Nutzung von Biogas weiter zügig ausgebaut wird.

## 12.1 Biogaserzeugung als Option einer Energiegewinnung aus Biomasse

Unter Biomasse werden Stoffe organischer Herkunft verstanden, die zur Energiebereitstellung genutzt werden können. Biomasse beinhaltet damit die in der Natur lebende Phyto- und Zoomasse (Pflanzen und Tiere) und die daraus resultierenden Abfallstoffe (z. B. Exkrememente). Daneben werden darunter auch organische Stoffe aus bereits abgestorbenen Organismen verstanden, die noch nicht fossil sind (z. B. Stroh, Schlachthofabfälle).

Biomasse wird im Allgemeinen unterteilt in Energiepflanzen, Ernterückstände, organische Nebenprodukte und Abfälle (vgl. Kapitel 4). Diese Stoffströme

müssen für eine energetische Nutzung zunächst verfügbar gemacht werden. In den allermeisten Fällen ist dazu ein Transportprozess notwendig. In vielen Fällen muss die Biomasse, bevor sie energetisch genutzt werden kann, mechanisch aufbereitet werden (vgl. Kapitel 3). Oft wird auch eine Lagerung realisiert, um Biomasseanfall und Energienachfrage aufeinander abzustimmen (Abb. 12-1).

Anschließend kann aus Biomasse Wärme und/oder Strom bereitgestellt werden. Dazu stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Zunächst gehört dazu die direkte Verbrennung in entsprechenden Feuerungsanlagen, mit denen auch eine gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom möglich ist. Dabei ist die ausschließliche Wärmebereitstellung aus festen Bioenergieträgern der „klassische“ Anwendungsfall zur End- bzw. Nutzenergiebereitstellung aus Biomasse.

Zusätzlich dazu steht noch eine Vielzahl weiterer Techniken und Verfahren zur Verfügung, mit deren Hilfe Biomasse zur Deckung der End- bzw. Nutzenergienachfrage verfügbar gemacht werden kann (Abb. 12-1). Hier wird zwischen thermo-, physikalisch- und biochemischen Veredelungsverfahren unterschieden. Dabei stellt die Biogaserzeugung (anaerober Abbau der Substrate zu Gas) und Biogasnutzung eine Möglichkeit unter den biochemischen Veredelungsverfahren dar.

## 12.2 Stand der Biogasgewinnung und -nutzung in Deutschland

Nachfolgend wird der Stand der Biogasgewinnung und -nutzung in Deutschland zum Zeitpunkt August 2003 dargestellt. Die Ausführungen beziehen sich auf Biogasanlagen ohne Deponie- und Klärgasanlagen.

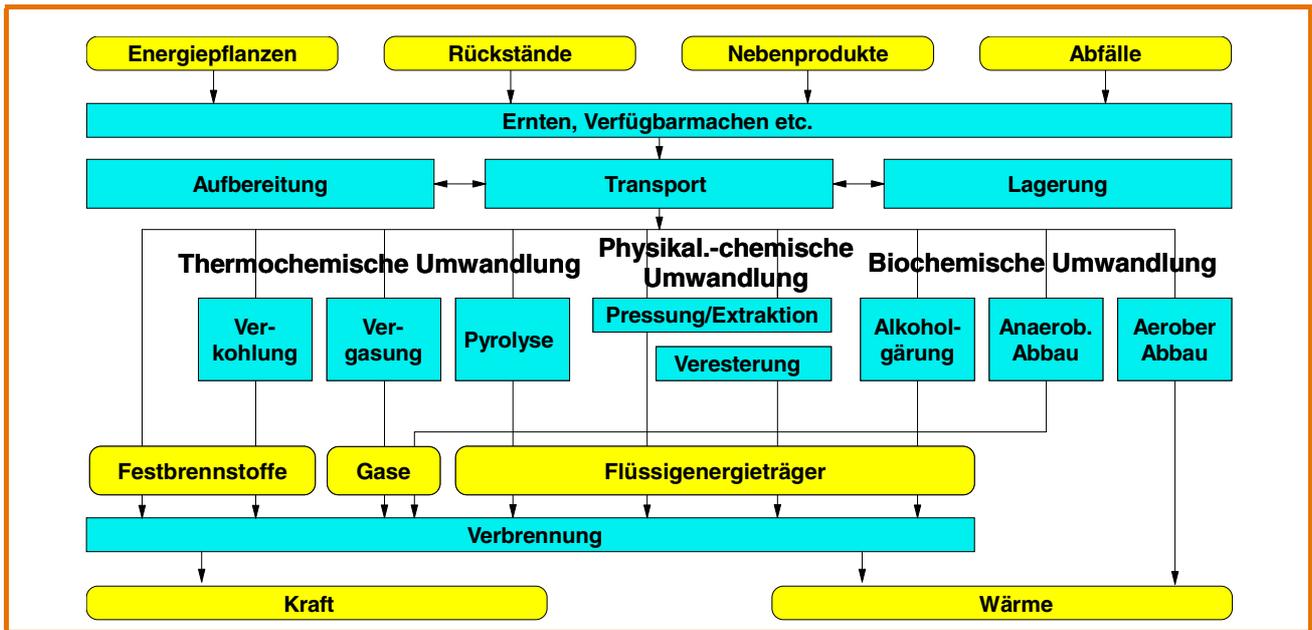


Abb. 12-1: Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse zu End-/Nutzenergiebereitstellung [12-1/

### 12.2.1 Anlagenbestand und Anlagenleistung

Seit Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 hat die Erzeugung und Nutzung von Biogas insbesondere in der Landwirtschaft erheblich zugenommen. Ausgehend von 850 sich in Betrieb befindlichen Anlagen zum Ende des Jahres 1999 hat sich deren Anzahl bis Mitte 2003 auf über 1.700 Anlagen erhöht. Diese Tendenz wird auch in der installierten elektrischen Leistung deutlich. Die durchschnittlich pro Anlage installierte Leistung betrug Ende 1999 etwa 53 kW. Dies ergab zum damaligen Zeitpunkt eine Gesamtleistung für alle Anlagen in Deutschland von etwa 45 MW<sub>el</sub>. Mitte 2003 kann von einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von etwa 110 kW und einer daraus resultierenden Gesamtleistung von etwa 180 MW<sub>el</sub> ausgegangen werden. Für die neu errichteten Anlagen ergibt sich somit eine mittlere Leistung von etwa 150 kW<sub>el</sub> pro Anlage [12-2/, /12-3/, /12-4/.

