



**Stand der Technik beim Bau  
und Betrieb von Biogasanlagen**  
Bestandsaufnahme 2008



# **Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen**

## **Bestandsaufnahme 2008**

von

**Jan Postel**

**Dr. Uwe Jung**

**Erik Fischer**

**Dr. Frank Scholwin**

Deutsches BiomasseForschungsZentrum  
gemeinnützige GmbH, Leipzig

im Auftrag des Forschungszentrums Jülich GmbH, PTJ

gefördert durch das Marktanreizprogramm des Bundesministeriums  
für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

mit fachlicher Begleitung des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3873](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3873) verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Email: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Fachbegleitung: Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer  
Tim Hermann

Dessau-Roßlau, Dezember 2009

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 Ziel des Papiers</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Vorgehensweise.....	2
2.2 Betrachtungsumfang und Grenzen.....	2
2.3 Definitionen und Erläuterungen.....	4
2.3.1 "Stand der Technik".....	4
2.3.2 Substrate.....	5
2.3.3 Betriebsstoffe, Chemikalien.....	6
2.3.4 Emissionen.....	6
2.3.4.1 Gasförmige Emissionen.....	7
2.3.4.2 Flüssige Emissionen.....	7
2.3.4.3 Weitere Emissionen.....	7
2.4 Anbieterbefragung.....	8
2.4.1 Vorgehensweise.....	8
2.4.2 Ergebnisse.....	8
2.4.2.1 Substratanlieferung und Registrierung.....	9
2.4.2.2 Substratentladung.....	9
2.4.2.3 Substratlagerung.....	10
2.4.2.4 Substrataufbereitung.....	11
2.4.2.5 Substrateinbringung.....	12
2.4.2.6 Fermenterbauformen.....	13
2.4.2.7 Materialien im Behälterbau.....	14
2.4.2.8 Arten der Behälterbeheizung.....	14
2.4.2.9 Dämmstoffe.....	15
2.4.2.10 Abdeckungen.....	15
2.4.2.11 Durchmischungssysteme.....	15
2.4.2.12 Biogasspeicherung.....	16
2.4.2.13 Biogasreinigung.....	17
2.4.2.14 Biogasverwertung.....	18
2.4.2.15 Abwärmenutzung von KWK-Anlagen.....	19
2.4.2.16 Gärrestlager.....	20
2.4.2.17 Gärrestaufbereitung.....	20
2.4.2.18 Betriebsweisen - Prozessführung.....	21
2.4.2.19 Betriebsweisen - Prozesstemperatur.....	22
2.4.2.20 Betriebsweisen - prozessbegleitende Maßnahmen.....	22

2.4.3	Fazit .....	22
2.5	Literatur.....	24
<b>3</b>	<b>Anlagentechnik.....</b>	<b>25</b>
3.1	Substratmanagement.....	25
3.1.1	Substratbereitstellung - Substratanlieferung .....	25
3.1.1.1	Feststoffannahme.....	25
3.1.1.2	Flüssigkeitsannahme.....	29
3.1.2	Substratlagerung.....	32
3.1.2.1	Feststofflagerung .....	32
3.1.2.2	Flüssigkeitslagerung.....	41
3.1.3	Substrataufbereitung.....	47
3.1.3.1	Mechanische Aufbereitung.....	47
3.1.3.2	Biochemische Aufbereitung.....	56
3.1.3.3	Sonstige Aufbereitung .....	60
3.1.4	Substrateinbringung .....	62
3.1.4.1	Feststoffeintrag .....	62
3.1.4.2	Flüssigkeitseintrag.....	69
3.2	Biogaserzeugung.....	69
3.2.1	Fermenterbauformen .....	69
3.2.1.1	Volldurchmischte Fermenter (Rührkesselprinzip).....	69
3.2.1.2	Pfropfenstromfermenter .....	72
3.2.1.3	Boxenfermenter.....	74
3.2.1.4	Fermenter in Sonderbauformen .....	77
3.2.2	Durchmischungssysteme .....	80
3.2.2.1	Mechanische Durchmischung (Rührwerke).....	80
3.2.2.2	Hydraulische Durchmischung.....	83
3.2.2.3	Pneumatische Durchmischung.....	85
3.2.3	Leitungsgebundene Transportvorgänge .....	86
3.2.3.1	Rohre .....	86
3.2.3.2	Armaturen .....	86
3.2.3.3	Pumpen.....	87
3.2.4	Elemente zur Temperaturführung .....	88
3.2.4.1	Beheizung .....	88
3.2.4.2	Isolierung.....	90
3.3	Biogasnutzung .....	91
3.3.1	Gaslogistik .....	91
3.3.1.1	Rohre, Armaturen, Verdichter .....	91
3.3.1.2	Behältergebundene Speichersysteme.....	93
3.3.1.3	Externe Speichersysteme .....	95
3.3.2	Gasaufbereitung.....	97
3.3.2.1	Entfernung von Feuchte, Aerosolen und Spurengasen.....	97
3.3.2.2	Aufbereitung zu Erdgas- bzw. Treibstoffqualität.....	99
3.3.3	Gasverwertung.....	100

3.3.3.1	Thermische Nutzung .....	100
3.3.3.2	Gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme bzw. Kälte .....	101
3.3.3.3	Einspeisung in Gasnetze und Treibstoffnutzung .....	104
3.4	Gärrestmanagement .....	105
3.4.1	Gärrestlagerung .....	105
3.4.1.1	Feste Gärreste .....	105
3.4.1.2	Flüssige Gärreste .....	107
3.4.2	Gärrestenachbehandlung und Verwertung .....	110
3.4.2.1	Feste Gärreste .....	110
3.4.2.2	Flüssige Gärreste .....	111
3.5	Literatur .....	113
<b>4</b>	<b>Anlagenbetriebsweise .....</b>	<b>114</b>
4.1	Verfahrensvarianten .....	114
4.1.1	Trockensubstanzgehalt .....	114
4.1.2	Anzahl der Prozessphasen und Prozessstufen .....	115
4.1.3	Prozesstemperaturführung .....	118
4.1.4	Prozessunterstützende Zusatzstoffe .....	120
4.2	Betriebsziele .....	120
4.2.1	Stoffliche Ausrichtung .....	121
4.2.2	Energetische Ausrichtung (Stromerzeugung) .....	121
4.3	Überwachungs- und Regelungskonzepte .....	123
4.3.1	Prozessüberwachung .....	123
4.3.2	Prozessregelung .....	126
4.3.2.1	Technische Grundlagen .....	126
4.3.2.2	Regelungstechnische Beispiele .....	127
4.4	Literatur .....	128
<b>5</b>	<b>Übergreifende Umweltschutz- und Sicherheitsaspekte .....</b>	<b>129</b>
5.1	Umweltschutz .....	129
5.1.1	Sicherung der Hygienisierungsanforderungen gem. Verordnung (EG) Nr. 1774/02 .....	129
5.1.2	Sicherung der Luftreinhaltung (Abluftreinigung) .....	132
5.1.2.1	Behandlung der Prozessabluft .....	132
5.1.2.2	Behandlung nichtverwertbaren Biogases (Gasfackel) .....	133
5.1.2.3	Behandlung von Motorenabgasen .....	134
5.1.3	Gewässerschutz .....	135
5.1.4	Lärmschutz .....	136
5.1.5	Naturschutz .....	137
5.2	Anlagenschutz .....	137
5.2.1	Explosionsschutz .....	137
5.2.1.1	Gefährdungsbeurteilung und Explosionsschutzdokument .....	138
5.2.1.2	Vermeiden gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre .....	139
5.2.1.3	Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche .....	139
5.2.1.4	Vermeidung von Zündquellen .....	140

---

5.2.1.5	Konstruktiver Explosionsschutz.....	143
5.2.2	Brandschutz .....	144
5.2.3	Wartung und Instandhaltung .....	144
5.3	Arbeitsschutz .....	145
5.3.1	Gefährdungsbeurteilung.....	145
5.3.2	Betriebsanweisung.....	146
5.3.3	Arbeitsstätte .....	146
5.3.4	Arbeitsmittel und überwachungsbedürftige Anlagen .....	147
5.3.5	Gefahrstoffe .....	148
5.3.6	Biologische Arbeitsstoffe .....	150
5.4	Literatur.....	151
<b>Anhang</b>	.....	<b>154</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2.1	Schema Betrachtungsumfang.....	4
Abbildung 2.3.1	Herkunft von Substraten (unter Verwendung von /2/).....	5
Abbildung 2.4.1	Substratanlieferung und Registrierung .....	9
Abbildung 2.4.2	Substratentladung .....	10
Abbildung 2.4.3	Substratlagerung .....	11
Abbildung 2.4.4	Substrataufbereitung .....	12
Abbildung 2.4.5	Substrateinbringung .....	13
Abbildung 2.4.6	Fermenterbauformen .....	13
Abbildung 2.4.7	Materialien im Behälterbau .....	14
Abbildung 2.4.8	Varianten der Behälterbeheizung.....	14
Abbildung 2.4.9	Materialien zur Wärmedämmung .....	15
Abbildung 2.4.10	Arten der Behälterabdeckung .....	15
Abbildung 2.4.11	Durchmischungssysteme .....	16
Abbildung 2.4.12	Gasspeicherung .....	17
Abbildung 2.4.13	Biogasreinigung.....	18
Abbildung 2.4.14	Biogasverwertung .....	19
Abbildung 2.4.15	Abwärmenutzung von KWK-Anlagen.....	19
Abbildung 2.4.16	Gärrestlager .....	20
Abbildung 2.4.17	Gärrestaufbereitung .....	21
Abbildung 2.4.18	Anzahl der Prozessstufen .....	21
Abbildung 2.4.19	Prozesstemperatur .....	22
Abbildung 2.4.20	Prozessbegleitende Maßnahmen .....	22
Abbildung 3.1.1	Landwirtschaftlicher Transport (links), Sammelfahrzeug (Mitte), Müllgroßbehälter (rechts); Fotos: DBFZ .....	26
Abbildung 3.1.2	Fahrzeugwaage; Fotos: DBFZ.....	26
Abbildung 3.1.3	Entladen in Aufnahmetrichter zur Befüllung eines Hochsilos, Fotos: Weinzierl Lager- und Fördertechnik (beide).....	27
Abbildung 3.1.4	Eintanken in eine geschlossene Vorgrube; Foto: DBFZ.....	30
Abbildung 3.1.5	Schematische Darstellung eines Festmistlager; Abbildung: Wasserwirtschaftsamt Ansbach.....	32
Abbildung 3.1.6	Zweiseitig eingefasstes Fahrsilo mit Asphaltdecke und Bitumenanstrich (links); Fahrsilo mit Bitumenanstrich und teilweise geöffneter Querrinne (Mitte); Fahrsilo mit Schutzanstrich (rechts); Fotos: DBFZ (alle).....	34
Abbildung 3.1.7	Getreidesilo mit direkter Dosierung in den Fermenter (links); Hochsilos zur Flüssigkonservierung (rechts); Fotos: DBFZ (links), Lipp (rechts).....	35
Abbildung 3.1.8	Folienschlauchsilo, Schema Tunnelquerschnitt bei der Verwendung von Folienbahnen; Fotos/ Abbildung: DBFZ, Alka Maschinen .....	36
Abbildung 3.1.9	Annahmehalle, Foto: DBFZ.....	39
Abbildung 3.1.10	Oberirdische Güllelager aus Stahl (links: geschraubte Platten, rechts: gewickelte Blechbahnen); Fotos: Henze-Harvestore (links), Lipp (rechts).....	43

Abbildung 3.1.11	Vorgrube - Unterflur mit Betondeckel, Foto: DBFZ .....	45
Abbildung 3.1.12	Vierwellenzerkleinerer (links), Zweiwellenzerkleinerer (rechts), Fotos: UNTHA shredding technology (links), Komptech (rechts).....	48
Abbildung 3.1.13	Zweiwellenzerkleinerer; Fotos: Börger (beide) .....	48
Abbildung 3.1.14	Lochscheibenzerkleinerer mit Drehkolbenpumpe; Foto: Vogelsang .....	48
Abbildung 3.1.15	Mischschnecke mit Messerbesatz (links), Hammermühle (Mitte), Feldhäcksler (rechts); Fotos: DBFZ (links), Riela (Mitte), Claas (rechts).....	49
Abbildung 3.1.16	Sternsieb (links), Trommelsieb (rechts); Fotos: Komptech (links), Maschinenbau Lohse (rechts) .....	50
Abbildung 3.1.17	ballistischer Separator; Foto: Komptech .....	50
Abbildung 3.1.18	Sandabscheider, Hydrozyklon; Abbildung: Maschinenbau Lohse.....	51
Abbildung 3.1.19	Absetzbecken; Foto: Passavant-Geiger.....	51
Abbildung 3.1.20	Stofflöser (links), Schema hydromechanische Aufbreitung mit Pulper und Sandabscheidung (rechts): Fotos: Komptech (links), BTA International (rechts).....	52
Abbildung 3.1.21	Extruder; Foto: DBFZ .....	54
Abbildung 3.1.22	Überblick Feststoffeintrag.....	62
Abbildung 3.1.23	Eintrag in die Flüssigkeitsleitung; Foto: Vogelsang .....	64
Abbildung 3.1.24	Feststoffeintragungssysteme; Fotos: DBFZ .....	68
Abbildung 3.1.25	Drehkolbenpumpe; Foto: DBFZ.....	69
Abbildung 3.2.1	Beispiele für volldurchmischte Fermenter in Betonbauweise; Ortbeton (links), Segmentbauweise (Mitte), abgesenkter Fermenter (rechts); Fotos: DBFZ (links), Drössler GmbH (Mitte), Energievision Frankenwald (rechts) .....	70
Abbildung 3.2.2	Beispiele für volldurchmischte Fermenter in Stahlbauweise; geschraubte Platten (links), gewickelte Blechbahnen, Prinzip (rechts); Fotos: GLS Tanks International GmbH (links), Lipp GmbH (rechts).....	71
Abbildung 3.2.3	Beispiele für liegende Pfropfenstromfermenter; liegender Fermenter, zylindrisch (links), rechteckig, mit aufgesetztem Gasspeicher (rechts); Fotos: Novatech GmbH (links), DBFZ (rechts).....	73
Abbildung 3.2.4	Abbildung 3.2.4. Beispiele für stehende Pfropfenstromfermenter; ohne Einbauten, Höhe = 30 m, Volumen = 1.200 m <sup>3</sup> (links); mit eingebauter Trennwand (rechts); Fotos: Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Bassum (links), Valorga International SAS. (rechts).....	74
Abbildung 3.2.5	Beispiele für stationäre Boxenfermenter; Tür zur Seite (links), Tür nach oben (rechts); Fotos: DBFZ (links), Bekon GmbH (rechts).....	75
Abbildung 3.2.6	Beispiele für mobile Boxenfermenter; Einschubfermenter mit Abrollcontainer (links, Mitte), Komplettsystem (rechts); Fotos: Bioferm GmbH (links, Mitte), ESC Corp. (rechts) .....	76
Abbildung 3.2.7	Beispiele für Sonderbauformen in der Nassvergärung; Mehrkammersystem als Ring-In-Ring-Anordnung (links), Pfefferkornprinzip (Mitte), Ovalfermenter in Doppelkammer (rechts); Fotos: Lehner Bau GmbH & Co.KG (links), Agronet GmbH (Mitte), F.....	78

Abbildung 3.2.8	Beispiele für Sonderbauformen in der Feststoffvergärung; Folienschlauchvergärung (links), Aufstauverfahren (Mitte links), durchmischte Boxenfermenter (Mitte rechts), Methanstufe des Trocken-Nassvergärungsverfahrens und externer Gasspeicher .....	79
Abbildung 3.2.9	Technik schnell drehender Rührwerke; Tauchmotorrührwerk (links); Hydraulikaggregat für Tauchrührwerk (rechts); Fotos: Odermatt Umwelttechnik AG (links), U.T.S. Biogastechnik GmbH (rechts) .....	81
Abbildung 3.2.10	Beispiele für langsam drehende Rührwerke; von links: Seitenrührwerk mit Paddel/Haspel, zentrales Axialrührwerk mit Propeller, exzentrisches Axialrührwerk für große Behälter mit Mittelstütze, frei schwebendes Langachsührwerk, .....	82
Abbildung 3.2.11	Beispiele für hydraulische Durchmischung; Gasdruck-Mischverfahren (links), Rührdüse für Zwangsumwälzung (rechts); Fotos: Biogashandbuch Bayern (beide) .....	84
Abbildung 3.2.12	Grundprinzipien für pneumatische Durchmischung; Gasbedüsung (links), Gaslift (rechts); Skizzen: DBFZ .....	85
Abbildung 3.2.13	Beispiele für integrierte Heizung; Heizrohre an Behälterinnenwand (links), Heizrohre bei Verlegung in die Wand, Sandwichbauweise (rechts); Fotos: Weltec Biopower (links), DBFZ (rechts) .....	89
Abbildung 3.2.14	Beispiele für Behälterisolierungen; von links: Bodenisolierung, Wandverkleidung im Bodenbereich, Sprühschaum, Trapezblechverkleidung quer an Boxenfermenter; Fotos: alle DBFZ, außer 3.v.l.: Pluimers Isolatie bv. ....	90
Abbildung 3.2.15	Wärmeverluste an einem Rundbehälter mit Foliendach; Fotos: DAS-IB GmbH .....	91
Abbildung 3.3.1	Vorrichtungen zur störungsarmen Gasabfuhr; Links: Gasrohreinlass mit Öffnung nach oben (links die Substratzufuhr); Rechts: Gasdom mit hydraulischer Über-, Unterdrucksicherung sowie Schaumfalle und Gasabgang .....	92
Abbildung 3.3.2	Lüftungsmanagement in geschlossenem Raum; Skizze: DAS-IB GmbH .....	93
Abbildung 3.3.3	Beispiele für Behälterabdeckungen; Links: Betondecke von unten mit Pilzsäule; Rechts: Prinzipskizze zum Doppelmembranspeicher (hier als Tragluftdach); Fotos: ... (links), Biogashandbuch Bayern (rechts) .....	93
Abbildung 3.3.4	Systeme zur Foliendachdichtung; Links: Seeger-Verschluss mit Schiene in Behälterwand; Mitte: Außenklemmschiene; Rechts: Anbringen eines Pressschlauches an Außenklemmschiene; Fotos: Biogashandbuch Bayern (links) .....	94
Abbildung 3.3.5	Beispiele für externe Gasspeicher; Links: Folienspeicher in Gebäude; Rechts: freistehende Doppelmembranspeicher .....	96
Abbildung 3.3.6	Vorrichtungen zur Biogasaufbereitung; Links, Mitte Links: Kondenswasserabfuhr aus einer Gasleitung; Mitte: Entschwefelung durch Lufoxidation; Rechts: Gaswäsche in Füllkörperkolonne; Fotos: alle DBFZ .....	98
Abbildung 3.3.7	Beispiele für thermische Biogasnutzung; Links: Prinzip des atmosphärischen Brenners; Rechts: Gebläsebrenner .....	101
Abbildung 3.3.8	Beispiele zur gekoppelten Kraft-Wärme-Erzeugung; Links: BHKW bei der Montage; Mitte: Wärmeauskopplung an Wärmeverteilstation; Rechts: Prinzip der Kälteerzeugung aus Wärme; Fotos: DBFZ .....	102

Abbildung 3.3.9:	NO <sub>x</sub> , CO und C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> als Funktion der Luftüberschusszahl, ergänzt um die Komponente Formaldehyd (qualitativ) [Quelle: GE-Jenbacher GmbH (Firmenschrift); ergänzt] .....	103
Abbildung 3.3.10	Übergabe von aufbereitetem Biogas zur weiteren Nutzung mit einer Gaseinspeisestation .....	104
Abbildung 3.4.1	Pressschnecke (links), Membran-Containeranlage mit Ultrafiltration und Umkehrosmose (rechts); Fotos: FAN Separator (links), Haase Energietechnik (rechts) .....	112
Abbildung 4.1.1	Durchfluss-Verfahren (zweiphasig, zweistufig) /1/ .....	116
Abbildung 4.1.2	Speicher-Verfahren (zweiphasig, zweistufig) /1/ .....	116
Abbildung 4.1.3	Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren (zweiphasig, dreistufig) /1/ .....	116
Abbildung 4.1.4	Diskontinuierliches Verfahren mit Perkolattank und Viererbatterie .....	117
Abbildung 4.3.1	Über-/Unterdrucksicherung; Einbausituation und Prinzipskizze; Foto: DBFZ; Skizze: KD-System .....	124
Abbildung 4.3.2	Links: Bestimmung der Gasmenge durch Umspannseil mit Winkelsensor; Rechts: Bestimmung durch Näherungsinhibitoren (rechts); Foto: DBFZ .....	124
Abbildung 4.3.3	Gasmessgeräte; Links: stationäres Gerät; Rechts: mobiles Gerät für Einzelanalysen, auch einstellbar für Personenschutz; Fotos: DBFZ, Sewerin .....	125
Abbildung 4.3.4	Prinzip der Füllstands- bzw. Schaummessung .....	125
Abbildung 4.3.5	Modellbasierte Anlagenregelung am Beispiel der dynamischen Betriebsführung; Skizze: UTEC /5/ .....	126
Abbildung 4.3.6	Gasstandsregelung nach dem Mehrmotorenprinzip /Fiedler/ .....	127
Abbildung 5.1.1	Hygienisierung; Foto: TEWE Elektronik .....	130
Abbildung 5.1.2	Behälterwaschstraße; Foto: Refood .....	132
Abbildung 5.1.3	Flächenbiofilter; Foto: DBFZ .....	133
Abbildung 5.2.1	Kennzeichnung nach Richtlinie 94/9/EG; Abbildung: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz .....	141

Hinweis:

**Die im Papier bildlich dargestellten Anlagenteile sollen als Beispiele zur Veranschaulichung der beschriebenen Technologie dienen. Sie sind weder als Positiv- bzw. Negativbeispiele aufzufassen, noch sind die in den Quellen genannten Firmen als Empfehlungen anzusehen!**

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 3.1.1 Technische Eigenschaften Feststoffannahme .....	28
Tabelle 3.1.2 Emissionsverhalten Feststoffannahme .....	29
Tabelle 3.1.3 Sicherheitsmaßnahmen Feststoffannahme .....	29
Tabelle 3.1.4 Technische Eigenschaften Flüssigkeitsannahme .....	31
Tabelle 3.1.5 Emissionsverhalten Flüssigkeitsannahme .....	31
Tabelle 3.1.6 Sicherheitsmaßnahmen Flüssigkeitsannahme .....	31
Tabelle 3.1.7 Technische Eigenschaften Feststofflagerung .....	39
Tabelle 3.1.8 Emissionsverhalten Feststofflagerung .....	40
Tabelle 3.1.9 Sicherheitsmaßnahmen Feststofflagerung .....	41
Tabelle 3.1.10 Behältermaterialien .....	42
Tabelle 3.1.11 Behälterabdeckungen .....	43
Tabelle 3.1.12 Technische Eigenschaften Flüssigkeitslagerung .....	46
Tabelle 3.1.13 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen Flüssigkeitslagerung.....	46
Tabelle 3.1.14 Sicherheitsmaßnahmen Flüssigkeitslagerung .....	47
Tabelle 3.1.15 Technische Eigenschaften mechanische Aufbereitung .....	54
Tabelle 3.1.16 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen mechanische Aufbereitung.....	55
Tabelle 3.1.17 Sicherheitsmaßnahmen mechanische Aufbereitung .....	56
Tabelle 3.1.18 Technische Eigenschaften biochemische Aufbereitung .....	59
Tabelle 3.1.19 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen biochemische Aufbereitung .....	60
Tabelle 3.1.20 Sicherheitsmaßnahmen biochemische Aufbereitung .....	60
Tabelle 3.1.21 Technische Eigenschaften sonstiger Aufbereitungsverfahren.....	61
Tabelle 3.1.22 Emissionsverhalten sonstiger Aufbereitungsverfahren.....	62
Tabelle 3.1.23 Sicherheitsmaßnahmen sonstiger Aufbereitungsverfahren .....	62
Tabelle 3.1.24 Technische Eigenschaften direkter Feststoffeintrag .....	66
Tabelle 3.1.25 Emissionsverhalten direkter Feststoffeintrag .....	66
Tabelle 3.1.26 Sicherheitsmaßnahmen direkter Feststoffeintrag .....	66
Tabelle 3.1.27 Technische Eigenschaften Vorlagesysteme für Feststoffeintrag .....	68
Tabelle 3.1.28 Emissionsverhalten Vorlagesysteme für Feststoffeintrag .....	69
Tabelle 3.1.29 Sicherheitsmaßnahmen Vorlagesysteme für Feststoffeintrag .....	69
Tabelle 3.2.1 Übersicht über volldurchmischte Fermenter in Betonbauweise.....	70
Tabelle 3.2.2 Übersicht volldurchmischte Fermenter in Stahlbauweise .....	71
Tabelle 3.2.3 Übersicht Pfpfenstromfermenter liegend .....	73
Tabelle 3.2.4 Übersicht Pfpfenstromfermenter stehend .....	73
Tabelle 3.2.5 Übersicht stationäre Boxenfermenter .....	75
Tabelle 3.2.6 Übersicht mobile Boxenfermenter .....	76
Tabelle 3.2.7 Übersicht Sonderbauformen in der Nassvergärung.....	78
Tabelle 3.2.8 Übersicht Sonderbauformen bei der Feststoffvergärung.....	79
Tabelle 3.2.9 Übersicht schnell drehende Rührwerke .....	81
Tabelle 3.2.10 Übersicht langsam drehende Rührwerke.....	82

Tabelle 3.2.11 Potenzielle Emissionen durch Rührwerke .....	83
Tabelle 3.2.12 Potenzielle Sicherheitsrisiken bei Arbeiten an Rührwerken .....	83
Tabelle 3.2.13 Übersicht hydraulische Durchmischung.....	84
Tabelle 3.2.14 Übersicht pneumatische Durchmischung .....	85
Tabelle 3.2.15 Behälterbeheizung integriert .....	88
Tabelle 3.2.16 Behälterbeheizung extern .....	89
Tabelle 3.2.17 Behälterisolierungen .....	90
Tabelle 3.3.1 Übersicht Behälterabdeckungen und behältergebundene Gasspeicher .....	94
Tabelle 3.3.2 Übersicht externe Gasspeicher im Drucklos- und Niederdruckbereich .....	96
Tabelle 3.3.3 Übersicht Gasaufbereitung I (zur Verstromung) .....	97
Tabelle 3.3.4 Übersicht Gasaufbereitung II (zur Einspeisung/Treibstoffnutzung) .....	100
Tabelle 3.4.1 Technische Eigenschaften - Lagerung feste Gärreste .....	106
Tabelle 3.4.2 Emissionsverhalten - Lagerung fester Gärreste .....	106
Tabelle 3.4.3 Sicherheitsmaßnahmen - Lagerung fester Gärreste.....	107
Tabelle 3.4.4 Leistungsfähigkeit - Lagerung flüssiger Gärreste .....	107
Tabelle 3.4.5 Behälterabdeckungen .....	109
Tabelle 3.4.6 Emissionsverhalten - Lagerung flüssiger Gärreste .....	110
Tabelle 3.4.7 Sicherheitsmaßnahmen - Lagerung flüssiger Gärreste .....	110
Tabelle 3.4.8 Übersicht Gärrestenachbehandlung und Verwertung.....	112
Tabelle 4.1.1 Übersicht zur Temperaturführung bei mehrstufigem Betrieb.....	119
Tabelle 5.1.1 Technische Eigenschaften Hygienisierung/Sterilisation .....	131
Tabelle 5.1.2 Emissionsverhalten Hygienisierung/Sterilisation .....	131
Tabelle 5.1.3 Sicherheitsmaßnahmen Hygienisierung/Sterilisation.....	131
Tabelle 5.2.1 Definition der Explosionsschutzzonen für Gase und Aerosole nach Richtlinie 1999/92/EG .....	139
Tabelle 5.2.2 Zusammenstellung Gerätekategorie und EX-Zonen nach RL 94/9/EG.....	140
Tabelle 5.2.3 Zündquellen.....	141
Tabelle A.1 Betriebsstoffe, Chemikalien (Auswahl).....	156
Tabelle A.2 Gasförmige Emissionen bei Biogasanlagen (Auswahl).....	156
Tabelle A.3 Flüssige Emissionen bei Biogasanlagen (Auswahl).....	158
Tabelle A.4 Aerosole, Geruch, Lärm bei Biogasanlagen.....	158

## **Kurzfassung**

Das vorliegende Werk fasst Techniken zur Erzeugung von Biogas übersichtlich zusammen. Hierbei wird die Prozesskette der Biogasanlage in den Systemgrenzen vom Substrat- bis hin zum Gärrestmanagement betrachtet. Die einzelnen Prozesskettenglieder werden anhand ihrer Leistungsfähigkeit, ihrer Umwelt- und Sicherheitsrelevanz beurteilt. Im Zuge dessen werden Hinweise zur Vermeidung und Eindämmung von Havarien und deren Auswirkungen gegeben. Neben der technischen Bewertung von Anlagenkomponenten werden auch Betriebsweisen vorgestellt, die ebenfalls einer Bewertung im Hinblick auf die Umwelt- und Sicherheitsrelevanz unterzogen werden.

## **Abstract**

This paper gives a review of technologies, which are used for anaerobic treatment of biodegradable materials for producing biogas. The technological process chain from substrate handling up to management of fermentation residues is considered completely. Technical performance, environmental effect and safety requirements of single components within the process chain are evaluated. This includes proposals for avoiding accidents and reducing their impacts. Beside the technical consideration operation methods are described and also evaluated by means of called parameters. This paper also includes the summary of a survey of turn-key-vendors of biogas plants. It gives an overview of technologies, which are available and applied presently.





## 1 Ziel des Papiers

Das vorliegende Papier hat die Beschreibung des aktuellen Standes der Technik der Biogasgewinnung und –nutzung zum Ziel. Diese Beschreibung geht insbesondere auf Fragen der Umweltverträglichkeit, Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit von Anlagenkomponenten ein, da diese Aspekte die Basis der Anlagenbewertung in der Praxis darstellen. Hierbei werden alle Technologien zur Verarbeitung von Gülle und Energiepflanzen sowie von Bioabfällen und tierischen Nebenprodukten nach der Verordnung (EG) 1774/2002 betrachtet.

Anstoß zur Erstellung des Papiers zum Stand der Biogastechnik waren Erkenntnisse aus verschiedenen Studien wie beispielsweise dem Biogas-Messprogramm<sup>1</sup> und Erfahrungsberichten aus der Praxis mit sicherheitstechnischer und umweltrelevanter Bedeutung. Aufgrund der - je nach eingesetzter Technik - festgestellten Emissionen entstand eine breite Diskussion über die optimal einzusetzenden Verfahren in Bezug auf Umweltschutz, Anlagen- und Arbeitssicherheit. Neben dieser im Vordergrund stehenden Motivation zur Studienerstellung galt es auch die schnelle und vielfältige Weiterentwicklung der angebotenen Techniken zur Biogaserzeugung zu dokumentieren, da ihre Mannigfaltigkeit die Bewertung von Projekten, insbesondere für Akteure, die den Markt nicht durchgängig beobachten können, erschwert.

Für zukünftige Biogasprojekte soll das vorliegende Papier eine Bestandsaufnahme auf Basis des aktuellen Standes der Technik sein, um Basisinformationen für eine Effizienzsteigerung bei der Produktion des Energieträgers Biogas bei gleichzeitiger Emissionsminderung im Anlagenbetrieb bereitzustellen. So gilt es beispielsweise durch ein angepasstes Substratmanagement, geeignete Anlagentechnik und den optimalen Einsatz von sekundären Gasverwertungseinrichtungen die Verluste klimarelevanter Treibhausgase und anderer relevanter Emissionen im Verlauf der Biogasproduktion bis hin zur emissionsarmen Konversionsanlage von Biogas zu Strom und/oder Wärme wirkungsvoll zu reduzieren. Das Papier soll dabei auf den Bedarf von Ministerien, Genehmigungsbehörden, Fachbehörden, Planungsbüros, Hersteller und Investoren ausgerichtet sein, um als Basis für die Formulierung von sicherheitstechnischen oder ökologischen Anforderungen zu dienen.

---

<sup>1</sup> Ergebnisse des Biogas-Messprogramms, herausgegeben von der FNR e.V., 2005 (FKZ 22017900)

## 2 Grundlagen

### 2.1 Vorgehensweise

Um die Arbeit auf ein möglichst breites Fundament zu gründen, wurden zum einen Experten und Behörden (insbesondere Genehmigungsbehörden) über Workshops und direkte Gespräche in die Erstellung einbezogen, zum anderen wurden existente Werke wie Technikübersichten aber auch Leitlinien für Errichtung und Betrieb von Biogasanlagen herangezogen. Weitere Informationen wurden durch eine Technikrecherche in Literatur, Internet, direkte Gespräche auf Messen mit Herstellern und Anbietern von Biogasanlagen und Komponenten sowie im Rahmen von Anlagenbesichtigungen gewonnen. Eine Umfrage unter Komplettanbietern von Biogasanlagen diente der Darstellung des Ist-Zustandes bezüglich Art und Umfang der aktuell angebotenen Verfahren und Techniken (Fragebogenaktion).

Das Hauptaugenmerk des vorliegenden Papiers liegt auf der Beschreibung verfügbarer Techniken der Biogaserzeugung. Hierzu wird die gesamte Prozesskette beginnend bei der Substratanlieferung bis hin zur Gärrestbehandlung und Biogasverwertung betrachtet (Kapitel 3). Dabei werden entsprechend des Prozessablaufs die einzelnen Prozessschritte und die jeweils angewandte Technik nach ihrer Leistungsfähigkeit, ihrem Emissionsverhalten und ihrem Sicherheitsverhalten bewertet. Darüber hinaus werden Hinweise zu hauptsächlichen Einsatzbereichen einer Technik, z.B. Rundbehälter mit Tauchmotorrührwerken bei Nassvergärung, externe Entschwefelung bei Abfallvergärungsanlagen und dergleichen gegeben. Anlagenteile wie Rohrleitungen und Armaturen sind in allen Prozessschritten anzutreffen, also übergreifend und werden daher zusammenfassend dargestellt. Die möglichen Emissionen von Biogasanlagen und deren Wirkungen werden separat den Kapiteln zur Beschreibung des Standes der Technik vorangestellt (Kapitel 2). Hier werden Stoffe kurz beschrieben und entsprechend ihrer Klima-, Umwelt- und Gesundheitsrelevanz bewertet. Die in Kapitel 2 beschriebenen Emissionen sind im Anhang des Papiers tabellarisch zusammengefasst. Auch allgemeine Sicherheitsaspekte, die auf die gesamte Prozesskette zutreffen, werden zentral in einem eigenen Kapitel betrachtet (Kapitel 5). Dort erfolgt die thematische Gliederung nach Anlagenschutz, Arbeits- und Personenschutz sowie Umweltschutz, sodass in den Kapiteln zur Beschreibung des Standes der Technik hierauf verwiesen werden kann. Ein eigenes Kapitel wurde auch der Bewertung von Anlagenkonzepten und Betriebsweisen gewidmet, um die Vielzahl von Anlagenkonzepten und -fahrweisen sowie der Prozessunterstützungs- und -regelungsmaßnahmen zu erfassen (Kapitel 4). Auf ein Kapitel zu den Grundlagen der Biogaserzeugung wurde bewusst verzichtet, da hier schon umfangreiche Werke wie z.B. Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung existieren und bei Bedarf herangezogen werden können.

### 2.2 Betrachtungsumfang und Grenzen

Im Folgenden soll der Betrachtungsumfang definiert werden. Im Vordergrund stehen dabei die Biogaserzeugung und alle damit verbundenen notwendigen Prozessschritte von der Substrataufbereitung bis hin zur Konditionierung des Gases für die energetische Nutzung. Die prozessspezifischen Schritte der Biogaserzeugung und -aufbereitung umfassen:

- Substratlagerung und -aufbereitung,
- innerbetrieblicher Substrattransport,
- Substrateinbringung,
- Fermentationsprozess,
- Biogasspeicherung und -reinigung.

Diese Schritte stehen im Zentrum der Biogasbereitstellung und grenzen an Arbeitsschritte, die sowohl in der Biogasbranche, als auch in anderen Branchen wie beispielsweise der klassischen Landwirtschaft

eingesetzt werden können. Einige dieser Prozesse sind für den reibungslosen Ablauf der Biogaserzeugung nötig und müssen somit betrachtet werden. Andere Prozessschritte, die teilweise die Verwertung der Haupt- und Nebenprodukte des Biogasprozesses beschreiben, werden in Bezug auf die Darstellung des Gesamtprozesses genannt und am Rande betrachtet.

Die Substratbereitstellung außerhalb der Betriebsgrenzen der Biogasanlage ist gekennzeichnet durch Anbau und Ernte sowie Transport von Energiepflanzen, die Sammlung landwirtschaftlicher, kommunaler und industrieller Abfallstoffe und die Bereitstellung von Wirtschaftsdünger aus Tierhaltungsbetrieben. Die Substratbereitstellung stellt den Beginn der Prozesskette der Biogaserzeugung dar, ist aber durch allgemeine land- oder abfallwirtschaftliche Verfahren gekennzeichnet, sodass die Betrachtung ab Substratübergabe an die Biogasanlage (Betriebsgrenze) erfolgt, da hier oft speziell auf die Biogasproduktion abgestimmte Schritte wie Probennahme, Gütekontrolle, Wiegung und Zwischenlagerung notwendig werden. Die Lagerung von vor allem landwirtschaftlichen Substraten und Rückständen ist ein typischer Prozessschritt aus der Nutztierhaltung. Durch Anwendung der Verfahren und deren teilweiser Anpassung an die Biogastechnologie (z.B. gasdicht abgedeckte Gärrestlager), sind dies notwendige Schritte für ein Funktionieren der Biogasanlage, ggf. auch Voraussetzung für deren Genehmigung und werden somit betrachtet.

Die Verwertung der Gärreste ist überwiegend gekennzeichnet durch die Nutzung als Dünger (in Einzelfällen auch als Brennstoff) und erfolgt zumeist außerhalb der Betriebsgrenzen der Biogasanlage. Die vorangehende innerbetriebliche Handhabung der Gärreste ist Teil des Gärrestmanagements und wird als biogasspezifischer Prozessschritt in die Betrachtung aufgenommen. Dagegen werden die verfügbaren Techniken der Gärrestverwertung (thermische Nutzung oder Nutzung als Dünger) nur benannt aber nicht näher beschrieben.

Die Biogasverwertung ist gekennzeichnet durch die thermische Nutzung und die Nutzung in KWK - Prozessen. Die Verwertung kann hierbei vor Ort oder entfernt durch die Einspeisung von (aufbereitetem) Biogas in die spezielle Biogas- oder öffentliche Gasnetze erfolgen. Die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas oder Biomethan grenzt an den für die Biogaserzeugung typischen Prozessschritt der Gasspeicherung und Gasreinigung an und wird voll betrachtet. Die rein thermische Nutzung findet nur Erwähnung, da die Häufigkeit der Anwendung zum Einen vergleichsweise gering ist und zum Anderen die Nutzung durch die weitverbreitete Gasfeuerungstechnologie beschrieben ist. In Bezug auf die gekoppelte Erzeugung von Elektroenergie und Wärme durch den Einsatz von Blockheizkraftwerke (BHKW), erfolgt die Aufnahme verschiedener BHKW-Arten und deren typischer Performance wie Wirkungsgrade, technische Parameter etc. sowie eine Aussage zum Emissionsverhalten von BHKW. Hier erfolgt eine Kurzaussage hinsichtlich der öffentlich zugänglichen Parameter mit dem Verweis auf aktuelle Messprogramme und den weiteren Forschungsbedarf. Eine Übersicht zum Betrachtungsumfang bietet Abbildung 2.2.1.

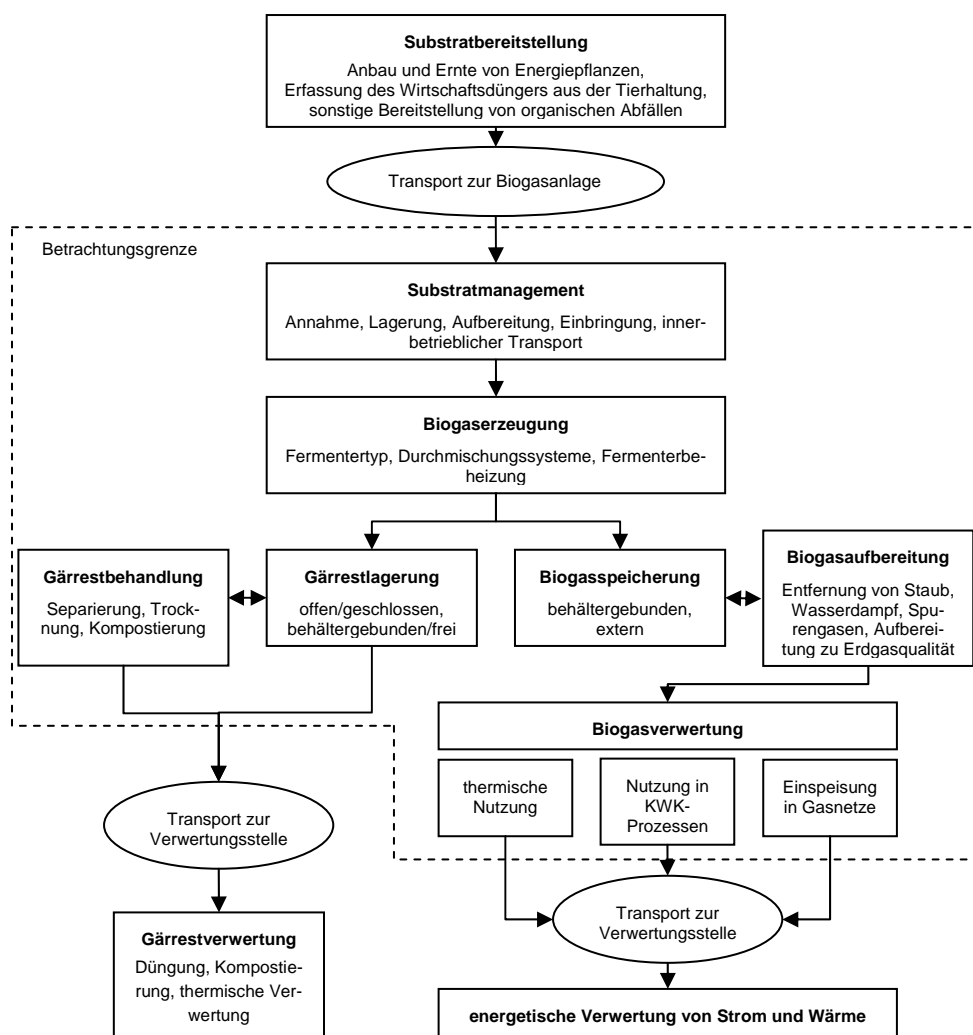


Abbildung 2.2.1 Schema Betrachtungsumfang

## 2.3 Definitionen und Erläuterungen

### 2.3.1 "Stand der Technik"

*Stand der Technik [...] ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme...*

*...zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. [BImSchG, WHG]*

*...zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. [GefahrstoffV]*

Der Stand der Technik ist eine Technik Klausel auf die in Gesetzen, Vorschriften oder Verträgen verwiesen wird. Sie stellt einen bestimmten Stand der Entwicklung dar, welche die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt widerspiegelt. Allgemein anerkannte Regeln, die auch eingehalten werden, orientieren sich am jeweiligen Stand des Fachwissens. Dieser Stand des Fachwissens wird als Stand der Technik bezeichnet. Er ist von der Mehrheit der Unternehmen des betreffenden industriellen Bereiches wirtschaftlich realisierbar. Es existiert eine Vielzahl von Definitionen zum „Stand der Technik“, auch die Rechtsprechung setzte sich mit der Definition des Begriffes auseinander. Nach Auffassung des Bundesverwaltungsgerichtes geht der Stand der Technik über den in allgemeinen Regeln ausgewiesenen Stand hinaus und umfasst das den Fachleuten zugängliche Fachwissen. Der Stand der Technik ist wissenschaftlich begründet, praktisch erprobt und hinreichend bewährt. Er braucht nicht in Form eines Regelwerkes kodifiziert zu sein, Kenntnis und Anwendung eines Wissensstandes sind ausreichend aber auch erforderlich. Damit ist der Begriff „Stand der Technik“ in verschiedenster Ausprägung gebräuchlich und lässt sich etwa in drei Steigerungsstufen fassen: die „Anerkannten Regeln der Technik“ sind die Regeln, die sich bereits praktisch bewährt haben und breite Anwendung finden. Der „Stand der Technik“ beschreibt die technischen Möglichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der „Stand von Wissenschaft und Technik“, als höchste Stufe der Leistungsskala, beschreibt technische Spitzenleistungen, die wissenschaftlich gesichert sind /1/.

### 2.3.2 Substrate

Substrate sind Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft, die in Biogasanlagen vergoren werden können, sich aber neben ihren stofflichen Eigenschaften, auch in ihrer Abbaubarkeit und der Gasausbeute voneinander unterscheiden. Als Substrate kommen organische Reststoffe und nachwachsende Rohstoffe, die eigens für die Verwertung in einer Biogasanlage angebaut werden, zum Einsatz (Abbildung 2.3.1).

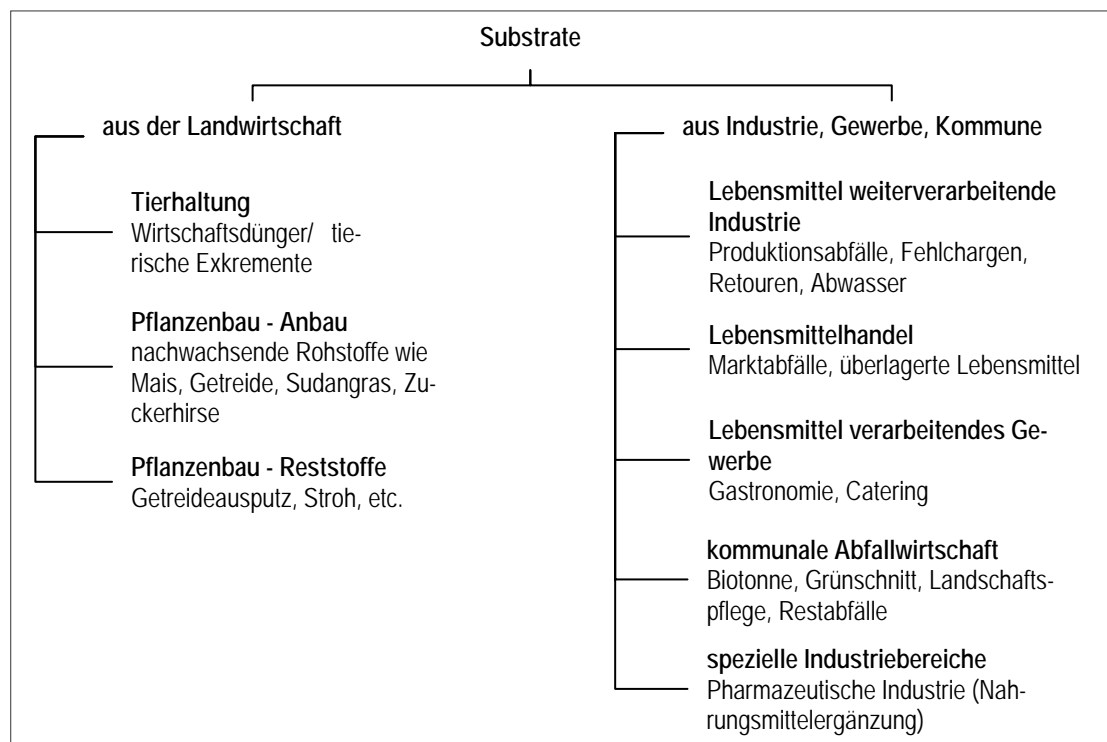


Abbildung 2.3.1 Herkunft von Substraten (unter Verwendung von /2/)

Die jeweiligen Stoffeigenschaften des Substrats bestimmen die technologischen Anforderungen an die Biogasanlage in Bezug auf die Handhabung, Lagerung und Verwertung der einzusetzenden Stoffe. Wichtige Parameter sind dabei physikalische Eigenschaften und chemische Zusammensetzung, Störstoff- und Schadstoffgehalt sowie hygienische Eigenschaften der Substrate. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Verfahrensschritte, beginnend mit dem Transport der Substrate zur Biogasanlage über die Lagerung und Aufbereitung bis hin zur Einbringung in den Fermenter. Darüber hinaus müssen im Hinblick auf die Stör- und Schadstoffgehalte und die hygienischen Eigenschaften der Einsatzstoffe, z.B. von Bioabfällen und tierische Nebenprodukte, auch Anforderungen an die Umwelt und Gesundheit beachtet werden. Gerade im Sinne einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft, in der die Gärreste als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden sollen, dürfen die eingesetzten Substrate (entsprechend BioAbfV) die Grenzwerte für die Belastung mit Schwermetallen und Fremdstoffen nicht überschreiten. Diese Grenzwerte gelten in Verbindung mit einer maximal zulässigen Aufbringungsmenge und sind in der Bioabfallverordnung § 4 BioAbfV (Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden) geregelt (gilt auch für die Anwendung von Komposten; weitere Grenzwerte beinhaltet die DüMV). Über eine Beprobung des Gärrestes muss Einfluss auf die Substratwahl genommen werden. Sollten Grenzwerte überschritten werden, ist es im Sinne des Anlagenbetreibers über zusätzliche Proben der Eingangssubstrate die Schadstoffquelle zu ermitteln und auf den Einsatz des belasteten Substratstroms zu verzichten.

Neben Substraten, die Stör- und Schadstoffe enthalten, werden auch Substrate eingesetzt, die einer Hygienisierung zu unterziehen sind. Hierzu können verschiedene Bioabfälle pflanzlicher und tierischer Herkunft und bestimmte tierische Nebenprodukte nach VO (EG) Nr. 1774/2002 zählen. Letztgenannte Verordnung unterteilt die nicht für den Verzehr geeigneten tierischen Nebenprodukte in drei Kategorien. Material der Kategorien 2 und 3 darf in einer nach VO (EG) Nr. 1774/2002 zugelassenen Biogasanlage verwertet werden, wohingegen das Material der Kategorie 1 nicht eingesetzt werden darf. Entsprechend dieser Verordnungen (BioAbfV und VO (EG) 1747/2002) müssen diese Einsatzstoffe unter Voraussetzung bestimmter prozesstechnischer Parameter hygienisiert bzw. sterilisiert werden, damit Infektionsketten unterbrochen werden und die Materialien als seuchen- und phytohygienisch unbedenklich gelten.

Weiterführende Angaben zu Substraten und ihren Eigenschaften können im Biogashandbuch Bayern – Materialienband - Kap. 1.4, S.17-31, (Stand Juli 2007) nachgelesen werden ([www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)). Angaben zu Biogasausbeuten verschiedener Substrate stellt unter anderem das Bayerische Landesamt für Landwirtschaft unter [www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/) bereit.

### 2.3.3 Betriebsstoffe, Chemikalien

Als Chemikalien werden hier die Stoffe aufgeführt, die der Anlagenbetreiber als Betriebsstoffe oder Zuschlagstoffe sowohl bei der Erzeugung, als auch der Nutzung von Biogas handhaben kann. Nicht alle der Betriebsstoffe und Chemikalien, die in Tabelle A.1 (Anhang) aufgelistet sind, werden überall eingesetzt. Die Auflistung zeigt lediglich eine Auswahl von Betriebs- und Hilfsstoffen die in verschiedenen Anlagen zur Anwendung kommen können. Die Angaben zur Umwelt- und Gesundheitsrelevanz beziehen sich auf den Havariefall.

### 2.3.4 Emissionen

Emissionen sind Stoffe, die von einem Emittenten in die Umwelt abgegeben werden. Emissionen im Allgemeinen können Luftverunreinigungen (z.B. Rauch, Staub oder Gase), Flüssigkeiten, Gerüche, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen sein. In den folgenden Unterkapiteln werden Stoffe genannt, die als Emissionen beim Betrieb von Biogasanlagen auftreten können. Dabei wird zwischen betriebs- und havariebedingten Emissionen unterschieden.

#### 2.3.4.1 Gasförmige Emissionen

Bei der motorischen Nutzung des Biogases werden betriebsbedingt gasförmige Stoffe wie Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeloxide (SO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Formaldehyd (HCHO) freigesetzt. Die Menge der Emissionen ist abhängig von der eingesetzten Motorenart (Gas-Otto- oder Zündstrahlmotoren), deren Verbrennungseinstellungen sowie deren Wartungszustandes. Auch spielt die Qualität des verwendeten Biogases (z. B. Feuchte- und Schwefelwasserstoffgehalt) eine wichtige Rolle bei der Beurteilung motorischer Emissionen. Die Freisetzung erfolgt gefasst über den Abgaskamin des Blockheizkraftwerkes.

Andere Emittenten wie Methan (CH<sub>4</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) können sowohl betriebsbedingt als auch im Havariefall austreten. Betriebsbedingte Emissionsquellen können hierbei Substrat- und Gärrestlager, für die Substrateinbringung geöffnete Gruben oder Behälter und u. U. die Substrataufbereitung darstellen. Die Menge der emittierenden Gase ist dabei von der prozesstechnologischen Gestaltung der Biogasanlage abhängig (Verwendung offener oder geschlossener Systeme). Bei Undichtigkeiten von Bauteilen (gas- und flüssigkeitsseitig), dem Ansprechen der Sicherheitseinrichtung (z.B. während Anfahrprozessen) und bei anderen Betriebsstörungen, kann es zur ungewollten Freisetzung genannter Stoffe kommen. Auch kann der Ausfall des BHKW zu zusätzlichen Methanemissionen führen, falls kein ausreichend großer Gasspeicher oder eine anderweitige Gasverwertungseinrichtung zur Verfügung steht.

Eine Übersicht über wesentliche gasförmige Emissionen, die je nach Anlagengestaltung und Betriebsweise in unterschiedlichen Mengen durch den Betrieb von Biogasanlagen entstehen können, gibt Tabelle A.2 (Anhang).

#### 2.3.4.2 Flüssige Emissionen

Die Gase Ammoniak, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Schwefelwasserstoff und Stickoxide können Aerosole bilden und sich im Wasser zu Säuren bzw. Laugen lösen (Dissoziation). Die toxischen bzw. die umweltgefährdenden Wirkungen unterscheiden sich von den Wirkungen der reinen Gasemissionen unwesentlich. Die Wassergefährdung und die ätzenden Wirkungen treten stärker in den Vordergrund. Darüber hinaus können andere flüssige Stoffe durch unsachgemäße Lagerung, undichte Bauteile oder falsche Handhabung austreten. Dies können beispielsweise Sickersäfte, Gülle oder Gärreste, aber auch Betriebsstoffe wie Mineralöle sein. Eine Auswahl von im Havariefall austretender flüssiger Stoffe und Stoffgemische bietet Tabelle A.3 des Anhangs.

#### 2.3.4.3 Weitere Emissionen

##### Aerosole (Staub, Nebel)

Aerosole sind Zweistoffgemische aus Schwebestoffen und einem Trägergas (meist Luft). Schwebestoffe können fest (Stäube) oder flüssig (Nebel) sein. Durch die Vielzahl möglicher Schwebestoffe und deren unterschiedlichen Eigenschaften, können Aerosole in verschiedenartigster Weise auf Umwelt und Gesundheit einwirken. Bei Biogasanlagen treten verschiedene Quellen der Staubentwicklung in Erscheinung. Als Beispiele für die mögliche Entstehung von organischen (z.B. Pollen, Bakterien, Pilzsporen) und anorganischen Stäuben können das Abkippen oder Einfüllen trockener Substrate (z.B. Hühnertrockenkot, Getreidespelzen) in Lager- und Vorlagebehälter, die unsachgemäße Handhabung pulverförmiger Betriebsmittel, Staubaufwirbelungen auf Betriebsflächen durch Fahrzeuge oder Rußpartikel am Abgaskamin eines Zündstrahl BHKW genannt werden. Nebel können beispielsweise bei der Lagerung von Bioabfällen (z. B. braune Tonne) in Hallen oder beim Öffnen von Boxenfermentern nach abgeschlossener Gärung entstehen.



## Geruch

Zu den Geruchsstoffen bei Biogasanlagen zählen neben anderen Ammoniak, Schwefelwasserstoff, niedermolekulare Aminverbindungen und organische Säuren. Die Entstehung von Geruchsstoffen und die Höhe deren Konzentration sind abhängig von der Substratart und deren Zusammensetzung. Die Emissionen können dabei von geruchsintensiven Substraten (z.B. Fettabscheiderreste, Schlachtabfällen, feuchtem Hühnerkot, faulende organische Abfälle) und von biochemischen Abbauprozessen der organischen Bestandteile herrühren. Beeinflusst wird die Ausbreitung der Geruchsstoffe durch die Anlagengestaltung und Betriebsweise. Emissionsquellen können hierbei die Bereiche der Substrat- und Gärrestlagerung (offene Systeme) und Substrataufbereitung und -einbringung darstellen. Auch bei Undichtigkeiten von Bauteilen (gas- und flüssigkeitsseitig), dem Ansprechen der Sicherheitseinrichtung und bei anderen Havarien, können unangenehme Gerüche freigesetzt werden.

## Lärm

Lärm ist eine subjektive Wahrnehmung von Schall, die meist als unangenehm und belästigend empfunden wird. Schall breitet sich wellenartig durch Druck- und Dichteänderungen in einem elastischen Medium (Gase, Flüssigkeiten, Festkörper) aus. Gesundheitsbeeinträchtigungen können durch sehr hohe Schallpegel hervorgerufen werden, die zu Beeinträchtigungen des Hörvermögens oder zu störenden Ohrgeräuschen (Tinnitus) führen können. Nichtgehörschädigende Schallpegel können psychologisch belastend sein und Stressreaktionen auslösen, die sich u. U. auch auf das körperliche Befinden des/der Betroffenen niederschlagen. Bei Biogasanlagen treten insbesondere Blockheizkraftwerke und z. T. Anlagenkomponenten zur mechanischen Aufbereitung des Substrates als Schallquelle in Erscheinung.

In der Tabelle A.4 des Anhangs sind die Eigenschaften der in diesem Unterkapitel beschriebenen Emissionen zusammengefasst.

## 2.4 Anbieterbefragung

### 2.4.1 Vorgehensweise

Um einen Überblick über die derzeit am Markt angebotene Technik zu gewinnen, wurde eine Umfrage unter Komplettanbietern von Biogasanlagen durchgeführt. Hierfür wurde ein Fragebogen erstellt, der entlang der Prozesskette die angebotene und auch eingesetzte Technik erhebt. Die Umfrage bei der insgesamt 30 Anbieter schlüsselfertiger Anlagen befragt wurden, begann im Januar 2008 mit der Versendung der Bögen und schloss mit der Erfassung und Auswertung der Rückläufe Ende März 2008. In den meisten Fällen wurden während der Auswertung zusammen mit den Anbietern telefonisch Angaben geprüft und teilweise präzisiert. Die Angaben zur verwendeten Technik sollten getrennt, unter Verwendung zweier Fragebögen für landwirtschaftliche und abfallwirtschaftliche Anlagen gemacht werden. Neben einfachem Ankreuzen (Mehrfachnennung war möglich) der im Fragebogen vorgegebenen Technologien war auch eine wörtliche Nennung bzw. Beschreibung von nicht aufgeführter Technik möglich.

### 2.4.2 Ergebnisse

Von den befragten Komplettanbietern haben 16 Anbieter geantwortet, wovon fünf Anbieter zwei Bögen ausgefüllt haben, getrennt nach Anlagenart (landwirtschaftlicher oder abfallwirtschaftlicher Einsatz). Vier der Befragten haben einen Bogen für Anlagen zur Verarbeitung von land- und abfallwirtschaftlichen Substraten ausgefüllt, die verbleibenden sieben Anbieter äußerten sich nur zu landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Durch die teilweise Überschneidung beim Einsatz von land- und abfallwirtschaftlichen Substraten (Kofermentationsanlagen), konnte bei der Auswertung keine strikte Trennung der eingesetzten Technik



für die hier ausgewiesenen Anlagentypen durchgeführt werden. Vielmehr erfolgt eine Darstellung der generell für Biogasanlagen angebotenen Techniken.

Die eingegangenen Antworten entsprechen einer Rücklaufquote von rund 53 % bezogen auf die Anzahl der befragten Komplettanbieter. Nach eigenem Bekunden haben die Antwortenden mehr als 1.100 Anlagen in Deutschland errichtet und somit eine elektrische Leistung von ca. 490 MW installiert. Dies entspricht etwa 30 % der in Deutschland errichteten Anlagen und etwa 40 % der installierten elektrischen Leistung (in Bezug auf /3/). Die durchschnittliche elektrische Leistung der erfassten Anlagen beträgt 435 kW und ist damit rund 90 kW höher als der Bundesdurchschnitt (in Bezug auf /3/). Da im Bundesdurchschnitt viele alte höfische Anlagen mit geringer elektrischer Leistung vertreten sind, ist die aus der Umfrage berechnete mittlere elektrische Leistung ein Beleg für den Trend hin zu größeren Anlagen im Biogasbereich.

Im Folgenden werden entlang der Prozesskette die Ergebnisse der Umfrage dargestellt. Hierbei ist die Häufigkeit der Nennung einer Technologie als Maß der Verbreitung unter den Anbietern zu verstehen. Dieses Maß lässt zwar keine Aussage zur Einsatzhäufigkeit der Technik im realen Anlagenbetrieb zu und kann auch nicht als Definition zur Beschreibung des Standes der Technik verstanden werden, es weist jedoch auf die Frequentierung einer Technologie durch verschiedene Hersteller hin. Somit dient die Umfrage der Darstellung der derzeit am Markt angebotenen Techniken und zeigt Trends in der Anlagengestaltung auf.

#### 2.4.2.1 Substratanlieferung und Registrierung

Durch die verbreitete Praxis des Zukaufs von Substraten werden Bodenwaagen von allen Befragten angeboten. Hierbei handelt es sich um eine nicht biogasspezifische Technik, welche sehr verbreitet angewendet wird und zur Abrechnung von Substratlieferungen unabdingbar ist. Hinzu kommen ggf. das Begleitscheinverfahren für „gefährliche Abfälle“ (vormals „besonders überwachungsbedürftige Abfälle“) zur Registrierung und Nachweisführung der Abfallbeseitigung und elektronische Registrier-Systeme wie die Chipkarte. Mit der Kombination von Wäge- und Registriereinrichtungen (Bodenwaage plus Chip, Chipkarte oder GPS-Erfassung) wird versucht die Annahme zu automatisieren. Hier nicht enthalten sind Wiegesysteme zur gezielten Dosierung bei der Fermenterbeschickung. Diese werden bei der Substrateinbringung betrachtet. Die graphische Auswertung ist in Abbildung 2.4.1 dargestellt.

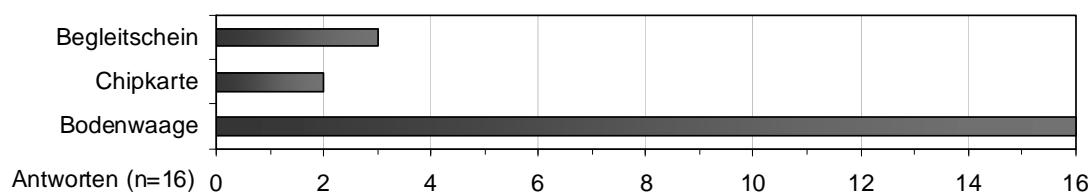
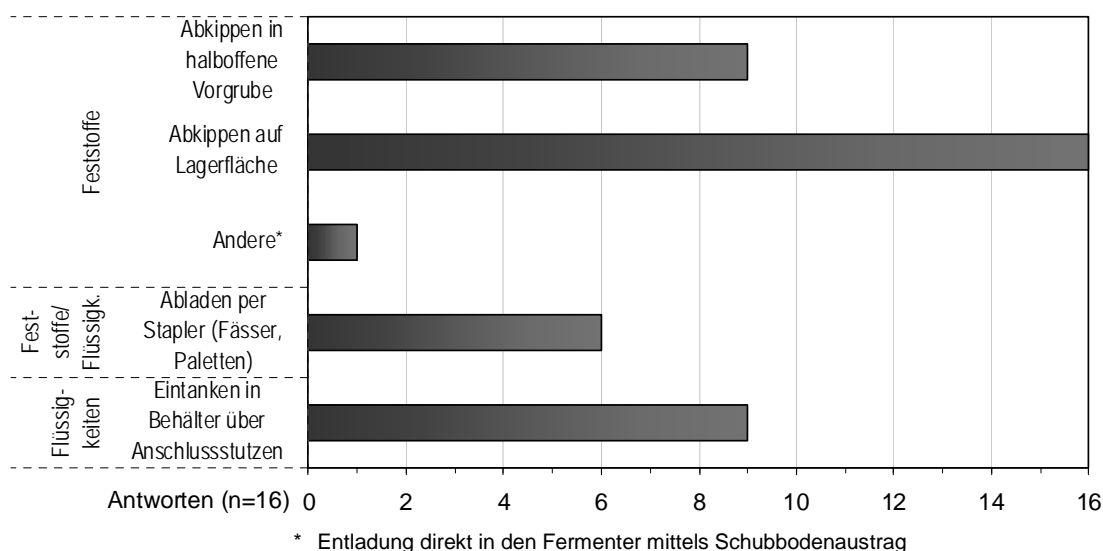


Abbildung 2.4.1 Substratanlieferung und Registrierung

#### 2.4.2.2 Substratentladung

Neben der angebotenen Technik wurde auch nach bestimmten Betriebsabläufen gefragt, welche sich durch die Wahl spezieller Technologien ergeben. Besonders in der Landwirtschaft werden häufig Vorgruben zum Anmischen und Homogenisieren der Substrate genutzt. Auch einige der Anbieter, welche Anlagen zur Verwertung organischer Abfälle anbieten, verwenden Vorgruben, sodass diese entsprechend häufig genannt wurde. Öfter noch werden Substrate auf Flächen abgekippt, um danach eingelagert oder

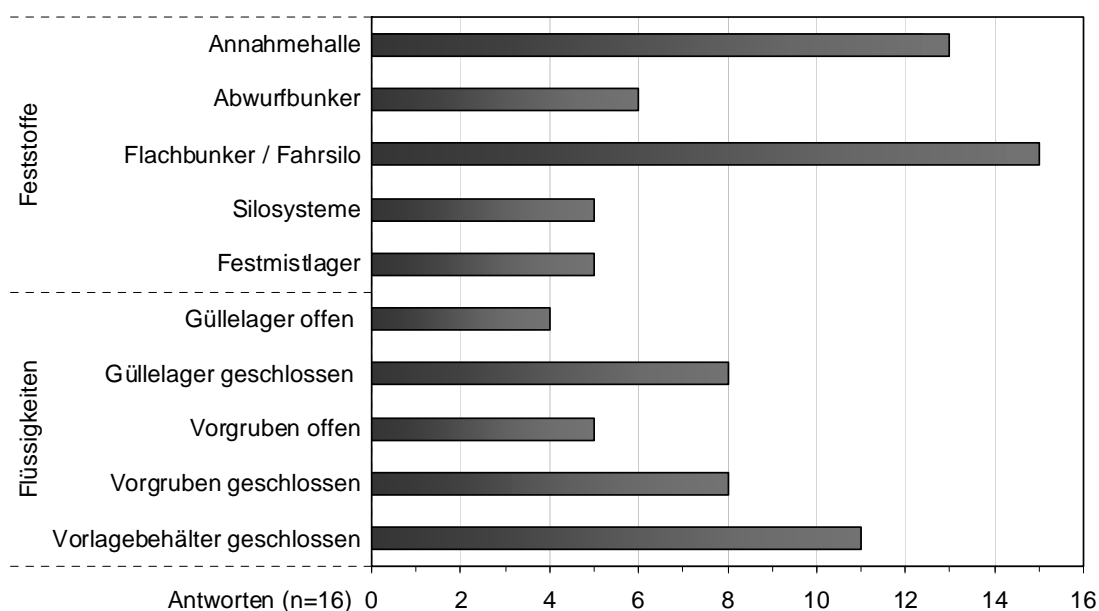
direkt verwertet zu werden. Dies trifft für alle Arten von Biogasanlagen zu. Bei Anlagen zur Verwertung palettierter oder in Gebinden transportierter fester und flüssiger Abfälle (z. B. überlagerte Lebensmittel oder Fehlchargen), kann mobile Ladetechnik zum Einsatz kommen. Für die Entladung flüssiger Substrate werden von den Anbietern feste Behälterstutzen zum eintanken, z. B. in Vorlagebehälter, vorgesehen. Selten angeboten wird die direkte Entladung in den Fermenter. Neu ist jedoch dabei das Entladen mittels Moving-floor-Fahrzeugen. Dies erspart den Schritt der Substratlagerung, erfordert aber ein sehr genaues Zeitmanagement und Substratlogistik. Siehe hierzu Abbildung 2.4.2.



**Abbildung 2.4.2 Substratentladung**

### 2.4.2.3 Substratlagerung

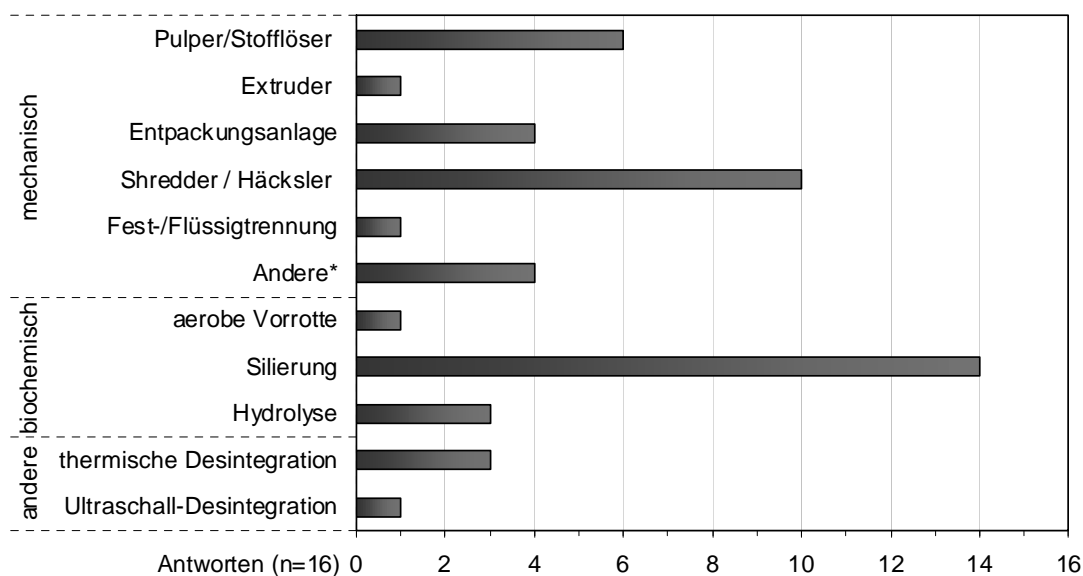
Grundsätzlich wurde bei der Umfrage nach Lagerarten für Feststoffe und Flüssigkeiten unterschieden (siehe auch Abbildung 2.4.3). Häufigste Vertreter der von den Komplettanbietern genannten Technologien waren Flachbunker- und Fahrsiloanlagen. Sehr häufig werden Annahmehallen angeboten (z. B. für geruchsintensive Substrate), auch in Verbindung mit anderen Lagerarten wie Abwurfbunker und Flachbunker. Generell ist auffällig, dass sowohl bei den Feststoffen als auch bei den Flüssigkeiten geschlossene Systeme am häufigsten angeboten werden. Die Kombinationen von Lagersystemen z.B. Annahmehalle mit Abwurfbunker oder ein Vorhandensein verschiedener Lagerarten an einem Standort, z.B. Flachbunker und Güllelager (offen/ geschlossen) ist oft gängige Praxis. Hochsilos (Rubrik Silosysteme) wurden von fünf Befragten genannt, wobei ein Anbieter angab, dieses System sehr selten zu verwenden.



**Abbildung 2.4.3 Substratlagerung**

#### 2.4.2.4 Substrataufbereitung

Als vorbereitender Prozess der Fermentation wurde die Substrataufbereitung untergliedert in mechanische und biochemische Verfahren sowie in den Zellaufschluss durch Ultraschall und Wärme. Die mechanische Aufbereitung ist sehr stark durch Abfall vergärende Anlagen geprägt. Besonders Stofflöser, Entpackungsanlage, Fest-Flüssig-Trennung und die unter „andere“ geführten Nass- und Trockenaufbereitungsstrecken stehen für die teils aufwändige Substrataufbereitung in entsprechenden Bioabfall vergärenden Anlagen. Zerkleinerungsaggregate wie Schredder und Häcksler werden von zwei Dritteln der Befragten angeboten. Relativ jung ist der thermo-mechanische Aufschluss von Energiepflanzen mittels Extruder in NaWaRo-Anlagen und wurde in der Umfrage nur einmal erwähnt. Bei der biochemischen Aufbereitung tritt besonders die Silierung hervor, die nur von den zwei Befragten, welche ausschließlich Abfallvergärungsanlagen anbieten nicht als Aufbereitungskonzept verfolgt wird. Die Hydrolyse wurde achtmal genannt. Sie wurde nur dann als biochemische Aufbereitung gewertet, wenn sie explizit als Verfahrensschritt vorgesehen wurde. Zwangsläufig ablaufende Hydrolysen z.B. in Vorgruben wurden nicht als Aufbereitungsschritt angesehen. Die meisten Anbieter integrieren eine separate Hydrolysestufe bei Bedarf in ihre Anlagenkonzeption. Die Aufbereitung durch den Zellaufschluss mittels Ultraschall und Wärme wurde insgesamt nur von vier Anbietern genannt. Hier muss erwähnt werden, dass eine thermische Desintegration auch bei der Hygienisierung erfolgt. Hier steht allerdings die Abtötung von Keimen und Krankheitserregern im Vordergrund, der Nebeneffekt des Zellaufschlusses wurde nicht als separater Aufbereitungsschritt gewertet. Einen Überblick gibt Abbildung 2.4.4.



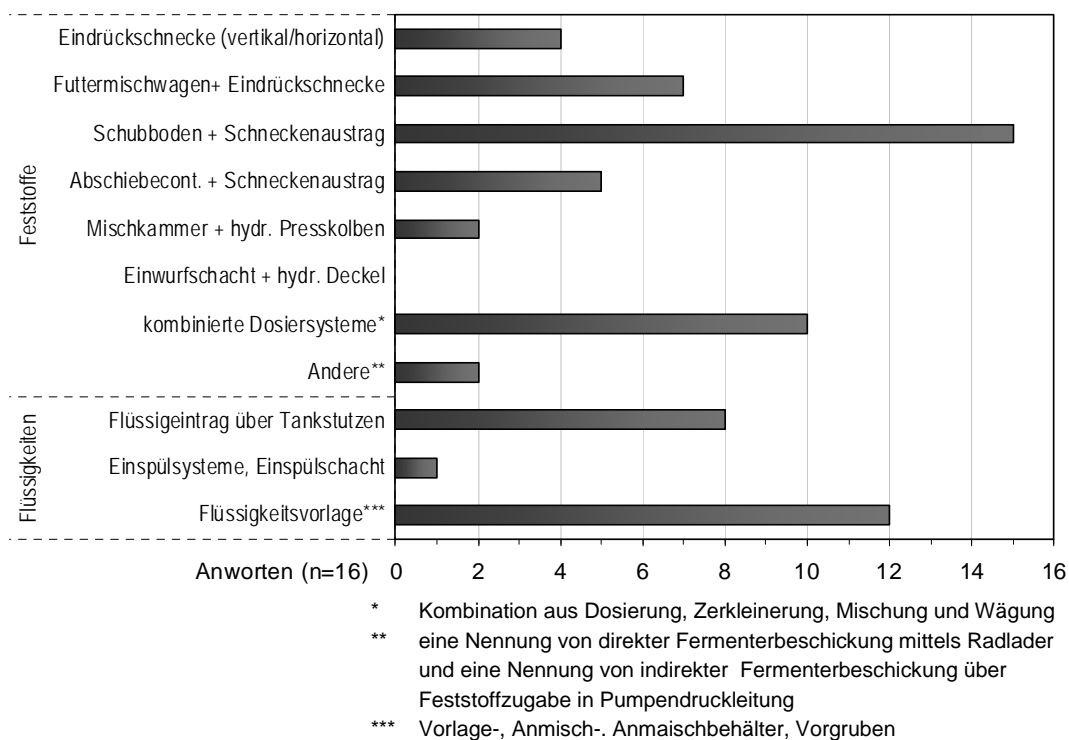
\* gekennzeichnet durch die abfallwirtschaftlichen Anlagen: Trocken- und Nassaufbereitungsstrecken (Siebtrommel, Pressen, versch. Abscheider (z.B. Metall), Handsortierung, Sedimentation)

**Abbildung 2.4.4 Substrataufbereitung**

### 2.4.2.5 Substrateinbringung

Für den Flüssigkeitseintrag werden Pumpen eingesetzt, die den Fermenter direkt über einen Tankstutzen beschicken oder für den Substrattransport aus dem Vorlagebehälter sorgen.

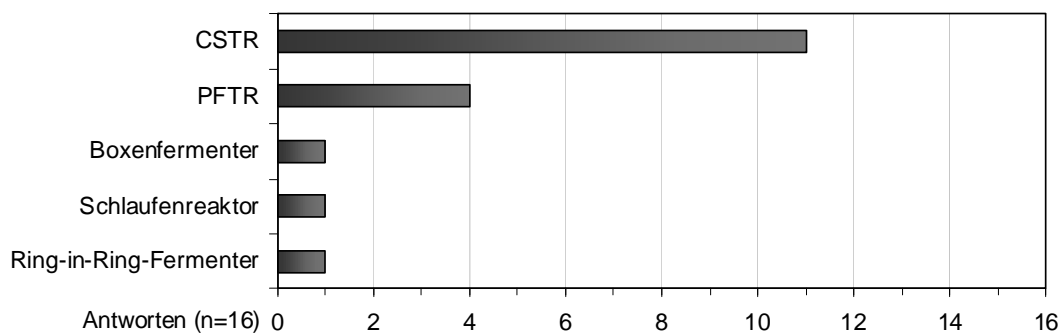
Der Feststoffeintrag kann direkt oder indirekt (über Vorgrube, Vorlagebehälter, Einbringen in einen Flüssigkeitsstrom, Einspülschacht) in den Fermenter erfolgen. Im Portfolio der Anbieter stehen laut Umfrage vornehmlich Schneckensysteme. Presskolbensysteme werden in geringerem Umfang angeboten und wurden hier von nur zwei Anbietern genannt. Als Vorlage für feste Substrate ist der Schubbodencontainer am häufigsten vertreten, gefolgt von den Vertikal-Schnecken-Mischanlage (Futtermischwagen mit vertikalen Mischschnecken) mit Eindrückschnecke, Abschiebecontainern und der einfachen Eindrückschnecke (mit Einfülltrichter als Bevorratungsmöglichkeit). Oftmals werden diese Systeme als Multifunktionseinheiten angeboten, um das Substrat ideal mischen und/oder zerkleinern und es über eine Wägeeinrichtung oder Zeitsteuerung genau dosieren zu können. Diese Feststoffdosiersysteme haben sich in den letzten Jahren durchgesetzt und werden von rund zwei Dritteln der Anbieter vertrieben. Der Einwurf- bzw. Einspülschacht ist nicht im Portfolio der befragten Komplettanbieter vertreten. Eine neuerliche Möglichkeit ist die Zerkleinerung und Zudosierung von Feststoffen, z.B. Bioabfällen in den Flüssigkeitsstrom der Pumpendruckleitung. Hier werden die zerkleinerten Abfälle sozusagen "verflüssigt" und in den Fermenter gepumpt. Im Gegensatz dazu steht die direkte Beschickung von Garagenfermentern mit mobilen Ladeeinheiten. Beide Varianten wurden je einmal genannt. Die Befüllung der Vorlagebehälter für die Feststoffe erfolgt meist per Radlader oder durch immobile Fördereinrichtungen, wie Schneckensystemen und Förderbändern. Die graphische Auswertung ist der Abbildung 2.4.5 zu entnehmen.



**Abbildung 2.4.5 Substrateinbringung**

### 2.4.2.6 Fermenterbauformen

Unter den Befragten waren mehrheitlich Anbieter vertreten, die den stehenden, kontinuierlich gerührten Fermenter (CSTR) vertreiben. Stehende Rundbehälter, wie z.B. der Schlaufenreaktor oder der Ring-in-Ring-Fermenter die sich in ihrem inneren Aufbau und der Funktionsweise zum Teil unterscheiden, wurden separat gelistet. Neben den CSTR werden vermehrt Pfropfenstromfermenter (Plug-and-flow-tube-reactor - PFTR) angeboten, die oft in Kombination mit einem stehenden, kontinuierlich gerührten Nachgärer betrieben werden. Am Markt haben sich in den vergangenen Jahren auch Trockenfermentationsanlagen im sogenannten Garagenverfahren (Boxenfermentern) etabliert. Diese bilden aber nach wie vor nur einen kleinen Teil der in Deutschland vertriebenen Anlagen. Sonderbauformen wie z.B. Wannen-/Tunnelfermenter, Fermenter in Containerausführung und Folienvergärungsanlagen wurden von den befragten Herstellern nicht angeboten. Die quantitative Darstellung der Ergebnisse wird aus Abbildung 2.4.6 ersichtlich.



**Abbildung 2.4.6 Fermenterbauformen**

### 2.4.2.7 Materialien im Behälterbau

Grundsätzlich werden Beton und Stahl /Stahlverbindungen als Baustoffe für Behälter vorgesehen. Den überwiegenden Anteil nehmen dabei die Betonbauwerke ein, wobei hier wiederum die meisten Behälter nach Angaben der Komplettanbieter aus Ortbeton gegossen werden. Betonsegmente als Behälterwand finden als Alternative auch weite Verbreitung. Im Stahlbereich wird von den Befragten am häufigsten Stahl-Emaillie verwendet. Weitere Stähle wie Edelstahl oder auch Schwarzstahl kommen als Baustoffe in Frage, wobei hier nach dem Einbauort (im flüssigkeits- oder im gasberührten Teil des Behälters) unterschieden wird. Edelstahlbehälter werden im Gasbereich aus dem beständigeren V4A, statt aus V2A errichtet, Schwarzstahlbehälter werden im gasberührtem Bereich mit einem Teer- oder Epoxidharzanstrich versehen, um entsprechende Korrosionen zu vermeiden. Dies trifft auch bei Betonbehältern zu, bei denen die Gaswechselzone mit einem Anstrich versehen oder mit einer PE-Folie ausgekleidet wird. Vergleiche hierzu Abbildung 2.4.7.

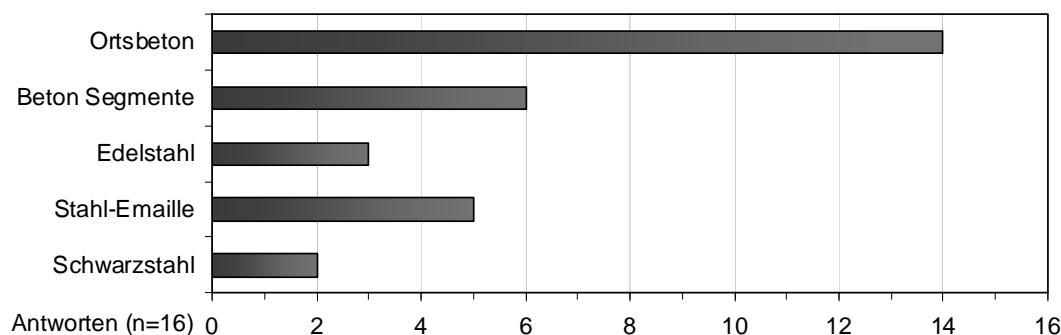


Abbildung 2.4.7 Materialien im Behälterbau

### 2.4.2.8 Arten der Behälterbeheizung

Wie aus Abbildung 2.4.8 ersichtlich, findet am häufigsten die Beheizung durch eine an der Behälterinnenwand angebrachte Rohrschlange oder durch einen externen Wärmeübertrager (z.B. Doppel- oder Mantelrohr) statt. Des Weiteren werden die Behälter durch Rohre beheizt, die in die Behälterwand (Boden und Wand) integriert sind. Kaum oder nicht verbreitet sind hier die Beheizung über die zwischen Wand und Dämmung angebrachte Heizung und die Beheizung über die Wellen der Rühraggregate.

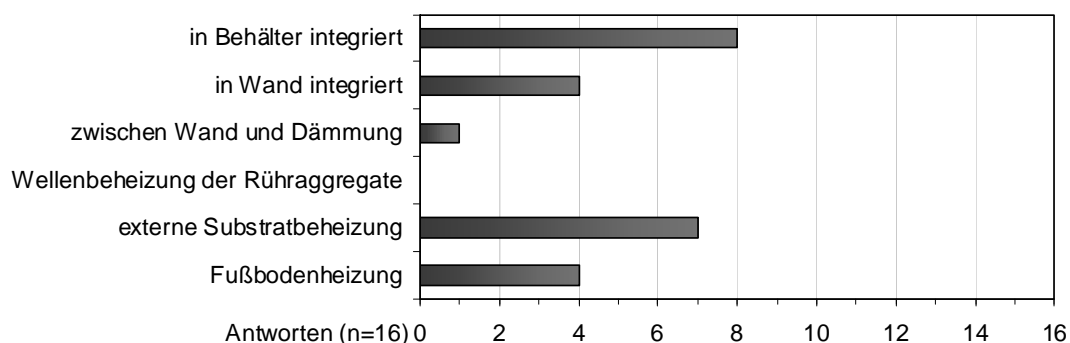


Abbildung 2.4.8 Varianten der Behälterbeheizung

### 2.4.2.9 Dämmstoffe

Am häufigsten im Portfolio der Befragten finden sich Mineralwolleplatten und Hartschaumplatten als von außen auf die Behälterwand aufgebraachte Wärmedämmung. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zum Auftrag der Dämmung durch Sprühen, bzw. das Integrieren der Dämmschicht in das Bauteil (Behälterwand) angeboten und ausgeführt. Vergleiche hierzu Abbildung 2.4.9.

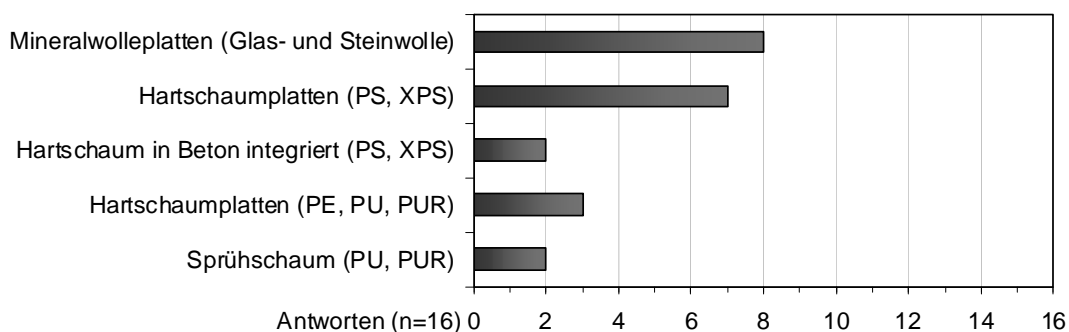


Abbildung 2.4.9 Materialien zur Wärmedämmung

### 2.4.2.10 Abdeckungen

Fest ausgeführte (Beton, Emaille, Edelstahl, GFK) und flexible Dächer (Foliendächer) werden von den befragten Herstellern von Biogasanlagen zu gleichen Teilen angeboten. Unter den Festdächern stellen die Betondecken den größten Anteil, gefolgt von den segmentierten Edelstahl- und Stahl-Emaille-Dächern. Eine weitere Möglichkeit der Ausführung von Behälterdecken, ist die Verwendung von vor Korrosion geschütztem Schwarzstahl, z. B. bei liegenden Pfropfenstromfermentern (PFTR). Die graphische Auswertung ist in Abbildung 2.4.10 dargestellt.