Basierend auf der geschilderten Ausgangssituation stellen sich Anzahl und Leistung der realisierten Biogasanlagen in Deutschland wie in Abb. 12-2 dar.

Auf Grund unterschiedlicher Agrarstruktur und daraus resultierender Unterschiede in den Größenklassen der landwirtschaftlichen Betriebe ist die Entwicklung der Anlagenleistung und -zahl in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich. Die meisten Biogasanlagen werden derzeit in Bayern und Baden-Württemberg betrieben. In diesen beiden Bundesländern wurden auch etwa 65 % der seit 1999 in

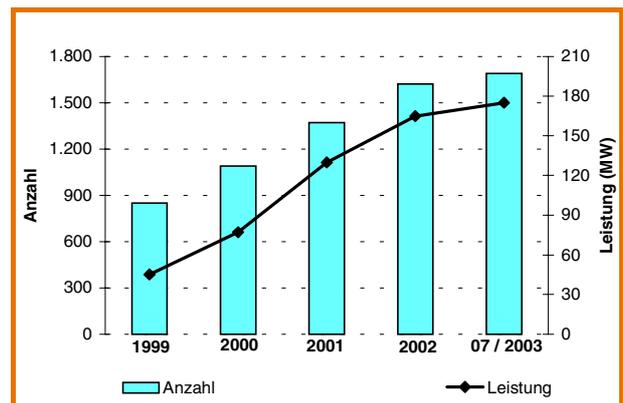


Abb. 12-2: Entwicklung des Bestandes und der Leistung von Biogasanlagen seit Inkrafttreten von MAP und EEG (Datenbasis KfW) [12-2/

Betrieb genommenen Neuanlagen errichtet. In Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen ist ebenfalls eine überdurchschnittliche Entwicklung im Anlagenbau zu verzeichnen [12-2/.

Ein Vergleich der elektrisch installierten Leistung pro Bundesland macht deutlich, dass ein Gefälle zum Einen zwischen den neuen und alten Bundesländern, zum Anderen zwischen Nord- und Süddeutschland besteht (Abb. 12-3). In Bayern werden zwar bundesweit die meisten Biogasanlagen betrieben (rund 46 %), die durchschnittlich installierte elektrische Leistung ist mit ungefähr 65 kW pro Anlage allerdings gering. In den neuen Bundesländern sind vergleichsweise wenige Biogasanlagen in Betrieb. Die hier durch-

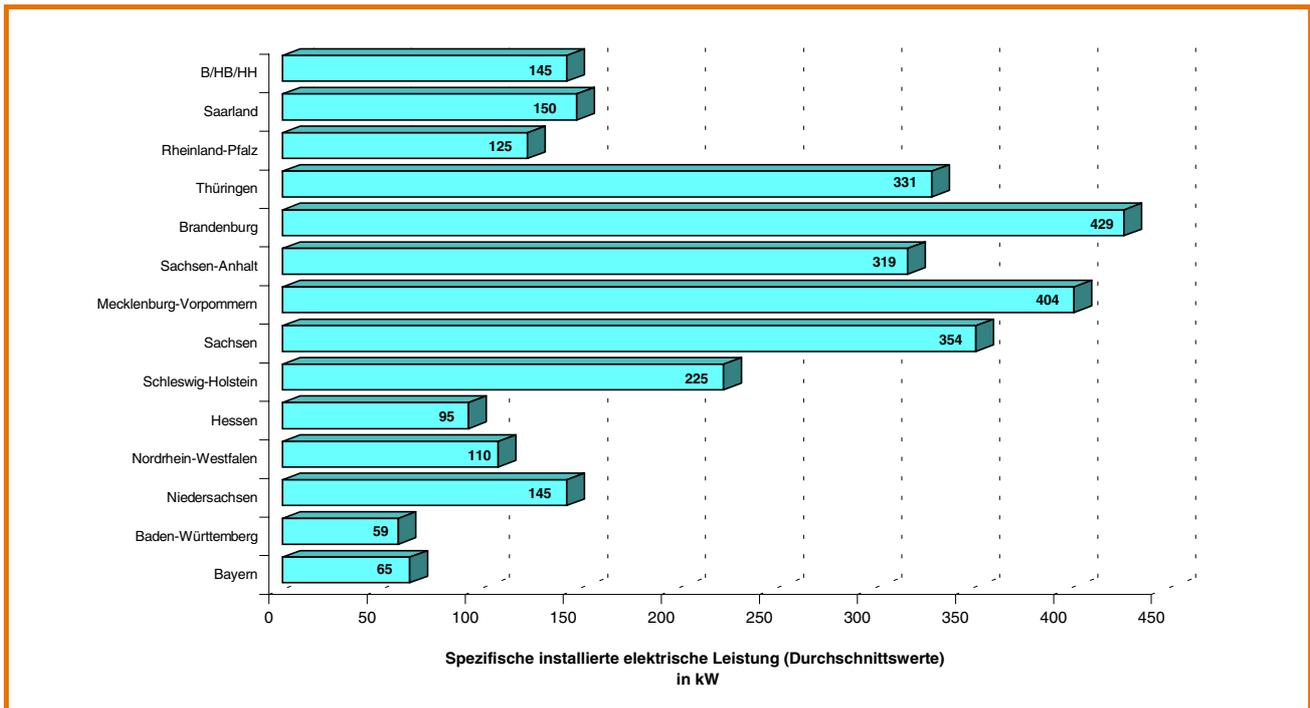


Abb. 12-3: Spezifische elektrische Leistung (Durchschnittswerte) pro Biogasanlage in den Bundesländern; Darstellung IE Leipzig auf Datenbasis KfW [12-2]

schnittlich installierte elektrische Leistung liegt jedoch bei ungefähr 350 kW.

Bei einem Vergleich der installierten elektrischen Leistung der Bundesländer Bayern und Niedersachsen wird der Unterschied zwischen Nord- und Süd- deutschland deutlich. Auf Niedersachsen entfallen

mit ca. 15 % der bundesweit betriebenen Anlagen ungefähr 20 % der in Deutschland installierten elektrischen Leistung. In Bayern stellen ca. 46 % der bundesweit betriebenen Anlagen jedoch nur einen Anteil von ca. 27 % der deutschlandweit installierten elektrischen Leistung (Abb. 12-4).