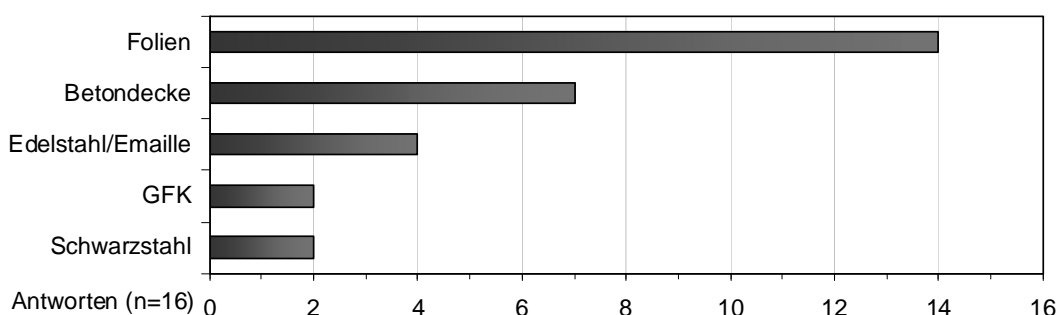


Abbildung 2.4.10 Arten der Behälterabdeckung

### 2.4.2.11 Durchmischungssysteme

Die Durchmischungssysteme wurden entsprechend der Art des Energieeintrags (mechanisch, hydraulisch, pneumatisch) gruppiert. Dabei bilden die mechanischen Rührwerke, die mit unterschiedlichen Antrieben ausgestattet sein können, mit Abstand die größte Gruppe. Hier zählt das Tauchmotorrührwerk

(TMR) zu den am meist angebotenen Rührwerken und wird durch dreiviertel der Umfrageteilnehmer betrieben. Weiterhin werden Zentralrührwerke bei festen Deckenkonstruktionen, Seitenrührwerke, Paddel- und Haspelrührwerke eingesetzt. Das Schrägrührwerk wird nur von zwei der hier befragten Komplettanbieter abgeboten. Die häufigste Antriebsart ist der Elektromotor. Nur ein Anbieter greift auf hydraulisch angetriebene TMR zurück, bei dem ein Hydraulikaggregat alle TMR versorgt. Pneumatische und hydraulische Durchmischungssysteme werden vergleichsweise selten offeriert, obwohl hier der Vorteil besteht, keine beweglichen Teile (Mechanik und Antriebe) im Fermenter einbauen zu müssen. Nur drei Komplettanbieter gaben an, diese Technik einzusetzen. Eine weitere, von den hier Befragten nicht angebotene Möglichkeit der Durchmischung, besteht in der Anwendung von außerhalb des Fermenters installierten Pumpen. Hier wird das Substrat im Kreislauf dem Fermenter entnommen und über Düsen wieder zugeführt. Wie viele Anbieter auf die entsprechenden Technologien zurückgreifen ist in Abbildung 2.4.11 dargestellt

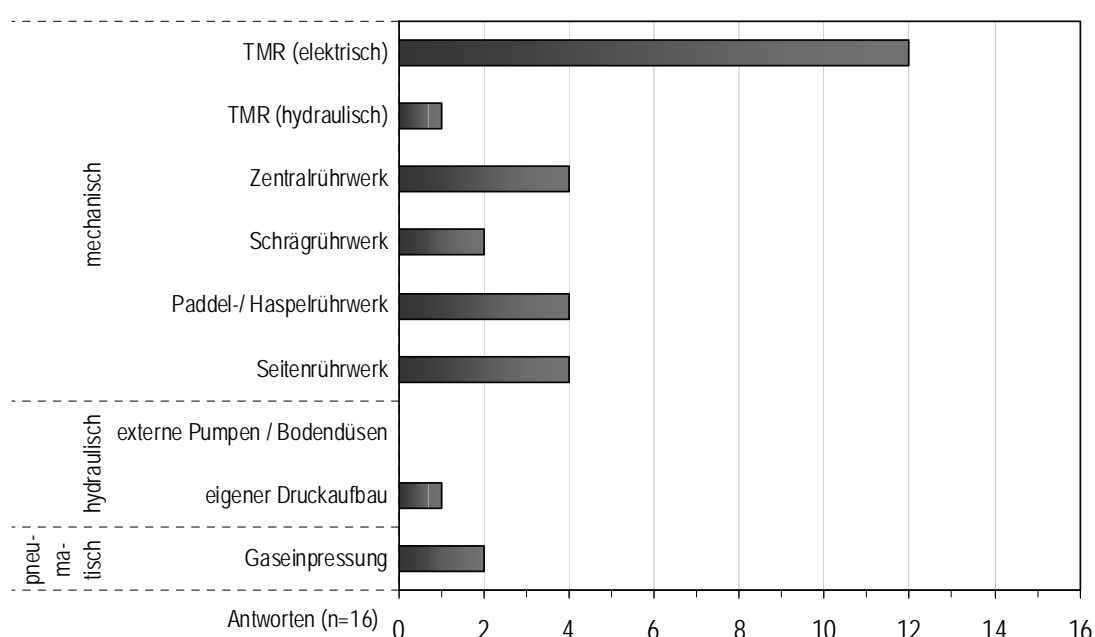


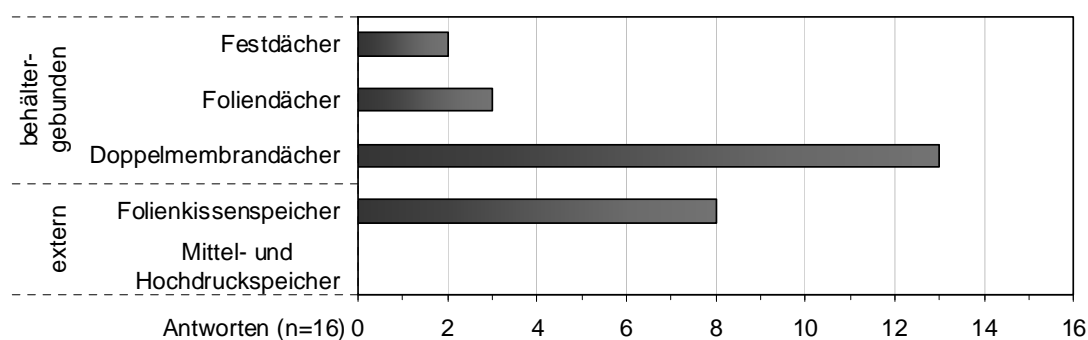
Abbildung 2.4.11 Durchmischungssysteme

#### 2.4.2.12 Biogasspeicherung

Von fast allen befragten Komplettanbietern werden zur behältergebundenen Speicherung von Biogas Folien- oder Doppelmembrandächer angeboten. Anbieter von Festdächern, welche ein begrenztes Gasspeichervolumen im Fermenter haben, greifen oft auf externe flexible Gasspeicher zurück. In den meisten Fällen ist dies ein Folienkissenspeicher, der beispielsweise in einem festen Gebäude oder einem siloähnlichen Trockengasspeicher untergebracht ist.

Unter die Rubrik Folienkissenspeicher fällt auch die externe Speicherung in einem druckluftgestütztem Doppelmembranspeicher, auf die ein Anbieter zurückgreift. Die Bevorratung von Biogas in Mittel- und Hochdruckspeichern wird von den befragten Komplettanbietern nicht angeboten. Einer der befragten Anbieter verzichtete auf die Zwischenspeicherung von Biogas. Nach seinen Angaben besitzt er ein sehr genaues Gasmanagement, bei dem nur soviel Gas erzeugt wird, wie verwertet werden kann (siehe hierzu Abbildung 2.4.12).





**Abbildung 2.4.12 Gasspeicherung**

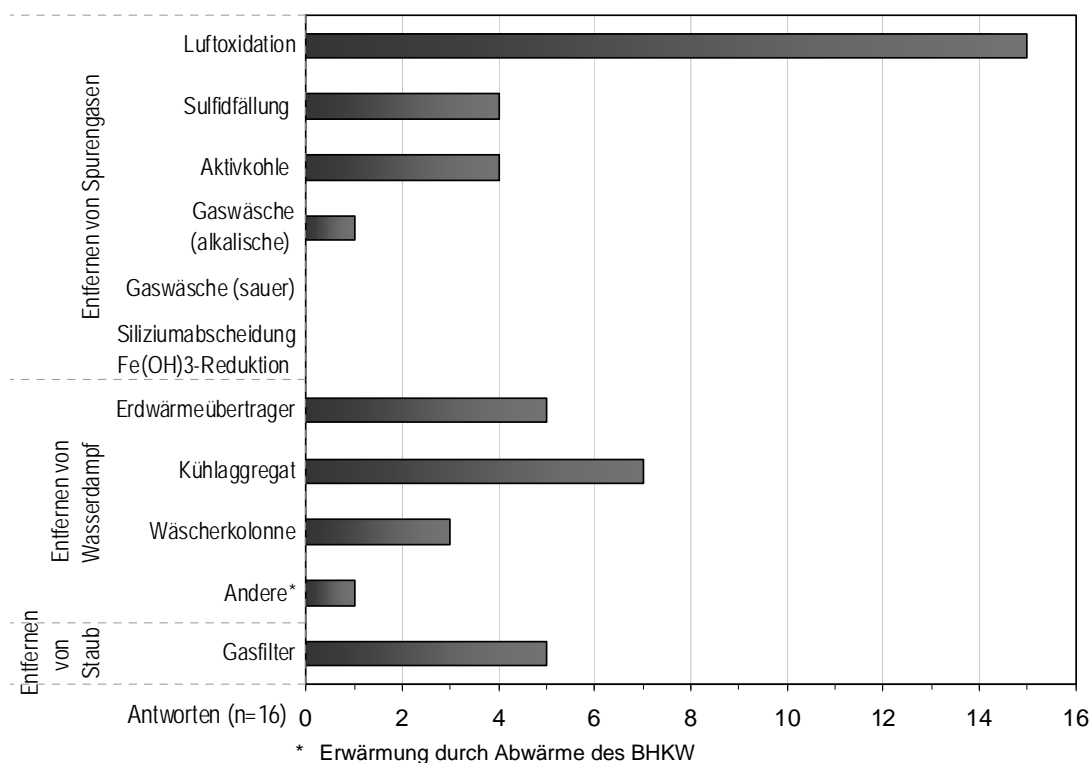
### 2.4.2.13 Biogasreinigung

Die Reinigung des Biogases vor seiner Verwertung umschließt die Entfernung von Spurengasen wie Schwefel und Silizium, die Entfeuchtung und das Entfernen von Verunreinigungen wie Staub.

Die biologische Entschwefelung im Gasraum des Fermenter oder im Gasspeicher durch Luftoxidation ist die technisch am einfachsten zu realisierende Methode und wird von fast 94 % der Befragten angeboten. Die chemische Entschwefelung (Sulfidfällung) im Fermenter durch Zugabe von Eisensalzen wird nur von einem Viertel der Befragten angeboten. Ähnlich verhält es sich mit der Verbreitung von Aktivkohle, mit der das zusätzliche Entfernen von Siloxanen und Halogenverbindungen möglich ist /2/. Die alkalische Gaswäsche in externen Kolonnen mittels Zugabe von Natronlauge wurde nur einmal genannt. Weder die saure Gaswäsche zur Abscheidung von Ammoniak noch die Siliziumabscheidung an Raseneisenerz ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) spielten bei den Befragten eine Rolle.

Eine Reduzierung des Wasserdampfanteils des Biogases ist durch den Einsatz von erdverlegten Rohren, Kühlaggregaten und durch Wäscherkolonnen möglich. Alle Techniken zielen auf das Auskondensieren des im Biogas enthaltenen Wassers durch Absenken der Gastemperatur unter den Taupunkt des Gases ab. Neben Wasser werden auch Spurengase ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) und Staubpartikel teilweise entfernt. Zwei Anbieter gaben an, auf eine Entschwefelung zu verzichten, da bei manchen Anlagen (in Abhängigkeit des Substrates) der Schwefelwasserstoff-Gehalt so gering ist, dass ein Auskondensieren mit Wasserdampf als Gasreinigung ausreichend ist. Hier steht vor dem BHKW ein/eine Kondensatabscheider/-falle als „Entschwefelungseinheit“. Das Erwärmen des Gases durch Nutzen der Abwärme des BHKW kann nicht als Entfernung von Wasserdampf gewertet werden. Hier wird lediglich die relative Feuchte des Gases abgesenkt. Der absolute Wasserdampfgehalt im Gas bleibt konstant und wird so den nachfolgenden Verwertungseinrichtungen übergeben. Nichtsdestotrotz ist dies eine Möglichkeit, das Gas für einen Transport oder eine Verwertung zu konditionieren ohne dass der Wasserdampf in kondensatempfindlichen Anlagenteilen ausfällt.

Neben der Entfernung von Feststoffpartikeln aus dem Gas durch die Kondensatabscheidung, besteht eine weitere Möglichkeit im Einsatz von Gasfiltern. Diese werden in der Regel allen BHKW-Motoren vorgeschaltet und sind meist in die BHKW integriert, sodass nur fünf der befragten Anbieter diese extra ausweisen, obwohl Gasfilter bei allen Anlagen Verwendung finden. Die quantitative Darstellung ist aus Abbildung 2.4.13 ersichtlich.



**Abbildung 2.4.13 Biogasreinigung**

#### 2.4.2.14 Biogasverwertung

Alle Befragten realisieren Nutzungskonzepte zur Kraft-Wärme-Kopplung, wobei mit Abstand Gas-Otto-Motoren, gefolgt von Zündstrahlmotoren am häufigsten angeboten werden. Weiterhin werden Mikrogasturbinen angeboten, wobei erwähnt werden muss, dass diese beiden Komplettanbieter, noch keine Turbinen in Biogasanlagen installiert haben. Stirlingmotor und Brennstoffzelle stehen vor oder befinden sich in der Markteinführung, sodass die hier Befragten keine der beiden Technologien nannten. Nach Angabe eines Brennstoffzellenherstellers /4/ läuft seit August/September 2006 eine Brennstoffzelle mit Nutzung von Biogas, welche momentan einer Erneuerung des Zellenstapels und weiteren Modifikationen unterzogen werden muss. Ausgesprochen rege wird die in den letzten Jahren forcierte Bereitstellung von Biogas und Biomethan für die Einspeisung in Mikrogasnetze (Rohbiogas) und in die öffentlichen Erdgasnetze (Biomethan) angeboten. Etwas weiter verbreitet ist dabei die Biogasbereitstellung für Dritte über Mikrogasnetze. Ein Viertel der Befragten befasst sich aber auch mit der sehr aufwendigen Technik der Reinigung des Biogases auf Erdgasqualität. Weitere, wenn auch weniger beschrittene Nutzungspfade, sind die thermische Nutzung in Heizkesseln zur ausschließlichen Erzeugung von Wärme und die Nutzung als Treibstoff (Druckgasbereitstellung). Die quantitative Verteilung der Ergebnisse kann Abbildung 2.4.14 entnommen werden.

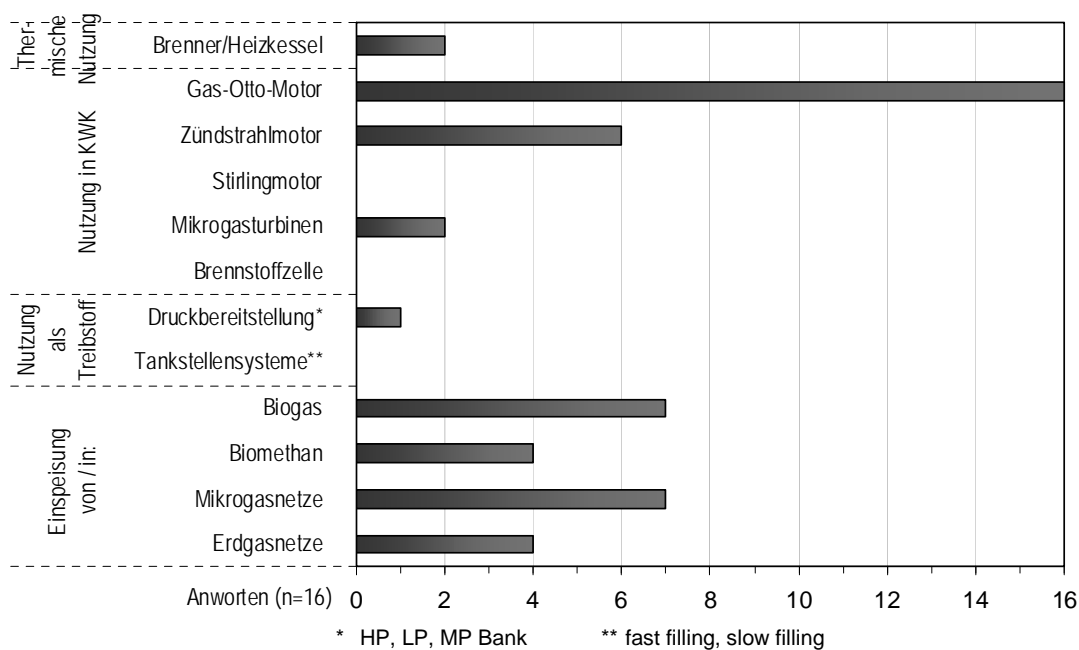


Abbildung 2.4.14 Biogasverwertung

#### 2.4.2.15 Abwärmenutzung von KWK-Anlagen

Da bei Biogasanlagen zunehmend die Energieeffizienz und die vollständige Nutzung der erzeugten Energie im Vordergrund stehen, wurde auch nach Wärmenutzungskonzepten für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen gefragt. Wie aus Abbildung 2.4.15 hervorgeht, sind die Nutzung von Wärmenetzen zur Bereitstellung von Fern- und Nahwärme, aber auch das Verwenden der Wärme zur Materialtrocknung sehr verbreitet. Energiewandlungsprozesse, welche die zur Verfügung stehende Wärme in elektrische Energie (ORC- Anlagen (Organic Rankine Cycle) und thermohydraulischer Generator) oder Kälte (Adsorptionskälteanlage) transformieren, werden von den Teilnehmern der Umfrage nicht angeboten und bleiben vorerst Lösungen für den speziellen Anwendungsfall.

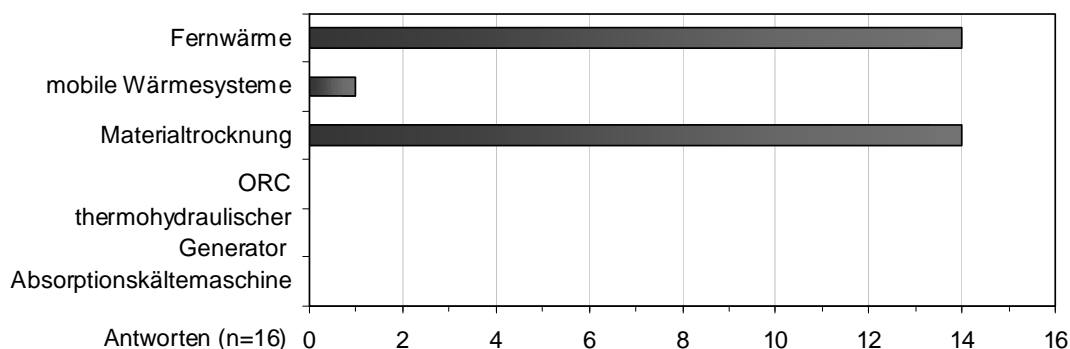


Abbildung 2.4.15 Abwärmenutzung von KWK-Anlagen

### 2.4.2.16 Gärrestlager

Gärrestlager wurden untergliedert in die Lagerung von festen und flüssigen Gärresten. Feste Gärreste werden häufig unter freiem Himmel bzw. in Hallen zwischengelagert. Beide Arten der Lagerung werden von den Anbietern in ähnlichem Umfang angeboten. Oftmals hängt die Lagerart aber mehr von den örtlichen Gegebenheiten als von den Konzepten der Komplettanbieter ab. Ähnlich verhält es sich bei den Lagern für flüssige Gärreste. Tendenziell ist jedoch zu erkennen, dass offene Systeme weitaus weniger vertrieben werden, als abgedeckte oder gasdicht geschlossene Systeme. Alle der Befragten, mit Ausnahme des Anbieters der Feststoffvergärung im Perkolationsverfahren, welcher kein Lager für flüssige Gärreste besitzt, bieten gasdicht abgedeckte Lager an. In Abbildung 2.4.16 ist die Auswertung graphisch dargestellt.

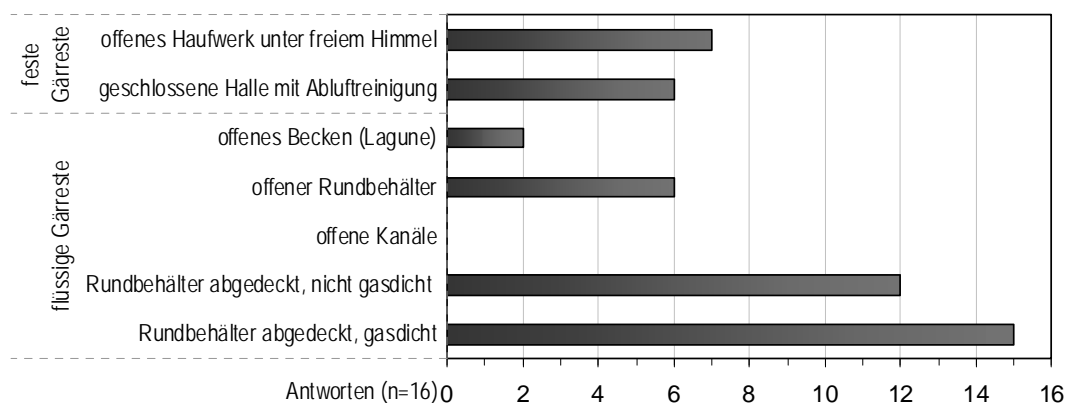


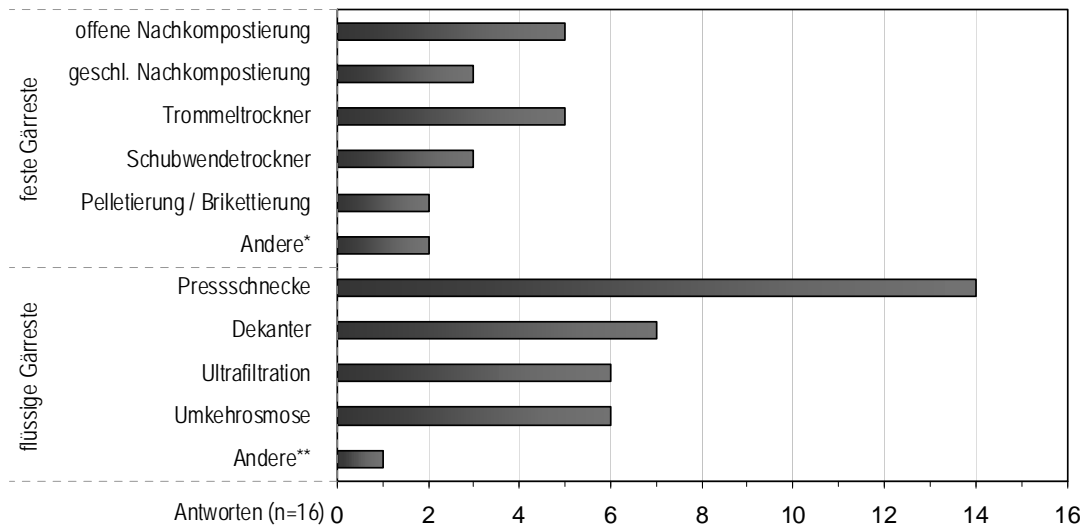
Abbildung 2.4.16 Gärrestlager

### 2.4.2.17 Gärrestaufbereitung

Neben der allgemein üblichen bodennahen Feldausbringung der Gärreste wurde nach weiteren Behandlungsschritten zur Aufbereitung gefragt. Insgesamt sechs Anbieter arbeiten mit einer offenen oder geschlossenen Nachkompostierung mit leichter Tendenz hin zur offenen. Auch die Verwendung von verschiedenen Trocknungsverfahren fester Gärreste wird von insgesamt neun Komplettanbietern angegeben. Unter den hier angebotenen Technologien stellen damit Nachkompostierung und Trocknung die beiden Hauptbehandlungspfade für feste Gärreste dar. Die Pelletierung fester Gärreste baut auf eine entsprechende Trocknung auf und wird von zwei Anbietern als weiterer möglicher Verfahrensschritt angeboten.

Bei den flüssigen Gärresten hebt sich die Verwendung von Pressschnecken zur Fest-Flüssig-Trennung deutlich von anderen Verfahren ab. Fast alle Befragten bieten diese Technik an. Für die weitere Feinabtrennung (Dekanter, Ultrafiltration) bis hin zur Vollaufbereitung des Gärrests auf Vorfluterqualität (Umkehrosmose) bieten sechs Komplettanbieter entsprechende Technologien an.

Ein Anbieter gab an, für die grobe Trennung der festen und flüssigen Phase die chemische Fällung als Methode einzusetzen. Siehe hierzu Abbildung 2.4.17



\* Trocknung von Gärresten allgemein bzw. Trocknung mit Bandrockner

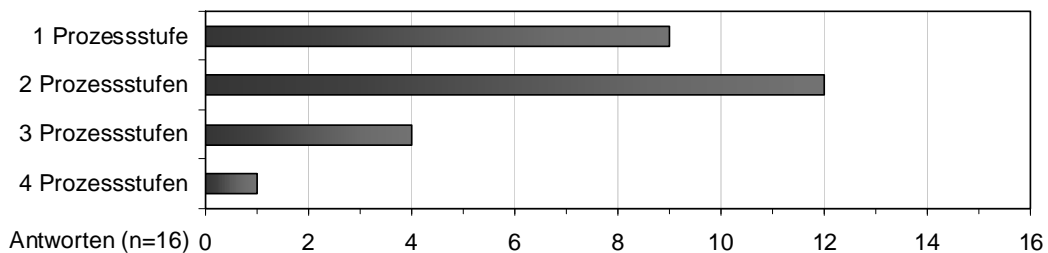
\*\* Chemische Fällung der Feststoffe mit anschließender Dekantierung

**Abbildung 2.4.17 Gärrestaufbereitung**

**2.4.2.18 Betriebsweisen - Prozessführung**

Der anaerobe Abbau organischer Materialien durchläuft vier Phasen: Hydrolyse, Säurebildung, Essigsäurebildung, Methanbildung. In den meisten Biogasanlagen finden diese Phasen gemeinsam in einem oder in mehreren parallel geschalteten Behältern bzw. in einer Behälterkaskade (Fermenter mit angegliederter Nachgärer) statt. Bei den Befragten ist dies bei 94 % der Fall. Nur ein Anbieter arbeitet grundsätzlich mit räumlich getrennten Phasen (Hydrolyse und die Versäuerungsphase getrennt von der Essigsäure- und schließlich Methanbildungsphase). Auch 53 % der Anbieter von Systemen, in denen keine räumliche Trennung der Phasen vorgesehen ist, haben die Möglichkeit, durch das Vorschalten eines Hydrolysebehälters eine Phasentrennung in genannter Weise zu realisieren. Dies geschieht je nach Bedarf entsprechend der Substratwahl oder der Anlagengröße.

Technologisch erfolgt die Biogaserzeugung in Behältern, wobei Hydrolysebehälter, Fermenter und Nachgärer Prozessstufen bilden. Am häufigsten werden zweistufige Anlagenkonzepte angeboten (75 % der Befragten), die entweder aus einer Fermenterkaskade (neun Anbieter) oder aus einer räumlichen Trennung der Konversionsphasen (drei Anbieter) bestehen. Einstufige Prozesse werden von neun (54 %), mehrstufige Prozesse (drei und vier Stufen) von sechs Befragten (38 %) vertrieben. Die mehrstufigen Anlagen bestehen generell aus dem Hydrolysebehälter und einer Fermenterkaskade (Fermenter bzw. Nachgärer), sie sind also grundsätzlich zweiphasig aufgebaut. Eine Übersicht über die Verwendung verschiedener Prozessstufen bietet Abbildung 2.4.18.



**Abbildung 2.4.18 Anzahl der Prozessstufen**

### 2.4.2.19 Betriebsweisen - Prozesstemperatur

Alle Komplettanbieter die an der Umfrage teilnahmen, bieten den mesophil betriebenen Fermenter an. Drei der befragten Firmen haben zusätzlich auch einen thermophil betriebenen Fermenter im Portfolio. Dieser kann in einem ein- oder auch mehrstufigen Anlagenkonzept integriert sein.

Die thermophil betriebenen Nachgärer sind fest in ein mehrstufiges Anlagenkonzept mit mesophil betriebenen Fermentern eingebunden. Die geringere Anzahl der Nachgärbehälterrealisierung gegenüber den Fermentern ist auf das vorgesehene Anlagenkonzept (ein- oder mehrstufig) zurückzuführen. Vergleiche auch Abbildung 2.4.19.

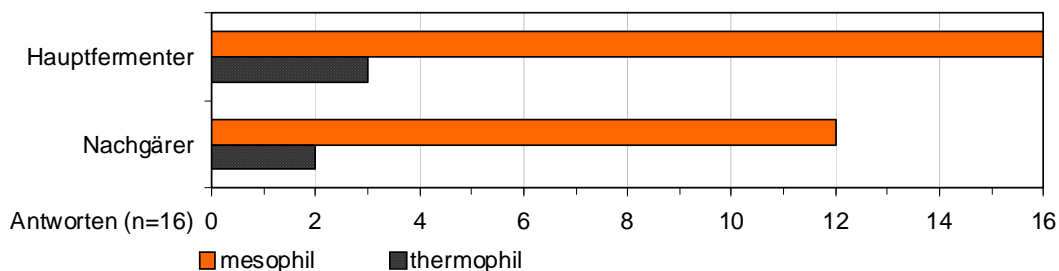


Abbildung 2.4.19 Prozesstemperatur

### 2.4.2.20 Betriebsweisen - prozessbegleitende Maßnahmen

Da fast alle der Befragten auch Anlagen zum vergären hygienisierungspflichtiger Substrate errichten, haben sie auch die Möglichkeiten zum Bau einer Hygienisierungsstufe. Elf der sechzehn Komplettanbieter gaben an mit einer Gärrestrückführung zu arbeiten. Fünf gaben an, Fermentationshilfsstoffe einzusetzen, die dem Prozess zugegeben werden. Die entsprechende Verteilung ist in Abbildung 2.4.20 ersichtlich.

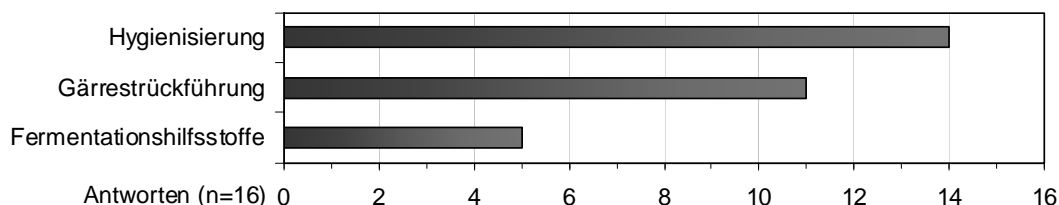


Abbildung 2.4.20 Prozessbegleitende Maßnahmen

### 2.4.3 Fazit

Die Auswertung der Umfrage zeigt die Vielfältigkeit der zur Anwendung kommenden Techniken. Zum Teil dominieren hierbei Einzelne, wie z. B. Rührkesselfermenter in Betonbauweise, Doppelmembranspeicher, Tauchmotorrührwerke, Entschwefelung durch Luftoxidation und Gas-Otto-Motoren. Diese Techniken kennzeichnen die „klassische“ Bauweise von Rührkesselfermenteranlagen, welche das Bild von Biogasanlagen maßgeblich mitbestimmen. Speziell bei der Substrat- und Gärrestaufbereitung ist zudem ein starker Einfluss von nicht biogasspezifischen Techniken zu verzeichnen. Diese kommen in einer enormen Bandbreite, je nach Substratart zur Anwendung. Ein Beispiel ist die besondere Frequentierung verschiedenster Aufbereitungsschritte von Substraten. Neben der vorwiegenden Nutzung des Biogases durch das vorhandene BHKW, finden Systeme zum Gastransport (Einspeisung in Mikrogas- und Gasnetz) zunehmende Verbreitung, welches auf eine flexiblere Nutzung der erzeugten Energie schließen lässt.

---

Auch die Bandbreite genannter Gärrestbehandlungsverfahren ist ein Indiz für eine differenziertere Nutzung der Gärrückstände. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich eine Vielzahl von speziellen Techniken herausgebildet hat, die je nach Art des Substrates angewendet werden können. Zudem lassen sich Trends zu automatisierten Anlagen und Komponenten (z.B. Feststoffdosierer, Erfassungs- und Registriersysteme) sowie zu geschlossenen Systemen (Substratlagerung, Gärrestlagerung) erkennen.

## 2.5 Literatur

- /1/ Bauer, C.O.: Rechtsbegriffe technischer Sachverhalte, Werkstatt und Betrieb 120 (1987), H, 11, S. 904/907
- /2/ HLUG, Informationen des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Internetrecherche <http://www.hlug.de/medien/abfall/bioabfall/speiseabfaelle.htm>, Zugriff 09.07.2008
- /3/ Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Stromerzeugung aus Biomasse, 2008
- /4/ Firmenschrift CFC Solutions GmbH; Referenzen - CFC Solutions GmbH 09/2007, übersendet am 05.02.2008



## 3 Anlagentechnik

### 3.1 Substratmanagement

#### 3.1.1 Substratbereitstellung - Substratanlieferung

Der erste Schritt in der Prozesskette der Biogaserzeugung ist die Substratbereitstellung. Die Bereitstellung umschließt das Erfassen und Sammeln von organischen Reststoffen, das Ernten von nachwachsenden Rohstoffen und den Transport dieser Substrate zur Biogasanlage. Ein ausschließlich innerbetrieblicher Transport von Substraten erfolgt beispielsweise in landwirtschaftlichen Betrieben mit Nutztierhaltung (Wirtschaftsdünger) und in lebensmittelerzeugenden Betrieben (organische Reststoffe), bei denen eine Biogasanlage zur Verwertung der anfallenden Reststoffe integriert ist. Werden extern anfallende Substrate wie Energiepflanzen oder Bioabfall (z.B. braune Tonne) zur Biogasanlage transportiert, so erfolgt dies substratspezifisch in dafür vorgesehenen Behältnissen. Die Erfassung der eingehenden Substratmengen und eventuell der Substratqualität (Entnahme von Proben zur Gütekontrolle der Substrate und zum Nachweis von vertraglich zugesicherten Qualitäten) erfolgen im Anlieferungsbereich oder durch den Lieferanten. Eine Übersicht der technischen Eigenschaften, Emissionsverhalten und Sicherheitsmaßnahmen werden jeweils am Ende der Kapitel Feststoffannahme (Tabelle 3.1.1 bis Tabelle 3.1.3) und Kapitel Flüssigkeitsannahme (Tabelle 3.1.4 bis Tabelle 3.1.6) gegeben.

##### 3.1.1.1 Feststoffannahme

###### Verfügbare Technik und Leistungsfähigkeit

Technologien zur Substratannahme unterteilen sich in Anlieferung und Entladung.

###### **Anlieferung**

Die Anlieferung fester Substrate richtet sich maßgeblich nach der Art der Substrate (z.B. lose, verpackt) und nach Vorgaben zum Immissionsschutz und der Hygiene. Schütffähige landwirtschaftliche Substrate (z.B. Mais- oder Ganzpflanzensilage) werden meist mit herkömmlicher in der Landwirtschaft üblicher Transporttechnik befördert. Dabei können verschiedene Kippanhänger und Abschiebewagen zur Anwendung kommen. Neben den genannten Transportmöglichkeiten werden auch Pritschenwagen zum Transport von Ballen genutzt. Andere schütffähige Stoffe, z.B. Bioabfall, werden in Containerfahrzeugen oder in abgedeckten, leckagesicheren Behältnissen, meist Mehrweggebinden (MGB - Müllgroßbehälter, GLT - Großladungsträger, Spannringfass, Container) in geschlossenen oder auf offenen Fahrzeugen transportiert (Abbildung 3.1.1). Darüber hinaus können z.B. überlagerte, aber abgepackte Lebensmittel auf Paletten oder in Kartons angeliefert werden. Beim Transport dieser Abfälle gemäß BioAbfV, tierischer Nebenprodukte und verarbeiteter Abfälle lt. VO (EG) Nr. 1774/2002 sind vom Fuhrunternehmen spezielle Anforderungen bezüglich Hygiene und Umweltschutz einzuhalten.



**Abbildung 3.1.1 Landwirtschaftlicher Transport (links), Sammelfahrzeug (Mitte), Müllgroßbehälter (rechts); Fotos: DBFZ**

### Erfassung

Die Annahme und Erfassung betriebsfremder Substrate erfolgt in einem Anlieferbereich. Die Erfassung der eingehenden Substrate erfolgt im einfachsten Fall durch eine bloße Zählung der Fahrzeuge, wobei über die Verwendung von definierten Transportvolumina eine Mengenabschätzung möglich ist. Da viele Biogasanlagenbetreiber mit Substratlieferverträgen arbeiten bzw. finanzielle Einnahmen über die Annahme von vergärbaren Abfällen erzielen, wird auf eine genaue Messung der eintreffenden Substratmengen durch Wiegeeinrichtungen geachtet. Diese können extern oder auf der Biogasanlage installiert sein. Hierfür gibt es verschiedene Systeme, wie z.B. Fahrzeugwaagen und Rad- bzw. Achslastwaagen in Über- und Unterfluraufstellung (Abbildung 3.1.2). Die Wägung kann in Kombination mit der Registrierung des Lieferanten und der Lieferzeit erfolgen. Zum Teil werden hierfür automatisierte Systeme mit Chip, Chipkarte oder GPS eingesetzt. Eine weitere Erfassung über ein Handelspapier (Begleitschein) muss bei der Annahme von tierischen Nebenprodukten und verarbeiteten Abfällen lt. VO (EG) Nr. 1774/2002 erfolgen. Dies ist gesetzlich geregelt (VO (EG) Nr. 1774/2002 Artikel 7 in Verbindung mit Anhang II, TierNebV Teil 3 § 9) und dient dem Nachweis der rechtskonformen Beseitigung/ Verarbeitung dieser Produkte. Eine Erfassung von Silagen kann durch die Vermessung der Silokörper nach der Einlagerung erfolgen. Bei der externen Mengenerfassung werden die Lieferdaten über Lieferscheine oder sonstige Dokumente auf der BGA erfasst.

Eine Ausnahme können in den bäuerlichen Hof integrierte Biogasanlagen mit Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Mais, Getreide, Gras) darstellen. Die vom Landwirt angebauten und geernteten Energiepflanzen werden meist ohne separate Erfassung der Substratmenge und -qualität zur Anlage transportiert, so dass ein spezieller Anlieferbereich nicht notwendig ist. Bis auf die gesetzlich geregelten Anforderungen an Anlieferbereiche für bestimmte Produkte werden keine speziellen Anforderungen an den Anlieferbereich gestellt.



**Abbildung 3.1.2 Fahrzeugwaage; Fotos: DBFZ**

### Entladung - Abkippen und Abschieben schüttfähiger Substrate

Landwirtschaftliche Substrate, z.B. erntefrischer gehäckselter Mais, werden oftmals in Fahrsiloanlagen abgekippt und dort im nächsten Arbeitsgang einsiliert. Dies geschieht unter freiem Himmel und ist aufgrund der Substrateigenschaften kaum mit Geruchsemissionen oder Staubeentwicklung verbunden. Landwirtschaftliche Substrate die trocken eingelagert werden müssen (z. B. Getreidekörner) werden direkt in die Aufnahmeeinheit des Lagers (z. B. Hochsilo) geschüttet (Abbildung 3.1.3).



**Abbildung 3.1.3 Entladen in Aufnahme­trichter zur Befüllung eines Hochsilos, Fotos: Weinzierl Lager- und Fördertechnik (beide)**

Dies kann, ebenso wie die Entladung geruchsintensiver Substrate, auch in geschlossenen Annahmehallen erfolgen. Der notwendige Einsatz von geschlossenen Annahmehallen ist von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen muss die Geruchsentwicklung der Substrate entsprechend hoch sein, zum anderen muss eine Immissionssituation vorliegen, die entsprechende Maßnahmen erforderlich macht. Werden Substrate auf eine Lagerfläche geschüttet, können sie mittels Radlader direkt dem Fermenter (Boxenfermenter), der Dosier- und Vorlageeinheiten oder, wenn nötig, der Substrataufbereitung zugeführt werden. Auch ein Entladen direkt in Feststoffdosierer und Vorlageeinheiten (Bunker, Gruben, Vorlagebehälter, Schüttgasse) ist weit verbreitet. Der Vorteil gegenüber dem Abkippen auf eine Lagerfläche ist die automatisierte Weiterverarbeitung der Substrate. Über geeignete Fördereinrichtungen (Schnecken, Bänder, Schub- und Kratzböden) werden diese der Substrataufbereitung/-lagerung zugeführt. Eine weitere Methode der Substratentladung ist die direkte Beschickung von Boxenfermentern durch den Substrattransporteur. Bei dieser Variante werden spezielle Fahrzeuge mit Schubbodenaustrag (Walking Floor) eingesetzt, die die Fermenter langsam durchfahren und zeitgleich die Substrate von der Ladefläche abschieben. Dieses Verfahren vermeidet den notwendigen Zwischenschritt des Substrattransports zwischen Entlade-/ Lagerstelle und der folgenden Verarbeitungseinheit.

#### **Entladen von Ballen, Behältern, Paletten**

Das Entladen von festen, nicht schüttfähigen Substraten wie z.B. Strohballen, Fässern, MGB und Paletten erfordert zusätzliche Gerätschaften und einen erhöhten Personalaufwand. Entweder verfügt das anliefernde Fahrzeug über einen mobilen Kran bzw. Stapler oder an der Substratannahmestelle wird ein entsprechendes Fahrzeug (Traktor, Radlader, Stapler) vorgehalten. Die Substrate werden dann in offenen oder geschlossenen Hallen bzw. auf Freiflächen bis zur weiteren Verarbeitung gelagert.

#### *Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen*

Geruchsarme Substrate (z. B. Silage) oder Substrate, die in geschlossenen Gebinden angeliefert werden, können in aller Regel im Freien entladen und gelagert werden. Da das Abkippen und Abschieben von geruchsintensiven Substraten u. U. mit einer verstärkten Freisetzung von Geruchsstoffen (z.B.  $\text{NH}_3$ ) einhergehen kann, werden diese, wenn es die Immissionssituation erfordert, in eingehausten Annahmebereichen entladen. Diese meist als Hallen ausgeführten Bereiche sind ggf. gemäß immissionsschutzrechtlicher Bestimmungen mit einer geeigneten Abluffassung und -reinigung zu versehen (z. B. Wäscher, Biofilter). Um eine effektive Abluffassung zu ermöglichen und um Emissionen ins Freie zu minimieren, werden die Tore beim Entladen geschlossen gehalten. Eine leistungsfähige Hallenabsaugung dient auch der Reduzierung des beim Abladen entstehenden Staubes und anderer luftgetragener Schadstoffe. Beim Abkippen in offene Bunker und Gruben ist auf eine schnelle Verarbeitung zu achten. Vorteilhaft sind Vorlagebehälter und Feststoffdosierer, die eine Klappe besitzen und abseits des Entladens geschlossen gehalten werden. Beim Abkippen von Substraten auf eine befestigte Fläche sind der Anschluss an eine Sickerwasserfassung und Reinigungsmöglichkeiten vorzusehen. Darüber hinaus können

eventuell auftretende Staubaufwirbelungen durch Fahrzeuge vermieden werden, indem der **Anliefer- und Entladebereich entsprechend befestigt und regelmäßig gesäubert wird.**

Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Offene Transporte können mit Netzen oder Planen gegen Herausfallen oder Herausfliegen von losen Substraten gesichert werden. Beim Transport von fest verschlossenen Gefäßen ist auf eine möglicherweise schon beginnende Gärung zu achten. Behälter können z.B. durch Sichtkontrolle und gegebenenfalls Druckablassen vor einem unkontrollierten Druckaufbau geschützt werden (ggf. sind spezielle Behälter u. a. mit einer Drucksicherung zu verwenden).

**Tabelle 3.1.1 Technische Eigenschaften Feststoffannahme**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
<b>Anlieferung und Erfassung</b>			
offene Fahrzeuge	zumeist zum Transport nachwachsender Rohstoffe (Silage, CCM, Getreide, Stroh, tierische Exkremente wie Festmist oder Hühner-trockenkot); Kipp- und Abschiebefahrzeuge, Pritschenwagen	teilweise kann die im landwirtschaftlichen Betrieb vorhandene Transporttechnik genutzt werden; Transport komprimierten Ernteguts in Ballen möglich	Transport kann mit stofflichem Verlust verbunden sein
geschlossene Fahrzeuge und Behältnisse	für den Transport von Substraten mit hohem Emissionspotenzial (staubend und geruchsintensiv, sowie Substrate nach VO (EG) Nr. 1774/2002; Abdeckplanen, Containerfahrzeuge, Silofahrzeuge; Mehrwegbehälter: Müllgroßbehälter, Groß- und Kleinladungsträger, Fässer; Einwegbehälter: Produktverpackungen überlagerter Lebensmittel und Fehlchargen	emissionsarmer Transport, keine stofflichen Verluste; Material nach VO (EG) Nr. 1774/2002 kann nach den hygienischen Bestimmungen befördert werden; flüssigkeitsdicht	teilweise spezielle Transporttechnik notwendig; zusätzliche Transportbehälter notwendig; Material nach VO (EG) Nr. 1774/2002 erhöhte Anforderungen an Reinigung und Desinfektion der Fahrzeuge und Behältnisse
<b>Entladung</b>			
offene Fahrzeuge	durch Kippen und Abschieben auf: Lagerfläche oder in halboffene Vorgruben und Lagerbehälter	schnelle Entladung, keine zusätzliche Logistik und Zeitbedarf zum Entladen notwendig, hoher Grad der Automatisierung möglich	kann u. U mit Staub- und Geruchsbildung verbunden sein
	Entladung per Traktor/ Radlader (Stroh-/ Silageballen)	gut stapelbar, relativ Platz sparend durch gepresste Form	zusätzlicher Logistik und Zeitbedarf für Personal notwendig
geschlossene Fahrzeuge	durch Kippen und Abschieben auf: Lagerfläche oder in halboffene Vorgruben und Lagerbehälter	schnelle Entladung, keine zusätzliche Logistik und Zeitbedarf zum Entladen notwendig, hoher Grad der Automatisierung möglich	kann u. U. mit Staub- und Geruchsbildung verbunden sein
Behältnisse	durch Abladen von Behältern, Paletten per Stapler, Radlader	stapelbar, relativ saubere Lagerung möglich	zusätzliche Logistik und Zeitbedarf für Personal notwendig

**Tabelle 3.1.2 Emissionsverhalten Feststoffannahme**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
offene Fahrzeuge/ geschlossene Fahrzeuge/ Behälter	Geruch Staub Hygiene Lärm aus dem Substrat austretende Flüssigkeiten (Säfte, etc.)	Anlieferungsbereich und Betriebsfläche entsprechend befestigen und regelmäßig säubern, Schächte, Einläufe und sonstige Auffangsysteme für austretende Flüssigkeiten, bei entsprechenden rechtlichen Vorgaben strikte Trennung des Anlieferungsbereiches von anderen Betriebsbereichen (Hygiene), sach- und fachgerechter Umgang mit den Substraten im Annahmehbereich (z.B. schnelle Verarbeitung durch Silierung oder Trocknung landwirtschaftlicher Substrate), schnelle Verarbeitung geruchsintensiver Substrate, Entladung wenn immissionsschutzrechtlich nötig in geschlossenen Hallen mit Abluffassung und -reinigung,

Auf dem Gelände der Biogasanlage ist dem gesetzlichen Arbeitsschutz Rechnung zu tragen. Bei großen Anlagen mit massivem Lieferverkehr können betriebsinterne Verkehrsregeln wie Geschwindigkeitsbegrenzungen und Anlegen eines Einbahnstraßensystems, Schilder und Signaltechnik, aber auch das Sichern von Gefahrenbereichen zur Anwendung kommen. Die entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften, Sicherheitsregeln, Betriebsanweisungen und Belehrungen nach BetrSichV, sowie die notwendige Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung, z.B. nach BGV A8 und VSG1.5 sind anzuwenden. Bei der Annahme von geruchsintensiven Substraten ist auch auf die Einhaltung der AGW-Werte zu achten. Hier können Annahmehallen mit Gaswarnsensoren ausgerüstet sein.