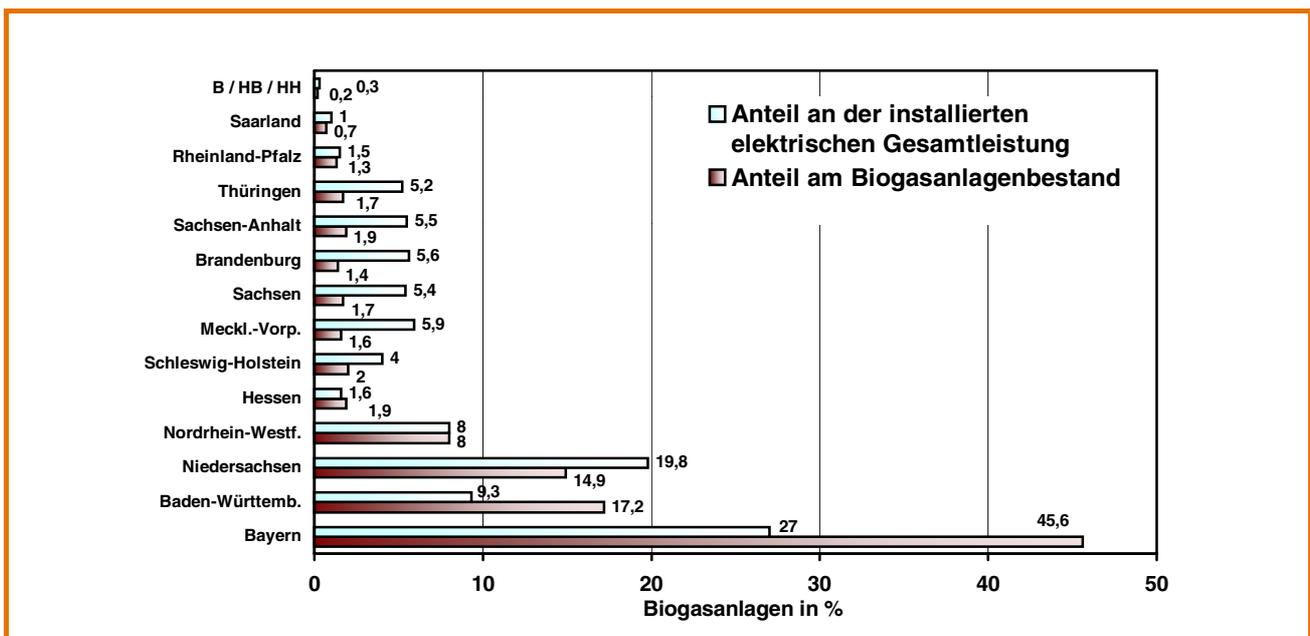


Abb. 12-4: Gegenüberstellung der Anteile von Leistung und Bestand der Biogasanlagen in den Bundesländern; Darstellung IE Leipzig auf Datenbasis KfW und eigene Erhebung [12-2]

## 12.2.2 Eingesetzte Substrate

In Deutschland werden als Basissubstrat überwiegend Rinder- und/oder Schweinegülle sowie in Abhängigkeit von der Tierhaltungsform Festmist eingesetzt. Weiterhin kommen, wenn auch in geringerem Umfang, alle Arten von Geflügelexkrementen zum Einsatz, wobei hier regionale Schwerpunkte im Nordwesten Deutschlands existieren. Hinsichtlich der Verarbeitungskapazitäten der Biogasanlagen gibt es regional große Unterschiede. So haben z. B. im Nordosten Deutschlands 70 % der Anlagen einen Durchsatz von 7.500 m<sup>3</sup> und mehr pro Jahr. Bundesweiter Durchschnitt ist ein Durchsatz von etwa 1.000 bis 2.000 m<sup>3</sup> pro Jahr.

Derzeit werden in über 90 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen neben tierischen Exkrementen als Basissubstrate zusätzlich Kosubstrate eingesetzt. Am häufigsten werden Energiepflanzen (Silomais, Grassilage u. a.), Ernterückstände, Rasenschnitt, Fettscheiderfette, Speiseabfälle sowie Bioabfall aus industriellen und kommunalen Quellen eingesetzt. Der Anteil der Kosubstrate bezogen auf das insgesamt zugeführte Substratgemisch beträgt bundesweit bei etwa 40 % der Biogasanlagen 25 %. In einem weiteren Viertel der Anlagen werden Basis- und Kosubstrate im Verhältnis 1:1 verarbeitet. In den anderen Anlagen liegt der Kosubstratanteil unter 25 % /12-5/.

Die Bedeutung von Energiepflanzen als Kosubstrat resultiert, trotz zusätzlicher Kosten für Anbau, Ernte und Lagerung, aus den infolge des weiteren Ausbaus der Biogasnutzung enger werdenden Märkten für Kosubstrate aus Industrie und Gewerbe sowie von Kommunen. Hinzu kommt, dass derzeit kaum noch Entsorgungserlöse für Kosubstrate zu erzielen sind.

## 12.3 Potenziale

Biogas kann aus einer ganzen Reihe unterschiedlicher **Stoffströme** gewonnen werden. Deshalb werden nachfolgend für die unterschiedlichen potenziell nutzbaren Biomassefraktionen die unterschiedlichen Gaserträge bzw. technischen Primärenergiepotenziale

der verschiedenen betrachteten Stoffströme sowie die korrespondierenden technischen Erzeugungspotenziale<sup>1</sup> (potenziell mögliche Strom- bzw. Wärmebereitstellung) bzw. Endenergiepotenziale<sup>1</sup> (d. h. die im Energiesystem nutzbare Endenergie) dargestellt. Dabei wird zwischen den folgenden Gruppen von Substraten unterschieden:

- Stoffströme, die heute schon auf jeden Fall energetisch genutzt werden. Dabei handelt es sich um bereits abgelagerte organische Siedlungsabfälle auf vorhandenen Deponien, die infolge dort natürlicherweise ablaufender anaerober Prozesse sowieso und unbeeinflussbar zu Biogas (d. h. Deponiegas) umgewandelt werden.
- Stoffströme, die mit hoher Wahrscheinlichkeit vergoren werden, da dies aus verfahrenstechnischen Gründen notwendig (oder sinnvoll) ist und/oder wo dies ein aus gegenwärtiger Sicht vielversprechender Verwertungspfad im Rahmen eines sinnvollen und kostengünstigen Abfallmanagements darstellt. Darunter wird hier die Vergärung von Klärschlamm aus kommunalen und industriellen Kläranlagen sowie die mögliche Vergärung von organischen Siedlungsabfällen und von organischen Abfällen aus Industrie und Gewerbe (primär lebensmittel- und -verarbeitende Betriebe) verstanden.
- Stoffströme, die optional vergoren werden können, obwohl die entsprechenden Stoffströme auch ohne eine anaerobe Fermentation genutzt werden können, aber eine Vergärung mit bestimmten betrieblichen und/oder ökonomischen Vorteilen verbunden sein kann. Damit stellt bei dieser Gruppe die Biogaserzeugung eine Option dar, die sich vor dem Hintergrund der gegebenen alternativen Nutzungsmöglichkeiten nicht zwingend anbietet. Zu den hierunter zusammenfassenden Stoffströmen zählen primär die bei der Nutztierhaltung anfallenden Exkremente (im Wesentlichen Gülle), die weiteren in Landwirtschaft und Gartenbau bei der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion anfallenden Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (z. B. Rübenblätter, Kartoffelkraut) und die bei der Landschaftspflege anfallenden organischen Stoffe

1. Das technische Potenzial regenerativer Energien beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden i. Allg. strukturelle und ökologische Restriktionen (z. B. Naturschutzgebiete, Flächen für die angestrebte Biotopvernetzung in Deutschland) und gesetzliche Vorgaben (z. B. Zulässigkeit von hygienisch bedenklichen organischen Abfällen für den Einsatz in Biogasanlagen) berücksichtigt, da sie letztlich auch – ähnlich den (ausschließlich) technisch bedingten Eingrenzungen – oft „unüberwindbar“ sind. Es kann dabei unterschieden werden hinsichtlich der Bezugsgröße für die Energie in

- technische Primärenergiepotenziale (z. B. die zur Biogasgewinnung verfügbaren Biomassen),
- technische Erzeugungspotenziale (z. B. Biogas am Ausgang einer Biogasanlage),
- technische Endenergiepotenziale (z. B. elektrische Energie aus Biogasanlagen beim Endverbraucher) und
- technische Endenergiepotenziale (z. B. Energie der heißen Luft aus dem Föhn, der mit elektrischer Energie aus einer Biogasanlage betrieben wird).

(u. a. Biomasse aus der Pflegenutzung, von Friedhöfen und Straßenrändern).

- Stoffströme, die bewusst und ausschließlich für eine Vergärung in Biogasanlagen produziert werden. Darunter wird hier im Rahmen eines Energiepflanzenanbaus produzierte Biomasse verstanden, die meist in Co-Fermentation in beispielsweise mit Gülle betriebenen Biogasanlagen vergoren werden kann.

**Potenzielle Gaserträge.** Die potenziellen Gaserträge aus der Vergärung der dargestellten organischen Stoffe liegen in Deutschland in folgenden Bereichen /12-2/, /12-3/, /12-6/, /12-7/:

- Aus Deponien wäre ein Gasaufkommen von rund 0,9 bis 1,2 Mrd. m<sup>3</sup>/a gewinnbar.
- Aus der Vergärung kommunaler und industrieller Klärschlämme resultiert ein potenzielles Biogasaufkommen von rund 0,9 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Hinzu kommen noch rund 0,6 Mrd. m<sup>3</sup>/a aus organischen Abfällen von Haushalten und Kommunen sowie aus Markt- abfällen. Aus organischen Gewerbe- und Industrie- abfällen sind zusätzlich zwischen rund 0,3 und knapp 0,6 Mrd. m<sup>3</sup>/a an Biogas zu erwarten. Zusammengenommen errechnen sich zwischen 1,8 und 2,1 Mrd. m<sup>3</sup>/a.
- Aus der Vergärung von Gülle sind potenziell rund 4,5 Mrd. m<sup>3</sup>/a gewinnbar. Hinzu kommen aus Nebenprodukten der Pflanzenproduktion rund 3,0 bis 5,3 Mrd. m<sup>3</sup>/a und aus Landschaftspflegematerialien weitere 0,3 bis 0,6 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Zusammengenommen errechnen sich daraus zwischen 7,8 und 10,4 Mrd. m<sup>3</sup>/a.
- Unter der Annahme einer für den Energiepflanzenanbau maximalen Fläche von 2 Mio. ha, die zur Vergärung genutzt werden, ergibt sich ein Biogasaufkommen von rund 11 Mrd. m<sup>3</sup>/a.

Demnach könnten in Deutschland zusammengenommen rund 22 bis 25 Mrd. m<sup>3</sup>/a an Biogas erzeugt werden. Bei einem mittleren unterstellten Methananteil von rund 60 % entspricht dies einem Methanaufkommen von 13 bis 15 Mrd. m<sup>3</sup>/a.

Die wesentlichen Potenziale stammen dabei aus dem landwirtschaftlichen Sektor, da hier zum Einen erhebliche Mengen an Rückständen und Nebenprodukten der Viehhaltung (u. a. Gülle) vergoren werden können und zum Anderen zusätzlich auch andere bei der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Pflanzenproduktion anfallende Substrate (z. B. Abfälle aus dem Gemüseanbau, dem Hopfenanbau, dem Weinanbau, dem Zierpflanzenanbau) verfügbar sind, die stofflich bisher kaum mit einer direkt greifenden

Wertschöpfung genutzt werden. Im weiteren Sinne zählen zu den landwirtschaftlichen Substraten aber auch die bei der Landschaftspflege anfallenden Stoffströme (z. B. Grasschnitt von Hutungen und Streuobstwiesen). Damit nimmt die Landwirtschaft, wenn nur die Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle betrachtet werden und das potenzielle Gasaufkommen aus Deponien (es ist praktisch nicht steuerbar und muss aus Umweltschutzgründen infolge der gesetzlichen Vorgaben genutzt werden) und aus einem Energiepflanzenanbau auf Grund der oft vergleichsweise hohen Kosten zunächst nicht berücksichtigt wird, einen Anteil am gesamten potenziellen Biogasaufkommen von rund 75 bis 80 % ein. Wird zusätzlich die Möglichkeit eines Energiepflanzenanbaus auf theoretisch dafür verfügbaren Flächen betrachtet, erhöht sich der Anteil der Landwirtschaft am insgesamt verfügbaren Gasertrag weiter. Nicht zuletzt aus diesem Grund wird in der vorliegenden Handreichung der Schwerpunkt auf diesen Sektor gelegt.