**Tabelle 3.1.3 Sicherheitsmaßnahmen Feststoffannahme**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
offene Fahrzeuge/ geschlossene Fahrzeuge/ Behälter	Verkehr	Ggf. Anfahrerschutz für Anlagen- und Gebäudeteile und Aufstellen von Verkehrsregeln auf dem Betriebsgelände großer Anlagen mit massivem Lieferverkehr (Geschwindigkeitsbegrenzung, Vorfahrtsregeln, Ampelanlagen)
	Druckaufbau durch unkontrollierte Gärung in fest verschlossenen Behältern (Fässer)	Sichtkontrolle, im Bedarfsfall geeignetes Druckablassen; Verwenden entsprechend drucksicherer Behälter mit Drucksicherung

### 3.1.1.2 Flüssigkeitsannahme

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die gebräuchlichste Form der Anlieferung betriebsfremder, flüssiger Substrate ist der Transport in Tankwagen, Güllefässern und Silofahrzeugen. Die Erfassung der eingehenden Stoffströme kann dabei z.B. über Volumenstromzähler erfolgen, wobei die Substrate i. d. R. über einen Anschlussstutzen in Vorlagebehälter (Abbildung 3.1.4) eingetankt werden. Weitere Möglichkeiten der Mengenerfassung sind Wägungen, sowohl intern als auch extern, oder die Erfassung der Lieferdaten über Lieferscheine oder sonstige Dokumente (vgl. 3.1.1.1). Betriebseigene Substrate werden bei kurzen Entfernungen zumeist auch über Rohrleitungen in die Biogasanlage oder deren Vorlagebehälter/ Vorgrube gepumpt (z.B. Gülle aus Betrieben mit angeschlossener Nutztierhaltung). Oft werden die Pumpstationen der Biogasanlage in die Transportleitung so eingebunden, dass kein zusätzliches Aggregat notwendig ist.



**Abbildung 3.1.4 Eintanken in eine geschlossene Vorgrube; Foto: DBFZ**

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Durch den Transport in geschlossenen Behältern entstehen nur marginale Geruchsemissionen durch das Substrat bzw. durch Verunreinigungen am Fahrzeug. Dies trifft auch für den Bereich der Übergabe des Substrates durch Eintanken über einen Schlauchanschluss in geschlossene Vorlagebehälter zu. Relevante Geruchsemissionen treten dagegen beim Einlassen über eine geöffnete Bodenklappe in eine Vorgrube auf, da hier das geschlossene System des Transports und der Lagerung durch den Entladevorgang unterbrochen wird. Wenn notwendig, können in solchen Situationen unerwünschte Geruchsemissionen durch entsprechende Ablufferfassungssysteme mit entsprechender Nachbehandlung behandelt werden. Anlagen die geruchsintensive Substrate verarbeiten und es die Immissionssituation erfordert, sind oft mit Hallen zur Substratannahme ausgestattet. So können Emissionen durch eine Ablufferfassung gesammelt und anschließend desodoriert werden. Dies geschieht am häufigsten durch den Einsatz von Biofilteranlagen und Luftwäschern. Weitere Möglichkeiten sind die Zufuhr der Abluft zum BHKW als Verbrennungsluft (bei Freigabe durch den BHKW-Hersteller) oder durch die Zugabe von Desodorierungsmitteln. Geruchsemissionen durch Verunreinigungen der Fahrzeuge und Abfüllplätze können durch entsprechende Reinigungen vermieden werden. Auch das beim Befüllen eines geschlossenen Behälters verdrängte Gasvolumen kann entweder über einen Biofilter geführt oder dem Gasspeichersystem zugeführt werden. Der zur Substratübergabe vorgesehene Abfüllplatz ist befestigt und als flüssigkeitsdichte Auffangwanne mit Einlauf ausgeführt. So kann ein Eindringen von eventuell austretenden Flüssigkeiten ins Erdreich vermieden werden.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Beim Einlassen flüssiger Substrate in eine Vorgrube besteht die Gefahr der Vergiftung durch unkontrollierte Freisetzung von Schwefelwasserstoff (substratabhängig, vgl. Kapitel 5.3.5 und Informationspapier „Zur Sicherheit bei Biogasanlagen“ (Juni 2006) des Umweltbundesamtes; [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)). Um dies zu vermeiden wird in vielen Anlagen das Substrat über einen festen Anschlussstutzen eingetankt. **Aus Gründen der Sicherheit sollte das Einlassen von Substrat über eine geöffnete Bodenklappe keine Anwendung mehr finden.** Darüber hinaus muss für in Hallen untergebrachte Annahmehbereiche eine ausreichende Belüftung gesorgt werden. Bei Annahmehbereichen im Freien ist dies meist gegeben (Immissionsschutz beachten). Das verdrängte Gasvolumen aus den zu befüllenden Behältern wird gasdicht der Biogasverwertung bzw. einer Abluftreinigung zugeführt.

Sind Wartungsarbeiten notwendig, die ein Begehen von offenen und geschlossenen Behältern erfordern, muss damit gerechnet werden, dass sich giftige Gase ansammeln. Hier sind besondere Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, wie z.B. Freimessen vor dem Einstieg, Bewettern der Grube/ des Behälters, Aufstellen eines Sicherheitspostens, Anlegen von Gurtsystemen, Mitführen mobiler Gaswarngeräte.



**Tabelle 3.1.4 Technische Eigenschaften Flüssigkeitsannahme**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
<b>Anlieferung und Erfassung</b>			
Tankwagen, Güllefass	Transport von Gülle, Fetten, Glycerin und anderen Flüssigkeiten	geschlossen, weitestgehend geruchsneutral, Fahrzeuge teilweise mit Pump-, Heiz- und Reinigungsaggregat	schubweise Anlieferung, eventuell Zwischenlagerung notwendig
geschlossene Rohrleitungen	Transport flüssiger Substrate auf dem Betriebsgelände	geschlossen, weitestgehend geruchsneutral, kontinuierlicher Transport möglich	
<b>Entladung</b>			
Tankwagen, Güllefass	Einlass über geöffnete Bodenklappe in Vorlagebehälter/ Vorgrube - sollte keine Anwendung mehr finden; Alternative: Eintanken über Schlauchanschluss	schnelle Entladung, keine zusätzliche Logistik notwendig, hoher Grad der Automatisierung möglich	Emissionen durch geöffneten Deckel des Lagerbehälters, Exposition von Keimen, Gasen und Geruchsstoffen möglich bedenklich in Bezug auf den Arbeitsschutz (Gassicherheit)
	Eintanken über Schlauchanschluss	keine Emissionen, Expositionen von Keimen, Gasen und Geruchsstoffen	
geschlossene Rohrleitungen	direkt in Vorlage oder Fermenter	keine Emissionen, Expositionen von Keimen, Gasen und Geruchsstoffen	

**Tabelle 3.1.5 Emissionsverhalten Flüssigkeitsannahme**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Tankwagen, Güllefass	Geruch, Staub, Flüssigkeiten, Keime (Hygiene), Freisetzung von H <sub>2</sub> S bei angesäuerten Substraten	Anlieferungsbereich und Betriebsfläche entsprechend befestigen und regelmäßig säubern und gegen Versickern von flüssigem Substrat im Erdreich sichern, Abfüllplatz mit Ablauf zum Vorlagebehälter, bei entsprechenden rechtlichen Vorgaben strikte Trennung des Anlieferungsbereiches von anderen Betriebsbereichen (Hygiene), ausreichend belüftete Entladestellen, notfalls Zwangsbelüftung mit Abluffassung und -reinigung, Luftüberwachung, Substratwahl, bei der keine unkontrollierte gefährliche Freisetzung von H <sub>2</sub> S oder sonstigen giftigen Gasen möglich ist

**Tabelle 3.1.6 Sicherheitsmaßnahmen Flüssigkeitsannahme**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Tankwagen, Güllefass	Verkehr	ggf. Anfahrerschutz für Anlagen- und Gebäudeteile und Aufstellen von Verkehrsregeln auf dem Betriebsgelände großer Anlagen mit massivem Lieferverkehr (Geschwindigkeitsbegrenzung, Vorfahrtsregeln, Ampelanlagen) u. U. sinnvoll
	Vergiftung/ Erstickung, z.B. H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	ausreichend belüftete Entladestellen, notfalls Zwangsbelüftung mit Abluffassung und -reinigung; Anschluss geschlossener Gruben und Behälter an das Gassystem oder an die Abluftreinigung; Substratwahl, bei der keine unkontrollierte gefährliche Freisetzung von H <sub>2</sub> S oder sonstigen giftigen Gasen möglich ist, auf die Liefermenge abgestimmte Verwertungskapazität, damit zügige Verarbeitung der Substrate möglich
	Explosionsgefahr durch Gase	sichere und gasdichte Ableitung von Gasen aus dem Entladebereich, sowie aus den Behältern, Vermeidung von Zündquellen, Gaswarngeräte

### 3.1.2 Substratlagerung

#### 3.1.2.1 Feststofflagerung

Die im Folgenden separat behandelten Lagerarten für feste Substrate werden am Ende dieses Unterkapitels,

Tabelle 3.1.7 bis Tabelle 3.1.10, zusammenfassend dargestellt.

#### Festmistlager

Festmistlager bestehen im einfachsten Fall aus einer Lagerplatte. Oft ist diese Platte jedoch zwei- oder dreiseitig von Anschüttwänden umgeben. Die Wände sind aus Betonfertigteilen (L- oder T-förmige Wandelemente oder Betonschalungssteine) bzw. aus Ortbeton gefertigt und in verschiedenen Höhen (meist 1 bis 2m) verfügbar. Die Lagerplatte ist meist als Ortbeton ausgeführt und teilweise mit einer Deckschicht aus Asphalt versehen. Anders ausgeführte Unterkonstruktionen (vgl. Straßenbau) sind darüber hinaus ebenfalls möglich. Die technischen Anforderungen an das Festmistlager werden bestimmt durch die Statik (Standicherheit der Wände, Tragfähigkeit der Bodenplatte und des Unterbaus) und das verwendete Material (Druckfestigkeit, Beständigkeit gegenüber verschiedenen Einflüssen wie chemischen und mechanischen Angriff, Regen und Frost). Abbildung 3.1.5 zeigt die schematische Darstellung eines Festmistlagers.

Alle Anlagen und Anlagenteile müssen so beschaffen sein, dass keine Jauche unkontrolliert austreten kann. Neben den Materialeigenschaften (hoher Wassereindringwiderstand, wasserabweisend) ist dabei auf die Abdichtung von Plattenstößen und Anschlussstellen zwischen Wand und Bodenplatte zu achten. Oft entstehen hier Undichtigkeiten durch Bauwerkssetzungen, mangelhaft ausgeführte Abdichtungen und durch die mechanischen Beanspruchungen durch das Befüllen und Entleeren des Lagers. Alternativ können die Seitenwände aus Ortbeton errichtet werden. Um Flüssigkeiten abführen zu können, ist die Bodenplatte mit einem leichten Gefälle (1-2 %) versehen. In einem oder mehreren Tiefpunkten des Lagers wird die Jauche gefasst und in einem Schacht gesammelt und/oder der Biogasanlage zugeführt. Um das Eindringen von Niederschlags- und Oberflächenwasser zu verhindern, werden die Lager teilweise abgedeckt und mit einer Schwelle am Fuß des Lagers versehen. Dies hat den Vorteil, dass Schächte und Sammelbehälter zur Fassung der Jauche kleiner dimensioniert werden können.

#### Mindestanforderungen an Festmistlager bei Ausführung in Betonbauweise:

- Standsicherheit der Wände
- Tragfähigkeit der Bodenplatte und des Unterbaus
- Mindestdruckfestigkeit > C25/ C30 oder gleichwertig für andere Konstruktionen
- Beständigkeit gegenüber leichtem chemischen Angriff, Witterungseinflüssen wie Beregnung und Frost
- dichte Ausführung der Wände und Bodenplatte



**Abbildung 3.1.5 Schematische Darstellung eines Festmistlager; Abbildung: Wasserwirtschaftsamt Ansbach**



### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Eine bauliche Maßnahme zur Minimierung des Jaucheanfalls ist das Anbringen einer Überdachung bzw. das Abdecken des Festmistes mit einer Folie. Zudem sollte das Lager vor eindringendem Oberflächenwasser geschützt sein (Gefälle zum Ausgang des Lagers oder Bodenschwelle). Es ist auf die Verwendung resistenter Baumaterialien und Dichtungen zu achten.

Neben der baulichen Ausführung der Lager ist die Art der Nutzung (Lagermanagement) entscheidend für das Maß möglicher Emissionen. Hier bedarf es vor allem der Sachkunde des Betreibers, den Anfall von Jauche und verschmutztem Regenwasser auf ein Minimum zu reduzieren und für die Funktionstüchtigkeit seiner Anlage zu sorgen:

- Abdecken durch Folien oder Nutzung einer festen Überdachung
- Säubern des Fahrbereichs, Freihalten der Rinnen und Abläufe
- Vermeidung von Überfüllungen
- regelmäßige Inspektionen des Lagers (Füllstand des Auffangbehälters, Beschichtung, Dichtungen, Drain)

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Hauptaugenmerk sollte auf den Arbeitsschutz gelegt werden. Hier ist besonders auf den Verkehr von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zu achten und gegebenenfalls sind entsprechende innerbetriebliche Sicherheitsregeln aufzustellen. Bei der Inspektion der Jauchegrube müssen die Regeln zur Sicherheit beim Befahren von Behältern beachtet werden – hier kann Erstickungs- und Vergiftungsgefahr bestehen.

### **Fahrsilo- Flachbunker**

Flachsilos oder Fahrsilos zur Lagerung von Silagen ähneln im Aufbau den Festmistlagern, sind aber oft größer, da hier das Substrat für bis zu einem Jahr bevorratet wird. Die Aufstellung erfolgt wegen des großen Flächenbedarfs im Freien. Das Silo ist häufig in mehrere lang geschnittene Fahrgassen unterteilt, welche meist unter Verwendung von Fertigbauteilen und Schalungssteinen aus Beton oder Ortbeton gebildet werden und die Bodenplatte von zwei- bzw. drei Seiten umschließen. Die Seitenwände können senkrecht oder geneigt (Traunsteiner System) aufgestellt sein und erhalten einen Bitumen- oder Epoxidharzanstrich bzw. eine Foliendeckschicht, um die Betonbauteile zusätzlich vor dem Säureangriff zu schützen. Die Bodenplatte kann aus Ortbeton oder Betonfertigteilen errichtet werden und ist z. T. mit einer Beschichtung versehen oder alternativ in Asphaltbauweise (säurebeständiger Guss- oder Walzasphalt) erstellt. Dabei kann der Asphalt als Deckschicht auf eine Betonplatte oder als eigenständige Tragschicht auf dem vorbereiteten Unterbau aufgetragen sein. Eine Sonderform von Flachsilos sind Sillierplatten, die lediglich aus einer Bodenplatte bestehen und an den Rändern mit einer Aufkantung oder einer Rinne versehen sind.

Generell besitzen Fahrsilos ein Gefälle von ca. 1-2 % zu den Tiefstellen des Entwässerungssystems (z. B. zur Entnahmeöffnung hin). Dort werden Gär- und Sickersäfte über eine Querrinne oder Rohrsysteme in geeignete Sammelbehälter aus Beton oder Kunststoff geleitet oder der Biogasanlage direkt zugeführt. Alle am Silo und Sammelbehälter notwendigen Bauteil- und Dehnungsfugen müssen mit dauerhaft elastischem und dichtendem Material verfügt sein, um die Wasserundurchlässigkeit des Lagers zu garantieren. Darüber hinaus müssen alle Bauteile wasserundurchlässig und unterirdische Behälter mit Überwachungseinrichtungen wie Leckageerkennung und Füllstandsüberwachung ausgerüstet sein. Systeme mit

Tauchpumpe und füllstandsabhängiger Einschaltautomatik finden auch Anwendung. In Abbildung 3.1.6 sind verschiedene Fahrsilos dargestellt.

Das Eindringen von Niederschlägen in den Silostock und der damit verbundene erhöhte Anfall von Sickersaft kann durch das Abdecken des Silos mit Folien verhindert werden. Unter Beachtung des Lagermanagements (Sauberkeit der Verkehrsflächen etc.) wird das Regenwasser getrennt abgeleitet, so dass Schächte und Sammelbehälter kleiner gebaut werden können. In der Praxis findet dies jedoch nur teilweise Anwendung, da viele Silostöcke nicht oder unzureichend abgedeckt sind. Dabei bietet gerade eine dichte Folienabdeckung nicht nur den Schutz vor Niederschlägen und verstärktem Anfall von Sickersäften, sie ist auch maßgeblich verantwortlich für die Minimierung der Energieverluste (Silierverluste) des Substrates während der Lagerung. **Nicht abgedeckte Fahrsiloanlagen, mit oder ohne oberflächigem Grünbewuchs, spiegeln nicht den aktuellen Kenntnisstand in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Emissionsminderungspotential wider.**



**Abbildung 3.1.6** Zweiseitig eingefasstes Fahrsilo mit Asphaltdecke und Bitumenanstrich (links); Fahrsilo mit Bitumenanstrich und teilweise geöffneter Querrinne (Mitte); Fahrsilo mit Schutzanstrich (rechts); Fotos: DBFZ (alle)

#### Mindestanforderungen an Fahrsiloanlagen:

- Standsicherheit der Wände
- Tragfähigkeit der Bodenplatte und des Unterbaus, mechanisch beanspruchbar
- dichte Ausführung von Wänden, Bodenplatte und Sammelbehälter inkl. Drainagesystem
- Beständigkeit gegenüber chemischem Angriff (pH-Werte der Silage 3,5 bis 5,5), Witterungseinflüssen wie Beregnung und Frost
- Materialien - hochwertiger Beton C35/C45 mit Schutzbeschichtung, säurebeständiger Guss- oder Walzasphalt

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Schwachstellen sind vor allem ungenügend abgedichtete Bauteilfugen oder aufklaffende Fugen durch Bauteilsetzungen aufgrund ungenügender Qualität des Unterbaus/Tragschicht und mechanischer Beanspruchung des Silos sowie nicht säurebeständige Materialien (falsche Zuschlagstoffe). Die Folge kann der Austritt von gärfähigem Material sein. Die Errichtung sollte daher von Fachfirmen mit Erfahrungen im Bau von Fahrsiloanlagen und Festmistlagern erfolgen.

Auch die Art der Nutzung (Lagermanagement) ist entscheidend für das Maß möglicher Emissionen. Der Betreiber hat durch folgende Maßnahmen für die Funktionstüchtigkeit und den emissionsarmen Betrieb seiner Anlage zu sorgen:

- Abdecken des Silostocks durch Folien
- schnelle fachgerechte Silierung (ggf. mit Silierhilfsmitteln)

- möglichst kleine und der Entnahme angepasste Anschnittfläche (die auch geringe Substratverluste ermöglicht)
- Säubern des Fahrbereichs, Freihalten der Rinnen und Abläufe
- Vermeidung von Überfüllungen
- regelmäßige Inspektionen des Lagers (Füllstand des Auffangbehälters, Anstrich, Dichtungen, Drain)

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Aus baulicher Sicht ist auf die fachmännische Ausführung der Lager und Silos zu achten. Besonders die Standsicherheit von Seitenwänden der Fahrsilos muss gegeben sein, da hier teilweise große Wandhöhen errichtet werden und gleichzeitig eine starke mechanische Belastung durch Verdichtung der Silage mit schwerem landwirtschaftlichem Gerät auf die Seitenwände wirkt.

Aus Sicht der Betriebsführung bestehen nicht zu unterschätzende Unfallquellen bei Überfüllung von Silos. Die Überfüllung wirkt sich besonders auf die Standsicherheit aus und birgt bei der Entnahme aus dem Silo Gefahren durch Abrutschen von Teilen des Silostocks.

Des Weiteren ist auf den starken Verkehr von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zu achten und gegebenenfalls sind entsprechende innerbetriebliche Sicherheitsregeln aufzustellen. Bei der Inspektion der Sickersaftsammelbehälter müssen die Regeln zur Sicherheit beim Befahren von Behältern beachtet werden - Erstickungsgefahr.

#### **Hochsilos**

Hochsilos sind der Landwirtschaft entlehnt und werden in Biogasanlagen zumeist als Lager für Getreide, Mais oder Corn-Cop-Mix (CCM) verwendet. Sie dienen in der Regel als Vorlage für die automatische Zudosierung von energiereichem Substrat und sind seltener in ihrer Anwendung als beispielsweise Fahrsiloanlagen. Grundsätzlich werden zwei Arten von Hochsilos unterschieden. Zum einen ist es die Schüttgutlagerung von relativ trockenen Substraten (Getreide, Körnermais) in belüfteten Trockensilos. Zum anderen werden Substrate (geschrotete Körner) mit Wasser angemischt und als pumpfähiger Brei unter Luftabschluss konserviert. Beispiele sind in Abbildung 3.1.7 abgebildet.



**Abbildung 3.1.7 Getreidesilo mit direkter Dosierung in den Fermenter (links); Hochsilos zur Flüssigkonservierung (rechts); Fotos: DBFZ (links), Lipp (rechts)**

Im Allgemeinen bestehen Neuanlagen meist aus zylindrischen Behältern aus miteinander verschraubten Stahlsegmenten mit Dach, Entnahmetrichter und den Fördereinrichtungen. Darüber hinaus werden andere Behältermaterialien wie glasfaserverstärkter Kunststoff, Gewebe oder Beton angeboten. Voraussetzung für eine Errichtung ist das Erstellen eines tragfähigen Fundaments. In Verbindung mit Befüll- und Entnahmetechnik (Gebläse, Schneckenförderer, Elevatoren, Pumpe) sowie Zerkleinerungstechnik (z.B. Quetsche oder Hammermühle) weisen Hochsilos einen hohen Automatisierungsgrad beim Substrathandling auf. Das Substrat wird mittels der Transporttechnik direkt in den Fermenter oder in Vorlage- bzw. Anmischbehälter gefördert. Die mögliche Lagerung des Silos auf Wiegezellen hilft bei der exakten Zudosierung und zur Abschätzung des Füllstandes des Silos. Die Aufstellung erfolgt meist im Freien, kann

aber auch bei kleineren Silos in Gebäuden oder Hallen zusammen mit der Substratannahme untergebracht werden. Besonders in landwirtschaftlichen Betrieben, in denen eine Umnutzung von Gebäudeteilen oder Futtersilos stattgefunden hat, ist die Anlagengestaltung oft sehr unterschiedlich.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Hochsilos zur Lagerung landwirtschaftlicher Produkte sind aufgrund der weitestgehend geschlossenen Ausführung und der geruchsarmen Substrate als emissionsfrei einzustufen.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Hochsilos müssen standsicher auf tragfähigem und befestigtem Grund und gegebenenfalls mit einem Fundament errichtet werden. Bei Begehungen des Silos sind Maßnahmen gegen Abstürzen zu treffen (z.B. Fallschutz, Gurt, Rückenschutzkorb), bei Arbeiten im Inneren des Schüttgutsilos sollte eine zweite Person (Fluchthelfer) bereitgestellt werden. Beim Begehen muss der Gassicherheit, speziell der Gefahr der Erstickung Rechnung getragen werden. In Abhängigkeit vom eingelagerten Stoff wird auch auf die Gefährdung durch Staubexplosion hingewiesen.

### Folienschlauchsilos

Bei der Schlauchsilage werden landwirtschaftliche Substrate in einen Schlauch aus Polyethylen mit einem Durchmesser von 1,5 bis 4 m gepresst und luftdicht verschlossen. Verwendet wird dazu eine Folienschlauchpresse, die hauptsächlich aus der Annahmewanne, Pressrotor und Presstunnel mit Schlauchhalterung besteht. Die selbstfahrende oder von einem Traktor gezogene Presse wird mittels Mulden- oder Rückwärtskipper und Abschiebewagen befüllt. Nach der Befüllung werden die Folien verschlossen und gegebenenfalls mit Schutznetzen oder anderen Abdeckungen überzogen, um mechanische Beschädigung (Fahrzeuge, Vieh, Kleintiere) zu vermeiden. Neben der Verwendung eines Folienschlauchs werden auch Folienbahnen, ähnlich wie sie bei der Fahrsiloabdeckung verwendet werden, eingesetzt. Diese Bahnen werden mit den Enden unter das eingefüllte Substrat geschoben, wobei das Gewicht des Substrates den erforderlichen Dichtdruck zum Boden hin erzeugt. Abbildung 3.1.8 zeigt schematisch einen Querschnitt eines Schlauchsilos aus Folienbahnen.

Schlauchsilos aus Folienschläuchen können im Prinzip auf allen Flächen gelagert werden, die eine ganzjährige Befahrbarkeit auch nach längeren Regenperioden gewährleisten. Sie sind sehr preiswert da keine baulichen Maßnahmen notwendig sind und zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität aus (nicht ortsgebunden). Es empfiehlt sich jedoch einen befestigten Untergrund zu wählen, um bei etwaigen Rissen in der Folie die austretenden Säfte auffangen zu können. Ein befestigter Untergrund z.B. eine Siloplatte hat weiterhin den Vorteil, dass die benötigten Maschinen zur Ein- und Auslagerung problemlos an das Material herankommen und ein gewisses Maß an Sauberkeit gewährleistet wird.

Schlauchsilos aus Folienbahnen sind auf einen befestigten und wasserundurchlässigen Untergrund angewiesen, da je nach Ausführung die Unterseite des Siloschlauchs nicht vollständig mit Folie zum Boden hin abgedeckt ist.



**Abbildung 3.1.8 Folienschlauchsilos, Schema Tunnelquerschnitt bei der Verwendung von Folienbahnen; Fotos/ Abbildung: DBFZ, Alka Maschinen**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die Folienschlauchsilierung ist emissionsarm. Bei richtiger Ausführung der Silierung und einem relativ hohen Trockenmasseanteil des Siliergutes (i.d.R. > 25 % TS) ist mit wenig bis keinem Gäräftenfall zu rechnen. Sollten jedoch nicht alle Voraussetzungen für eine optimale Silierung ohne Gäräftenfall erfüllt werden, kann bei einer Beschädigung der Schlauchfolie, spätestens aber beim Öffnen des Silos dieser entweichen. Hier kann die Lagerung auf einer Siloplatte vorteilhaft sein, da im Falle des Gäräftenaustritts eine gezielte Fassung in Sammelbehälter oder Vorgrube erfolgen kann. Die kleine Anschnittfläche während der Substratentnahme bietet den Vorteil, dass neben dem örtlich begrenzten Austreten von Gäräften auch die Möglichkeit zur schnellen Abdeckung zum Schutz von Niederschlägen besteht.

Bei der Verwendung von Folienbahnen zur Herstellung eines Schlauchsilos werden befestigte und säure-resistente Bodenabdichtungen (Siloplatte) empfohlen, da hier die Silage am Boden des Siloschlauchs direkten Kontakt zur Unterlage hat. Wird zusätzlich eine Unterziehfolie verwendet, kann die Dichtigkeit auf einer ebenen Fläche erhöht werden.

Neben den möglichen Emissionen, fallen auch große Mengen an Folien bei der Entleerung der Silos an. In der Regel sind diese für die Schlauchsilierung nicht wieder verwendbar. Hier sollte auf eine fachgerechte Entsorgung geachtet werden, bei der durch Getrenntsammlung die Folien dem Recycling zugeführt werden können.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Besonders beim Befüllen der Schlauchpresse ist auf den Verkehr und gegebenenfalls auf die eingeschränkte Sicht der Maschinenbediener zu achten. Hier ist ausschließlich eingewiesenes Personal einzusetzen.

### **Rund- und Quaderballensilos (Wickelballensilage)**

Die Lagerung von Gras und Mais als Rund- und Quaderballensilage ist eine weitere Möglichkeit, landwirtschaftliche Substrate ohne großen baulichen Aufwand vorzuhalten. Die Ballen werden nach dem Pressen mit einer Strechfolie mit 6 bis 8 Lagen umwickelt und auf dem Feld, Feldrand oder auf der Betriebsfläche eingelagert. Bei der Freilandlagerung werden die Ballen gegebenenfalls durch eine zusätzliche Folienabdeckung gegen Vögel und Nager geschützt. Vorteilhaft kann die Lagerung auf einer befestigten Siloplatte sein, da hier eventuell austretende Silagesäfte aufgefangen und gezielt verwertet werden können (nur bei nicht sachgerechter Ausführung der Wickelballensilage). Es muss sichergestellt werden, dass unter normalen Bedingungen (Unversehrtheit und Qualität des Silageballens) kein Gäräften austritt. Diese Methode der Silierung und Lagerung eignet sich besonders für kleine Flächen und Erntemengen. In Deutschland werden Ballensilos zur Tierfutterkonservierung relativ häufig eingesetzt, als Substratlager für Biogasanlagen aber eher selten verwendet und oft kleineren Anlagen vorbehalten. Größere Anlagen nutzen aufgrund des hohen Substratdurchsatzes und der dafür notwendigen schlagkräftigen Erntelogistik meist Fahrlochanlagen bzw. seit kurzem auch Folienschlauchsilos.

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei der Ballensilage sind ähnliche Grundsätze wie bei der Folienschlauchsilierung in der Ausführung der Silage zu beachten, um den Gäräftenfall zu minimieren (TS-Gehalt >25 %). Durch sorgfältige Herstellung und Transport ist die Dichtheit der Folie zu gewährleisten. Darüber hinaus sind Maßnahmen wie Abdecken oder Aufstapeln zu treffen, damit Schäden am Ballen durch Kleintiere und Vögel minimiert werden. Neben der richtigen Siliertechnik ist also auch die Handhabung der Silageballen Voraussetzung für

die emissionsarme Lagerung des Substrates. Zusätzliche Begehungen und die Reparatur von Schadstellen helfen, Undichtigkeiten zu erkennen und zu beseitigen.

Der hohe Folienverbrauch stellt auch hier gewisse Ansprüche an eine fachmännische Entsorgung und Verwertung des Materials über die Recyclingkette.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Besonders beim Anlegen von Silomieten und Ballenstapeln ist auf die Standsicherheit zu achten. Falls notwendig, sind Vorkehrungen gegen Umstürzen zu treffen (z.B. pyramidenförmige Ballenmiete oder Aufstapeln an einer standsicheren Wand).

#### **Abwurfbunker**

Abwurfbunker dienen der Annahme von Substraten und bilden eine zeitlich begrenzte Vorlage für die nachfolgende Aufbereitung. Es müssen Stillstandszeiten von Maschinen, Betriebsunterbrechungen und Spitzen in der Anlieferung kompensiert werden können. Unterschieden werden kann in Flach- und in Tiefbunkersysteme. Flachbunker sind nur wenige Meter tief und haben einen entsprechenden Platzbedarf um die gewünschte Vorlagemenge aufnehmen zu können. Tiefbunker werden hingegen bei beengten Platzverhältnissen angewendet und sind bei Errichtung im Freien mit einer Abdeckung (z.B. hydraulische Klappe) ausgestattet. Werden geruchsintensive Substrate wie Bioabfälle verarbeitet, so erfolgt meist eine Einhausung der Abwurfbunker, z. B. in einer Annahmehalle mit der Erfassung und Reinigung der Abluft. In der Regel wird wasserundurchlässiger und säureresistenter Stahlbeton eingesetzt. Durch die starke mechanische und chemische Beanspruchung können der Bunkerboden bzw. das Räumgerät mit Verschleißauflagen ausgeführt sein. Als Austragssysteme werden z.B. automatisierte Krananlagen, Schubbodentechnik oder Förderbänder eingesetzt.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Im Abfallbereich treten Geruchsemission vor allem durch flüchtige Fettsäuren auf. Zur Verringerung der Geruchsbelästigung sind Bunker ggf. in geschlossenen Hallen, wie einer Annahmehalle, zu errichten. Auch durch kurze Öffnungszeiten und Unterdrucksysteme im Bunker können Emissionen gemindert werden. Aufgrund des substratbedingten Anfalls von Flüssigkeiten, ist der Bunker flüssigkeitsdicht auszuführen.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Vornehmlich sind Aspekte der Arbeitssicherheit wie Gefahren durch Hineinfallen in Behälter zu beachten. Ein großes Gefahrenpotential birgt die Ansammlung von Gasen (z.B.  $H_2S$ ). Hier müssen die Regeln zur Sicherheit beim Befahren von Behältern beachtet werden – es bestehen Erstickungs- und Vergiftungsgefahr.

#### **Annahmehallen**

Annahmehallen werden oftmals bei Bioabfallanlagen eingesetzt, bei denen eine Freisetzung von Emissionen, bspw. durch geruchsintensive Substrate nach Außen vermieden werden soll. Die geschlossene Bauweise ermöglicht die gezielte Ablufferfassung und eine Abluftreinigung mittels Luftwäscher und/oder Biofilter. Auch die Anwendung von Annahmehallen bei landwirtschaftlichen Substraten (z. B. Energiepflanzen) ist üblich, wenn auch aus immissionsschutzrechtlicher Sicht nicht immer nötig (Ausführung mit freier Lüftung möglich), da hier vorwiegend technologische Vorteile z. B. durch Witterungsunabhängigkeit erzielt werden. Da die Hallen aufgrund der Befahrung mit schwerem Gerät (Radlader, Biomüll- und andere Transportfahrzeuge) und der möglichen Aufstellung weiterer Aufbereitungstechnik sehr groß gebaut werden müssen, werden sie meist als einfache Stahlkonstruktionen mit Trapezblechverkleidung, Stahlbe-



tonsockel und mit befahrbarer Bodenplatte ausgeführt (siehe Abbildung 3.1.9). Teilweise sind in den Hallen Anschüttwände, meist Holzbohlen oder Beton, zur Substratlagerung installiert. In Übereinstimmung mit den immissionsrechtlichen Anforderungen werden die Annahme-, Lager- oder Technikhallen auch als teilweise offene Konstruktionen ausgeführt. Neben der Stahlbauweise können beispielsweise auch Stahlbetontragwerke errichtet werden. Abbildung 3.1.9 zeigt eine Annahmehalle.



Abbildung 3.1.9 Annahmehalle, Foto: DBFZ

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Wenn aus immissionsrechtlicher Sicht erforderlich, sind bei der Annahme geruchsintensiver Substrate sind Tore geschlossen zu halten und Geruchsemissionen durch Abluftanlagen mit Luftwäscher und Biofilter zu mindern. Zusätzlich können bei Bedarf Fahrzeugschleusen und Luftschleieranlagen, die ein Austreten der Hallenluft ins Freie beim Ein- und Ausfahren der Transportfahrzeuge verhindern, eingesetzt werden.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Hier sind aufgrund der geschlossenen Ausführung vor allem die Arbeitsplatzgrenzwerte zu beachten. Bei Bedarf können Quellenabsaugungen vorgesehen und die Raumluft mittels Überwachung der Atmosphäre kontrolliert werden. Zusätzliche optische und akustische Signale sollen bspw. den Ausfall der Entlüftung oder die Überschreitung zulässiger Raumluftkonzentration von Gasen anzeigen. Die bau- und arbeitsrechtlichen Anforderungen an die Hallensysteme sind zu beachten. (z.B. neben den Ein- und Ausfahrtoren kann ggf. eine Fluchttür notwendig werden).

**Tabelle 3.1.7 Technische Eigenschaften Feststofflagerung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Festmistlager	im Freien errichtet, Lagerung auf Beton- oder Asphaltplatte, 2- oder 3-seitig mit Anschüttwand umgeben (Ortbeton, Betonfertigteile), wasserdicht, chemisch und mechanisch beständig, Gefälle der Bodenplatte mit Rinnen oder Rohrsystemen und Behältern zur Ableitung und Fassung von austretenden Flüssigkeiten	beliebig groß ausführbar, relativ preiswert, gut befahrbar, kann mit einer Folie oder fester Überdachung abgedeckt werden, Sickerwasser- und Jauchefassung möglich	meist nach oben offen, Niederschläge können so den Festmist auswaschen; geruchsintensive Lagerung; Plattenstöße und Dehnungsfugen können zu Undichtigkeit neigen; hohe mechanische Beanspruchung
Fahrsilo oder Flachbunker	im Freien errichtet, Lagerung auf Beton- oder Asphaltplatte, 2- oder 3-seitig mit Wand umgeben (Ortbeton, Betonfertigteile), Gefälle der Bodenplatte mit Rinnen/Rohrsystemen und Behältern zur Ableitung und Fassung von austretenden Sickersäften, Beschichtungen und Folien gegen korrosiven Angriff oder erhöhte Betongüteklasse, Siloabdeckung möglichst durch Folien und nicht durch Bewuchs	beliebig groß ausführbar, gut befahrbar, Sickersaffassung	hoher Platzbedarf, Plattenstöße und Dehnungsfugen können zu Undichtigkeit neigen; Bauwerk ist hoher mechanischer Beanspruchung ausgesetzt; Problem der Folienentsorgung (umweltverträglich und kostengünstig) - <b>Recycling</b> durch Getrenntsammlung, Einsatz wiederverwendbarer Folie

Fortsetzung Tabelle 3.1.7 Technische Eigenschaften Feststofflagerung

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Hochsilo (Schüttgut-Trockensilo)	im Freien als Stahlblech-, GFK-, Kunststoff- oder Betonbehälter errichtet; meist zur Lagerung von Getreide und Körnermais; Befüllung und Entnahme oft durch Fördereinrichtungen automatisiert	geringer Platzbedarf; hoher Automatisierungsgrad möglich, dadurch wenig Arbeitsaufwand; schadnager- und vogelgeschützt; trockene Lagerung	begrenzte Lagerdauer in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehaltes des Getreides und der Lagertemperatur; relativ teuer
Hochsilo zur Feuchtkonservierung	im Freien als Stahlblechbehälter errichtet (Beton, Kunststoff, GFK auch möglich); meist zur Silierung feuchter Substraten unter Ausschluss von Luft; Befüllung und Entnahme durch Pumpen automatisiert	geringer Platzbedarf; hoher Automatisierungsgrad möglich, dadurch wenig Arbeitsaufwand; schadnager- und vogelgeschützt; gute Lagereigenschaften	relativ teuer
Folienschlauchsilo	im Freien errichtet; 1,5 bis 4 m Durchmesser; meist sehr lang; Material Polyethylen; Befüllung über Schlauchpresse; für kleine oder große Lagervolumen/ Durchsätze geeignet; Entnahme maschinell oder händisch;	sehr geringe Investitionskosten; hohe Flexibilität, nicht ortsgelunden; geringer Personalbedarf bei der Silierung; geringe Silageverluste, geeignet für verschiedene Substrate	relativ hoher Platzbedarf; anfällig für Beschädigungen der Schlauchfolie; Spezialmaschinen für Silierung notwendig; Problem der Folienentsorgung (umweltverträglich und kostengünstig) - <b>Recycling</b> durch Getrennsammlung
Ballensilo	im Freien gelagert, Feld, Feldrand oder auf befestigtem Grund, teilweise gestapelt; Entnahme auch händisch möglich	sehr geringe Investitionskosten; hohe Flexibilität, nicht ortsgelunden; besonders für kleinen Substratumsatz geeignet; portionsweise Entnahme; Silageballen mit herkömmlicher landwirtschaftlicher Technik herstell- und handhabbar	relativ hoher Platzbedarf; Ballenumschlag nur maschinell möglich; anfällig für Beschädigungen der Ballenfolie (Nager, Vögel); hoher Folienverbrauch; Problem der Folienentsorgung (umweltverträglich und kostengünstig) - <b>Recycling</b> durch Getrennsammlung
Abwurfbunker	Tief- oder Flachbunker; aus Ort beton oder Betonsegmenten errichtet; mitunter mit Schutzbeschichtung oder Auskleidung; offene / geschlossene Grube zur Zwischenlagerung; dicht gegenüber Sickersaft	einfache Handhabung; Befüllung und Entnahme weitgehend automatisierbar	u. U. hohe Geruchsbelastung; technische Absaugung und/oder Annahmehalle nötig; Ungezieferabwehr nötig
Annahmehallen	befahrbare Halle zur Anlieferung; Stahl oder Betonskelettbau mit Blechverkleidung; teilweise mit Fahrzeugschleuse	verschießbar, emissionsarme Substratlagerung durch gezielte Luftabsaugung möglich; Witterungsschutz für Anlagentechnik und Substrat	zusätzlicher Platzbedarf und Investition

Tabelle 3.1.8 Emissionsverhalten Feststofflagerung

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Festmistlager	Jauche Geruch, Ammoniak, Lachgas	geeignete Jauchefassung; Vermeidung von Regen- und Oberflächenwasserverschmutzung durch bauliche Maßnahmen und Abdeckungen; Sauberkeit zur Vermeidung von Verstopfungen in der Jauchefassung (Rinne/Rohrsystem); möglichst kleine, kompakte Lager, zügige Verwertung durch die Biogasanlage
Flach-/ Fahrsilo	Silagesickersaft; eventuell unangenehme Gerüche durch mangelhaft ausgeführte Silierung (Fehlgeruch)	fachmännische Errichtung der Lager (tragfähiger Grund, dauerhaft dichte Fugen); geeignete Sickersauffassung; kleine Anschnittfläche; Sauberkeit zur Vermeidung von Verstopfungen in der Sickersauffassung (Rinne/Rohrsystem); Vermeidung von Regen- und Oberflächenwasserverschmutzung durch bauliche Maßnahmen und Abdeckungen; Herstellung hochqualitativer Silagen (Verdichtung, Luftabschluss)



Fortsetzung Tabelle 3.1.9 Emissionsverhalten Feststofflagerung

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Hochsilo (Schüttgutsilo und Feuchtkonservierung)	keine relevanten Emissionen aufgrund geruchsarmer Substrate und geschlossener Lagerung	
Folienschlauchsilo	Gärsaftaustritt	bei guter Sillierung kaum Emissionen; Verminderung und Vermeidung von Gärtaftanfall durch Sillieren von Substraten mit TS-Gehalt > 25 %; Schutz der Folien vor Vögeln, Kleintieren, mechanischen Beschädigungen durch zusätzliche Netze; vorteilhaft kann die Lagerung auf einer befestigten, flüssigkeitsundurchlässigen Fläche (z. B. Siloplatte) sein
Ballensilo	Gärsaftaustritt	bei guter Sillierung kaum Emissionen; Verminderung und Vermeidung von Gärtaftanfall durch Sillieren von Substraten mit TS-Gehalt < 25 %; Verwenden von geeigneter Folie; Schutz vor Vögeln, Kleintieren, mechanischen Beschädigungen durch zusätzliche Netze, Folien oder Stapeln der Ballen; Wechsel der Lagerstellen, um der Vermehrung von Nagerpopulationen vorzubeugen; regelmäßige Begehungen und Reparatur von Schädstellen; vorteilhaft kann die Lagerung auf einer befestigten, flüssigkeitsundurchlässigen Fläche (z. B. Siloplatte) sein
Abwurfbunker	Geruch, Flüssigkeiten	teilweise Installation in geschlossenen Hallen (bei immissionsrechtlichem Hintergrund); kurze Öffnungszeiten; Unterdrucksysteme; Quellenabsaugung; flüssigkeitsdichte Ausführung
Annahmehallen	Geruch	geschlossene Tore; Unterdrucksysteme durch Luftabsaugung; Einrichtung einer Schleuse, Luftschleieranlagen

Tabelle 3.1.10 Sicherheitsmaßnahmen Feststofflagerung

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Festmistlager, Flach-/ Fahrsilo	Verkehr Standsicherheit	fachmännische Bauausführung; Lager nicht überfüllen
Hochsilo, Schüttgutsilo	Standsicherheit, Absturzgefahr, Gassicherheit	auf notwendige Standsicherheit achten (tragfähiger Grund, Fundament, Anfahrerschutz), persönliche Schutzausrüstung, Rückenschutzkorb, Fallschutz; Bewerten bei Arbeiten im Inneren des Silos, Freimessen, Fluchthelfer
Folienschlauchsilo	Verkehr	allgemeine Sicherheitsregeln beim Befüllen und Entleeren beachten- Verkehrsicherheit, Arbeitsschutz (eventuell eingeschränkte Sicht der Maschinisten)
Ballensilo	Verkehr Standsicherheit von Ballenmieten	allgemeine Sicherheitsregeln beim Befüllen und Entleeren beachten- Verkehrsicherheit, standsicheres Stapeln von Ballen (z.B. Pyramidenform); Sichern gegen Umfallen
Abwurfbunker	Verkehr Absturzgefahr Gassicherheit	allgemeine Sicherheitsregeln beim Befüllen und Entleeren beachten- Verkehrsicherheit, Freimessen der Atmosphäre vor dem Begehen, persönliche Schutzausrüstung, technische Belüftung von Bunkern falls nötig, Fluchthelfer
Annahmehallen	Verkehr Gassicherheit	allgemeine Sicherheitsregeln beim Befüllen und Entleeren beachten- Verkehrsicherheit, Arbeitsschutz; Raumlüftung, technische Entlüftung, Warnung bei Ausfall der Entlüftung und Überschreitung der Arbeitsplatzgrenzwerte

### 3.1.2.2 Flüssigkeitslagerung

Die Flüssigkeitslagerung erfolgt grundsätzlich in flüssigkeitsdichten Behältern. Diese sind meist als Rundbehälter ausgeführt, finden aber auch in rechteckiger oder ovaler Form Anwendung. Je nach Verwendung sind diese in unterschiedlichen Materialien ausgeführt und technisch ausgestattet. Bevor die verschiedenen Lagersysteme behandelt und am Ende dieses Kapitels zusammenfassend dargestellt werden (Tabelle 3.1.12 bis 3.1.14), wird kurz auf die eingesetzten Behältermaterialien und -abdeckungen eingegangen.