Damit leistet die Landwirtschaft den größten Beitrag zum Gesamtpotenzial; dies gilt, auch wenn unterstellt werden muss, dass das gesamte Biogas bei einer Potenzialerschließung aus ökonomischen, logistischen und organisatorischen Gründen nicht in der „klassischen“ Landwirtschaft (d. h. im eigentlichen landwirtschaftlichen Sektor) allein erzeugt werden würde. Demgegenüber tragen andere Sektoren der Volkswirtschaft, bei denen organisch belastete Abwässer und organische Stoffströme anfallen, nur sehr begrenzt zum Gesamtpotenzial in Deutschland bei.

**Technische Energieerzeugungspotenziale.** Nachfolgend werden die den diskutierten Gaserträgen entsprechenden technischen Erzeugungspotenziale dargestellt (berechnet über den entsprechenden Heizwert von Biogas):

- Aus dem in Deponien produzierten Gas resultiert ein Energiepotenzial von ca. 15 bis 21 PJ/a.
- Aus der Vergärung kommunaler und industrieller Klärschlämme wären knapp 19,5 PJ/a verfügbar. Hinzu kommen noch knapp 13 PJ/a aus organischen Abfällen aus Haushalten und Kommunen sowie aus Markt- abfällen. Aus den organischen Abfällen des Gewerbes und der Industrie sind zusätzlich zwischen rund 6 und knapp 12 PJ/a zu erwarten. Zusammengenommen liegt das gesamte Erzeugungspotenzial derartigen organischen Materials zwischen 38,5 und 44,5 PJ/a.
- Aus der Vergärung von Gülle sind potenziell rund 96 PJ/a gewinnbar. Hinzu kommen aus Nebenprodukten der Pflanzenproduktion rund 64 bis

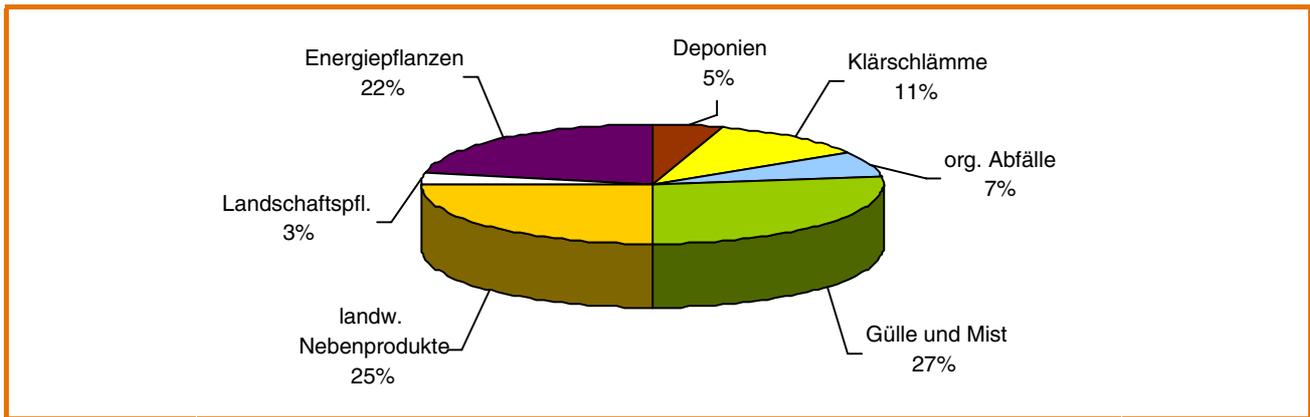


Abb. 12-5: Anteil der verschiedenen vergärbaren organischen Stoffströme am Gesamtpotenzial

108 PJ/a (inklusive Stroh). Aus Landschaftspflegematerialien lässt sich etwa 6-8 bis 12-16 PJ/a Energie gewinnen. Zusammengenommen sind dies zwischen 168 und 220 PJ/a.

- Wird eine Fläche von 2 Mio. ha. unterstellt, die zum Anbau von Energiepflanzen zur Vergärung genutzt wird, so wären in Deutschland rund 234 PJ/a an Energie bereitstellbar.

Für Deutschland errechnet sich aus diesem Substratmix (siehe Abbildung 12-5) ein mögliches Gesamtenergieerzeugungspotenzial der Biogaserzeugung von rund 360 bis 520 PJ/a. Bezogen auf den Endenergieverbrauch von rund 9.288 PJ/a (1999) sind dies 3,9 bis 5,6 % und bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch bzw. den Primärenergieverbrauch an Naturgasen (im Wesentlichen Erdgas) von rund 14.194 PJ/a bzw. 3.057 PJ/a (1999) 2,5 bis 3,7 % bzw. 11,8 bis 17,0 %.

Ähnlich dem potenziellen Gasaufkommen ist das technische Erzeugungspotenzial im Wesentlichen in der Landwirtschaft verfügbar, da aus „klassisch“ landwirtschaftlichen Substraten die größten Anteile am Gesamtpotenzial resultieren. Die regionale Verteilung innerhalb Deutschlands orientiert sich dabei primär an der Landfläche und zu geringeren Anteilen an der Bevölkerungsdichte.

**Technische Endenergiepotenziale.** Die dargestellten Erzeugungspotenziale können in Wärme und/oder Strom umgewandelt werden. Dabei beschreiben die nachfolgend ausgewiesenen Erzeugungspotenziale die bereitstellbare Wärme bzw. den produzierbaren Strom ohne und die Endenergiepotenziale mit Berücksichtigung nachfrageseitiger Restriktionen. Letztere bilden damit den Beitrag der Biogaserzeugung

und -nutzung zur Deckung der End- bzw. Nutzenergienachfrage am besten ab.

**Stromerzeugung.** Mit einem Umwandlungswirkungsgrad zur Stromerzeugung in Motoren bzw. in Blockheizkraftwerken (BHKW) von rund 35 % errechnet sich aus dem aufgezeigten Erzeugungspotenzial ein potenzielles Stromaufkommen und damit ein technisches Endenergiepotenzial zwischen 38 und 51 TWh/a; dies entspricht bei Volllaststunden zwischen 5.000 und 7.000 h/a einer zu installierenden Leistung von 5,3 bis 9,8 GW. Zusätzlich dazu könnten die anfallenden rund 2,9 Mio. t/a an Klärschlamm über eine Zufeuerung in vorhandenen Kohlekraftwerken genutzt werden /12-4/. Dies entspricht einer potenziellen Stromerzeugung zwischen 1,9 und 3,2 TWh/a. Bei den anderen anfallenden vergorenen Substraten wird demgegenüber eine stoffliche Nutzung (u. a. Dünger, Kompost) unterstellt. Das insgesamt daraus resultierende Endenergiepotenzial liegt unter Berücksichtigung der entsprechenden Verteilungsverluste zusammengenommen bei rund 37 bis 49 TWh/a.

**Wärmebereitstellung.** Mit einem Umwandlungswirkungsgrad zur ausschließlichen Wärmebereitstellung zwischen 90 und 99 % errechnet sich ein potenzielles Wärmeaufkommen bzw. Endenergiepotenzial zwischen 325 und 515 PJ/a. Wird demgegenüber ein ausschließlicher Einsatz in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Kraft-Wärme-Kopplung unterstellt und hier von einem thermischen Wirkungsgrad zwischen 55 und 60 % ausgegangen, ermittelt sich eine potenziell bereitstellbare Wärme von rund 200 bis 312 PJ/a (d. h. technisches Erzeugungspotenzial) bzw. ein technisches Endenergiepotenzial von 180 bis 295 PJ/a.

## 12.4 Ausblick

Die im Wesentlichen im landwirtschaftlichen Sektor bestehenden technischen **Potenziale der Biogasgewinnung** in Deutschland **sind beachtlich** und energiewirtschaftlich relevant. Die Potenzialnutzung erfolgt bisher jedoch auf einem nur sehr geringen Niveau. Insbesondere die Nutzung der verfügbaren **Wärmeenergie** sollte zukünftig weiter vorangetrieben werden, um die Energieressourcen wesentlich **besser auszunutzen**. Die Wärmeenergie kann erheblich zum wirtschaftlichen Ertrag einer Biogasanlage beitragen, was durch die Darstellung der Potenziale der Wärmebereitstellung verdeutlicht wird.

Die zur Erschließung dieser Potenziale eingesetzte **Anlagentechnik hat sich** in den letzten Jahren erheblich **weiterentwickelt** und ist **verlässlicher** sowie **betriebsicherer** geworden. Die meisten Systemkomponenten weisen jedoch noch Verbesserungspotenziale aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht auf. Damit diese in den nächsten Jahren erschlossen werden können, dürften sich modulare, standardisierte Systeme weiter durchsetzen.

Der **Biogasanlagenbestand** hat sich in Deutschland in den vergangenen vier Jahren fast verdoppelt. Die Gesamtleistung der Anlagen ist von etwa 45 MW<sub>el</sub> (1999) auf 180 MW<sub>el</sub> (Mitte 2003) angestiegen, wobei die durchschnittlich pro Anlage installierte elektrische Leistung von 53 auf 110 kW<sub>el</sub> zugenommen hat. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Trend fortsetzt.

Ungeachtet der mittelfristig noch zu lösenden Probleme stellt die **Gewinnung und Nutzung von Biogas** schon jetzt eine **ausgereifte und marktgängige Technologie** dar. Sie ist als eine **vielversprechende Option zur Nutzung regenerativer Energien** anzusehen, die in den nächsten Jahren verstärkt zu einer nachhaltigen Energiebereitstellung sowie zur Senkung der Emission von Treibhausgasen wird beitragen können. Die vorliegende Handreichung soll einen Beitrag zu dieser Entwicklung leisten.

## 12.5 Literaturverzeichnis

- /12-1/ Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse; Springer, Berlin, Heidelberg, 2001
- /12-2/ Wilfert, R., Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse; DBU Projekt; 1. Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- /12-3/ Kaltschmitt, M., Merten, D., Falkenberg, D.: Regenerative Energien – Stand 2001; BWK 54 (2002), 4, S. 66-74
- /12-4/ Kaltschmitt, M., Merten, D.: Biogas als regenerative Energie im Energiesystem; Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven. VDI-Berichte 1620; 2001, S. 1-18
- /12-5/ Weiland, P., Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179), 1. Zwischenbericht, Institut für Technologie und Systemtechnik / Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, 2001
- /12-6/ Schillig, F.: Persönliche Mitteilung; ECOfys GmbH, Köln, Dezember 2000
- /12-7/ Kaltschmitt, M., Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energieträger in Deutschland - Potenziale und Kosten; Springer, Berlin, Heidelberg, 1993