### Behältermaterialien

Behälter aus Beton werden in Ortbeton- oder Segmentbauweise errichtet. Bei der Verwendung von Ortbeton ist der Behälter aus einem Stück gegossen (monolithische Bauweise). Die Herstellung ist relativ zeitintensiv, dafür aber in der Regel die preiswerteste Variante. Voraussetzung für eine preisgünstige Ausführung ist jedoch, dass sie nicht zu hoch gebaut werden (z.B. nicht über 6 - 8 m) /1/. Die hohe Stabilität und die flexible Anordnung von Einbauten sind Vorteile der Ortbetonbauweise. Bei der Segmentbauweise werden im Werk vorgefertigte Platten zusammengefügt und beispielsweise durch Spannbänder stabilisiert. Durch die Spannung des Bauteils können die Wandstärken reduziert werden. Nachteil ist jedoch, dass durch die Spannbänder kaum die Möglichkeit besteht, nachträglich Öffnungen für Einbauten in den Behälter zu setzen. Eine weitere Methode vorgefertigte Segmentbauteile zusammenzufügen, ist das Nutzen von Bewehrungsschlaufen. Diese Schlaufen sind in Fugenschlüssern im Element seitlich angeordnet. Sie überlappen sich bei der Montage im Anschlussbereich zweier benachbarter Wandelemente und werden mit Betonstabstählen, welche senkrecht in die Schlösser eingelassen werden, verbunden. Danach werden die Fugenschlüssler mit Beton C35/45 vergossen und Fugen abgedichtet. Vorteil ist auch hier die zügige und im Gegensatz zur monolithischen Bauweise wetterunabhängigere Errichtung der Behälter.

Die Betonbehälter werden üblicherweise oberirdisch gebaut, können jedoch auch ganz oder teilweise in den Boden abgesenkt werden. In Verbindung mit einem befahrbaren Betondeckel kann hier eine platzsparende Errichtung erfolgen.

Rundbehälter in Stahlbauweise (meist Edelstahl, oder Stahlemaille) werden immer oberirdisch errichtet. Sie bestehen aus einzelnen Platten, die miteinander verschweißt, verschraubt oder ineinander gefalzt (Wicklung von Blechbahnen) werden. Die oberirdische Bauweise hat den Vorteil, dass alle Fugen, insbesondere die Anbindungen von Wand/Bodenplatte eingesehen werden können. Gegenüber Ortbetonbehältern sind teilweise kürzere Bauzeiten realisierbar. Einen Überblick gibt Tabelle 3.1.11. Unter Berücksichtigung länderspezifischer Bestimmungen, kann bei Behältern welche Gülle, Gärsubstrat oder Gärreststoffe lagern ggf. eine Ringdrainage mit mindesten zwei Kontrollschächten erforderlich werden.

**Tabelle 3.1.11 Behältermaterialien**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Ortbeton	aus einem Stück gegossen	hohe Stabilität; nachträgliche Einbauten in die Behälterwand meistens möglich	relativ lange Bauzeit; ggf. Qualitätsmängel bei Präzision und Betonqualität
Stahlbetonsegmente	im Werk vorgefertigte Platten, durch Spannbänder, Bewehrungsmatten stabilisiert	kurze Bauzeit; höhere Präzision am Bau (erleichtert z.B. Aufsatz von Gasspeichern)	wenig Flexibilität bei nachträglichen Einbauten aufgrund der Stahlbänder bzw. Fugenschlüssler
Stahlplatten	geschweißt oder geschraubt; Edelstahl, Stahlemaille	Vorfertigung und kurze Bauzeiten möglich	Fugen, Kanten im Inneren bieten Ansätze für Korrosion; für Rühraggregate sind teilweise separate Abstützungen notwendig
Blechbahnen	gewickelt; Edelstahl	kurze Montagezeit, stufenlose Durchmesser möglich	für Rühraggregate sind teilweise separate Abstützungen notwendig

### Behälterabdeckungen

Bei halboffenen und geschlossenen Behältern müssen die Abdeckungen in ihren Eigenschaften den Anforderungen der Technik und Umwelt genügen. So müssen sie UV-, witterungs- und korrosionsbeständig sein und Lasten durch Wind, Schnee und Verkehr (bei befahrbaren Betondecken) aufnehmen und an die Behälterwand abgeben können. Behälterabdeckungen besitzen zum Teil verschließbare Serviceöffnun-

gen über die Wartungs- und Reparaturmaßnahmen durchgeführt werden können. Typische Deckenmaterialien sind Beton, glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), Polyester-Gewebeplanen mit PVC-Beschichtung in einschaliger oder zweischaliger Ausführung und EPDM-Membranen (EPDM - Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk). Behälterabdeckungen wirken emissions- und geruchsmindernd und beugen dem Eintrag von Niederschlägen vor, die sonst zusätzlich vom Anlagenbetreiber gehandhabt und verwertet werden müssten (vgl. Tabelle 3.1.12).

**Tabelle 3.1.12 Behälterabdeckungen**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Keine Abdeckung, (offene Behälter)	vornehmlich bei Gülle mit niedrigen TS-Gehalten  bei Neuanlagen sind abgedeckte Behälter zu bevorzugen	keine Kosten für eine Abdeckung; einfacher Einwurf von Kosubstraten möglich	ggf. Umweltbelastung durch beginnende Ausgasungen von Methan; hohe Stickstoffverluste/ Düngewertverluste durch Ausgasen von $\text{NH}_3$ ; Geruchsemissionen
Emissionsschutzabdeckung (geschlossene, nicht gasdichte Behälter)	einschaliges, ggf. mastgestütztes Foliendach; Betondeckel	Reduzierung von Geruchsemissionen und Stickstoffverlusten, kein Niederschlagseintrag	Umweltbelastung durch beginnendes Ausgasen von Methan, Anreicherung eines Methan-Luft-Gemisches im Behälter (u. U. explosionsgefährdeter Bereich), technischer Mehraufwand bei der Zugabe von Substraten
gasdichte Abdeckung	ein- oder zweischaliges, ggf. mastgestütztes Foliendach; zweischaliges Tragfolienluftdach; Betondeckel; GFK-Abdeckung; Stahlblechdach	mögliche Geruchsstoff- und Gasfassung; teils flexibler Gasspeicher, kein Niederschlagseintrag; Düngewert der Gülle bleibt erhalten, da keine $\text{NH}_3$ - Verluste	relativ teuer und mit hohem baulichen Aufwand verbunden, technischer Mehraufwand bei der Zugabe von Substraten

## Güllelager

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

In Biogasanlagen zur Verwertung von Gülle soll das Güllelager Schwankungen zwischen Güllebereitstellung und Verwertung kompensieren. Es besitzt meist ein Volumen von ein bis zwei Tagesrationen bezogen auf die Fütterungsmenge des Fermenters (Volumen kann hiervon auch abweichen, abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten). Im Fall der Anlieferung von Gülle, z.B. bei landwirtschaftlichen Gemeinschaftsanlagen, kann aber auch ein größerer Speicher notwendig sein. Ist dies der Fall, werden im Allgemeinen Rundbehälter, die oberirdisch, aber auch unterirdisch angeordnet sind, verwendet. Typische Materialien sind Stahlbeton, Stahlemaile und Edelstahl, wobei die Bodenplatte als Stahlbeton vor Ort ausgeführt wird. Die Güllebehälter können offen oder mit einer Abdeckung jeglicher Art ausgeführt sein. Beheizung und Rührwerk sind meist nicht vorhanden. Speziell bei Gülle die zur Schwimmdeckenbildung neigt, kann ein Rührwerk im Behälter integriert sein, es werden aber auch mobile Rührwerke verwendet.



**Abbildung 3.1.10 Oberirdische Güllelager aus Stahl (links: geschraubte Platten, rechts: gewickelte Blechbahnen); Fotos: Henze-Harvestore (links), Lipp (rechts)**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Alle Behälter müssen absolut flüssigkeitsdicht ausgeführt sein, um eine Gefährdung des Grundwassers auszuschließen. Dies setzt fachmännisch ausgeführte Behälter voraus (Materialqualität, dichte Fugen). Typische Mängel sind Rissbildungen im Material und undichte Nähte. Die normalerweise vorgesehene Leckageerkennung bestehend aus Sicherheitsfolie, Ringdrainage und Kontrollschacht, soll einen Austritt von Gülle verhindern und anzeigen. Es ist schon während der Bauphase auf die richtige Ausführung des Betons (vgl. DIN 1048, Zementmerkblatt LB13) und die Abdichtung der Fugen und Nähte zu achten.

Neben einem möglichen Substrataustritt, sind luftgetragene Emissionen eine zweite relevante Gruppe emittierender Stoffe. Die offene Lagerung führt zum Entweichen von Ammoniak und damit zu einer Reduzierung des in der Gülle gelösten Stickstoffs, was einer Minderung der Düngequalität gleichkommt. Darüber hinaus kann es insbesondere bei Rinderexkrementen zu einer beginnenden Ausgasung von Methan kommen. In der Regel sind Güllelager in der Landwirtschaft offen ausgeführt, es besteht aber generell die Möglichkeit der Abdeckung (z.B. bei starker Geruchsbelästigung). Neben möglichen (geruchsintensiven) Emissionen durch die offene Lagerung, können weitere durch das freie Einlassen von Gülle entstehen. Diese können durch eine entsprechende Unterspiegelbefüllung (Zufuhr von Gülle in das Lager unterhalb des Flüssigkeitsspiegels) vermieden werden.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Beim Befahren von Gruben und Behältern entstehen Gefahren durch sich ansammelnde Gase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) - Erstickungs- und Vergiftungsgefahr. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Bildung von zündfähigen Biogas-Luft-Gemischen, was ein zusätzliches Sicherheitsrisiko (Ex-Zone) für die Anlage und Personen darstellt. Ggf. sind Ex-Schutz-Maßnahmen zu beachten, Zündquellen zu vermeiden und Mitarbeiterschulungen sowie Sicherheitsunterweisungen durchzuführen (vgl. Kapitel 5). Einem Überlaufen durch unkontrolliertes Einpumpen ist durch eine kontrollierte Betriebsweise, ggf. durch den Einsatz eines Füllstandssensors vorzubeugen.

### **Vorgrube**

Vorgruben sind sehr häufig anzutreffende runde, teils rechteckige, in die Erde eingelassene Behälter aus Schachtringen oder aus Stahlbeton. Sie dienen als Substratvorlage für den Fermentationsprozess mit einer Kapazität von meist zwei bis drei Tagesrationen (Volumen kann abweichend sein, abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten). Neben pump- und rührfähigen Substraten können auch bedarfsweise geringe Mengen fester Substrate eingebracht werden. Diese werden mittels Schneidmixer oder Rührwerk zerkleinert und homogenisiert. Durch den homogenisierten Substratmix besteht eine exakte Dosiermöglichkeit. Bei zunehmenden Feststoffanteilen steigen allerdings Rühr- und Pumpaufwand und somit der Verschleiß stark an.

Die Gruben sind offen oder geschlossen (z. B. Folie oder befahrbarer Betondeckel, feste Teilabdeckung mit Befüllklappe o. ä.) ausgeführt. Zum Einfüllen von festen Substraten besitzen geschlossene Vorgruben meist einen zu öffnenden Schacht. Dieser kann auch zur Entnahme von Sinkschichten und Störstoffen genutzt werden. Neben dem Eintrag über einen Schacht werden feste Substrate zunehmend auch über Feststoffdosierer via Förderschnecke beschickt. Zum Einbringen von flüssigen Substraten können auch Schlauchstutzen montiert sein. Zu Wartungszwecken an Rührtechnik und Überfüllmesstechnik können separat verschließbare Bedienöffnungen dienen.



**Abbildung 3.1.11 Vorgrube - Unterflur mit Betondeckel, Foto: DBFZ**

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei richtiger Ausführung sind Vorgruben kaum emissionsbehaftet. Nur bei vollständig offenen Vorgruben können vergleichbare Emissionen wie bei offenen Güllelagern auftreten. Besondere Beachtung ist den gasförmigen Emissionen zu widmen, wenn Gärrest oder Fermenterinhalt zum Anmischen des frischen Substrates in die Vorgrube zurückgepumpt wird. In diesem Fall können zu den ohnehin schon auftretenden Ammoniakemissionen hohe Methanemissionen hinzukommen. **Diese lassen sich durch eine entsprechende Abdeckung, ggf. mit Anschluss an das gasführende System, mindern. Des Weiteren können Emissionen durch eine Unterspiegelbefüllung (Zufuhr von Gülle in die Vorgrube unterhalb des Flüssigkeitsspiegels) vermindert werden. Dies kann u. U. bei unmittelbarer Nähe zur Nachbarschaft notwendig werden.**

Um einen möglichen Austritt flüssiger Substrate zu verhindern, ist auch hier auf die Qualität der baulichen Ausführung zu achten (flüssigkeitsdicht, Leckageerkennung), vgl. Kap. 5.1.3 Wasser- und Bodenschutz.

Weitere Hinweise zur Bauausführung in Beton geben die Zementmerkmale Nr. 13 und Nr. 14 ([www.vdz-online.de](http://www.vdz-online.de) oder [www.beton.org](http://www.beton.org)), sowie die DIN 1045/1048.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Als ein Teil des Arbeitsschutzes ist die offene Grube durch eine Absturzsicherung, beispielsweise durch Ketten oder eine Umzäunung gegen Hineinfallen zu sichern (vgl. entsprechende Arbeitsschutzbestimmungen). Des Weiteren sind die Vorgaben der Gassicherheit (Explosionsschutz und Gefahren durch Befahren von Behältern und Gruben zu beachten (siehe Kap. 5.3.2 Gassicherheit).

#### **Vorlagebehälter**

Vorlagebehälter sind verschiedenartig ausgeführt und weit verbreitet. In ihrer prozesstechnischen Einbindung und Funktion sind sie den Vorgruben gleich zusetzen. Lediglich in ihrer Ausführung bestehen kleine Unterschiede. Zur Anwendung kommen meist zylindrische Behälter in Überfluraufstellung aus wasserundurchlässigen und säureresistenten Materialien wie Beton (mit Beschichtung), Stahl und Stahlemaille. In der Regel sind die Behälter geschlossen oder gasdicht ausgeführt. Sie dienen dem Zwischenspeichern, Mischen und Homogenisieren flüssiger und fester Substrate. Je nach Prozesserfordernissen können diese auch beheizbar ausgeführt sein. Bei gasdichter Ausführung ist der Behälter über eine Gaspendelleitung mit anderen Prozessbehältern (Fermenter, Nachgärer) verbunden und mit Sicherheitseinrichtungen (Über-/Unterdrucksicherung) ausgestattet. Kommt die nicht gasdicht geschlossene Variante zum Einsatz, kann durch Absaugung (Unterdruckhaltung) des Behälters die Abluft geruchsintensiver Substrate z.B. über einen Wäscher und/oder Biofilter geführt werden. Teilweise dienen die Vorlagebehälter der gezielten Vorversäuerung (Hydrolyse) der Substrate. Substratein- und -austrag sind weitestgehend automatisiert.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Beim nicht gasdicht geschlossenen Behälter wird die Verdrängungsluft aus dem Behälter in die Umgebung abgegeben. Geruchsintensive Abluft kann bei immissionsrechtlicher Notwendigkeit gesammelt und

durch ein geeignetes Abluftreinigungssystem desodoriert werden. Der gasdicht geschlossene Behälter ist über eine Gaspendelleitung an das Biogassystem angeschlossen. Hier erfolgt die Verwertung der im Vorlagebehälter entstehenden Gase zusammen mit dem Biogas, sodass am Vorlagebehälter keine Emissionen zu erwarten sind.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

In Bezug auf die Gassicherheit sind auch hier bauliche und organisatorische Schutzmaßnahmen im Sinne des Explosionsschutzes und des Schutzes gegen Vergiften und Erstickten beim Begehen von Behältern und Gruben zu treffen. Werden Vorlagebehälter in Hallen aufgestellt sind ggf. weitere Maßnahmen zur Überwachung der Raumluft (AGW-Werte, Alarmierung, Entlüftung) zu treffen.

**Tabelle 3.1.13 Technische Eigenschaften Flüssigkeitslagerung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Güllelager	Behälter, in Beton oder Stahl in ober- oder unterirdischer Ausführung; teilweise ohne weitere Einbauten wie Rührwerk, Heizung, Dämmung	platzsparende Lagerung bei Hochbehälterbau; befahrbar bei Tiefbehälterbau mit Betondeckel; abdeckbar;	CH <sub>4</sub> und NH <sub>3</sub> -Verluste, Geruch, Niederschlagseintrag bei offener Ausführung; Abdeckungen mit finanziellem und technischen Mehraufwand
Vorgrube	Bodengrube in Beton zur Lagerung von Gülle und Abmischung von flüssiger und fester Substrate, , unbeheizt, mit Rührwerk, i.d.R. Abdeckung möglich und empfohlen	platzsparende Lagerung bei unterirdischer Aufstellung und Befahrbarkeit; emissionsmindernd abdeckbar; als Störstoffaustrag nutzbar	CH <sub>4</sub> und NH <sub>3</sub> -Verluste, Geruch, Niederschlagseintrag bei offener Ausführung; Abdeckungen mit finanziellem und technischen Mehraufwand
Vorlagebehälter	Behälter oder Tank in Beton oder Stahl zur Lagerung und Abmischung flüssiger und fester Substrate, teils beheizt, mit Rührwerk und Homogenisierung	emissionsfrei bei gasdichter Ausführung; kein Regenwassereintritt	bei nicht gasdichter Ausführung u. U. Abluftreinigung notwendig

**Tabelle 3.1.14 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen Flüssigkeitslagerung**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Güllelager	Geruch, Ausgasen von Ammoniak, gegebenenfalls Methan; möglicher Austritt von Gülle bei Undichtigkeiten	auf Qualität beim Bau achten, regelmäßige Kontrollgänge, Leckageerkennung, Füllstandsüberwachung (Überfüllsicherung), bei Behältern ohne Abdeckung Freibord vorsehen, um Regenwasser aufnehmen zu können, geschlossene Ausführung möglich
Vorgrube	Geruch, Ammoniak; möglicher Austritt Substraten bei Undichtigkeiten, Methanemissionen bei Rückführung von Gärresten bzw. Fermenterinhalt möglich	auf Qualität beim Bau achten, regelmäßige Kontrollgänge, Leckageerkennung, Füllstandsüberwachung (Überfüllsicherung), bei Behältern ohne Abdeckung Freibord vorsehen, um Regenwasser aufnehmen zu können, geschlossene Ausführung möglich (immissionsrechtlich notwendige Geruchsminimierung durch z.B. Behälterabdeckungen, automatische oder manuelle Abdeckklappen und/oder Abluftbehandlungssysteme möglich); Anmischen mit Gärresten ggf. erst direkt beim Eintragen in den Fermenter
Vorlagebehälter	Hydrolysegase, Wasserstoff, Kohlendioxid z. T. auch Methan möglich; möglicher Austritt von Substraten bei Undichtigkeiten,	auf Qualität beim Bau achten, regelmäßige Kontrollgänge, automatische Überfüllsicherung, Füllstandsanzeige, hochwertige Materialien (pH-Wert z. T. < 4); bei nicht gasdicht geschlossenen Systemen: Verdrängungsluft bei immissionsrechtlicher Notwendigkeit über geeignete Abluftbehandlung desodorieren; bei gasdicht geschlossenen Systemen: gezielte Absaugung der Gase und Einbindung ins Biogassystem möglich



**Tabelle 3.1.15 Sicherheitsmaßnahmen Flüssigkeitslagerung**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Güllelager Vorgrube Vorlagebehälter	Erstickungs- und Vergiftungsgefahr beim Begehen des Behälters; Explosionsschutz, Gefahr des Abstürzens je nach Positionierung des Behälters (oberirdisch, unterflur)	Maßnahmen entsprechend allgemeiner Arbeitsschutzrichtlinien; Absturzsicherung (z.B. Ketten Geländer, Einfriedung, Umzäunung; Personenschutz und Ex-Schutz beachten, insbes. bei Befahrung von Behältern

### 3.1.3 Substrataufbereitung

Substrataufbereitung dient der Vorbehandlung und Konditionierung von Substraten, um diese zum einen generell in einer Biogasanlage verarbeiten zu können (z.B. überlagerte und abgepackte Lebensmittel) und zum anderen den Biogasertrag zu steigern. Eine Aufbereitung kommt in fast jeder Biogasanlage vor, wobei angemerkt werden muss, dass einige Substrate keiner gesonderten Behandlung bedürfen (z. B. Fettabscheiderrückstände) und umgehend dem nächsten Arbeitsschritt (z.B. Anmischbehälter) zugeführt werden. Die Substrataufbereitung kann in mechanische, bio-chemische und sonstige Aufbereitungsverfahren, wie z. B. Desintegration durch Wärme und Ultraschall, unterteilt werden.

#### 3.1.3.1 Mechanische Aufbereitung

Hierunter werden Zerkleinerung, Störstoffabtrennung und ggf. Homogenisierung der Substrate (z.B. Bio-tonne, verpackte Marktabfälle, Energiepflanzen) verstanden. Im Folgenden werden verschiedene Systeme behandelt, die als Verfahrenskaskade oder in einem kombinierten Verfahrensschritt (Geräteeinheit) ausgeführt sind. Ein Überblick wird am Ende dieses Teilkapitels geben (Tabelle 3.1.16 bis Tabelle 3.1.18).

#### Zerkleinerer

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

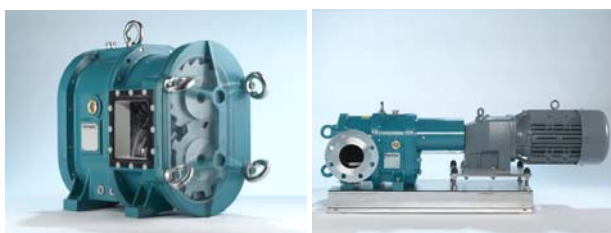
Zerkleinerer sind oftmals erster Prozessschritt der Aufbereitungskette. Sie kommen in unterschiedlichen Varianten, je nach Einsatzbereich und Durchsatzmenge zum Einsatz. Dabei können alle Arten von Substraten als Feststoffe oder als pumpfähige Substrate mit hohen Feststoffgehalten verarbeitet, gemischt und in dosierfähigen Mengen bereitgestellt werden.

**Ein- oder Mehrwellenzerkleinerer** werden oft in abfallvergärenden Anlagen eingesetzt. Sie sind sehr leistungsstark und für einen großen Durchsatz ausgelegt. Die Walze des Einwellenzerkleinerers arbeitet gegen einen feststehenden Kamm. Der Grad der Zerkleinerung wird z. B. über den Anpressdruck (Vergrößerung oder Verkleinerung des Schneidspalts), Art der Messerzähne und durch ein nachgeschaltetes Lochsieb bestimmt. Zwei- und Vierwellenzerkleinerer arbeiten mit ineinanderlaufenden Messerwalzen. Die Korngröße kann durch Messer- und Lochsiebwahl beeinflusst werden. Abbildung 3.1.12 zeigt zwei Arten von Mehrwellenzerkleinerern.



**Abbildung 3.1.12 Vierwellenzerkleinerer (links), Zweiwellenzerkleinerer (rechts), Fotos: UNTHA shredding technology (links), Komptech (rechts)**

Die Zerkleinerer werden bspw. per Radlader, Kran oder andere Fördereinrichtungen über eine Einfüllöffnung, teils mit Trichter, beschickt. Auch eine automatisierte Zuführung mittels Schnecken und Bändern ist möglich. Geeignete Substrate sind Bioabfall, verpackte Markabfälle und Energiepflanzen. Zweiwellenzerkleinerer werden auch in kleinerem Maßstab angewendet (vergleiche Abbildung 3.1.13). Ihr Vorteil ist neben der Verarbeitung von festen Substraten die Möglichkeit der Einbindung in einen geschlossenen Flüssigkeitsstrom mit hohem Feststoffgehalt (Substratleitung zum Fermenter). Auch hier kann über die Wahl der Schneidmesser das Zerkleinerungsbild beeinflusst werden.



**Abbildung 3.1.13 Zweiwellenzerkleinerer; Fotos: Börger (beide)**

**Lochscheibenzerkleinerer** (z. T. auch Mazerator genannt) werden für die Aufbereitung von Flüssigkeitsströmen mit hohen Feststoffgehalten eingesetzt. Sie werden in die Substratleitung integriert und bilden somit ein geschlossenes System. Ein mehrflügeliges, rotierendes Messer zerkleinert mit Hilfe einer Lochscheibe die in der Flüssigkeit enthaltenen Feststoffe. Über die Wahl der Lochplatte, Drehzahl und Durchsatz kann das Zerkleinerungsbild beeinflusst werden. Geeignet sind Lochscheibenzerkleinerer für die Nachzerkleinerung und für faserhaltige Suspensionen (z. B. Schlachtabfälle, Lebensmittelreste, Flüssigmist). Ein Vorteil des Systems ist die interne Fremdkörperabscheidung, in der nicht zerkleinerbare Stoffe (z.B. Steine) abgeschieden werden. Abbildung 3.1.14 zeigt einen geöffneten Lochscheibenzerkleinerer.



**Abbildung 3.1.14 Lochscheibenzerkleinerer mit Drehkolbenpumpe; Foto: Vogelsang**



### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Beim Befüllen über offene Einwurfschächte ist speziell bei geruchsintensiven Substraten eine Freisetzung von leichtflüchtigen Fettsäuren und ggf. H<sub>2</sub>S möglich. Hier können eingehaust aufgestellte Geräte, u. U. mit Quellenabsaugung, eine Emissionsminderung bewirken. Auch für Beschickungsautomaten (Feststoffdosierer), die im Freien aufgestellt sind, empfiehlt sich eine Abdeckung zur Geruchsminimierung (abhängig von Immissionschutzanforderung). In-Rohr-Systeme (z. B. Lochscheibenzerkleinerer) sind hingegen emissionsfrei.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Speziell sind hier die allgemeinen Sicherheitsvorschriften zum Betrieb von Maschinen mit schnell drehenden Teilen zu beachten. U. U. sind Warnungen beim automatischen Anlaufen der Maschine, sowie Abdeckungen und Absperrungen bei offenen Systemen vorzusehen. Bezüglich der möglichen Geruchs- und Staubemissionen können insbesondere geschlossene oder eingehauste Systeme mit Ablufferfassung die Arbeitsplatzbelastung (Arbeitsplatzgrenzwert) reduzieren.

**Anderweitige Zerkleinerungseinrichtungen** sind bspw. in Dosierbehältern und in Pumpen integriert. Schneidradpumpen sind Kreiselpumpen, die ein Laufrad mit gehärteten Schneidkanten besitzen und somit faserhaltige Flüssigkeiten, wie z. B. Gülle zerkleinern und fördern können. Diese Pumpen werden vorwiegend in landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt.

Beschickungsautomaten verfügen teils mit verstellbaren Schneidmessern versehene Mischschnecken oder schnelllaufende, zahnbestückte Doppelschnecken, die für eine Zerkleinerung von Substraten mit großen Faserlängen (z. B. Ballenware) oder für das Vorzerkleinern und Zumischen von Bioabfällen sorgen sollen. Über die Messerstellung, deren Anzahl, Drehzahlsteuerung und die Laufzeit der Mischschnecken kann der Zerkleinerungsgrad abgestimmt werden.

Weitere Verfahren zur Zerkleinerung des Substrates sind Hammermühlen, die relativ oft eingesetzt werden, beispielsweise für die Zerkleinerung von Getreide oder Maiskörnern in Verbindung mit der Lagerung in Hochsilos. Durch rotierende Hämmer wird das zu zerkleinernde Substrat zerschlagen. Über ein sich dem Zerkleinerungstrakt anschließendes Lochsieb wird die Korngröße beeinflusst. Leistung und Durchsatz kann über die Baugröße, Leistung und Anzahl der Hammer beeinflusst werden.

Eine andere Möglichkeit der Zerkleinerung von beispielsweise Mais oder Gras ist der Einsatz von Feldhäckslern. Durch die Förderung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasproduktion, kommen selbstfahrende Häckslern wieder verstärkt zum Einsatz. Diese ernten und zerkleinern das Substrat in einem Arbeitsgang, sodass es über eine entsprechende Logistik direkt in den Fahrsilos einsiliert werden kann. In Abbildung 3.1.15 sind verschiedene Zerkleinerungstechniken dargestellt.



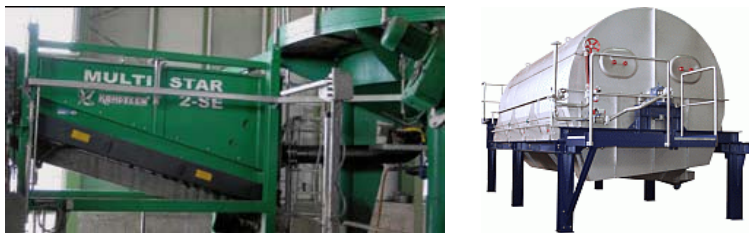
**Abbildung 3.1.15 Mischschnecke mit Messerbesatz (links), Hammermühle (Mitte), Feldhäcksler (rechts); Fotos: DBFZ (links), Riela (Mitte), Claas (rechts)**

Die Aufzählung der vorhandenen oder möglichen Zerkleinerungstechniken ist nicht abschließend. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und Möglichkeiten ist diese Aufzählung nur beispielhaft sein. Weitere Aufbereitungstechniken sind z. B. Quetschen, Schroten, Mahlen und Ballenauflösen.

## Störstoffabscheidung

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

**Siebe** werden im Allgemeinen durch ein freistehendes Stahlgerüst getragen, die Siebflächen sind leicht geneigt, oder besitzen Vorrichtungen zum Transport des Siebgutes. Die Korngröße wird z. B. durch Drehzahländerungen und durch die Wahl der Lochung des Siebes bestimmt. Typisch in der Bioabfallaufbereitung sind z.B. Trommel- und Sternsiebe (Abbildung 3.1.16). Je nach Anordnung in der Aufbereitungskette (beispielsweise nach Vorzerkleinerer oder nach Pulper) werden entweder feste Abfälle oder fließfähige Suspensionen bearbeitet und unterschiedliche Korngrößen abgesiebt.



**Abbildung 3.1.16 Sternsieb (links), Trommelsieb (rechts); Fotos: Komptech (links), Maschinenbau Lohse (rechts)**

Der **ballistische Separator** dient der Trennung von Leicht- und Schwerfraktion, sowie dem Absieben von Feinkorn. Er wird hauptsächlich in der Aufbereitung von Hausmüll in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (mit/ohne Vergärungsstufe) angewendet. Er besteht aus einem Stahlgehäuse, mit automatisiertem Eintrag (oben) und Austrag (unten), durch geeignete Fördereinrichtungen und aus der beweglichen Arbeitsebene. Dieser Aufbereitungsschritt kommt mit relativ geringen Antriebsleistungen aus und ist wartungsarm. Über eine einfache Plane ist der Separator abdeckbar. Abbildung 3.1.17 zeigt beispielhaft einen in eine Aufbereitungsstrecke integrierten ballistischen Separator.

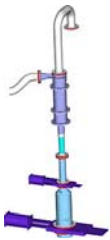


**Abbildung 3.1.17 ballistischer Separator; Foto: Komptech**

In den meisten der mechanischen Aufbereitungsanlagen für Bioabfall und Hausmüll wird der für die Vergärung vorgesehene Stoffstrom noch von metallischen Gegenständen mittels **Eisen- und Nichteisenabscheider** gesäubert. Häufig angewendete Verfahren sind Überbandmagnetabscheider, Magnetbandrollen sowie die Induktionssortierung von Nichteisenmetallen. Sie werden meist der Zerkleinerung bzw. der Siebung nachgeschaltet und sind ein essentieller Schritt, um Beschädigungen an nachfolgenden Anlagenteilen wie Mixer und Pumpen zu vermeiden. Die Leistungsfähigkeit ist stark von der Stärke des Mag-

neten, der Geschwindigkeit des Transportbandes und der Betriebsweise abhängig (Substratstromdichte, Güte der Vorzerkleinerung).

**Der Hydrozyklon** ist letzter Feinaufbereitungsschritt vor dem Vorlagebehälter oder der Hygienisierung. Er dient dem Abscheiden von Sand, kleinen Glassplittern und Steinen ö. ä. Der Apparat besteht aus einem zylindrischen Rohr, dem sich im unteren Bereich ein Konus anschließt, Zulaufdüse, Ablaufrohr, Schwerstoffaustrag und einer voran geschalteten Pumpe zur Druckerhöhung (vgl. Abbildung 3.1.18). Aufgebaut aus säurebeständigen Materialien wird er in einem Stahlgestell standsicher montiert. Die gute Trenncharakteristik bedingt aber eine vorangeschaltete Separation von größeren Störstoffen, da der Zyklon sonst aufgrund des geringen Durchmessers (speziell an der Einströmdüse) zu Verstopfungen neigt. Die im Hydrozyklon ausgetragenen feinen Störstoffe werden über Bänder und Schnecken in Sammelbehälter gefördert.



**Abbildung 3.1.18 Sandabscheider, Hydrozyklon; Abbildung: Maschinenbau Lohse**

Eine weitere Möglichkeit der Abscheidung von feinen Partikeln und Störstoffen ist der **Absetzbehälter**. Die aus dem Feinsieb oder dem Pulper kommende Suspension wird in den Behälter gepumpt. Dort erfolgt eine Beruhigung des Flüssigkeitsstroms, Feststoffe setzen sich aufgrund des Dichteunterschiedes am Boden ab, von wo aus sie über einen Schwerstoffaustrag aus dem System entfernt werden können. Der Behälter ist aus Edelstahl oder anderen nicht korrosiven Materialien gefertigt und teilweise zum Boden hin pyramidenförmig, um den Schwerstoffaustrag zu erleichtern. Das System ist relativ preiswert und robust. Abbildung 3.1.19 zeigt ein Absetzbecken mit Austragsschnecke.



**Abbildung 3.1.19 Absetzbecken; Foto: Passavant-Geiger**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Generell ist bei der Verarbeitung geruchsintensiver Bioabfällen die Freisetzung von leichtflüchtigen Fettsäuren, sonstigen Geruchsstoffen und ggf.  $H_2S$ ,  $NH_3$  bei allen offen stattfindenden Verarbeitungsschritten möglich (z.B. Befüllen über offene Einwurfschächte). Diese Bereiche sind ggf. mit Planen oder festen Abdeckungen zu einzuhausen und abzusaugen. Beispiele hierfür sind eingehauste Siebtrommeln oder geschlossen ausgeführte Absetzbecken. Die Trockenaufbereitung von Hausmüll ist auch mit einer enormen Entwicklung von Staub verbunden, die ebenfalls durch Einhausung und Absaugung der belasteten

Luft minimiert werden kann. Staubhaltige Abluft kann über Staubfilter geführt, geruchsbelastete Abluft der Reinigung durch Wäscher und Biofilter zugeführt werden.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die allgemeinen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten, speziell zum Betrieb von Maschinen mit schnell drehenden Teilen und automatischen Fördereinrichtungen (z. B. Maschinenantriebe o. ä.). Sicherheitsmaßnahmen stellen u. a. das Anbringen von Abdeckung gegen Hineingreifen während des Betriebs der Maschine und die Sicherung gegen automatisches Anlaufen im Wartungsfall dar. Nur speziell unterwiesenes Personal darf sich in den Maschinenbereichen aufhalten. Darüber hinaus kann auch die Raumluft in der Halle hinsichtlich des maximalen Arbeitsplatzgrenzwertes kontrolliert werden.

## **Pulper - Stofflöser**

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Stofflöser können speziell bei Biogasanlagen zur Verarbeitung von heterogen zusammengesetzten Bioabfällen (z. B. Braune Tonne) Anwendung finden. Nach der Zerkleinerungsstufe und dem Durchlaufen anderer Trockenaufbereitungsschritte (z. B. Metallabscheider) gelangt das vorbehandelte Substrat in den Pulper. Dieser ist ein weitestgehend geschlossener Behälter aus säureresistentem Stahl, befestigt in einem freistehenden Stahlgestell. Die Substratzufuhr erfolgt von oben über einen Abwurf in den Aufnahmeschacht oder über ein angeflanshtes Eintragsystem. Durch ein schnelllaufendes Schneidrührwerk im Inneren des Behälters wird das Substrat weiter zerkleinert und in Suspension gebracht. Nicht vergärbare Schwimmstoffe (Plastik, Holz) werden mit einem Rechen von der Flüssigkeitsoberfläche abgezogen, inerte Sinkstoffe (Steine, Metall) werden im unteren Bereich ausgeschleust. Die homogenisierte Organik-suspension wird über ein Lochsieb abgezogen und der weiteren Aufbereitung zugeführt. Der Betrieb kann in diskontinuierlicher und kontinuierlicher Weise erfolgen. Abbildung 3.1.20 zeigt einen Stofflöser und ein Schema zur hydromechanischen Aufbereitung.



**Abbildung 3.1.20 Stofflöser (links), Schema hydromechanische Aufbereitung mit Pulper und Sandabscheidung (rechts): Fotos: Komptech (links), BTA International (rechts)**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Pulper sind i. d. R. geschlossene System, eine Absaugung des Behälters ist aber möglich. Darüber hinaus sollte nach Möglichkeit auf die Verwendung von Brauch- oder aufbereitetem Prozesswasser (Zentrat aus der Fest-Flüssig-Trennung des Gärrests) geachtet werden, um den Bedarf an Frischwasser zur Herstellung der Suspension zu minimieren.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die allgemeinen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten, speziell zum Betrieb von Maschinen mit schnell drehenden Teilen und automatischen Fördereinrichtungen (z.B. Schutzabdeckungen, Schutzvorkehrungen gegen automatischen Anlauf im Wartungsfall). Nur speziell unterwiesenes Personal darf sich in den Maschinenbereichen aufhalten.

## **Entpackungsanlage**

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Anwendung findet die Entpackungsanlage beispielsweise in Bioabfallanlagen zur Verarbeitung abgepackter Lebensmittel. Sie ist eine Verfahrenskombination aus Teilen der oben aufgeführten Aufbereitungsschritte. Sie besteht aus einer Zerkleinerungseinheit und einer Trennstufe, sodass verpackte Lebensmittel kontinuierlich im Ganzen aufgegeben werden können. Die Verpackungen werden von der nativ-organischen Substanz abgetrennt, so dass das Endprodukt meist fließfähig ist.

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Ähnlich wie in den oben beschriebenen Verfahrensschritten der Zerkleinerung und Störstoffabtrennung können aufgrund der meist offenen Ausführung leichtflüchtige Fettsäuren und ggf. H<sub>2</sub>S und NH<sub>3</sub> freigesetzt werden. In Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen kann der Betrieb der Anlage in geschlossenen Hallen mit geeigneter Ablufferfassung und sich anschließender Abluftbehandlung (z.B. durch Wäscher und/oder Biofilter) notwendig werden. Durch eine flüssigkeitsdichte Ausführung der Entpackungsanlage und das Verwenden verschleiß- und korrosionsbeständiger Materialien, ist einem Flüssigkeitsaustritt vorzubeugen.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Es sind die allgemeinen Arbeitsschutz- und Sicherheitsvorschriften beim Betrieb von Maschinen zu beachten. Der maximale Arbeitsplatzgrenzwert von Geruchsstoffen wie z. B. NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S ist zu beachten. Hierbei sollte auf einen ausreichenden Luftwechsel durch intensive Entlüftung des Arbeitsbereiches geachtet werden.

## **Extruder**

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Dieses relativ junge Verfahren ist mittlerweile mit Mais- und Grassilage erprobt worden und hat sich etabliert. Die Extrudertechnik basiert auf Zerreibung und Zerquetschung des Substrates durch zwei ineinander laufende Schnecken. Das Substrat wird verdichtet und gegen eine Matrize entspannt. Dies bewirkt ein Zerfasern des Substrates, dessen Oberfläche sich dadurch vergrößert. Durch den mechanischen Zellaufschluss ist faserhaltiges Material bei kurzen Aufenthaltszeiten besser abbaubar. Vorteile sind das einhergehende Vorwärmen des Substrates und die Minimierung einer Schwimmdeckenbildung durch Aufschwimmen trockenen Substrates. Abbildung 3.1.21 zeigt einen Extruder, eingebunden in die Substratzuführung mittels Laufband und Schnecke.



**Abbildung 3.1.21 Extruder; Foto: DBFZ**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei der Verwendung von Silagen sind keine Emissionen zu erwarten, da der Vorgang im Maschineninneren stattfindet. Des Weiteren kann der Substratein- und -austrag an die vorgesehene Fördertechnik angeschlossen werden, sodass bei Bedarf eine weitestgehend geschlossene Ausführung möglich ist.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Es sind die allgemeinen Sicherheitsvorschriften beim Betrieb von Maschinen zu beachten. Hierbei stehen besonders das Anbringen von Abdeckung zum Schutz gegen Hineingreifen während des Betriebs der Maschine und der Schutz vor automatischem Anlaufen im Wartungsfall im Vordergrund.

**Tabelle 3.1.16 Technische Eigenschaften mechanische Aufbereitung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Ein-, Zwei-, Vierwellen-zerkleinerer (offen)	rotierende Walzen mit Schneidmessern mit einem/ mehreren Antrieben, automatische Beschickung oder mit Radlader, offener Einfülltrichter, auch Verarbeitung verpackter Ware und Grünschnitt möglich	leistungs- und durchsatzstark; Zerkleinerungsgrad einstellbar	hoher Energiebedarf, Geruch durch offenen Einfülltrichter, hoher Verschleiß der Walzen bei harten und spröden Störstoffen
Zweiwellen-zerkleinerer (in-Rohr-Montage)	in feststoffbelasteten Flüssigkeitsstrom integriert, geschlossene Ausführung, Zerkleinerung durch gegeneinander rotierende Schneidmesser	geschlossene Ausführung, Zerkleinerungsgrad einstellbar	Energiebedarf, Verschleiß
Lochscheiben-zerkleinerer (in-Rohr-Montage)	in Flüssigkeitsstrom integriert, geschlossene Ausführung, für langfasrige Substrate und als Nachzerkleinerer geeignet	geschlossene Ausführung, teils mit integrierter Störstofftrennung (Schwerstoffabscheider)	Energiebedarf, Verschleiß
Siebe	Trommel-, und Sternsiebe, Stahlausführung in freistehendem Tragwerk, meist als Hallenaufstellung, für feste und flüssige Stoffe geeignet	Abscheidung von Störstoffen, hohe Trennleistung und Trennschärfe, Grob und Feinsiebung	ggf. separate Sandabscheidung nötig, meist offene Systeme
ballistischer Separator	geneigte Ebene mit perforierten Rüttel-elementen; Ausnutzung unterschiedlicher Stoffdichten und -formen zur Störstoffabtrennung; zusätzliche Absiebung durch Bodenlochgröße bestimmt	sehr bewährt für Hausmüll	



**Fortsetzung Tabelle 3.1.15 Technische Eigenschaften mechanische Aufbereitung**

Metallabscheider	Eisen und Nichteisenabscheider	gute Trennleistung, Schutz nachfolgender Aggregate, gut in Aufbereitungskette integrierbar	
Hydrozyklon	relativ schmaler, zylindrischer Abscheider feiner Partikel, aufgestellt mittels Stahlkonstruktion (differierende Ausführungen möglich)	hohe Trennleistung	Düsenverstopfungen mögl., zusätzliche Druckerhöhung nötig
Absetzbehälter	rechteckig, oder mit schrägen Wänden; aus Edelstahl oder Kunststoff mit Schwerstoffaustragsschnecke	freier Einlauf, kein zusätzliches Antriebsaggregat nötig, einfache Technik	
Pulper - Stofflöser	geschlossenes System aus säureresistentem Stahl mit schnelldrehendem Rührwerk zur Suspendierung von heterogenem Substrat, zusätzlich Störstoffabtrennung	geschlossen, Störstoffabscheidung von Leicht- und Schwerstoffen	Energiebedarf, Verschleiß,
Entpackungsmaschine	Kombination aus Zerkleinerungs- und Störstoffabtrennungsverfahren, siehe oben	eine Aufgabe von Verpackten Reststoffen möglich	Energiebedarf, hoher Verschleiß der Walzen bei harten und spröden Störstoffen
Extruder	Zerfasern von Silagen durch Verdichten und anschließendes Entspannen über gegenläufige Schnecken und Matrizie,	Zerkleinerung/ Zerkaserung flüssigkeitshaltiger Substrate, weitestgehend geschlossene Bauweise	Verschleiß bei Anteilen harter Störstoffe (Steine), hoher Elektroenergiebedarf

Aufgrund der umfangreichen Möglichkeiten der mechanischen Aufbereitung von Substraten stellen die hier zusammengefassten Techniken eine Auswahl dar. Weitere Aufbereitungsverfahren wie Hammermühle, Schneckenseparatoren, Zentrifugen (Dekanter) sind durchaus möglich.

**Tabelle 3.1.17 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen mechanische Aufbereitung**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Ein-, Zwei-, Vierwellenzerkleinerer (offen)	Geruch, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> (bei offenem Einfülltrichter)	ggf. Aufstellung in geschlossenen Hallen mit Abluffassung und Reinigung (Quellenabsaugung) bei Verarbeitung geruchsintensiver Substrate (in Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen)
Zweiwellenzerkleinerer (in-Rohr-Montage)	geschlossenes System	
Lochscheibenzerkleinerer (in-Rohr-Montage)	geschlossenes System	
Siebe	Geruch, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub>	ggf. Einhausung oder Hallenaufstellung mit Absaugung geruchsintensiver Abluft (in Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen)
ballistischer Separator	Geruch, Staub, Lärm	ggf. Einhausung oder Hallenaufstellung mit Absaugung geruchsintensiver Abluft (in Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen)
Hydrozyklon	geschlossenes System	
Absetzbehälter	Geruch	ggf. geschlossen ausführen und/oder Hallenaufstellung und Absaugung (in Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen)
Pulper - Stofflöser	geschlossenes System	
Entpackungsmaschine	Geruch, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub>	ggf. Einhausung oder Hallenaufstellung mit Absaugung geruchsintensiver Abluft (in Abhängigkeit von den Immissionsschutzanforderungen)
Extruder	geschlossenes System, bei direkter Anbindung an Substratein- und Auslass	

**Tabelle 3.1.18 Sicherheitsmaßnahmen mechanische Aufbereitung**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Ein-, Zwei-, Vierwellenzerkleinerer (offen)	bewegliche Maschinenteile,	Warnung bei automatischem Anlauf, Absperrungen, Schutzabdeckungen, In-Rohr-Systeme im Normalbetrieb geschlossenes System aber Schutzvorkehrungen gegen automatischem Anlauf bei Wartungsarbeiten treffen
Zweiwellenzerkleinerer (in-Rohr-Montage)		
Lochscheibenzerkleinerer (in-Rohr-Montage)		
Siebe ballistischer Separator	bewegliche Maschinenteile,	Warnung bei automatischem Anlauf, Absperrungen, Schutzabdeckungen, Schutzvorkehrungen gegen automatischem Anlauf bei Wartungsarbeiten ggf. Absaugung belasteter Abluft
Hydrozyklon	im Normalbetrieb geschlossenes System	
Absetzbehälter	u. U. NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S Belastung	geschlossen ausführen, ggf. Raumluft überwachen und gezielte Absaugung des Aufstellbereiches
Pulper - Stofflöser	bewegliche Maschinenteile Antrieb,	Schutzabdeckungen, Schutzvorkehrungen gegen automatischem Anlauf bei Wartungsarbeiten
Entpackungsmaschine	bewegliche Maschinenteile,	Absperrungen Schutzabdeckungen, Schutzvorkehrungen gegen automatischem Anlauf bei Wartungsarbeiten
Extruder	bewegliche Maschinenteile	Schutzabdeckungen, Schutz gegen unbeabsichtigtes Anlaufen bei Reparaturen

### 3.1.3.2 Biochemische Aufbereitung

Zur biochemischen Aufbereitung können die aerobe Vorrotte, Silierung, Hydrolyse und der Aufschluss durch Enzyme gezählt werden. Im Folgenden werden die Aufbereitungsverfahren beschrieben und am Ende des Kapitels (Tabelle 3.1.19 bis Tabelle 3.1.21) zusammenfassend dargestellt.

#### Aerobe Vorrotte

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Vorrotte findet in separaten Vorrottemodulen oder direkt in Boxenfermentern statt (siehe Kapitel 3.2.1.3 Boxenfermenter) und wird häufig bei der Feststoffvergärung organischer Abfälle (z. B. Landschaftspflegegrün, Mist, Bioabfall, Hausmüll) eingesetzt. Die Vorrottemodule stammen verfahrenstechnisch aus der Kompostierung und sind in Bezug Bauform und Material vergleichbar mit den Boxenfermentern, mit dem Unterschied, dass sie ausschließlich für die aerobe Behandlung des Substrats vorgesehen sind. Die Rottemodule (Rottetunnel) sind mit einer Saug-/Druckbelüftung, sowie Messtechnik zur Bestimmung der Atmosphäre im Modul ausgestattet. Während der zwei- bis viertägigen Vorrote erwärmt sich das Substrat (Selbsterhitzung) durch die beginnenden aeroben Abbauprozesse von leicht abbaubaren Stoffen auf 40 bis 50 °C. Vorteil des Verfahrens für die nachfolgende Vergärungsstufe ist der beginnende Zellaufschluss und die Selbsterhitzung des Materials, wodurch u. a. zusätzliche Heizelemente im Fermenter eingespart werden können. Nachteilig ist allerdings, dass organische Substanz bereits umgesetzt wird und nicht mehr für die Biogasbereitstellung zur Verfügung steht. Der Eintrag in die Rottetunnel und Fermenter kann beispielsweise automatisiert über Spiralförderer und Verteileinrichtungen erfolgen. Zum automatisierten Austrag kann ein Schubbodensystem Anwendung finden. Bei der Vorrotte in den Fermentern werden aber üblicherweise Radlader zum Befüllen und Entleeren genutzt. Neben der kontrolliert ablaufenden Vorrotte in Boxen, finden aerobe Abbauprozesse bereits während der Bereitstellung der Substrate (z. B. Bioabfallsammlung, Zwischenlagerung als Haufwerk in Annahmehalle) statt. Da die Prozesse selbstständig ablaufen, werden diese teilweise auch durch gezielte Zwischenlagerung in Haufwerken genutzt, ohne ein geschlossenes Vorrottemodul installiert zu haben.



### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die Rottekammer ist gas- und flüssigkeitsdicht ausgeführt. Durch die gezielte Be- und Entlüftung wird die geruchsintensive Abluft (z. B.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) über Wäscher und/oder Biofilter geleitet und dort behandelt. **Bei der Lagerung größerer Haufwerke mit selbstständig anlaufendem Rotteprozess, ist bei besonders geruchsintensiven Substraten mit verstärkten Emissionen zu rechnen.**

Wird die Vorrote im Fermenter durchgeführt, ändert sich bei einsetzender Vergärung im Anschluss an die Vorrotte die Zusammensetzung der Atmosphäre. Unter Luftabschluss entsteht ein methanhaltiges Gasgemisch, das erst mit steigendem Methangehalt ( $> 15 - 25 \%_{\text{CH}_4}$  Gasfackel;  $> 45 \%_{\text{CH}_4}$  Gasmotor) genutzt werden kann. In der Regel wird das Gasgemisch mit einem Methangehalt  $< 15 - 25 \%_{\text{CH}_4}$  über den Biofilter in die Umgebung abgelassen. In jüngeren Entwicklungen wird durch Beimischung zu methanreichem Biogas bzw. durch Stützfeuerung das Gasgemisch durch BHKW, Gasfackel, niederkalorische Verbrennung oder katalytische Oxydation verbrannt.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Beim Öffnen der Vorrottemodule bzw. der zur Vorrotte genutzten Fermenter, ist auf eine gesundheitsun-schädliche Atmosphäre zu achten. Installation von Gasmessgeräten zur Überwachung des Prozesses mit Alarmierung (optisch, akustisch) bei Überschreitung von Grenzwerten (auch in Bezug auf die Arbeit-sicherheit im geöffneten Zustand - Gassicherheit u. a. durch Freimessen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$  und Zwangsbelüftung).

## Silierung

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Silierung ist die am weitesten verbreitete Konservierungstechnik von landwirtschaftlichen Substraten und Reststoffen. Die verschiedenen Techniken zur Herstellung von Silagen wie unter Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung beschrieben, basieren auf dem Verdichten und dem luftdichten Verschließen des zu silierenden Substrates. Ein vorheriges Zerkleinern des Substrates und eine schnelle Befüllung des Silos verhindern eine übermäßige Luftzufuhr in den Silostock. Unter diesen Bedingungen erfolgt durch die Vergärung von Zucker (Stärke) in der Regel durch Milchsäurebakterien ein Haltbarmachen des Substrates. Grund sind die konservierenden Eigenschaften der durch den Zellaufschluss produzierten Milchsäure (org. Säure). Durch den Luftabschluss und durch das Absinken des pH-Wertes auf 4,0 bis 4,5 werden gärschädliche Prozesse in der Silage durch Bakterien und Pilze verhindert. Durch verschiedene Silierzusätze kann zusätzlich Einfluss auf die Qualität der Silage genommen werden. Zusätze gibt es in fester und flüssiger Form und sollen zur Verbesserung des Gärverlaufs, zur Erhöhung der anaeroben Stabilität oder zur Reduzierung des Gär-saftanfalls beitragen. In der jüngeren Vergangenheit sind vermehrt Silagehilfsmittel auf den Markt gekommen, die speziell die Essigsäuregärung fördern. Dieses soll speziell für den Biogasprozess zuträglich sein, da die Essigsäure ein Zwischenprodukt des Methanbildungsprozesses ist.

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Richtig ausgeführte Silage hat einen typischen Geruch, der von den meisten Menschen als nicht störend empfunden wird. Treten hingegen Fehlgärungen auf, bilden sich verstärkt Butter- und Essigsäure. Die Silage bekommt einen stechenden Geruch der u. U. zu Beschwerden führen kann. Darüber hinaus ist der

Anfall von Silagesickersäften zu beachten. Diese sind durch bauliche Maßnahmen und Drainagesysteme (z. B. Folienabdeckung, Sammelrinnen und -behälter) zu minimieren, aufzufangen und in der Biogasanlage zu verwerten (siehe Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung).

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Unmittelbar nach Beginn der Einlagerung entstehen Siliergase (z.B. CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>) in unterschiedlichen Konzentrationen je nach Substrat, die erstickend wirken und giftig sind. Vor dem Begehen eines Silos, speziell bei Hochsilanlagen (Behälter mit teilweise geschlossener Abdeckung), muss das Silo ausreichend durch ein Gebläse belüftet werden. Mittels mobiler Gasmessgeräte kann die Atmosphäre im Silo freigemessen werden. Bei Arbeiten im Hochsilo ist ein Fluchttreter beizustellen und persönliche Schutzausrüstung (auch Atemschutz) zu tragen. Bei Fahrsilos und Foliensilos können die Siliergase in Folge von Undichtigkeiten und Diffusionsvorgängen durch die Folien entweichen, so dass hier eine ähnliche Gefährdung wie bei Hochsilanlagen nicht besteht. Vergleiche hierzu auch Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung.

### Hydrolyse

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Hydrolyse ist der erste Schritt im Biogasprozess, bei der durch Bakterien mit Hilfe von Enzymen komplexe, hochmolekulare Verbindungen (Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette) zu niedermolekularen Verbindungen (Zucker, Fettsäuren, Aminosäuren) abgebaut werden. Diese werden zeitgleich in der Versäuerungsphase durch säurebildende Bakterien, welche in enger Symbiose mit den hydrolysierenden Mikroorganismen leben, weiter umgesetzt, wobei neben den Zwischenprodukten, wie z.B. organische Säuren (Essig-, Propion- und Buttersäure) auch Gase wie Kohlendioxid, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff entstehen.

Soll die Hydrolyse getrennt von der Methanbildung ablaufen, werden die Phasen räumlich getrennt. Dazu wird ein separater Hydrolysebehälter dem eigentlichen Fermenter vorangestellt, bzw. wird durch spezielle Einbauten in den Fermenter (z.B. Zwei-Phasen-Fermenter) ein abgegrenzter Raum geschaffen. Als Behälter kommen die unter 3.1.2.2 Flüssigkeitslagerung beschriebenen Vorlagebehälter mit einer entsprechenden Ausstattung wie Rührwerk, Beheizungsmöglichkeit und Isolierung (idealerweise findet die Hydrolyse bei Temperaturen von 25 bis 35 °C statt) in Betracht. Neben den stehenden Behältern können z. B. auch liegende, zylindrische Behälter für Hydrolysevorgänge genutzt werden.

Ein Vorteil der räumlich getrennt ablaufenden Hydrolyse ist das Vorbeugen einer Versäuerung der Methanisierung durch schnell abbaubare Substrate. Damit erhöht sich die Betriebssicherheit des Systems. Neben der relativ häufigen Anwendung in Kovergärungs- und Bioabfallanlagen, werden z. T. auch in Anlagen mit pflanzlichen Substraten Hydrolysestufen errichtet. Diese sollen schwerabbaubare Substrate aufschließen, um so eine bessere Abbaubarkeit im Fermenter zu gewährleisten. Nachteil ist ein höherer baulicher und regelungstechnischer Aufwand, der mit zusätzlichen Kosten bei der Finanzierung und während des Betriebs einhergeht. Demgegenüber stehen mögliche Kosteneinsparungen durch effizientere Fermentationsstufen und ggf. höhere Biogaserträge. U. U. kann aber mit den Hydrolysegasen, die über einen Biofilter abgeführt werden, ein Teil der im Substrat enthaltenen Energie dem System verloren gehen.

Eine weitere, in der Markteinführung befindliche Technik zur biochemischen Aufbereitung ist die **Thermodruckhydrolyse** (Aufschluss organischer Stoffe bei ca. 200 °C, bei Drücken von 20 bis 30 bar). Zur-

zeit wird das Verfahren an ca. 10 Biogasanlagen im Pilotbetrieb getestet. Die gesteigerte Effizienz des Vergärungsprozesses kann grundsätzlich hinsichtlich der Beschleunigung des Prozesses bestätigt werden. Auch scheint die Erschließung lignozellulosehaltiger Substrate möglich. Nachteilig sind sicherlich die zusätzlichen Investitionen. Kritisch ist zudem der vergleichsweise hohe Wärmeenergiebedarf zu sehen, der für andere Anwendungen damit nicht mehr zur Verfügung steht. Somit ist der wirtschaftlich vorteilhafte Einsatz des Verfahrens noch zu beweisen.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die während der Hydrolyse gebildeten Gase Kohlendioxid und der geruchsintensive Schwefelwasserstoff können separat über einen Wäscher und/oder Biofilter geführt und so desodoriert ( $H_2S$ ) werden. Dies hat den Vorteil, dass der Schwefelwasserstoff die nachgeschalteten Baugruppen nicht schädigen kann. Die zeitgleiche Ableitung des Wasserstoffs (gebildet durch die mit der Hydrolyse verbundenen Versäuerung) stellt in erster Linie einen energetischen Verlust dar. Eine Möglichkeit dies zu umgehen ist die Zuführung und energetische Verwertung des Gasgemisches im Gasverwertungssystem (z.B. BHKW)

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Besondere Obacht gilt dem Gasschutz, da die Hydrolysegase erstickend wirken und giftig sind. Es ist auf eine sichere Ableitung der Gase zu achten. Beim Begehen der Behälter im Wartungs- oder Störfall sind alle nötigen Sicherheitsmaßnahmen wie z. B. persönliche Schutzausrüstung, Fluchthelfer oder technische Belüftung, zu treffen. Des Weiteren ist Wasserstoff ein hochentzündliches Gas, das in Luft gefährliche explosionsfähige Atmosphären bilden kann.

#### **Aufschluss durch Zugabe von Enzymen**

Eine weitere Möglichkeit der biochemischen Behandlung besteht in der Beaufschlagung des Substrates mit Enzymen. Hierbei handelt es sich um Restriktionsenzyme, welche die Zellverbände durch deren "verdauende" Wirkung auflösen (vgl. Ausführungen zu prozessunterstützenden Mitteln unter Kapitel 4.1.4).

**Tabelle 3.1.19 Technische Eigenschaften biochemische Aufbereitung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
aerobe Vorrotte	in geschlossenen Boxen (eigenes Modul oder in Vergärungsstufe integriert), Stahlbeton, flüssigkeits- und gasdicht, technische Be- und Entlüftung, teilweise Nutzung der in Haufwerken stattfindenden Prozesse, ohne Nutzung technischer Einrichtungen	gezielte Erfassung der Abluft, teilweiser Aufschluss schwer vergärbare Bestandteile	technisch aufwendig (besonders bei eigenständigen Rottemodulen), kostenintensiv, bei offenen Haufwerken geruchsintensiv, Verlust organischer Substanz zur Biogasproduktion
Silierung	verschiedene Techniken ( <i>Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung</i> )	Konservierung meist landwirtschaftlicher Produkte	in Abhängigkeit des Silierverfahrens und dessen Ausführung teilweise sehr verlustbehaftet
Hydrolyse	in geschlossenen Behältern ( <i>3.1.2.2 Flüssigkeitslagerung – Vorlagebehälter</i> ), auch in liegenden zylindrischen Behältern oder in Zwei-Phasen-Fermentern	prozessstabilisierend, verbesserte Abbaubarkeit des Substrates	zusätzlicher finanzieller und apparativer Aufwand, energetischer Verlust durch Ableitung der Hydrolysegase möglich

**Tabelle 3.1.20 Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen biochemische Aufbereitung**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
aerobe Vorrotte	Geruch	Saug-/Druckbelüftung in geschlossenen Modulen, Unterdruckhaltung; Abluftreinigung mit Wäschern und Biofilter
Silierung	Silagesickersäfte, ( <i>Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung</i> )	flüssigkeitsdichte Materialien, Sammelbehälter und Abläufe, Abdeckungen durch Folien bei Fahrsilos, Dächer bei Hochsilos
Hydrolyse	Geruch	geschlossene Behälter mit Abluffassung und Reinigung über Wäscher und Biofilter oder Anbindung an Gaspendelleitung

**Tabelle 3.1.21 Sicherheitsmaßnahmen biochemische Aufbereitung**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
aerobe Vorrotte	Gassicherheit, Erstickungs- und Vergiftungsgefahr	Kontrolle der Atmosphäre durch Freimessen, Zwangsbelüftung, Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung
Silierung	Verkehr, Standsicherheit, Gassicherheit, Erstickungs- und Vergiftungsgefahr; Absturzgefahr ( <i>Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung</i> )	auf notwendige Standsicherheit achten (tragfähiger Grund, Fundament, ggf. Anfahrerschutz), persönliche Schutzausrüstung, Freimessen, Bewettern bei Arbeiten im Inneren des Hochsilos, Fluchthelfer, Rückenschutzkorb und/oder Fallschutz bei Hochsiloplanlagen;
Hydrolyse	Erstickungs- und Vergiftungsgefahr beim Begehen des Behälters; Explosionsschutz	Personen und Explosionsschutz beachten, insbes. bei Befahrung von Behältern; persönliche Schutzausrüstung, Freimessen, Bewettern bei Arbeiten im Inneren von Behältern, Fluchthelfer

### 3.1.3.3 Sonstige Aufbereitung

#### Thermische Desintegration

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Durch die Implementierung einer thermischen Desintegrationsstufe wird eine Verbesserung der Abbaubarkeit des Substrates und damit eine Erhöhung der Biogausausbeute angestrebt. Angewendet wird das Verfahren überwiegend bei schwerabbaubaren Substraten mit hohen Faser- und Ligningehalten. Hierbei erfolgt eine Erhitzung der Einsatzstoffe auf ca. 70°C z. B. durch die Nutzung der Abwärme des BHKW. Die Desintegrationseinheit ist prozesstechnisch unmittelbar vor dem Fermenter integriert, sodass das zuvor mechanisch aufbereitete Substrat nach der Desintegration direkt in den Fermenter gefördert wird. Die Desintegrationseinheit kann kontinuierlich durchströmt oder bei gleichzeitiger Nutzung als Hygienisierungsstufe im Batch-Verfahren betrieben werden. Für den Batch-Betrieb sind, im Gegensatz zur kontinuierlichen Durchströmung, zwei oder mehr Desintegrationsbehälter nötig (verfahrensabhängig), um die geforderten Hygienisierungsanforderungen (z.B. Aufenthaltszeit  $\geq 1$ h) zu gewährleisten (vergleiche Kapitel 5.1.1 Sicherung der Hygienisierungsanforderungen gem. EG1774/02). Der Substratstrom muss im Anschluss auf das Temperaturniveau des Fermenter gekühlt werden. Dies kann mit Hilfe einer technischen Kühlung (z.B. Vorwärmung des noch zu desintegrierenden Substrates über einen Wärmeübertrager) oder durch das Beimischen von relativ kühlem Rezirkulat aus dem Gärrestlager zum bereits behandelten Substratstrom erfolgen. Bei einer Teilstromdesintegration/-hygienisierung kann das erhitzte hygienisierte Substrat auch ohne eine vorherige technische Kühlung direkt zur Fermenterbeheizung genutzt werden.

##### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Kommen Stoffe zum Einsatz die aufgrund ihrer Eigenschaften (z. B. versäuerte Substrate) oder durch die thermische Behandlung chemische Aggressivität entwickeln, dürfen nur entsprechend beständige Materialien verwendet werden. Die entstehenden Geruchsstoffe und Gase u. a. Schwefelwasserstoff, Ammoniak und teilweise Methan, werden bei der kontinuierlich betriebenen Desintegration in das Gasspeichersystem geleitet, von wo aus sie der energetischen Verwertung zu geführt werden, so dass keine luftge-

tragenen Emissionen zu erwarten sind. Beim einfachen Batch - Verfahren ist die Abluft zu erfassen und über Wäscher bzw. Biofilter zu desodorieren. Besser ist jedoch die Einbindung in das Gasverwertungssystem, da eine beginnende Methanbildung oft nicht verhindert werden kann und dieses ansonsten unbehindert in die Atmosphäre entweicht.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die Gefährdung durch das Berühren heißer Oberflächen ist z.B. durch entsprechende Dämmung, Berührungssicherung und ggf. Hinweise auf heiße Anlagenteile zu minimieren. Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Temperatur- und Druckaufbau, wie z.B. Sicherheitsventil und Ausdehnungsgefäß, sind in den Heizkreis der Desintegrationseinheit zu integrieren.

### **Ultraschall-Desintegration**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Diese Art der Desintegration ist ein mechanisches Verfahren, das mittels niederfrequentem Ultraschall einen Aufschluss von Zellen bewirkt. Hierzu wird meist ein Teilstrom des frischen Substrates oder des Rezirkulates über die Desintegrationseinheit geführt und anschließend dem Fermentationsprozess zugegeben. Neben dem Zellaufschluss werden bei der Behandlung auch Enzyme freigesetzt. Beide Effekte sollen den Fermentationsprozess beschleunigen und für einen höheren Abbaugrad der organischen Substanz sorgen. Bei der Abwasserbehandlung in Kläranlagen ist dieses Verfahren als Stand der Technik zu bezeichnen, insbesondere bei faserhaltigen Suspensionen. Im Biogasbereich wurde das Verfahren bisher in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht und wird seit kurzem von einigen Firmen in den Biogasmarkt eingeführt. Die erfolgreiche Anwendung im Biogasbereich ist jedoch umstritten, da die Art des Substrates einen erheblichen Einfluss auf die Effektivität des Verfahrens zu haben scheint. Hier sind weitere Forschungsarbeiten zu betreiben, welche die generelle Aussage zur Effektivität des Systems mit entsprechenden Ergebnissen belegen oder differenzieren.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die bisher angebotenen Geräteeinheiten sind geschlossen ausgeführt und werden direkt an die Substratleitung angeschlossen, sodass in der vorgesehenen Betriebsweise keine luftgetragenen und stofflichen Emissionen entstehen.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Es besteht lediglich eine elektrische Gefährdung, der durch entsprechende Schutzmaßnahmen wie Berührungsschutz oder weitergehende elektrische Sicherheitsvorkehrungen zu begegnen ist.

**Tabelle 3.1.22 Technische Eigenschaften sonstiger Aufbereitungsverfahren**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Thermische Desintegration	kontinuierlich oder im Batch - Verfahren, ggf. gegen chemischen Angriff beständige Materialien, Zuführung des Substrates mit Pumpe, Ablufterfassung z.B. über Biofilter oder Gasspeichersystem	Nutzung der BHKW-Abwärme meist ausreichend, möglicher Aufschluss schwer abbaubarer organischer Substanz	zusätzlicher apparativer Aufwand, produzierte BHKW-Abwärme steht nicht für andere Zwecke zur Verfügung
Ultraschall-Desintegration	quasi In-Rohr-Montage, mehrere Schallemitenten in Reihe zur Behandlung des Substratstroms; substratbeständige Materialien	möglicher Aufschluss organischer Substanz	zusätzlicher apparativer Aufwand, erhöhter Elektroenergiebedarf

**Tabelle 3.1.23 Emissionsverhalten sonstiger Aufbereitungsverfahren**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Thermische Desintegration	Geruch, u. U. NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub>	z.B. Abgasfassung und Reinigung über Luftwäscher und/oder Biofilter bzw. Anschluss an Gasspeichersystem (falls Immissionsschutzanforderungen dies verlangen)
Ultraschall-Desintegration	Aufgrund der geschlossenen Ausführung im Rohrsystem, sind keine Emissionen zu erwarten	

**Tabelle 3.1.24 Sicherheitsmaßnahmen sonstiger Aufbereitungsverfahren**

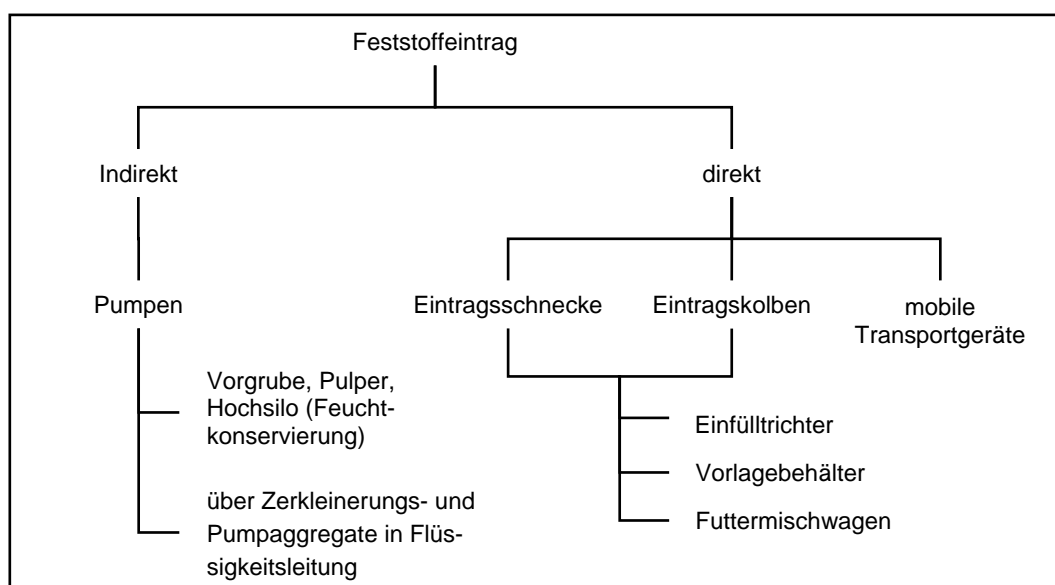
Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Thermische Desintegration	heiße Oberflächen	heiße Bauteile dämmen, Berührungsschutz (bspw. Gitter o.ä.), Hinweisschilder;
Ultraschall-Desintegration	elektrische Gefährdung	allgemein gültige Schutzmaßnahmen für Elektrogeräte

### 3.1.4 Substrateinbringung

In diesem Kapitel sollen Technologien zur Einbringung von Substraten in den Fermenter behandelt werden, wobei nach Feststoff- und Flüssigkeitseintragungssystemen unterschieden wird. Die nachfolgend beschriebenen Einbringtechnologien beziehen sich sowohl auf Frischsubstrate, als auch auf die Rückführung von Gärresten.

#### 3.1.4.1 Feststoffeintrag

Der Eintrag von Feststoffen kann direkt in den Fermenter oder indirekt durch Überführung der Feststoffe in einen pumpfähigen Zustand erfolgen (siehe Abbildung 3.1.22). Besonders beim Einsatz landwirtschaftlicher Substrate haben sich in den letzten Jahren Dosiersysteme zum direkten Feststoffeintrag durchgesetzt. Aber auch der direkte Eintrag mittels mobilen Geräts (Boxenfermenter) kommt, wenn auch in geringerem Umfang, zum Einsatz. Systeme zum indirekten Eintrag arbeiten mit Aufbereitungsschritten, die das Zuführen von Feststoffen in den Fermenter über einen Flüssigkeitsstrom ermöglichen.

**Abbildung 3.1.22 Überblick Feststoffeintrag**



### **Indirekter Feststoffeintrag mittels Pumpen**

Sollen Pumpen zum Eintrag von festen Substraten genutzt werden, müssen die Feststoffe zuvor in einen pumpfähigen Zustand gebracht werden. Dies kann durch In-Rohr-Zerkleinerer (vgl. Kapitel 3.1.3.1 Mechanische Aufbereitung) oder andere Rühr- und Schneidwerke in den Vorlagebehältern geschehen. Die so zerkleinerten festen Substrate werden durch Beimischen von Gülle, vergorenem Substrat oder Wasser aufgeschwemmt. Hierfür stehen die nachfolgend beschriebenen Systeme zur Verfügung:

#### **a) Vorgrube**

Vorgruben sind i. d. R. mit Rührwerken, welche z. T. Schneideinrichtungen besitzen, ausgestattet. Durch diese werden die Feststoffe nach ihrer Zugabe zerkleinert und das Substratgemisch homogenisiert.

Speziell bei der Zugabe größerer Mengen fester Substrate werden Vorgruben zunehmend durch direkte Feststoffeintragsysteme verdrängt, da sich mit steigendem Feststoffeinsatz Rühr- und Pumpaufwand erhöhen und auch der Verschleiß zunimmt. Bei der bedarfsweisen Zugabe geringer Mengen fester Substrate werden Vorgruben aber nach wie vor eingesetzt. Weitere Ausführungen zur Technologie sind dem Kapitel 3.1.2.2 Flüssigkeitslagerung zu entnehmen.

#### **b) Pulper**

Unter Zufuhr von Prozesswasser und fester, teilweise aufbereiteter Substrate wird mittels einer sich schnell drehenden Schneidschnecke das Substratgemisch im Pulper weiter zerfasert und in eine Suspension überführt. Parallel können absinkende Störstoffe über eine Schleuse und aufschwimmende Stoffe über einen Rechen entfernt werden. Das Verfahren wird vorwiegend in der Behandlung von Bioabfällen (z.B. braune Tonne, Speise- und Lebensmittelreste) eingesetzt. Ausführliche Informationen zur Technologie siehe Kapitel 3.1.3.1 Mechanische Aufbereitung.

#### **c) Hochsilo (Feuchtkonservierung)**

Das Zerkleinern (schroten, hechseln und mahlen) der Substrate (Körner, Corn-Cop-Mix, Grünpflanzen z. B. Markstammkohl, Rüben) geschieht vor dem Eintrag in das Silo. Auch das Einlagern von Pflanzenresten wie z. B. Rübenschnitzel ist möglich. Durch das Anmischen der festen Substrate mit Wasser, werden sie als pumpfähiger Brei in das Silo eingebracht, von wo aus sie über eine weitere Pumpe in den Fermenter befördert werden können. Das Silo dient zum einen dem Konservieren des frischen Substratbreis und zum anderen als Vorlagebehälter zum genauen Dosieren bei der Zugabe in den Fermenter. Neben dem mechanischen findet auch ein biochemischer Aufschluss der Substrate statt. Einzig der notwendige Wasserbedarf zum Anmischen scheint ökonomisch und ökologisch nachteilig. Weitere Ausführungen zur Technologie sind dem Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung zu entnehmen.

#### **d) Zerkleinerungs- und Pumpaggregate in die Flüssigkeitsleitung (Rachentrichterpumpe)**

Der Feststoffeintrag kann durch alle erdenklichen Lager- und Transporteinrichtungen erfolgen. Dabei werden die festen Substrate (z.B. Bioabfälle, Silage und Anteile von Mist) von oben in die Misch- und Pumpvorrichtungen (auch Rachentrichterpumpe genannt) gegeben, welche die zugeführten Substrate zerkleinern und befördern. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Systeme: zum einen werden die zerkleinerten Substrate in den vorbeiführenden Flüssigkeitsstrom zum Fermenter (separate Pumpe nötig) eingedrückt, zum anderen führt der Flüssigkeitsstroms direkt durch den Feststoffeintrag hindurch, von dem aus er mittels integrierter Pumpe in den Fermenter gefördert wird. Als Flüssigkeitsstrom kann Gülle aus der Vorgrube/Vorlage oder zirkulierendes Substrat aus dem Fermenter, Nachgärer oder Gärrestlager verwendet werden. Dabei ist die Zugabe von festen Substraten in Abhängigkeit vom TS-Gehalt stufenlos regel- und einstellbar. Allerdings muss mit zunehmendem Feststoffgehalt des Flüssigkeitsstroms die

Umwälzleitung der Pumpe entsprechend erhöht werden, um die gewünschten Mengen fester Substrate einbringen zu können. Geeignet sind die Feststoffdosierer auch für mittelgroße bis große Biogasanlagen, da durch Zusammenschalten mehrerer Aggregate die Förderkapazitäten schrittweise erhöht werden können.

Werden geschlossene Zuführeinrichtungen verwendet z.B. abgedeckter Schneckenrotröhrer, so ist das System weitgehend emissionsfrei. Ggf. können Lärmemissionen auftreten. Vorsicht ist beim Umgang mit Maschinen und beweglichen Teilen, besonders bei offenen Zerkleinerungswellen geboten. Hier bietet die eingehauste Substratzufuhr wirksamen Schutz vor Verletzungen.



**Abbildung 3.1.23 Eintrag in die Flüssigkeitsleitung; Foto: Vogelsang**

### **Direkter Eintrag mittels Schnecken, Kolben, mobiler Transportgeräte**

Werden feste Substrate direkt in den Fermenter eingebracht, so kommen in aller Regel Schnecken und Presskolben zum Einsatz. Diese sind den Auflöse- und Austragswalzen der Vorlagebehälter unmittelbar nachgeschaltet und bilden oftmals eine Geräteeinheit. Grundsätzlich sind die beiden Systeme mit allen Arten der Substratvorlage kombinierbar, wenngleich bei der Art der Substrate Unterschiede in der Handhabbarkeit bestehen. Weitere direkte Eintragungssysteme sind das Beschicken des Fermenters per Radlader über Einspül- und Einwurfschächte. Letztere wurden vornehmlich bei kleineren Hofanlagen verwendet, stellen aufgrund ihrer Eigenschaften aber nicht mehr den Stand der Technik dar. Sie sind zwar recht preiswert und relativ einfach in ihrer Ausführung, jedoch treten bei der Verwendung von Spülflüssigkeit (Gülle oder Rezirkulat aus dem Fermenter) erhebliche Geruchsprobleme auf. Auch die stoßweise Beschickung ohne Vorlage erwies sich als problematisch, so dass diese Technologie von anderen Feststoffeintragsystemen verdrängt wurde und bei neueren Anlagen nicht mehr zu finden ist.

**Das Einspülverfahren zum Eintrag von festem Substrat in die Vorgrube stellt eine bedeutende Emissionsquelle innerhalb der Biogasanlage dar und sollte auch aus diesem Grund nicht mehr eingesetzt werden.**

Die nachfolgend beschriebenen Eintragungssysteme werden am Ende des Kapitels tabellarisch zusammengefasst (Tabelle 3.1.25 bis Tabelle 3.1.27). Im Anschluss an die Betrachtung der Direkteintragsysteme werden die verschiedenartigen Vorlagebehälter betrachtet.

#### **a) Schnecken**

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

In einem geschlossenen Gehäuse oder in einem abgedeckten Trog bewegt sich die Schneckenspindel. Je nach Funktion werden die verschiedenen Schnecken als Steigschnecken oder als Stopfschnecken bezeichnet. Die Förderrichtung spielt dabei keine Rolle. Durch entsprechende Übergabestellen können mehrere Schnecken hintereinander oder wechselseitig geschaltet werden. So können beispielsweise aus einem Vorlagebehälter zwei Fermenter befüllt werden. Im einfachsten Fall wird die Schnecke horizontal oder vertikal (bei Betondecke) durch die Fermenterwand geführt. Ist dies nicht möglich, wird die Stopfschnecke über die Steigschnecke gespeist und schräg von oben bis unter den Flüssigkeitsspiegel in den



Fermenter geführt. Somit sind Schneckensysteme individuell an die Anlagensituation anpassbar. Gut förderbar sind alle gehäckselten Substrate. Sehr langfasrige und störfstoffhaltige Substrate bereiten z. T. Probleme.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Mögliche Emissionen sind stark von der Art des Substrates abhängig. Abgedeckte und geschlossene Schneckenförderer können aber als weitestgehend als emissionsfrei angesehen werden.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Eine unmittelbare Gefahr durch bewegliche Maschinenteile besteht durch die geschlossene Ausführung nicht. Besondere Vorsichtsmaßnahmen bezüglich des Arbeitsschutzes sollten bei Wartungsarbeiten getroffen werden.

### **b) Kolbeneintrag**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Ein hydraulisch betriebener Kolben, welcher den Auflösewalzen der Substratvorlage nachgeschaltet ist, befördert die festen Substrate horizontal in den Fermenter. Die Einbringung im unteren Teil hat den Vorteil, dass die Substrate alsbald durchtränkt werden und nicht aufschwimmen. Der Kolbeneintrag ist relativ unanfällig gegenüber groben Störstoffen wie Steinen und kann auch langfasrige Substrate transportieren. Das Kolbensystem kann mit einem Handschieber vom Fermenter getrennt werden. Hinzu kommt ein selbsttätiger Schieber, der den Fermenter bei Undichtigkeiten am Eintrag gegen Auslaufen sichert.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei Kolben handelt es sich um ein geschlossenes System mit flüssigkeitsdichtem Gehäuse. Es kann als emissionsfrei eingestuft werden. Für den Havariefall ist, wie oben schon erwähnt, neben Handschiebern auch ein selbstständig schließender Notschieber vorzusehen, um ggf. einen Flüssigkeitsaustritt aus dem Fermenter zu verhindern.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Das Kolbeneintragssystem selbst ist in einem geschlossenen Gehäuse untergebracht, sodass keine unmittelbare Gefahr durch bewegliche Maschinenteile besteht. Besondere Vorsichtsmaßnahmen bezüglich des Arbeitsschutzes sollten bei Wartungsarbeiten getroffen werden (z.B. Hydraulikaggregat).

### **c) Mobile Transportgeräte**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Mobile Transportgeräte werden vornehmlich bei Feststoffvergärungsverfahren (Boxenfermenter) angewendet. Hier werden die Substrate meist von Haufwerken mit Radladern in die Fermenter eingebracht. Zusätzlich können Moving-floor-Fahrzeuge direkt im Fermenter entladen. Hier wird teilweise auf vorhandene Logistik-Komponenten zurückgegriffen, sodass keine zusätzlichen Investitionen für eine automatische Beschickung notwendig sind. Im Gegenzug wird aber Personal gebunden und auf eine Automatisierung der Fermenterbeschickung verzichtet.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Da hier feste Substrate fast immer offen transportiert werden, treten teilweise erhebliche Geruchsemissionen auf. Diese sind durch geeignete Systeme abzuführen und zu reinigen bzw. zu desodorieren. (z.B. Ablufferfassung, Halle, Biofilter, Wäscher).

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die Gefährdung durch Radladerverkehr kann durch die Installation eines Anfahrsschutzes vor Gebäuden und gefährdeten Anlagenteilen oder durch optische und akustische Signale vermindert werden.

**Tabelle 3.1.25 Technische Eigenschaften direkter Feststoffeintrag**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Schneckensysteme	Material meist Edelstahl, in geschlossenem Gehäuse untergebracht, Eintrag in den Fermenter: horizontal, vertikal oder schräg von oben, Zugabe knapp unter den Flüssigkeitsspiegel, Hand- und Automatikventil bei horizontaler Fermentereinführung	horizontaler und vertikaler Substrattransport, Richtungsänderungen möglich, Eintrag auch durch Betondeckel von oben, Anschluss mehrerer Fermenter an eine Substratvorlage möglich	vornehmlich für klein gehäckselte Substrate bis max. 6 - 8 cm, anfällig gegenüber Steinen und anderen Störstoffen
Kolbensysteme	Material meist Edelstahl, in geschlossenem Gehäuse untergebracht, Eintrag in den Fermenter: horizontal, Zugabe auch am Fermenterboden, Hand- und Automatikventil notwendig	langfaserige Substrate bis ca. 30 cm verarbeitbar, unanfällig gegenüber groben Störstoffen, auch für breiige Substrate geeignet	nur vertikaler Transport, keine Höhenunterschiede überwindbar, Gefahr der Verklumpung und Sinkschichtbildung des eingepressten Substrates
mobile Transportgeräte	herkömmliche Transporttechnik (Radlader) oder spezielle Befüllung mittels Moving-floor-Fahrzeugen, ausschließlich bei Boxenfermentern angewendet	keine spezielle Vorlage und Transporteinheiten nötig, z. T. kann auf vorhandene Fahrzeuge zurückgegriffen werden	Personalaufwand, keine Automatisierung des Befüllprozesses

**Tabelle 3.1.26 Emissionsverhalten direkter Feststoffeintrag**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Schneckensysteme	geschlossenes System	selbsttätiger Sicherheitsschieber für Havariefall installieren (nötig bei horizontaler Unterspiegelbefüllung)
Kolbensysteme	geschlossenes System	selbsttätiger Sicherheitsschieber für Havariefall installieren
mobile Transportgeräte	Geruch	Abluftfassung, Reinigung, Desodorierung (je nach Immissionschutzanforderungen)

**Tabelle 3.1.27 Sicherheitsmaßnahmen direkter Feststoffeintrag**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Schneckensysteme	bewegliche Maschinenteile, Explosionsgefahr	Abdeckungen, als geschlossenes System ausführen, Vermeidung von Trockenlaufen der Stopfschnecke durch Füllstandsabsicherung des Behälters, ggf. Vermeidung von Zündquellen falls Ex-Zone ausgewiesen
Kolbensysteme	bewegliche Maschinenteile, Druckleitungen	Sicherung gegen automatisches Anlaufen im Wartungsfall, Druckleitungen und Hydraulikmodul regelmäßig inspizieren
mobile Transportgeräte	Verkehr	Anfahrsschutz für gefährdete Anlagen- und Gebäudeteile, optische und akustische Signale

### **Vorlagesysteme für den Eintrag mittels Schnecken und Kolben und Flüssigkeitsleitung**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Alle Vorlageeinheiten dienen der Aufnahme einer gewissen Ration fester Substrate zum automatisierten Eintrag in den Fermenter. I. d. R. werden sie durch den freien Einwurf mittels Radlader oder anderem mobilen Ladegerät beschickt. Andere, teils automatisierte Verfahren sind beispielsweise Walking-floor-

Böden von Fahrzeugen und Bunkern oder das einfache Entladen von Kippanhängern in den Vorlagebehälter. Je nach Substrat werden verschiedene Anforderungen an die Vorlageeinheiten gestellt. Neben Stahl als Werkstoff werden bspw. bei sehr sauren Substraten (z. B. Silage) Materialien wie beschichteter Stahl, Edelstahl oder widerstandsfähige Kunststoffe verwendet. Auch die Schnecken sind oft aus korrosionsbeständigen Materialien (Edelstahl) bzw. mit einer Epoxydharzbeschichtung versehen. Zur Dosierung sind die Vorlageeinheiten mit einer Zeit- bzw. Gewichtssteuerung ausgestattet. Hier wird über vorgegebene Zeitintervalle oder über die Gewichtserfassung durch Wiegezellen, auf denen die Vorlageeinheit fußt, die Substratzufuhr in den Fermenter gesteuert, wobei die letztgenannte Methode die exaktere darstellt. Die Dosiersysteme haben sich bewährt und sind sehr weit verbreitet. Weitere spezifische Eigenschaften der Vorlageeinheiten werden im Folgenden kurz dargestellt und in den Tabellen am Ende des Kapitels zusammengefasst (Tabelle 3.1.28 bis

Tabelle 3.1.30). Verschiedene Feststoffeintragsysteme sind in Abbildung 3.1.24 zu sehen.