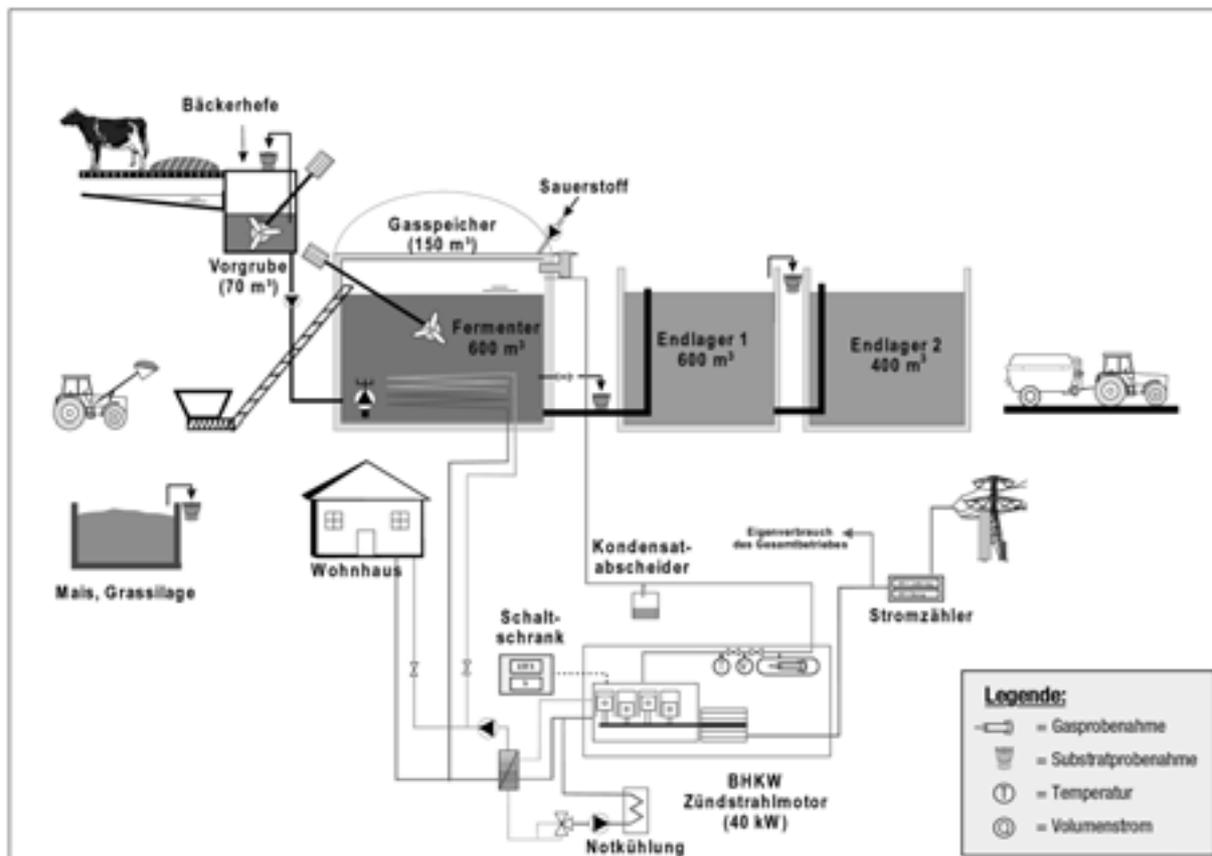




# 13 Beispielprojekte

In diesem Kapitel werden drei Beispiele für mögliche Biogasanlagen dargestellt. Um dem Leser einen möglichst umfassenden Überblick über die möglichen Anlagenkonfigurationen zu geben, werden hier Anlagen in drei verschiedenen Größenkategorien abhängig von der installierten elektrischen Leistung gezeigt.

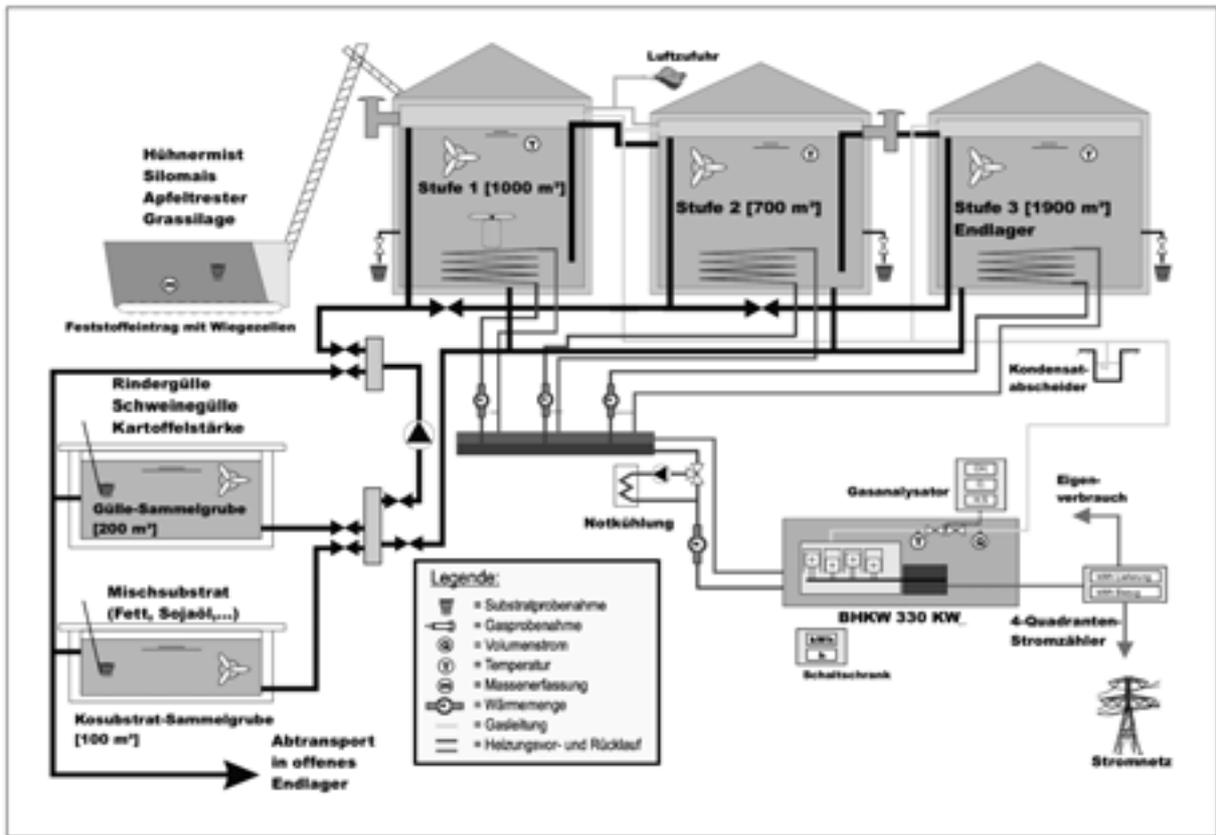
13.1 Beispiel 1 (bis 75 kW<sub>el</sub>)



<b>Allgemeine Daten:</b>		
Tierbesatz:		Milchviehhaltung, plus Nachzucht (ca. 150 GV)
Nachwachsende Rohstoffe:		Silomais, Grassilage
weitere Kosubstrate:		Rasenschnitt, Bäckerhefe
<b>Biogasanlage:</b>		
Anzahl Fermenter:	[Stk]	1
Reaktorsystem:		stehend
Arbeitsvolumen:	[m³]	540
Betriebstemperatur:	[°C]	mesophil
Vorgrube:	[m³]	70
Endlager:	[m³]	600 bzw. 400
<b>BHKW:</b>		
Anzahl BHKW:		1
Typ:		Zündstrahlaggregat
elektrische Nennleistung:	[kW]	40