**Trichtersysteme** werden oft bei kleineren Biogasanlagen z. B. bis 250 kW<sub>el</sub> verwendet und haben eine Vorlagekapazität von ca. 20 - 30 m<sup>3</sup>. Das System besteht aus einem relativ einfachen, aus mehreren Segmenten aufgebautem Trichter, dem sich die Auflöseeinheit (z.B. zwei ineinanderlaufenden Schnecken) anschließt, welche im Schneckenrog der Austragschnecke (in Richtung Fermenter) endet bzw. in den Presskolbenschacht mündet. Die Vorlagekapazität ist durch Aufsetzen eines weiteren Trichterelementes oder durch Anbau eines Abschiebecontainers o. ä. erweiterbar. Vornehmlich können gehäckselte und kurzhalbmige Substrate und Silagen eingesetzt werden.

**Vorlageeinheiten (Schubboden-, Kratzketten-, Abschiebecontainer)** sind meist wesentlich größer als die Trichtersysteme und somit auch für Biogasanlagen mit großen Substratdurchsätzen geeignet. Die Kapazitäten reichen bis ca. 120 m<sup>3</sup> Vorlagevolumen, wobei durch eine modulare Bauweise auch mehrere Container zusammengeschaltet werden können. Durch die längliche, containerartige Bauform ist ein horizontaler Vorschub des Substrates zu den senkrecht oder waagrecht platzierten Auflöseschnecken nötig. Hierfür kommen Kratzketten, Schubböden oder Abschiebewände zum Einsatz. Aufgrund der fehlenden Zerkleinerungseinrichtungen können meist nur gehäckselte Silagen und Substrate kurzer Faserlänge verarbeitet werden.

Auf Basis von landwirtschaftlichen **Futtermischern** werden speziell für Biogasanlagen stationäre Feststoffeintragsysteme als Misch- und Dosieranlagen angeboten. Die Vorlagekapazität kann bis zu 70 m<sup>3</sup> betragen, teilweise werden auch noch größere Einheiten angeboten. Im Inneren des Behälters sind je nach Größe ein bis drei Vertikalschnecken angeordnet, die entgegen den Trichtersystemen und Vorlageeinheiten, auch langfaserige Substrate und Ballenware auflösen können. Begünstigt wird die Zerkleinerungs- und Homogenisierungswirkung der Schnecken durch die ovale und nach unten leicht zulaufende Behälterform. Nachteil ist der hohe Energiebedarf der Mischschnecken. Dieser kann durch eine bedarfsorientierte Leistungsregelung (z.B. Drehzahlsteuerung) minimiert werden.

Weitere Einsatzgebiete neben der Fermenterbeschickung können z.B. die Substratannahme und Substrataufbereitung sein. Hier werden Vorlagesysteme zur automatischen Beschickung von Feststofflagern (z.B. Trockensilo) und von Substrataufbereitungslinien eingesetzt. Dabei wird von der in der Fermenterbeschickung üblichen Vorlageform teilweise abgewichen. So können beispielweise Tiefbunker mit Kratz- und Schubbodenelementen ausgestattet sein. Diese Systeme sind bei der Verarbeitung von störfstoffhaltigen Substraten u. U. enormen Beanspruchungen ausgesetzt, die zu einem verstärkten Verschleiß der eingesetzten Technik führen können. Hier wird z. B. durch Aufbringen von Verschleißauflagen versucht, die Langlebigkeit der Fördererlemente zu erhöhen. Ein weiterer Einsatzfall ist z. B. die Beschickung eines Feststoffzerkleinerers, welcher die festen Stoffe in die Flüssigkeitsleitung zum Fermenter einträgt.



**Abbildung 3.1.24 Feststoffeintragsysteme; Fotos: DBFZ**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Allgemein sind die Vorlagesysteme mit einer korrosionsbeständigen Wanne ausgeführt, die den Austritt von Flüssigkeiten vermeiden soll. Da sich besonders bei großen Behältern Sickersaft bilden kann, sind die Wannen bei Bedarf flüssigkeitsdicht auszuführen. Die von verschiedenen Herstellern angebotenen, mechanisch betriebenen Deckel, minimieren die Geruchsbelästigung beim Einsatz geruchsintensiver Substrate. Hydraulikaggregate von Schubböden, Abschiebewänden und anderen Antrieben sollten mit einer Wanne oder anderweitigen flüssigkeitsdichten Unterlage versehen sein, da teilweise größere Mengen Hydrauliköl an den Einheiten vorgehalten werden müssen.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Übergreifend sind die Gefahren durch sich bewegende Maschinenteile zu nennen (z.B. Mischschnecken, Auflösewalzen, Schubböden). Diese Anlagenteile sind im Regelbetrieb nicht erreichbar, bei Wartungsarbeiten sollte aber auf den Schutz gegen unbeabsichtigtes Anlaufen der Maschine geachtet werden. Bei abgesenkten Vorlagesystemen sind darüber hinaus Sicherheitsmaßnahmen gegen Hineinfallen zu treffen und es muss auf die Gassicherheit in Schächten geachtet werden (Ansammlung giftiger und erstickender Gase in Gruben möglich).

**Tabelle 3.1.28 Technische Eigenschaften Vorlagesysteme für Feststoffeintrag**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Trichter	besteht aus Einwurfrichter, Walzen zum Materialauflösen und Austragen, Antrieb; Vorlagekapazität ca. 20 - 30m <sup>3</sup> (Erweiterung durch Trichteraufsatz möglich), besonders in Kleinanlagen eingesetzt	relativ preiswert, energiesparender Substrataustrag; Transport des Substrates zu den Auflösewalzen per Schwerkraft, Kapazität erweiterbar	nur für gehäckselte, kurzhalmsige oder körnige Substrate
Schubboden-, Kratzketten-, Abschiebecontainer	besteht aus Vorlagebehälter, Kratz- und Schublelemente am Boden zum Auflösen und Transportieren des Substrates, Austragswalze, Antriebe, mittlere bis große Vorlagekapazitäten bis ca. 120m <sup>3</sup>	große Vorlage, automatischer Substratvorschub, Kapazität erweiterbar	nur für gehäckselte, kurzhalmsige oder körnige Substrate, durch zusätzliche Fördereinrichtung im Container erhöhter Energieverbrauch
Futtermischwagen	besteht aus Behälter (ovaler, nach unten zulaufer Kegelstumpf, 1 bis 3 vertikale Mischschnecken, Antriebe; kleine bis mittlere Vorlagekapazität bis ca. 70m <sup>3</sup>	mischen, schneiden, homogenisieren möglich, auch für Festmist und langfasrige Substrate (mechanische Vorbehandlung von Ballenware möglich)	hoher Energiebedarf der Mischschnecken

**Tabelle 3.1.29 Emissionsverhalten Vorlagesysteme für Feststoffeintrag**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Vorlagentrichter	Geruch Flüssigkeiten	ggf. Abdeckung durch Deckel bei Verwendung geruchsintensiver Substrate (z.B. Deckel mit hydraulischem Antrieb), falls nötig flüssigkeitsdichter Vorlagebehälter, Wanne für Hydraulikölbehälter
Schubboden-, Kratzketten-, Abschiebecontainer		
Futtermischwagen		

**Tabelle 3.1.30 Sicherheitsmaßnahmen Vorlagesysteme für Feststoffeintrag**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Trichter	Hineinstürzen (nur bei abgesenkten Systemen) bewegliche, teils schnell-drehende Maschinenteile, Gassicherheit	Sicherheit durch Abstand, (Behälterhöhe, Abdeckungen) Absperrungen, Stromloschalten bzw. Sicherung gegen automatisches Anlaufen bei Wartungsarbeiten, persönliche Schutzausrüstung, Freimesen und Belüften bei abgesenkten Systemen (Gassicherheit in Gruben)
Schubboden-, Kratzketten-, Abschiebecontainer		
Futtermischwagen		

### 3.1.4.2 Flüssigkeitseintrag

Grundsätzlich erfolgt der Transport von flüssigen Substraten durch Pumpen. Hierzu zählen auch vorzerkleinerte, feste Substrate, die in den Flüssigkeitsstrom eingebracht und somit pumpfähig gemacht wurden. In Abhängigkeit des Trockensubstanzgehaltes kommen Kreiselpumpen oder Exzentrerschnecken- bzw. Drehkolbenpumpen (Abbildung 3.1.25) zum Einsatz, die aus beliebigen Vorlagebehältern gespeist werden können. Eine ausführliche Beschreibung von Pumpen und Pumpvorgängen ist im Kapitel 3.2.3 Leitungsgesundene Transportvorgänge dargestellt, auf welches an dieser Stelle verwiesen wird.

**Abbildung 3.1.25 Drehkolbenpumpe; Foto: DBFZ**

## 3.2 Biogaserzeugung

### 3.2.1 Fermenterbauformen

Die Biogaserzeugung erfolgt grundsätzlich in (quasi-) kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Systemen. Den (quasi-) kontinuierlichen Systemen sind die verfahrenstechnischen Grundoperationen volldurchmischter Fermenter und Pfropfenstromfermenter zuzuordnen. Diskontinuierliche Systeme bestehen in der Regel aus Boxenfermentern. Diesen bekannten Grundformen gegenüber bestehen weitere Sonderbauformen. Die Frage der Behälterabdeckung wird später behandelt (vgl. 3.3.1. Gasspeicherung).

#### 3.2.1.1 Volldurchmischte Fermenter (Rührkesselprinzip)

##### *Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit*

Als volldurchmischte Fermenter werden Rührkessel oder Gärssysteme im Durchflussverfahren bezeichnet. Volldurchmischte Fermenter sind klassisch als Rundbehälter gefertigt und werden als Hauptfermen-

ter, Nachgärbehälter und Perkolatbehälter von Biogasanlagen verschiedener Betriebsarten eingesetzt, wobei die Gärphase stets fließ- und pumpfähig ist (vgl. 4.1.1. Verfahrensvarianten/ Trockensubstanzgehalt). Hier erfolgt die weitere Unterteilung der Gärsysteme zunächst verfahrensunabhängig nach den Baumaterialien Beton und Stahl.

### Fermenter in Betonbauweise

Unterschieden wird zwischen Ortbeton und Segmentbauweise (Spannbetonbehälter). Bei Ortbeton ist der Behälter aus einem Stück gegossen, bei Segmentbauweise werden im Werk vorgefertigte Elemente zusammengefügt. Charakteristisch ist hierbei die durch Spannbänder herbeigeführte Stabilität und Spannungsrisssvorbeugung. Ortbeton ist kostengünstig und flexibler u.a. beim Einbau von Heizschlangen. Neuere Entwicklungen bei Spannbetonssystemen ermöglichen jedoch die Integration von Wärmedämmung durch Zweischaligkeit. Die Segmentbauweise hat aufgrund der industriellen Fertigung zudem den Vorteil einer hohen Präzision bei Rundheit, Lotrechtheit der Wände und Oberflächengüte. Nachteil ist jedoch, dass aufgrund der Spannbänder nachträgliche Einbauten in die Behälterwände nur eingeschränkt möglich sind (Tab. 3.2.1).

**Tabelle 3.2.1 Übersicht über volldurchmischte Fermenter in Betonbauweise**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Ortbeton	aus einem Stück gegossen	landwirtschaftliche und Abfallanlagen, insgesamt am weitesten verbreitet	durch regionale Betonbau-firma leistungsfähig, Heizung integrierbar, kostengünstig	häufig Qualitätsmängel bei Präzision und Beton
Segmentbauweise	ab Werk vorgefertigte Platten, mit Spannbändern stabilisiert	zumeist große abfallwirtschaftliche Anlagen, zunehmend bei landwirtschaftlichen Anlagen	höhere Präzision am Bau → erleichtert z.B. Aufsatz von Gasspeichern, definierte Qualität, weniger wetterabhängige Errichtung	wenig Flexibilität bei nachträglichen Einbauten aufgrund der in die Wand integrierten Stahlbänder

Betonbehälter werden üblicherweise überirdisch gebaut, können jedoch auch ganz oder teilweise in den Boden abgesenkt werden, um dadurch eine bessere Wärmedämmung zu erzielen bzw. Platz zu sparen. Grundsätzliche Bauweisen stellt Abbildung 3.2.1. dar.



**Abbildung 3.2.1 Beispiele für volldurchmischte Fermenter in Betonbauweise; Prinzipskizze des typischen Rundbehälters mit Rührwerken (links), Segmentbauweise (Mitte), abgesenkter Fermenter (rechts); Fotos: Biogas Nord GmbH (links), Drössler GmbH (Mitte), Energievision Frankenwald (rechts)**



### Fermenter in Stahlbauweise

Rundbehälter in Stahlbauweise bestehen üblicherweise aus Platten, die miteinander verschweißt oder verschraubt werden. Verschraubungen müssen nach der Montage abgedichtet werden. Eine weitere Fertigungsweise ist die Wicklung von Blechbahnen. Stahlbehälter werden immer oberirdisch errichtet. Der zentrale Vorteil insbesondere gegenüber Ortbetonfermentern besteht bei Vorfertigung in der kürzeren Bauzeit. Zudem besteht größere Flexibilität beim nachträglichen Anbringen von Öffnungen. Andererseits ist für Rühraggregate meist eine zusätzliche Abstützung notwendig (Tabelle 3.2.2. und Abbildung 3.2.2.).

**Tabelle 3.2.2 Übersicht volldurchmischte Fermenter in Stahlbauweise**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Stahlplatten	geschweißt oder geschraubt	alle Bereiche	Werkstoffwahl je Reihe möglich, z.B. korrosionsfest im Gasbereich	Fugen, Kanten im Inneren bieten Ansätze für Korrosion
Blechbahnen	gewickelt	alle Bereiche	stufenlose Durchmesser möglich	weniger Flexibilität bei der Werkstoffauswahl; ggf. Korrosion



**Abbildung 3.2.2 Beispiele für Fermenter in Stahlbauweise (hier: volldurchmischte, nicht einsehbar); geschraubte Platten (links), Prinzipskizze für gewickelte Blechbahnen, Prinzip (rechts); Fotos: GLS Tanks International GmbH (links), Lipp GmbH (rechts)**

Als Werkstoffe werden Edelstahl oder emaillierter Stahl eingesetzt. Im Bereich der Flüssigphase ist Edelstahl V2A ausreichend, in der korrosiven Gasphase ist Qualität V4A einzusetzen. Emaillierter Stahl ist spezifisch günstiger als Edelstahl, aber anfälliger gegen Beschädigungen und nachfolgende Korrosion.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Prozesstechnisch treten aus volldurchmischten Fermentern aufgrund von Kurzschlussströmungen potenziell unvergorene Bestandteile aus, die beim späteren Lagern und Ausbringen der Gärreste zu Methanemissionen führen können. Dieses Problem kann durch Kaskadenschaltung - Fermenter, Nachgärer, Gärrestlager - und geeignete Durchmischungstechnik zu mindern gemindert werden. (vgl. 3.2.2. Durchmischungssysteme). Die Menge des unvergoren ausgetragenen Materials ist abhängig vom Behältervolumen und der Beschickung also der sog. Hydraulischen Verweilzeit. Bei entsprechender Bemessung sind auch einstufige Systeme ohne immissionsrechtlich relevante Emissionen möglich.

Alle Arten von volldurchmischten Rundbehältern sind auf einem festen Fundament errichtet. Tritt in diesem Bereich eine Undichtigkeit auf, resultiert daraus eine Gefährdung des Grundwassers. Daher wird üblicherweise ein Leckerkennungssystem vorgesehen. Es handelt sich meist um eine Ringdrainage mit

Kontrollstutzen. Die Anzahl der zu installierenden Kontrollschächte ist vom Durchmesser bzw. der Grundfläche der Behälter abhängig. Bei kleinen Durchmessern/Flächen ist ein Kontrollschacht ausreichend.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Sowohl Behälter in Betonbauweise als auch in Stahlbauweise können bei unsachgemäßer Planung, Ausführung und Betriebsweise bersten. Dies hat den abrupten Austritt größerer Flüssigkeitsmengen zur Folge und ist ggf. mit einer Personen- sowie einer Umweltgefährdung verbunden.

Ursachenforschung und Bekämpfung von Behälterhavarien sind ein komplexes Thema, welches an dieser Stelle nicht ausführlich behandelt werden kann. Grundsätzlich gilt jedoch, dass das Risiko der Rissbildung als einer möglichen Ursache für Materialversagen zu mindern ist. Hierzu existieren Aussagen in den einschlägigen Regelwerken. Mindestanforderung ist, den Beton in einem Guss und mit der Mindestqualität B 35 zu verarbeiten.

Beim Anfahren des Fermenters ist der maximale Gradient der Aufheizzeit zu beachten, welcher je nach Behältermaterial und -isolierung, Rührkonzept und Substrat zu wählen ist. Häufig wird mit Werten zwischen 1 - 1,5 K pro Tag gearbeitet, ein zu schnelles Aufheizen kann bei großer Differenz zur Außentemperatur (z.B. im Winter) zu Spannungen im Beton führen.

Wie bei den anderen Systemen ist auch bei Stahlbauweise auf die korrekte Auslegung von Statik und Bauausführung zu achten. Beschädigungen und undichte Nähte sind unbedingt zu vermeiden. Beim Einbau von Komponenten wie z.B. Rührwerken in Stahlbaubehälter ist auf eine ausreichende Abstützung zu achten, da sonst wegen statischer und dynamischer Belastungen Stabilitätsprobleme am Behälter auftreten können. Vor der Inbetriebnahme ist eine ausführliche Sichtkontrolle vorzunehmen.

Zu Wartungszwecken haben sich die üblicherweise eingesetzten Mannlöcher bewährt. Zu beachten ist jedoch, dass diese während der Betriebsphase nicht genutzt werden, aber einen potenziellen Schwachpunkt darstellen, der in die Kontrollgänge einzubeziehen ist. Für den potenziellen Fall eines größeren Flüssigkeitsaustrittes durch eine Öffnung oder durch Vorkommnisse kann ein Erdwall um den Fermenter bzw. um das Betriebsgelände vorgesehen werden (vgl. 5.1.3. Wasser- und Bodenschutz).

### **3.2.1.2 Pfpfenstromfermenter**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Pfpfenstromfermenter weisen einen vergleichsweise kleinen Querschnitt im Vergleich zur Länge auf, so dass alle Flüssigkeitselemente den Behälter im Idealfall in gleicher Zeit durchwandern. Der Weitertransport in den auch als Tank - Durchflussanlagen bekannten Fermentern erfolgt durch den Verdrängungseffekt. Die Durchmischung wird hierbei quer zur Strömungsrichtung durch geeignete Rührwerke oder Konstruktionen realisiert. Der generelle Vorteil gegenüber durchmischten Fermenter besteht in der Vermeidung unvergorener Substratbestandteile, da keine Kurzschlussströmung auftreten soll, was aber einen sehr hohen Trockensubstanzgehalt im Fermenter erfordert. Zudem ist der Prozessenergieaufwand vergleichsweise gering.

Pfpfenstromfermenter werden in horizontaler oder vertikaler Form als Hauptfermenter eingesetzt, nicht jedoch als Vorlage, Nachgärer oder Gärrestlager. Im Idealfall befinden sich alle Gärstufen sukzessive im Pfpfenstrom. Geometrisch besteht die häufigste Anwendung in horizontaler bzw. liegender Bauweise.

#### **Horizontale Fermenter**

Die horizontalen bzw. liegenden Fermenter existieren in zylindrischer oder rechteckiger Form. Während die zylindrische Form als Stahltank ausgefertigt ist, bestehen rechteckige Fermenter aus Stahlbeton. Einen Überblick gibt Tabelle 3.2.3., Beispiele werden in Abbildung 3.2.3. veranschaulicht.



**Tabelle 3.2.3 Übersicht Pfropfenstromfermenter liegend**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
liegend zylindrisch	Rohrfermenter mit Einfach- oder Doppelmantel (beheizt)	flüssige oder feste Substrate	wenig Probleme mit Sink- und Schwimmschichten (vgl. 3.2.2. Durchmischungssysteme)	bei Feststoffen (TS hoch) hohe Rührwerkbelastung, Ausgasung ggf. behindert, weil nur wenig Bewegung
liegend rechteckig	Gärbehälter aus Stahlbeton, ggf. mit aufgesetztem Foliengasspeicher	flüssige oder feste Substrate	Gasspeicher integrierbar, wenig Probleme mit Sink- und Schwimmschichten (vgl. 3.2.2. Durchmischungssysteme)	hohe Rührwerkbelastung bei Feststoffen, schlecht durchmischbare Eckzonen



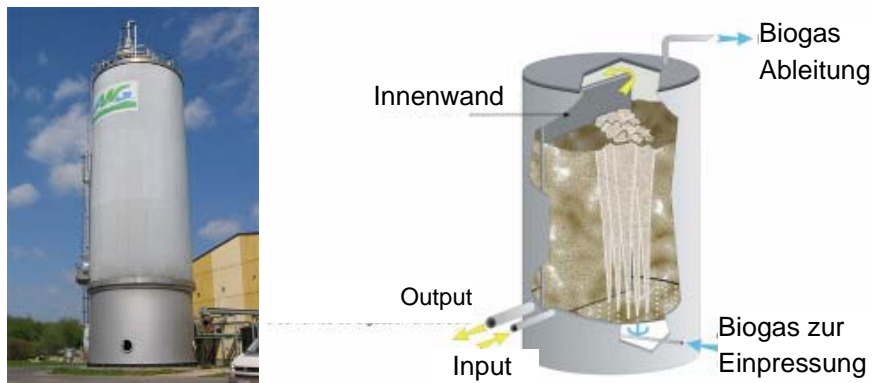
**Abbildung 3.2.3 Beispiele für liegende Pfropfenstromfermenter; liegender Fermenter, zylindrisch (links), rechteckig, mit aufgesetztem Gasspeicher (rechts); Fotos: Novatech GmbH (links), DBFZ (rechts)**

### Vertikale Fermenter

Vertikale bzw. stehende Fermenter sind immer zylindrisch und meist aus Stahl gefertigt. Die Pfropfenstromrichtung erfolgt bei Feststoffverarbeitung von oben nach unten, wobei der Transport allein durch die Schwerkraft stattfindet. Systeme zur Aufnahme fließfähiger Substrate arbeiten mit verschiedenen Strömungsrichtungen und Durchmischungsarten (vgl. 3.2.2. Durchmischungssysteme). Das Einsatzgebiet ist zumeist in der Abfallwirtschaft zu finden, z.B. bei der Vergärung von Bioabfällen aus der getrennten Sammlung. Der Hauptvorteil liegt in der Platzersparnis. Eine gleichmäßige Durchmischung ist nicht vorgesehen, es befinden sich keine Rührwerkzeuge in den Fermentern. Am Markt existieren einfache Systeme ohne Einbauten und Systeme mit Einbauten zur fermenterinternen Stoffstromführung (Tabelle 3.2.4. und Abbildung 3.2.4.).

**Tabelle 3.2.4 Übersicht Pflropfenstromfermenter stehend**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
stehend, einfach	ohne Einbauten, üblicherweise keine Rührwerke	schüttfähige und fließfähige Substrate	einfache Bauweise, geringer Platz- und Energiebedarf	Randgängigkeit, unvergorene Zonen
stehend, mit Einbauten	meist mit Trennwand zur Stoffstromführung	verflüssigte Substrate	Unterbindung von Kurzschlussströmung zwischen Zu- und Ablauf	aufwändigere Stoffstromführung



**Abbildung 3.2.4** Beispiele für stehende Pfropfenstromfermenter; ohne Einbauten, Höhe = 30 m, Volumen = 1.200 m<sup>3</sup> (links); mit eingebauter Trennwand (rechts); Fotos: Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Bassum (links), Valorga International SAS. (rechts)

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Ausgehend von der Annahme, dass bei Pfropfenstromfermentern jedes Volumenelement gleichermaßen den Prozess durchläuft, ist – bei optimaler Anlagenauslegung - von einer tendenziell vollständigeren Vergärung auszugehen. Dies führt im Vergleich zu den durchmischten Systemen grundsätzlich zu geringeren gasförmigen Emissionen im Bereich der Gärrestlagerung und -ausbringung. Zu berücksichtigen ist aber, dass der Pfropfenstrom in allen Systemen hohe Feststoffgehalte im Fermenter erfordert.

Liegende oder stehende zylindrische Fermenter haben aufgrund der aufgeständerten Bauweise den Vorteil, dass Lecks besser erkennbar sind. Es müssen keine aufwändigen Leckerkennungssysteme wie bei nicht oberirdisch errichteten Behältern Rundbehältern oder Rechteckfermentern vorgesehen werden. Bei den klassischen durchmischten Rundbehältern mit einem H/D-Verhältnis von 0,25 ist die Oberfläche relativ größer als bei schlanken Behältern mit H/D größer 2. Dadurch erhöht sich potenziell die Wärmeemission, was durch stärkere Isolierung kompensiert wird.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Speziell bei liegenden Tanks sollte beachtet werden, dass keine Sollbruchstelle wie beim Foliendach eines Rundbehälters vorliegt. Daher kann sich im Extremfall ein unkontrollierter Druckaufbau einstellen. Dem wird durch eine geringe Neigung des zylindrischen Fermenters vorgebeugt, so dass das Gas in Richtung der Austrittsstelle und des Überdruckventils aufsteigt.

Bei stehenden Pfropfenstrom-Fermentern verlangt die bautechnische Stabilität aufgrund des ausgedehnten Höhe-Durchmesser-Verhältnisses entsprechende Aufmerksamkeit. Mangelhafte Baustatik und Bauausführung waren nach bisheriger Erkenntnis Auslöser für die Havarie einer neu errichteten Turmanlage Ende 2006. Dies stellt jedoch bislang einen Einzelfall im Behälterbau für Biogasanlagen dar.

### **3.2.1.3 Boxenfermenter**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Boxenfermenter zeichnen sich gegenüber den durchmischten und durchströmten Fermentern durch die diskontinuierliche Betriebsweise aus, den sog. Batchbetrieb bzw. satzweisen Betrieb. Der Betrieb erfolgt in Kammern, die entweder stationär, mobil oder semi-mobil ausgeführt sein können. Üblich sind die stati-

onären Betonkammern, die in der Praxis meist als Kammerbatterie aus 2 bis 8 Einheiten errichtet werden. Als Substrat kommt bei den Boxenfermentern ausschließlich schüttfähiges Gut zum Einsatz. Diese Boxen werden stets als Hauptfermenter eingesetzt.

Der grundsätzliche Vorteil von Boxenfermentern ist der modulare Aufbau. Einzelne Boxenkammern können unterschiedlich gefahren werden, biologisches Versagen einer Einheit gefährdet nicht den Gesamtprozess. Nachteil ist, dass eine quasi-kontinuierliche Gasproduktion nur durch Zusammenschalten mehrerer Einheiten möglich wird. Zudem stellt die gleichmäßige Vergärung des Gärgutes aufgrund der nicht vorhandenen Durchmischung ein Problem dar. Bei Einsatz von Monosubstraten im landwirtschaftlichen Bereich müssen Impfmateriale Mengen eingeplant werden, die Gärvolumen und Durchsatz reduzieren.

Eine grundsätzliche Einteilung erfolgt in stationäre und mobile Systeme, wobei die ortsgebundenen Systeme in der Praxis den weitaus überwiegenden Anteil ausmachen.

### Stationäre Systeme

Stationäre Systeme bestehen aus Kammern, die aus Betonsegmenten gefertigt und auf einem Fundament fest installiert sind. Bautechnisch kann zwischen Tür mit Öffnung zur Seite und mit Öffnung nach oben unterschieden werden. Die Verfahren sind als Perkolationsverfahren mit kleinen bis größeren Flüssigkeitsmengen im Umlauf ausgefertigt. Die Ausfertigung erfolgt meist als Fermenterbatterie mit zugehörigem Perkolationsspeicher zur Aufnahme und Methanisierung der Fermenterflüssigkeit (Tabelle 3.2.5 sowie Abbildung 3.2.5).

**Tabelle 3.2.5 Übersicht stationäre Boxenfermenter**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet Verbreitung	Vorteile	Nachteile
stationäres System, Frontlader, Tür zur Seite	gasdicht verschließbares Tor in üblicher Türaufhängung	Abfallanlagen, Nawarro-Anlagen	einfache manuelle Bedienung	ggf. Einschränkungen beim Rangieren (falls nicht 180°-Tor)
stationäres System, Frontlader, Tür nach oben	Tor oben aufgehängt, per Automatik hochklappend	Abfallanlagen, Nawarro-Anlagen	Bewegungsfreiheit für den Radlader	keine Bedienung per Hand möglich



**Abbildung 3.2.5 Beispiele für stationäre Boxenfermenter; Tür zur Seite (links), Tür nach oben (rechts); Fotos: DBFZ (links), Bekon GmbH (rechts)**

### Mobile Systeme

Bei den nicht stationären Systemen wird zwischen semi-mobilen und komplett mobilen Systemen unterschieden. Bei semi-mobilen Systemen ist der Gärcontainer beweglich und kann an einem beliebigen Ort beladen werden, während die Gärkammer ortsgebunden ist. Komplett-mobile Systeme sind per Tieflader

zu transportieren und an jedem beliebigen Ort zu beladen und aufzustellen. Die mobilen Container sind in den bisher bekannten Ausführungen aus Stahl gefertigt (Tabelle 3.2.6. sowie Abbildung 3.2.6.).

**Tabelle 3.2.6 Übersicht mobile Boxenfermenter**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet Verbreitung	Vorteile	Nachteile
semi-mobil	Container wird in eine stationäre Kammer gefahren	Einzelobjekte, Prototypen	externe Beschickung an beliebigem Ort	erhöhter Investitionsaufwand für Kammer <u>und</u> Container
komplett-mobil	halb-technische Anlage, komplett transportierbar	zur experimentellen Bestimmung von Gasausbeuten an vorhandenen Biogasstandorten	vollständige Flexibilität	nur geringe Kapazität



**Abbildung 3.2.6 Beispiele für mobile Boxenfermenter; Einschubfermenter mit Abrollcontainer (links, Mitte), Komplettsystem (rechts); Fotos: Bioferm GmbH (links, Mitte), ESC Corp. (rechts)**

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Aufgrund der diskontinuierlichen Betriebsweise besteht bei Wechselvorgängen wie Beschickung und Entleerung grundsätzlich die Gefahr von diffusen Emissionen durch u.a. Geruchs-, H<sub>2</sub>S- und Methanfreisetzung. Während bei der Beschickung mit Bioabfällen auf Animpfung verzichtet werden kann, bedingt die Verarbeitung von Nawaro-Substraten eine, meist per Radlader durchgeführte, Vermischung mit Teilen der ausgefaulten Charge eines vorherigen Batchansatzes. Dieser Umwälz- und Mischvorgang wirkt sich jedoch emissionssteigernd aus, wenn das Material zuvor längere Zeit (> 3 Tage) gelagert wurde und derart bereits unkontrolliert biochemische Prozesse eingesetzt haben. Zudem wird das Schwachgas während der ersten 24 h der Anfahrphase eines Boxenfermenters häufig über den Biofilter an die Umgebung abgegeben. Erst danach – bei sprunghaftem Anstieg der Methanbildung - erfolgt die Zufuhr in das Gassystem. Bei der Entnahme des Gärgutes ist vor dem Öffnen eines Boxenfermenters aus Sicherheitsgründen die Gasphase abzulüften, d.h. es besteht eine konkurrierende Anforderung zwischen Klimaschutz und Betriebssicherheit. Zudem können beim Entleeren ebenfalls Geruchs-, und Methanfreisetzungen aufgrund unvergorener Bestandteile erfolgen. Die H<sub>2</sub>S-Bildung stellt zu diesem Zeitpunkt kein Problem mehr dar, jedoch sind Ammoniakemissionen zu berücksichtigen.

Gegenüber Punktquellen sind die hier beschriebenen diffusen Emissionen schwieriger zu vermeiden. Dennoch existieren eine Reihe von erprobten und funktionstüchtigen Minderungsmaßnahmen. Umschlagvorgänge im eingehausten Bereich mit Ablufführung über Biofilter mindern deutlich Geruchs-, H<sub>2</sub>S- und Ammoniakemissionen. Zur Verhinderung unkontrollierter klimawirksamer Methanbildung sind Maßnahmen in der Verfahrensführung möglich.

Zur Beschickung erfolgt eine möglichst passgerechte Anlieferung der Abfallsubstrate bzw. eine passgerechte Entnahme der Nawaro-Substrate aus dem Fahrsilo. Durch sofortige Verarbeitung werden Lagerzeiten im aufgelockerten Zustand vermieden (erforderlich < 24 h). Eine zu lange Lagerung führt zum unkontrollierten Einsetzen biologischer Abbaureaktionen – Hydrolyse – und damit zu Emissionen. Die Beschickung des Fermenters erfolgt, bevor derartige Abbaureaktionen eingetreten sind. Dies betrifft vornehmlich Bioabfälle, wohingegen Substrate wie Maissilage bei fachgerechter Lagerung längere Zeit vorgehalten werden können. Die Methanbildung setzt erfahrungsgemäß ca. 24 h Stunden nach der Beschickung eines Boxenfermenters ein /4/.

Das Ableiten von Schwachgas an die Umgebung kann stundengenau auf ein Minimum reduziert werden, wenn der Betreiber die für sein Substrat betreffenden Methanbildungszeiten erfasst. Ein Boxenfermenter kann etwa 36 – 48 h nach der Beschickung an den Gasspeicher angeschlossen werden.

Zur Vermeidung unvergorener Bestandteile – mit den Emissionsfolgen – wird das Gärgut im Fermenter in geeigneter Weise eingebaut. Hierzu erfolgt eine Schichtung von Gärgut abwechselnd mit Strukturmaterial (z.B. Grünschnitt). Als Basisschicht wird insbesondere in der Nähe der Abflusskanäle ebenfalls Strukturmaterial gewählt. Derart kann das Perkolat das Gärgut optimal durchdringen und abfließen.

Die Entleerung eines Fermenters wird ca. 1 Woche vor der Entnahme durch Abstellen der Perkolation vorbereitet. Zum Ablüften werden je nach Hersteller Frischluft oder Motorabgase eingesetzt und der Abluftstrom die ersten etwa 10 -15 min in das geschlossene Gasspeichersystem geleitet. Erfahrungsgemäß treten nur während dieses Zeitraumes verstärkte Methanemissionen auf. Die restlichen 1-2 h kann über an die Umgebung abgegeben werden, ohne dass eine nennenswerte Methanfreisetzung stattfindet /4/. Diese Vorgehensweise vermeidet zugleich eine zu starke Verdünnung des Gasspeicherinhaltes mit Luft.

Eine weitere Emissionsquelle ergibt sich durch die Nachkompostierung und Gärrestlagerung im Anschluss an die Vergärung in einem Boxenfermenter. Dem kann grundsätzlich durch Kompletteinhausung begegnet werden, jedoch ist diese Maßnahme kostspielig. Ein Kompromiss zwischen maximalem Emissionsschutz und ökonomischer Darstellbarkeit besteht darin, lediglich die Nachkompostierung einzuhäusen, da dort regelmäßige Umsetzungsvorgänge stattfinden. Die Lagerung des inertisierten Gärrestes könnte ggf. offen erfolgen.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Aufgrund der diskontinuierlichen Betriebsweise durchschreitet das System durch An- und Abfahren je Charge zweimal die untere Explosionsgrenze. Beim Öffnen muss der Boxenfermenter (methan-)gasfrei sein, um Vergiftungs- und Explosionsgefahr zu vermeiden. Hierzu ist eine ausreichende Ablüftzeit vorzusehen, die untere Explosionsgrenze (UEG) für Methan in Luft (4,4 Vol.-%) ist deutlich zu unterschreiten, d.h. max. 1,0 Vol.-% Methan sollte erreicht werden. Wie bereits oben beschrieben, ergibt sich hieraus eine konkurrierende Anforderung zum Emissionsschutz. Während der Betriebsphase sind die Boxenfermenter gegen außerplanmäßige Gasaustritte zu sichern, was z.B. durch Methansensoren oberhalb der Fermentertüren erfolgen kann. Die Fahrerkabine des Radladers kann gasdicht mit Belüftungssystem und Luftfilteranlage betrieben werden.

### **3.2.1.4 Fermenter in Sonderbauformen**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Abweichend von den verfahrenstechnischen Grundsystemen existieren verschiedene Sonderbauformen, die sich nicht eindeutig zuordnen lassen. Eine grundsätzliche Einteilung in Fermenter zur Nassvergärung bzw. Feststoffvergärung ist jedoch möglich.



### Fermenter zur Nassvergärung

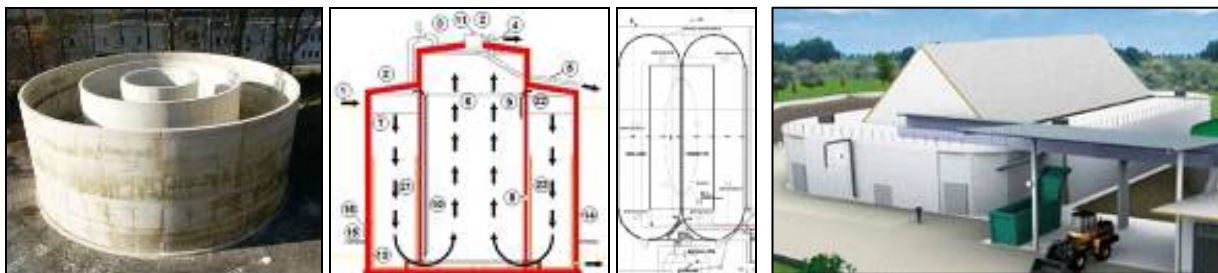
Modifikationen des klassischen Rundbehälters hatten die Platzeinsparung zum Ziel und beinhalten zum einen die Änderung der Aufstellung in Form von Mehrkammersystemen, zum anderen die Änderung der Geometrie durch Wahl einer ovalen Form.

Die Mehrkammersysteme bestehen aus zwei oder mehreren ineinander gestellten Ringbehältern und können in zwangsdurchmischte Systeme und Verdrängungssysteme eingeteilt werden (vgl. 3.2.2. Durchmischungssysteme).

Beim Ovalfermenter wurde die Gärkammer geometrisch in die Länge gezogen und mit einer Mittelwand ausgestattet. Durch Rührwerke wird eine Kreisströmung bewirkt. Das System stellt eine Mischform aus volldurchmischem Rundbehälter und Pfropfenstromfermenter dar (Tabelle 3.2.7. und Abbildung 3.2.7.).

**Tabelle 3.2.7 Übersicht Sonderbauformen in der Nassvergärung**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet Verbreitung	Vorteile	Nachteile
Zwei- bzw. Mehrkammersystem (1)	Ring-In-Ring, einfaches System, zwangsdurchmischte	gewisse Verbreitung	Platz sparend, spart Wärmedämmung	Innen liegende Aggregate und Einbauten schwer erreichbar
Zwei- bzw. Mehrkammersystem (2)	Ring-In-Ring, nach Verdrängerprinzip (Pfefferkorn)	hauptsächlich dünnflüssige Substrate, Kofermente müssen ggf. stark zerkleinert werden	wie (1), zusätzlich Einsparung von Rührwerken	wie (1), zusätzlich ggf. Schwimmdecken und Sinkschichten
Ovalfermenter	vereinigt Pfropfenströmung mit Volldurchmischung	Einzelexemplar	Höhere Flächeneffizienz gegenüber gleichem Volumen als Rundbehälter	wie voll durchmischte Fermenter



**Abbildung 3.2.7 Beispiele für Sonderbauformen in der Nassvergärung; Mehrkammersystem als Ring-In-Ring-Anordnung (links), Pfefferkornprinzip (Mitte), Ovalfermenter in Doppelkammer (rechts); Fotos: Lehner Bau GmbH & Co.KG (links), Agronet GmbH (Mitte), F**

### Fermenter zur Feststoffvergärung

Im Bereich der Feststoffvergärung hat sich das Batch-Prinzip in verschiedenen Sonderformen ausgeprägt. Bei aller Unterschiedlichkeit ist den Verfahren ein geschlossener Raum für schüttfähige Substrate gemein.

Als Einfachversion hat sich aus der Silagetechnik heraus die Folienschlauchvergärung entwickelt. Hierbei wird ein gasdichter Kunststoffschlauch bis zu 100 m Länge auf einer beheizbaren Betonplatte über eine Befülleinrichtung mit dem Gärgut beschickt. Das Biogas wird über eine integrierte Sammelleitung gefasst und zu einem BHKW abgeführt.

Als Aufstauverfahren wird ein System mit Beladung über die Oberseite bezeichnet. Das Befeuchten des Substrates beschränkt sich auf eine periodische Perkolation, bis das Gärgut unter Flüssigkeit steht.

Eine Neuentwicklung stellt das zweistufige Verfahren mit durchmischten Boxenfermentern dar. Durch eingebaute Schneckenwellen in den Fermentern wird das Material homogenisiert, Förderschnecken sorgen für den Transport in die nächste Stufe. Die Batchfermenter sind torlos ausgefertigt. Das schüttfähige Gärgut wird stattdessen vollständig gekapselt über Schneckenförderer ein- und ausgeführt.

Ein zweistufiges Trocken-Nassvergärungsverfahren vollzieht in einer Boxenkammer eine Hydrolyse und das Auswaschen des Gärgutes. Die Flüssigkeit aus Hydrolyse und Auswaschen wird in einen Hydrolysetank verbracht. Von dort wird die Methanstufe beschickt. Das Verfahren ist in der Lage, die Methanbildung innerhalb weniger Stunden ein- und abzuschalten und ist daher als Regelenergie geeignet. Einen Überblick zu den Sonderbauformen geben Tabelle 3.2.8. und Abbildung 3.2.8., wobei hier aufgrund des Pilotcharakters der Verfahren keine Aufzählung von Vor- und Nachteilen angegeben ist.

**Tabelle 3.2.8 Übersicht Sonderbauformen bei der Feststoffvergärung**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet/ Verbreitung
Folienschlauchvergärung	Einwegfolienschlauch, maschinell befüllt	landwirtschaftlich, parallel zur Silierung
Aufstauverfahren	Beladung über Dach, abnehmbare Platte, Entnahme frontseitig	landwirtschaftlich (Nawaro), bisher eine einzige Pilotanlage
durchmischter Boxenfermenter	Durchmischung und Weitertransport des Gärgutes mit Schneckensystemen	landwirtschaftlich (Nawaro), abfallwirtschaftlich (schüttfähige Abfälle)
zweistufiges Trocken-Nassvergärungsverfahren	Boxenfermenter zum Auswaschen des Substrates, Vergärung des Perkolats in Methanstufe	landwirtschaftlich (Nawaro) und abfallwirtschaftlich (Bioabfälle), eine kommerzielle Anlage



**Abbildung 3.2.8 Beispiele für Sonderbauformen in der Feststoffvergärung; Folienschlauchvergärung (links), Aufstauverfahren (Mitte links), durchmischte Boxenfermenter (Mitte rechts), Methanstufe des Trocken-Nassvergärungsverfahrens und externer Gasspeicher**

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Das Emissionsverhalten ist aufgrund der Verschiedenheit der Systeme nicht verallgemeinert, sondern auf den jeweiligen Einzelfall bezogen zu betrachten.

Nassverfahren:

Bei Ring-in-Ring-Systemen ist verstärkte Aufmerksamkeit auf Abdichtung gegen Flüssigkeit zu legen. Bei Flüssigkeitsaustritt ist schwierig zu erkennen in welchem Behälter sich das Leck befindet. Der Aufbau von Ringdrainagen analog zu einfachen Rundbehältern ist entsprechend aufwendig zu gestalten.



Mehrkammerensysteme nach dem Pfefferkornprinzip stellen ein an sich geschlossenes System dar, können jedoch bei unsachgemäßer Einstellung der Druckverhältnisse Gasverluste verursachen. Spezielle Aufmerksamkeit ist der Gasführung und Drucksicherung zu widmen (vgl. 3.2.2 Durchmischungssysteme).

Feststoffverfahren:

Aufgrund der großen Folienoberfläche ist bei der Folienschlauchvergärung mit einer relativ größeren Diffusion als Beton oder Stahlbehältern zu rechnen. Die freigesetzten Gasmengen von wenigen m<sup>3</sup> (ca. 1 m<sup>3</sup> je 1.000 m<sup>3</sup> Gasproduktion) sind jedoch vertretbar. Aus Gründen der allgemeinen Ressourcenschonung ist der Einweggebrauch der Folien als nicht nachhaltig zu betrachten. Eine Entwicklung zu wieder verwertbaren Systemen mit gasdichtem Verschluss wäre begrüßenswert.

Beim durchmischten Boxenfermenter ist prinzipiell ein weitgehend vollständiger anaerober Umsatz der Substratchargen durch Einhaltung garantierter Aufenthaltszeiten möglich. Dadurch entstehen weniger Methanemissionen bei der Ausbringung der Gärreste, der gute Aufschluss des Materials kann andererseits eine verstärkte Ammoniakemission zur Folge haben. Dies ist durch entsprechende Düngetechnik (Schleppschlauch oder Grubber) beherrschbar. Zur Erzielung der optimalen Durchmischung müssen die Misch- und Fördertechnik sehr genau eingestellt und der Prozesserfolg stets kontrolliert werden (vgl. 3.2.2.1. Mechanische Durchmischung). Zu begrüßen ist die vollständige Kapselung des Systems.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Nassverfahren:

Beim druckbehafteten Mehrkammerverfahren entstehen Drücke bis zu 800 mbar. Daher ist dem Gesichtspunkt der Überdrucksicherheit besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Feststoffverfahren:

Das Folienschlauchverfahren ist mit erhöhtem Zeitaufwand und körperlicher Arbeit verbunden. Dazu zählt auch das aufwändige manuelle Anbringen der Gasleitungen durch Beklettern des befüllten Folienschlauches.