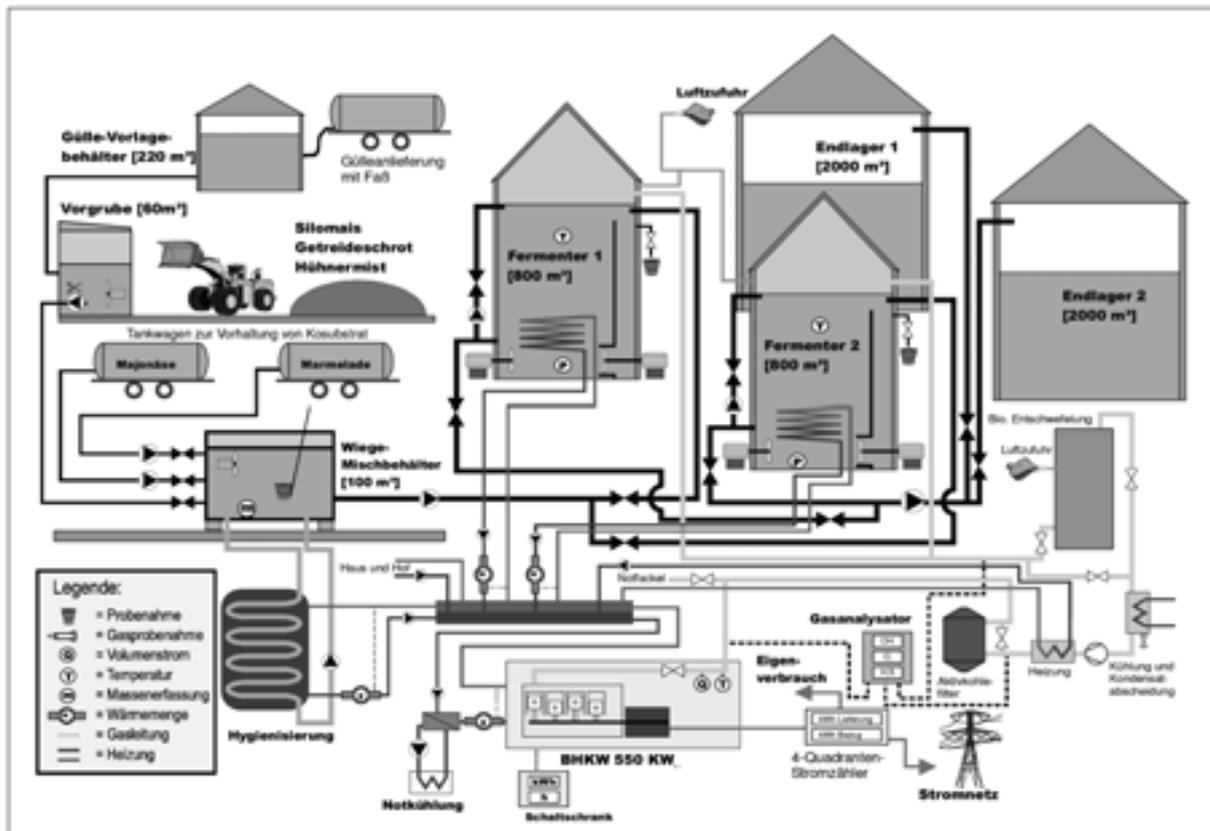


13.2 Beispiel 2 (75-500 kW<sub>el</sub>)



<b>Allgemeine Daten:</b>		
Tierbesatz:		3.000 Mastschweine 130.000 Masthähnchen 60 Mastbullen
Nachwachsende Rohstoffe: weitere Kosubstrate:		Silomais, Grassilage Schlempe, Sojaöl, Fett, Kartoffelstärke, Gemüse, Apfelmelasse
<b>Biogasanlage:</b>		
Anzahl Fermenter:	[Stk]	2 (in Reihe betrieben)
Reaktorsystem:		stehend
Arbeitsvolumen:	[m³]	950 bzw. 650
Betriebstemperatur:	[°C]	40
Vorgrube:	[m³]	100 bzw. 200
Endlager:	[m³]	1850 (gasdicht, beheizt)
<b>BHKW:</b>		
Anzahl BHKW:		1
Typ:		Gasmotor
Anzahl Zylinder:		12
elektrische Nennleistung:	[kW]	330
elektrischer Wirkungsgrad:	[%]	33,3

13.3 Beispiel 3 (ab 500 kW<sub>el</sub>)



**Allgemeine Daten:**

Tierbesatz: 650 Mastschweine  
90.000 Masthähnchen  
Nachwachsende Rohstoffe: Silomais  
weitere Kosubstrate: Stärkeabfälle, Mayonnaise, Fruchtsaft, Weizenschrot

**Biogasanlage:**

Anzahl Fermenter: [Stk] 2 (parallel betrieben)  
Reaktorsystem: stehend  
Arbeitsvolumen: [m³] je 800  
Betriebstemperatur: [°C] 38  
hydraulische Verweilzeit: [d] ca. 73  
Raumbelastung: [kg oTS/m³d] 3,0  
Endlager: [m³] 4.000 (nicht gasdicht)

**BHKW:**

Anzahl BHKW: 1  
Typ: Gasmotor  
Anzahl Zylinder: 12  
elektrische Nennleistung: [kW] 550  
elektrischer Wirkungsgrad: [%] 32,5

**Kontaktadressen:**

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)**

Hofplatz 1  
18276 Gülzow  
Tel.: 0 38 43 - 69 30-199  
Fas: 0 38 43 - 63 30-102  
[www.bio-energie.de](http://www.bio-energie.de)

**Fachverband Biogas e. V.**

Angerbrunnstr. 12  
85356 Freising  
Tel.: 0 81 61 - 98 46 60  
Fax: 0 81 61 - 98 46 70  
[www.biogas.org](http://www.biogas.org)

**Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB)**

Abteilung Bioverfahrenstechnik  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam-Bornim  
Tel.: 03 31 - 56 99-110  
Fax.: 03 31 - 5 49 63-10  
[www.atb-potsdam.de](http://www.atb-potsdam.de)

**Fachhochschule Deggendorf**

Biogassysteme und Klimaschutz  
Edlmairstraße 6 + 8  
94469 Deggendorf  
Te.: 09 91 - 36 15-0  
Fax : 09 91 - 36 15-297  
[www.fh-deggendorf.de](http://www.fh-deggendorf.de)

Informationen können ebenfalls über die zuständigen  
Landwirtschaftskammern und -ämter bezogen wer-  
den.

**Erstellt wurde die Handreichung durch:**

**Institut für Energetik und Umwelt gGmbH**

Torgauer Str. 116  
04347 Leipzig  
Tel.: 03 41 - 24 34-412  
Fax: 03 41 - 24 34-433  
[www.ie-leipzig.de](http://www.ie-leipzig.de)

**Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft**

Institut für Technologie und Biosystemtechnik  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Tel.: 05 31 - 5 96-41 02  
Fax: 05 31 - 5 96-41 99  
[www.fal.de](http://www.fal.de)

**Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Land-  
wirtschaft e. V.**

Bartningstr. 49  
64289 Darmstadt  
Tel.: 0 61 51 - 7 00 10  
Fax: 0 61 51 - 70 01-123  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)