Das durchmischte Boxenverfahren mit automatisierter Beschickung und Gärrestentnahme vermeidet die Ablüftproblematik wie bei torbasierten Feststofffermentern, jedoch ist bei der umfangreichen Fördertechnik verstärkt auf Dichtheit des Gesamtsystems zu achten.

### **3.2.2 Durchmischungssysteme**

Die Art der Durchmischung ist oftmals eng mit der Fermenterbauform verbunden, jedoch nicht zwangsläufig. Für jedes Durchmischungssystem wird der übliche Einsatzbereich angegeben. Durchmischungssysteme unterteilen sich in die Kategorien mechanisch, hydraulisch und pneumatisch.

#### **3.2.2.1 Mechanische Durchmischung (Rührwerke)**

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die mechanische Durchmischung eines Gärgutes erfolgt fast ausschließlich durch verschiedenartige Rührwerke. Am Markt existierende Rührwerkstypen lassen sich prinzipiell in langsam drehende und schnell drehende Geräte einteilen. Als langsam drehend wird eine Drehzahl bis zu 300 min<sup>-1</sup>, als schnell drehend größer 300 bis 1.500 min<sup>-1</sup> bezeichnet.

### Schnelldrehende Rührwerke

Schnelldrehende Rührwerke – stets Propellerrührwerke – werden als Tauchmotorrührwerke (TMR) bzw. Tauch-Rührwerke mit externem hydraulischen Antrieb meist in Rundbehältern eingesetzt (nicht zu verwechseln mit hydraulischer Durchmischung). Vorteile der TMR sind üblicherweise die leichte Verstellbarkeit der Position und gute Eignung gegen Schwimmdecken und Sinkschichten. Demgegenüber steht der erhöhte Energieeinsatz. Die Rührwerke werden zwischen 0,25 und 35 kW Leistung angeboten. Gängige Größen sind zwischen 12 und 18 kW für Behälter im Bereich 24 bis 28 m Durchmesser. Je nach spezifischer Anforderung wie TS-Gehalt, Substratart etc. ist die Anzahl der Rührwerke pro Behälter festzulegen. Maßnahmen zur verbesserten Rührwirkung sind ebenfalls entsprechend der spezifischen Prozessbedingungen zu ergreifen. Eine solche Maßnahme kann beispielsweise in der Neigung der Propellerachse um ca. 15° abwärts bestehen. Zudem kann der tangentielle Anstellwinkel empirisch optimiert werden. Als grobe Orientierung kann mit 45° Neigung zur Tangente der Behälterwand begonnen werden. Die Ausstattung der Rührwerke mit Frequenzumrichter zur Leistungsregulierung ist Standard. Einzelheiten sind tabellarisch gegenübergestellt (Tabelle 3.2.9. und Abbildung 3.2.9.).

**Tabelle 3.2.9 Übersicht schnell drehende Rührwerke**

Typ	Beschreibung	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
elektrischer Antrieb	Motor am Rührwerk taucht mit ab (bei TMR) oder Rührwerk mit Außenmotor	Rundbehälter Mehrkammersysteme Ovalbehälter	mehrere Rührwerke unabhängig voneinander zu betreiben	Feuchte kann in Motor eindringen
hydraulischer Antrieb	Motor/Aggregat für mehrere Rührwerke extern, Kraftübertragung über Hydraulikschläuche	wie oben	externes Hydraulikaggregat ist leicht zu warten	bei Ausfall des Aggregates sind alle Rührwerke betroffen



**Abbildung 3.2.9 Technik schnell drehender Rührwerke; Tauchmotorrührwerk (links); Hydraulikaggregat für Tauchrührwerk (rechts); Fotos: Odermatt Umwelttechnik AG (links), U.T.S. Biogastechnik GmbH (rechts)**

### Langsam drehende Rührwerke

Langsam drehende Rührwerke sind unterteilt in Axial-, Langachs- und Seitenrührwerke. Langachs-rührwerk teilweise auch als mittelschnell drehend bezeichnet. Der Einsatzbereich solcher Rührwerke sind Rundbehälter, bei Mehrkammersystemen aus geometrischen Gründen nur die Innenkammer. Die außen liegenden Motoren der Rührwerke sind bei geringem Energieverbrauch relativ leicht zu warten - beim Anfahren haben beide Rührwerkstypen einen erhöhten Energiebedarf. Die Position von Langachs-rührwerken ist im Behälter weitergehend festgelegt als bei TMR. (Tabelle 3.2.10. und Abbildung 3.2.10.).

**Tabelle 3.2.10 Übersicht langsam drehende Rührwerke**

Typ	Beschreibung	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Axialrührwerke	<u>Rührwerkzeug:</u> Propeller, Paddel, Grindel <u>Einbau senkrecht:</u> zentral oder exzentrisch oft Dauerbetrieb	Rundbehälter (volldurchmischt)	weitgehende Verhinderung kontinuierlicher Aufschwimm- und Absetzvorgänge	hohe Momentbelastung keine Verstellbarkeit ggf. Schwimm- und Sinkschichtbildung in den Randbereichen möglich
Langachsührwerke	<u>Rührwerkzeug:</u> Propeller-, Paddel- <u>Einbau schräg:</u> durch Decke/Wand mit/ohne Bodenlager Intervallbetrieb, mittelschnell	meist Rundbehälter (volldurchmischt) auch für andere Fermenterformen geeignet	wenig Energiebedarf	Schwimmdecken und Sinkschichten geringe Verstellbarkeit mit Bodenlager: Achsverbiegung bis Bruch, schwierig zu warten frei schwebend: starke Abnutzung des oberen Lagers
Seitenrührwerke	<u>Rührwerkzeug:</u> Paddel-, Haspel- <u>Einbau waagrecht:</u> komplett mit Motor/ ggf. mit Zapfwellenanschluss für externen Antrieb, z.B. Traktorwelle	liegende Fermenter Rundbehälter (Durchmischung je nach Systemauslegung)	gute Durchmischung	nicht wartungsfreundlich (Fermenter muss entleert werden) hohe Belastungen und Biegemomente



**Abbildung 3.2.10 Beispiele für langsam drehende Rührwerke; von links: Seitenrührwerk mit Paddel/Haspel, zentrales Axialrührwerk mit Propeller, exzentrisches Axialrührwerk für große Behälter mit Mittelstütze, frei schwebendes Langachsührwerk**

Die Langachsührwerke können frei schwebend oder mit Widerlager am Boden ausgeführt sein. Ein Bodenlager verschafft der Rührwelle eine höhere Stabilität. Jedoch treten aufgrund der höheren Biegemomente auch öfter Bruchschäden ein. Zudem ist im Schadensfall die Reparatur schwierig, da der Behälter abgepumpt werden muss.

Zentralrührwerke sind nur bei Betondecke oder sonst fester Decke zu realisieren, Seitenrührwerke finden beispielsweise in Rundbehältern mit der Funktion als Gärrestlager Anwendung. Bei Seitenrührwerken ist gelegentlich kein eigener Motor vorgesehen, sondern ein Zapfwellenanschluss für externen Antrieb, z.B. Traktormotor. Hiermit ist kein Dauerbetrieb möglich, sondern nur temporäres Aufrühren. Eine besondere Form der Seitenrührwerke sind die Paddelrührwerke für liegende Pfpfenstromfermenter.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Das durch Rührwerke potenziell verursachte Emissionsverhalten ist je nach Rührwerkstyp unterschiedlich, so dass hier auf eine Einzelfalldarstellung zurückgegriffen wird (Tabelle 3.2.11.).

**Tabelle 3.2.11 Potenzielle Emissionen durch Rührwerke**

Typ	potenzielle Emissionen	Maßnahmen
Schnellläufer, elektrisch (Tauchmotor- rührwerk)	bei Wartungsarbeiten am Motor oder Propeller Gasentweichung durch Öffnung des Fermenters	Minderung durch Serviceschacht oder ver- schließbare Schlauchöffnung
Schnellläufer, hydraulisch (Tauchrührwerk)	Hydrauliköl kann am Hydraulikaggregat bzw. aus den Schläuchen austreten Wartungsarbeiten am Propeller s.o.	wasserdichte Wanne unter dem Hydraulikag- gregat, Ölbindemittel bereithalten vgl. oben
Langsamläufer	ggf. Gasschlupf an Wellendurchführung  Wartungsarbeiten am Propeller s.o. Geräuschemissionen wg. außen liegendem Mo- tor, insbesondere bei erhöhten Drehzahlen	Lagerung stets prüfen mit Hand-Gasspürgerät, Lagerung unter Flüssigkeitsspiegel Blindplatte bei Wartung aufsetzen Lärmgutachten, Grenzwerte dB, nachts nur langsame Drehzahlen oder innen liegende Rührwerke – in Abstimmung mit Rührzweck

**Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung**

Im Normalbetrieb gehen von Rührwerken keine Sicherheitsrisiken aus. Für Wartungszwecke müssen die Geräte dem Fermenter entnommen werden, wodurch die Sicherheitsregeln für Gas zu beachten sind. Spezifische Gefahrenaspekte zeigt Tabelle 3.2.12. auf.

**Tabelle 3.2.12 Potenzielle Sicherheitsrisiken bei Arbeiten an Rührwerken**

Typ	potenzielle Sicherheitsrisiken	Maßnahmen
Schnellläufer, elektrisch (TMR)	Zündfunke beim Einschalten kann zu Explosion in explosionsfähiger Atmosphäre führen	Nicht-Ex-geschützte Geräte müssen stets unter Flüssigkeit, insbesondere im Anfahrprozess, beim Hochziehen Elektrik trennen (allpolig)
Langsamläufer, bei Sei- ten- oder Schräglage	Wartungen am Motor in der Höhe Entnahme des Gerätes aus dem Fermenter stellt – außer Gasentweichungsproblematik – logistische Herausforderung dar*	Person absichern, am besten Podest, nicht Lei- ter! Kran einsetzen oder Flaschenzug vorsehen

\*Während TMR an der Stange mit einer Rollwinde hochgezogen werden, sind zur Montage und Entnahme von Lang-  
achsentrührwerken externe Hilfsmittel, z.B. ein Kran, erforderlich.

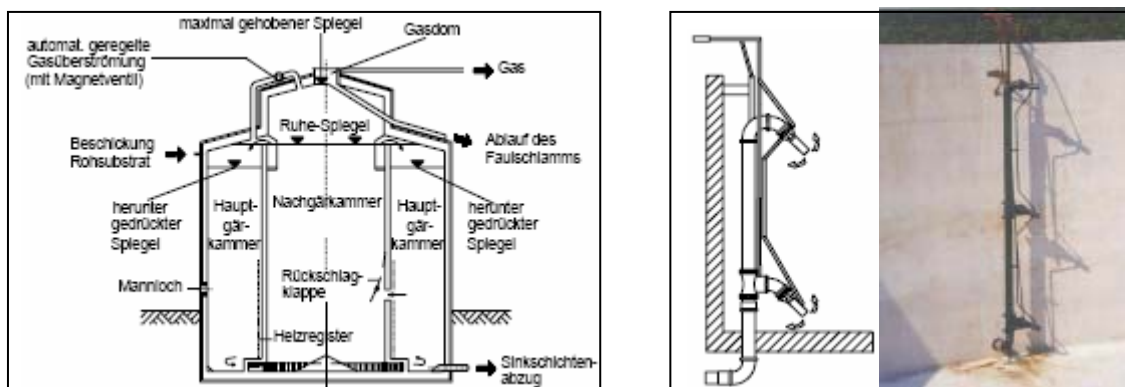
**3.2.2.2 Hydraulische Durchmischung****Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit**

Bei der hydraulischen Durchmischung handelt es sich um die Flüssigkeitsumwälzung im Behälter, was nicht mit dem hydraulischen Antrieb der mechanischen Schnellläuferwerke zu verwechseln ist. Der Einsatz erfolgt häufig in stehenden Fermentern. Eine grundsätzliche Unterscheidung erfolgt zwischen der hydrostatischen Umwälzung – oben bereits unter dem Pfefferkornsystem beschrieben – und der Zwangsumwälzung. Bei letzterer wird das Substrat entweder intern mit Tauchkreiselpumpen umgewälzt oder mit externen Pumpen über Rührdüsen in den Fermenter eingedrückt.

**Tabelle 3.2.13 Übersicht hydraulische Durchmischung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
hydrostatische Umwälzung SMD = self mixing digester	Gasdruck-Mischverfahren: Vermischung durch natürlichen Gasdruckaufbau mit periodischer Entspannung	keine bzw. nur geringe externe Energiezugabe nötig	erhöhter Bauaufwand Verstopfungsgefahr in Verbindungskanälen bei bestimmten Substraten
Zwangsumwälzung	Flüssigkeitspumpe  <u>intern</u> , z.B. mit Tauchkreiselpumpe oder  <u>extern</u> mit Kreisel-, Exzenter-, Drehkolbenpumpe und Rührdüsen	bessere Durchmischung als bei hydrostatischer Umwälzung  keine außen liegenden Rohre/ Armaturen erforderlich  Wartung der Pumpe, Probenahme des gemischten Substrates	hoher Verschleiß durch mineralische Partikel  Pumpe schwierig kontrollierbar/ reparierbar  Wartung der zusätzlichen Rührdüsen, weil schlecht erreichbar

Die hydraulische Durchmischung ist allgemein für gut pumpfähige Substrate geeignet. Als Herkunft der Technologie ist die Abwasserreinigung zu sehen, wo dünnflüssige Medien verarbeitet werden. Ein Nachteil besteht darin, dass Schwimm- und Sinkschichten kaum zerstörbar sind. Spezifische Aspekte werden in Tabelle 3.2.13. betrachtet. Beispiele zeigt Abbildung 3.2.11.



**Abbildung 3.2.11 Beispiele für hydraulische Durchmischung; Gasdruck-Mischverfahren (links), Rührdüse für Zwangsumwälzung (rechts); Fotos: Biogashandbuch Bayern (beide)**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei hydrostatischer Umwälzung sind gegenüber herkömmlichen drucklosen Systemen die hohen dynamischen Druckänderungen zu berücksichtigen. Dies geschieht durch entsprechend angepasste Auslegung der Systemparameter. Ein gegenüber herkömmlichen drucklosen Systemen andersartiges Emissionsverhalten ist nicht bekannt. .

Die Zwangsumwälzung ist an sich nicht mit Emissionen verbunden. Jedoch kann es zu einer indirekten Verursachung von Emissionen kommen, wenn bei hydraulischer Durchmischung – in oftmals ohne Sichtfenster betriebenen Vorlagen - fetthaltige Bestandteile von Substraten unbemerkt eine Schwimmschicht bilden. Entstehendes Biogas wird dadurch zunächst gedeckelt, was in der Folge nach gewisser Zeit zu plötzlichen biologischen Reaktionen führt. Diese können das Austreten von Biogasmengen über die Sicherheitseinrichtungen oder im Extremfall das Aufreißen eines Foliendaches zur Folge haben.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Beim Gasdruck-Mischverfahren treten gegenüber herkömmlichen Biogasanlagen im Gasraum erhöhte Drücke von 400 mbar auf, einige Betreiber berichten von Drücken bis zu 800 mbar. Durch den entsprechend erhöhten Bauaufwand wird jedoch ein sicherer Betrieb gewährleistet.

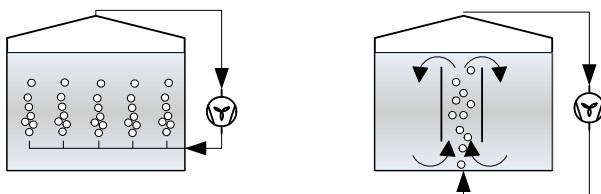
Die externe Umpumpung bei Zwangsumwälzung bedeutet potenziell die Vornahme von Schwachstellen durch zusätzliche Armaturen, an denen Material austreten kann. Ein eindeutig definiertes Betriebsregime beugt Fehlschaltungen an Schiebern vor und verhindert Havarien.

### 3.2.2.3 Pneumatische Durchmischung

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Als pneumatische Durchmischung wird die Umwälzung durch Einpressung von Biogas bezeichnet. Die dafür notwendigen Gaspumpen und Gasverdichter befinden sich immer außerhalb des Fermenters. Das Verfahren entstammt der Abwasserreinigung und findet tendenziell bei abfallwirtschaftlichen Anlagen mit fließfähigen Substraten Anwendung. Für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist die pneumatische Umwälzung weniger geeignet. Grundsätzlich ist die Technik im Vergleich zu Rührwerken weniger verschleißanfällig, da sich keine bewegten Teile in der Gärflüssigkeit befinden. Jedoch besteht keine Eignung zur Verhinderung von Schwimmdecken, insbesondere nicht bei faserhaltigen Substraten mit Neigung zu Schwimmdeckenbildung. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass der Fermenter für Wartungen an Gaseintragsvorrichtungen entleert werden muss. Spezifische Charakteristika der in Gasdiffusion und Gaslift eingeteilten Verfahren beschreibt Tabelle 3.2.14.

Nachteile der pneumatischen Verfahren hinsichtlich der Erfassung aller Substratbestandteile sind unter entsprechendem Aufwand durch die Kombination mit mechanischer und hydraulischer Durchmischung kompensierbar.



**Abbildung 3.2.12 Grundprinzipien für pneumatische Durchmischung; Gasbedüsung (links), Gaslift (rechts); Skizzen: DBFZ**

**Tabelle 3.2.14 Übersicht pneumatische Durchmischung**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Gasbedüsung	Biogaseinpressung über Bodendüsen: (a) ohne Einbauten  (b) mit Zwischenwand	wenig Horizontalkomponente → weniger Kurzschlussströmung  bessere Durchmischung durch Schlaufenströmung	ggf. nicht erfasste Zonen, Randgängigkeit, Sinkschichtenbildung  aufwändiger Aufbau
Gaslift	Biogaseinpressung in ein Mittelrohr/ Leitrohr (Mammutpumpenprinzip)	geordnete Schlaufenströmung sorgt für gute Durchmischung	erhöhter Bauaufwand durch das Mittelrohr



### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Analog zu den mechanischen Durchmischungsverfahren ist grundsätzlich mit Kurzschlussströmungen zu rechnen, so dass unvergorene Bestandteile das System Biogasfermenter verlassen können. Bei einer anschließenden Lagerung in ggf. noch offenem Gärrestlager können sich diese Bestandteile biologisch weiter abbauen und somit zu Methangasemissionen führen. Untersuchungen haben zudem ergeben, dass sich bei pneumatischen Durchmischungsverfahren ohne Einbauten Totzonen herausbilden können (vgl. Tabelle 3.2.14.).

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die externen Einrichtungen einer Gasumpfung sind wie gasführende Leitungen und Armaturen zu betrachten. Damit gelten die Sicherheitsmaßnahmen zum Explosions- und Arbeitsschutz.

## **3.2.3 Leitungsgebundene Transportvorgänge**

Eine ausreichende Durchmischung ist neben dem Zerkleinerungsgrad die Grundvoraussetzung für einen gut funktionierenden Substrattransport innerhalb der Gesamtanlage. Transportvorgänge werden durch Rohre, Armaturen und Pumpen realisiert. Die hier besprochenen Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen umfassen den Transport von Flüssigkeiten. Gasleitungen werden in Kapitel 3.3.1.1 abgehandelt.

### **3.2.3.1 Rohre**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Rohre zur Führung von Flüssigkeiten aus Stahl oder Kunststoff gefertigt. Bei unterirdischer Verlegung oder in geschlossenen Räumen wird üblicherweise PE-HD Rohr schwarz verwendet, während im Außenbereich oft feuerverzinkter Stahl oder V4A-Edelstahl (1.4571) zum Einsatz kommen. Diese Aufteilung ist häufig anzutreffen, da Kunststoffrohre unter der UV-Einstrahlung zur Versprödung neigen können, während Stahlrohre im Erdreich einer potenziellen Korrosion ausgesetzt sind. Allerdings ist zu beachten, dass Stahlrohre auch im Innenbereich bei feuchter Luft korrodieren können. Grundsätzlich ist auf ausreichend Gefälle zu achten und die Verwendung von 90°-Winkeln zu unterlassen, damit keine Verstopfungsgefahr entsteht.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei unterirdischer Rohrverlegung ist auf nach fachlicher Praxis übliche Einbettung in eine Sauberkeitsschicht auf verdichtetem Untergrund zu achten, um Setzungen und Beschädigungen an den Rohren zu vermeiden. Rohrbrüche führen zu Gefährdungen des Grundwassers sowie des Bodens. Einige Anbieter gehen daher zu durchgehend oberirdischer Rohrverlegung über, wodurch eine bessere Kontrolle auf Schäden möglich ist.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Ein Nachteil der oberirdischen Installation besteht in den aufwendigen Konstruktionen bei Hochverlegung. Eine baulich einfachere Führung der Leitungen in Bodennähe bedeutet hingegen zusätzliche Hindernisse mit Stolpergefahr. In diesem Fall sind an geeigneten Positionen geordnete Übergänge mit Handgeländer zu errichten.

### **3.2.3.2 Armaturen**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Als Armaturen zur Absperrung von Behältern dienen häufig manuell per Spindel zu bedienende Flachschieber. Kleinere Anlagen setzen ebenso manuell zu bedienende Stellhebel zur Stoffstromführung bei



Rohrleitungsverteilern ein. Größere Anlagen nutzen automatisch angesteuerte Ventile zur Absperrung und Steuerung. In Anbetracht der Vielzahl und Vielfältigkeit von Anlagen kann diese Aufzählung im Rahmen des vorliegenden Werkes jedoch nur unvollständig sein.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Unter Armaturen, die dem Umschlag von Flüssigkeiten dienen, wie z.B. Tankstutzen, empfiehlt sich das Vorsehen einer wasserundurchlässigen Schicht eingezogen werden, um Eindringen ggf. auslaufender Flüssigkeiten in das Erdreich zu verhindern. Im Bedarfsfall kann unterhalb des Stutzens eine Wanne vorgesehen werden.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Insbesondere bei den manuellen Schiebern ist darauf zu achten, dass keine Pumpvorgänge gegen geschlossene Armaturen erfolgen. Dazu ist ein Stell- und Arbeitsplan aufzusetzen. Bei Automatisierung ist auf Funktionstüchtigkeit der elektrischen bzw. pneumatischen Steuerung zu achten. Insbesondere der für eine pneumatische Steuerung eingesetzte Kompressor zur Erzeugung der Steuerluft ist durch Wartung und Pflege stets einsatzbereit zu halten. Sinnvollerweise werden Steuerungen derart programmiert, dass bei Versagen die Ventile zufallen.

Unbedingt ist jedoch darauf zu achten, dass keine beidseitig abgeschlossenen Rohrabschnitte entstehen, da Gärprozesse im Rohr weiterlaufen und dadurch eine Berstgefahr entsteht.

### **3.2.3.3 Pumpen**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Vornehmlich werden Kreiselpumpen für dünnflüssige Substrate < 8 Masse-% eingesetzt. Eine besondere Art ist die Schneidpumpe zur simultanen Zerkleinerung von faserigen Bestandteilen im Substratstrom. Bei eher dickflüssigen Medien kommen Verdrängerpumpen, meist Drehkolbenpumpen oder Exzentrerschneckenpumpen, zum Einsatz. Meist sind auf Biogasanlagen zentrale Pumpenstationen zur flexiblen Umpumpung zwischen den Behältern eingerichtet. Deren Steuerung erfolgt durch Anstellung von Schiebern (s.o.).

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Analog zu den Armaturen können Pumpen im Bedarfsfall mit einer Wanne oder wasserdichtem Untergrund zu untersetzt sein. Solche verstärkten Vorsichtsmaßnahmen kommen tendenziell im Bereich der Abfallvergärung in Frage.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Unmittelbare Gefahren durch Pumpen sind durch das schnelle Drehen von Wellen und Keilriemen zu sehen. Trotz der Abdeckung ist eine Annäherung mit unsachgemäßer Kleidung (Krawatten) oder offenem Haar zu vermeiden, da ein Gitter die drehenden Teile nicht vollständig abschirmt.

Ungewollte Effekte entstehen durch abrasive Bestandteile in den medienführenden Rohren wie mineralische Partikel (Sand, Steinchen, Grit). Durch das Schleifen der Drehkolbenflügel kann beispielsweise eine Drehkolbenpumpe wegen der Spalterweiterung die Sperrfähigkeit verlieren. Je nach Anlagensituation kann es bei mangelnder Sperrung zu unkontrolliertem Rückfluss von gärendem Material in einen Vorlagebehälter kommen, was starke biologische Reaktionen mit Gasfreisetzung zur Folge haben kann.

Es gibt verschiedene Maßnahmen, derartiges Strömungsverhalten zu unterbinden, wie z.B. der Einbau von Rückschlagklappen. Der Problematik kann aber bereits durch Schwerstoffabscheider (z.B. Steinausleser), insbesondere bei Einsatz einschlägiger Substrate wie Hühnertrockenkot, Eier und Marktäbfällen, vorgebeugt werden. Derart verbleiben weniger abrasive Bestandteile im Stoffstrom.

### 3.2.4 Elemente zur Temperaturführung

Elemente zur Temperaturführung dienen der Beheizung sowie der Isolierung von Behältern und Heizmedien führenden Rohren. Im Regelfall sind die Prozessbehälter durch Nutzung von BHKW-Abwärme auf mesophile oder thermophile Betriebstemperatur zu erwärmen. In Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass zum Erreichen dieses Ziels gekühlt werden muss, z.B. bei erhöhtem Energieeintrag durch starkes Rühren oder Eigenwärmebildung durch die Umsetzungsprozesse. Dies geschieht durch Beaufschlagung des Wärmetauschers mit Kaltwasser (Leitungs-, Teich- oder Brunnenwasser). Aus Kostengründen sind solche Maßnahmen jedoch nur eingeschränkt realisierbar. In einigen Fällen, z.B. bei Vollstromhygienisierung, kommen Kühlwasserkreisläufe mit Kühlturm zum Einsatz. Im Folgenden wird die bei allen Anlagen erforderliche Beheizung näher betrachtet.

#### 3.2.4.1 Beheizung

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Beheizungstechniken können in die überwiegend eingesetzten systemintegrierte und externe Heizungssysteme unterteilt werden.

##### **Integrierte Heizung**

Unterschieden wird hierbei zwischen Wandheizung, Fußbodenheizung und beheiztem Rühraggregat. Wandheizungen können durch Verlegen der Heizrohre innerhalb des Behälters, in der Wand oder an der Außenwand realisiert werden. Die Wahl des Heizrohrmaterials ist von grundlegender Bedeutung über die Ausgestaltung der Heizung. Zu bevorzugen sind Edelstahlrohre mit einem guten Wärmeübergang. Dadurch können gegenüber PE-HD-Rohren mit vermindertem Wärmeübergang Windungen eingespart werden, was im Behälter den Strömungswiderstand reduziert. Kunststoffrohre hingegen sind preisgünstig und sind bei der Verlegung innerhalb der Behälterwand zu verwenden. Eine Übersicht gibt Tabelle 3.2.15.

**Tabelle 3.2.15 Behälterbeheizung integriert**

Typ	Beschreibung	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Wandheizung	Behälterinnenseite	alle Fermentertypen, eher stehende	Rohre zugänglich für Arbeiten, z.B. bei Kalkablagerungen, sehr guter Wärmeübergang	Strömungswiderstand, Ablagerungen, Abrissgefahr
	in der Behälterwand, Heizschläuche	Ortbeton, nicht Segmentbauweise	Rohre geschützt	Temperaturgefälle in Wand (Spannungsrisse), verringerte Wärmeübertragung
	Behälteraußenseite	nur Stahlbehälter	Rohre gut zugänglich	verringerte Wärmeübertragung
Fußbodenheizung	übliche Fußbodenheizungsleitungen	alle stehenden Fermenter	gleichmäßige Temperaturverteilung	geringe Wärmeübertragung, insbesondere bei Sinkschichtbildung
Heizung im Rühraggregat	doppelwandiges Rohrsystem	alle Fermentertypen, eher liegende	inmitten des Materials zur Erwärmung, guter Wärmeübergang	Schäden an Schweißnähten schwer erkennbar, bei Stillstand weniger Wärmeübergang



**Abbildung 3.2.13 Beispiele für integrierte Heizung; Heizrohre an Behälterinnenwand (links), Heizrohre bei Verlegung in die Wand, Sandwichbauweise (rechts); Fotos: Weltec Biopower (links), DBFZ (rechts)**

### Externe Wärmetauscher

Die Verwendung externer Wärmetauscher hat eine gewisse Verbreitung erreicht. Hierbei wird das Substrat außerhalb des Fermenters erwärmt. Dies kann bei Nassvergärungsanlagen durch Erwärmung im Umlauf oder im Substratzulauf erfolgen. Bei Feststoffvergärungsanlagen kann das Gärgut durch das bereits temperierte Perkolat erwärmt werden (Tabelle 3.2.16.)

**Tabelle 3.2.16 Behälterbeheizung extern**

Typ	Beschreibung	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Erwärmung im Umlauf	Umwälzen der Fermenterflüssigkeit, z.B. über Doppelrohr- oder Spiral-Wärmetauscher	Nassvergärung	Behälter und Wände sind frei von Einbauten	erhöhter elektrischer Energieaufwand durch Umpumpen; Ablagerungen möglich
Erwärmung im Zulauf	Ausgestaltung des Zulaufes als Doppelrohr- oder Spiral-Wärmetauscher	Nassvergärung	flexible Handhabung, z.B. Kombination mit Hygienisierung	aufwändigere Behälterisolierung erforderlich; ggf. Zusatzheizung nötig; Ablagerungen möglich
erwärmtes Perkolat	aus temperiertem Perkolatspeicher zur Verrieselung über Gärgut im Feststofffermenter	Feststoffvergärung	keine bzw. leistungsarme Heizvorrichtungen am Feststofffermenter erforderlich	Carbonate in Perkolatflüssigkeit verstopfen Pumpen, Rohre, Düsen

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Im Regelbetrieb des Wärmetauschers ist nicht mit Emissionen zu rechnen. Überhitzungen des Substrates sind zu vermeiden, da sonst biologische Überreaktionen zu kurzzeitig verstärkter Gasproduktion und somit zum Ansprechen der Sicherheitsventile führen können.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Im gesamten Bereich der Wärmeerzeugung und Wärmeleitung ist Vorsicht bei heißen Oberflächen geboten. Der Vorlauf einer Fermenterbeheizung ist bis zu 90°C heiß. Dies betrifft, auch bei Isolierung, Wärme führende Wärmetauscher, Rohre und Armaturen. Heißwasser führt ggf. zu Wärmespannungen und somit Spannungsrissen in Stahlbeton. Dieses Phänomen kann insbesondere in den ersten Wochen nach Betriebsbeginn bei Heizrohren in der Wand auftreten. Ein Aufheizregime ist festzulegen, z.B. 1,5 K pro Tag. Spannungsrisse führen im Extremfall zum Bersten des Behälters.

### 3.2.4.2 Isolierung

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Eine Beheizung ist nur sinnvoll in Kombination mit Behälter- und Heizrohrisolierung durchzuführen. Die Optionen zur Isolierung sind vielfältig. Jedoch haben sich je nach Fermentertyp bestimmte Formen herausgebildet (Tabelle 3.2.17.).

**Tabelle 3.2.17 Behälterisolierungen**

Typ	Beschreibung	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Isolierung an Außenwand	Mineralwolle-/ Styroporplatten, blechverkleidet Sprühschaum, offen	alle Fermentertypen	leichte Zugänglichkeit an Isolierung und Fermenter preisgünstig	teuer  Verwitterung; Fermenteroberfläche versiegelt
Isolierung an Innenwand	innen Ausschäumen	Stahlbehälter (z.B. bei externer Beheizung)	Stahl wird nicht angegriffen	Isolierung kann sich allmählich lösen/ablösen
Kernisolierung	zweischalige Wandkonstruktion (Sandwich)	Segmentbauweise	Isolierung gegen alle Einflüsse geschützt	aufwändig, teuer
Behälter unterirdisch	ohne weitere Isolierung, nur Schutzfolie gegen Feuchte	Rundbehälter und eckige Behälter	günstig, wenn Behälter aus anderen Gründen unterirdisch gebaut wird	Vorsicht, bei Wasserader erfolgt konvektiver Wärmeverlust durch, Drainage zur Wasserableitung vorsehen



**Abbildung 3.2.14 Beispiele für Behälterisolierungen; von links: Bodenisolierung, Wandverkleidung im Bodenbereich, Sprühschaum, Trapezblechverkleidung quer an Boxenfermenter; Fotos: alle DBFZ, außer 3.v.l.: Pluimers Isolatie bv.**

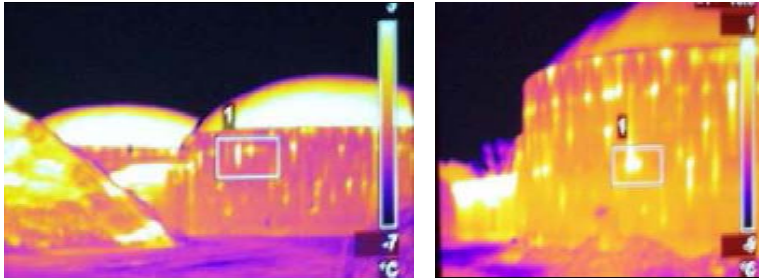
Die Verkleidung der Außenwand mit Hartschaumplatten und einer äußeren Schutzhülle aus gefalztem Blech ist am weitesten verbreitet. Im Bodenbereich sind ebenfalls PE-Hartschaumplatten zu verwenden, welche dort eine Dampfsperre bilden.

Bei Boxenfermentern ist die äußere Trapezblechverkleidung entgegen üblicher Methodik vorzugsweise quer anzubringen. Erfahrungsgemäß mindert diese Maßnahme Schäden durch Rattenfraß, da die Tiere allenfalls die unteren Röhren erreichen.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Wie bereits ausgeführt, sind Wärmeemissionen grundsätzlich klimarelevant. Daher ist auch bei Biogasanlagen auf Dichtheit der Isolierungen zu achten und Wärmebrücken sind zu vermeiden. Aufschlussreich sind Aufnahmen mit einer Wärmebildkamera, aber auch anderweitig sind potenzielle Schwachstellen be-

kannt. Die größten Wärmeverluste erfolgen häufig über das Foliendach. Daher sollten Foliendächer möglichst zweischalig ausgeführt werden (Abbildung 3.2.15.).



**Abbildung 3.2.15 Wärmeverluste an einem Rundbehälter mit Foliendach; Fotos: DAS-IB GmbH**

Tendenziell gilt, dass mit zunehmender Fermentergröße die spezifischen Wärmeverluste aufgrund eines günstigeren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses abnehmen. Während das Fermentervolumen in dritter Potenz steigt, nimmt die Fermenteroberfläche lediglich quadratisch zu.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Im Normalbetrieb bestehen bei Isolierungen keine besonderen Risiken. Jedoch sind bei Montage- und Reparaturarbeiten Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Grundsätzlich sollte in der Höhe auf standfesten Tribünen gearbeitet werden. Einfache Leitern sind zu unsicher. Bei Arbeiten mit Mineralwolle und Sprühschaum ist das Einatmen von Partikeln zu vermeiden. Angemessener Atemschutz sowie Schutzkleidung sind anzulegen.

Neue Isolierungen an Hitze führenden Rohren am BHKW können bei Inbetriebnahme zur Qualmbildung führen (ca. 1-2 h). Dieser Zeitraum sollte zur Sicherheit durchgehend beobachtet werden.

### **3.3 Biogasnutzung**

#### **3.3.1 Gaslogistik**

Die Biogasnutzung beginnt mit der Zuführung der Gase in einen Gasspeicher sowie der Weiterführung in eine Gasverwertungseinrichtung. Dies erfolgt durch geeignete Gasrohrleitungen und zugehörige Armaturen. Gasspeicher sind in behältergebundene (womit im Weiteren die bauliche Bindung an den Fermenter bzw. ein Gärrestlager gemeint ist) und externe Systeme einzuteilen. Unabhängig von der Platzierung werden Gasspeicher häufig auf etwa 0,5 Tagesproduktionen des Biogases ausgelegt.

##### **3.3.1.1 Rohre, Armaturen, Verdichter**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Analog zu den Substrat führenden Leitungen werden auch oberirdische Gasrohre aus feuerverzinktem Stahl bzw. V4A-Edelstahl (1.4571) verlegt. Kunststoffrohre aus PE-HD werden nur unterirdisch oder im Innenbereich verwendet, wo UV-Strahlung das Material nicht verspröden lässt.

Bei der Verlegung von Gasrohren ist besonders auf die korrekte Gefälleführung zu achten, da sich ansonsten Kondenswasser an tiefen Stellen sammelt und das Rohr ggf. verstopft bzw. die Gefahr des Einfrierens im Winter besteht. Üblicherweise werden Gasrohre über einen Kondensatschacht entwässert.

Der Gasrohreinlass im Fermenter wird möglichst hoch und mit der Öffnung nach oben verlegt, damit im Falle einer Schaumbildung keine Verstopfung entsteht. Verstopfungen der Gasableitung können Überdrücke im Fermenter verursachen, was beispielsweise zum Aufspringen der Pressschlauchdichtung bei



Foliendächern ausreicht oder gar zu Folienschäden führt. Einige Anlagen bringen deshalb Schaumfallen an und sehen Maßnahmen zur Einbringung Schaum hemmender Mittel vor, z.B. Wasser oder Rapsöl über eine Bedüsungsanlage.

Zusätzlich sollte die Rohröffnung nicht zu Nahe an der Innenfolie eines Doppelmembranspeichers positioniert sein, da im Falle einer Unterdruckbildung die Folie angesaugt wird und die Öffnung abdeckt. Abbildung 3.3.1 zeigt die Einbausituation vor Montage des Foliendaches. Das abgezogene Biogas wird von einem Verdichtergebläse in der Anlaufstrecke zur motorischen Verbrennung auf den erforderlichen Gasdruck erhöht.



**Abbildung 3.3.1** Vorrichtungen zur störungsarmen Gasabfuhr; Links: Gasrohreinlass mit Öffnung nach oben (links die Substratzufuhr); Rechts: Gasdom mit hydraulischer Über-, Unterdrucksicherung sowie Schaumfalle und Gasabgang

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Im Normalbetrieb gehen von ordnungsgemäß installierten Rohren, Armaturen und Verdichtern keine Emissionen aus. Jedoch sind Flansche und Verdichtergebläse stets auf Dichtheit zu kontrollieren. Je nach Substrateinsatz befinden sich im Biogasstrom Substanzen – Stäube,  $H_2S$ ,  $NH_3$ , Siloxane – mit abrasiven und dichtungslösenden Eigenschaften. Daher kann es, beispielsweise im Verdichtergebläse, zu Schädigungen an der Dichtung und somit Gasschlupf kommen. Vorbeugend dagegen sind dichtungsbehaftete Elemente regelmäßig, z.B. mit Schaum bildenden Mitteln, zu kontrollieren. Beim wartungsbedingten Öffnen von Gasrohren sind durch entsprechend vorzusehende Schieber die Gas bildenden Einheiten – Fermenter, Nachgärer – abzusperren.

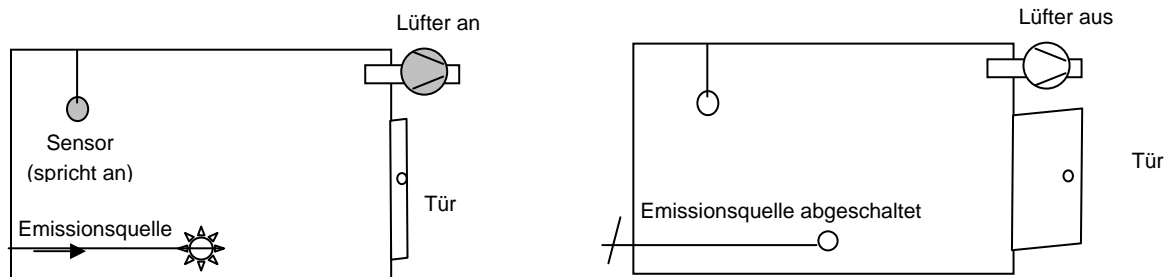
#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Gasführende Rohre sind um lösbare Verbindungen herum können je nach den Bedingungen vor Ort als Ex-Bereich gelten /Stachowitz-Buch 228/. Des Weiteren ist aus Sicherheitsgründen ein gut, möglichst von außen, zugänglicher und manuell (!) zu bedienender Gasabsperrhahn vor Eintritt in die Gasaufbereitungsstrecke zu installieren, um bei Havarien die Gaszufuhr unterbrechen zu können. Die manuelle Ausführung soll Bedienbarkeit auch bei Ausfall der elektrischen Hilfsantriebe bzw. der Hilfsenergien sicherstellen.

Bei Verdichtergebläsen in geschlossenen Räumen kann aus den genannten Gründen möglicherweise auftretender Undichtigkeiten eine Gaswarneinrichtung vorgesehen werden. Entscheidend ist, dass diese gemäß dem Fail-Safe-Prinzip<sup>2</sup> aufgebaut ist. Die "intelligente" Positionierung von Gasspürsensoren und Lüftern (Lüftungsmanagement) - nicht über der potenziellen Gasaustrittsstelle - ist dabei von gleicherma-

<sup>2</sup> Fail-Safe gemäß EN ISO13849-1: Fähigkeit eines technischen Systems, beim Auftreten bestimmter Ausfälle im sicheren Zustand zu bleiben oder unmittelbar in einen sicheren Zustand überzugehen.

ßen Bedeutung wie die Art der Alarmschaltung – hier: kein Voralarm. Derart wird bei Gasaustritt das Auslösen eines Hauptalarms sichergestellt, ohne dass der durch einen etwaigen Voralarm aktivierte Lüfter das ausgetretene Gas abzieht und den Alarmzustand fälschlicherweise beendet. (Abbildung 3.3.2).



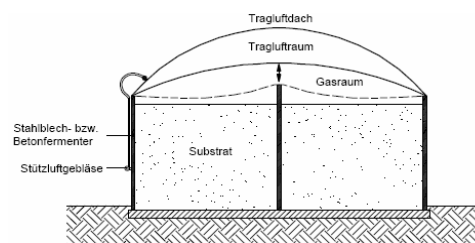
**Abbildung 3.3.2 Lüftungsmanagement in geschlossenem Raum; Skizze: DAS-IB GmbH**

### 3.3.1.2 Behältergebundene Speichersysteme

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Bei behältergebundenen Systemen übernimmt die Gasraumabdeckung in einigen Fällen auch die Funktion des Gasspeichers. Die reine Gasraumabdeckung stellt bei konstantem Gasvolumen lediglich einen gasdichten Abschluss des Fermenters gegen die Umgebung dar (z.B. Betondecke). Der Gasspeicher übernimmt bei variablem Volumen zusätzlich die Aufgabe, schwankende Gasproduktion auszugleichen und für die Folgestrecke einen konstanten Gasvolumenstrom sowie Gasdruck bereitzustellen (z.B. Doppelmembranspeicher). Dem Gasspeicher wird somit eine "Lungenfunktion" zugeschrieben.

Die Art der Behälterabdeckung ist im Prinzip unabhängig von der Materialart des Fermenters zu wählen, jedoch gibt es einige, hier gekennzeichnete, Ausnahmen. Behältergebundene Gasspeichersysteme sind immer Drucklos- oder Niederdruckspeicher, welche in Druckbereichen von 0 bis max. 5 mbar (einfacher Folienspeicher) bzw. 10 – 50 mbar (Doppelmembranspeicher) arbeiten. Die behältergebundenen Gasspeichersysteme haben den Vorteil der Platzersparnis gegenüber externen Systemen. Ein genereller Nachteil ist aufgrund der großen Gasmenge die mangelnde Aussagefähigkeit von Messungen der Gaszusammensetzung hinsichtlich des aktuellen Prozesszustandes (Tabelle 3.3.1).



**Abbildung 3.3.3 Beispiele für Behälterabdeckungen; Links: Betondecke von unten mit Pilzsäule; Rechts: Prinzipskizze zum Doppelmembranspeicher, hier als Tragluftdach; Fotos: [www.sundermann.info](http://www.sundermann.info) (links), Biogashandbuch Bayern (rechts)**



**Tabelle 3.3.1 Übersicht Behälterabdeckungen und behältergebundene Gasspeicher**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Betondecke	aufgesetzte Stahlbetonplatte	nur für Betonbehälter	stabil, begehbar, teilweise befahrbar, für Rührwerke geeignet	konstantes Gasvolumen nicht als "Lungenfunktion" geeignet
emailierter Stahl oder Edelstahl	Stahlbausegmente, Folie als Innenmembran	Betonbehälter, Stahlbehälter	leichter als Beton, besser zu installieren	Gasvolumen etwas größer, aber immer noch unflexibel
Einfachmembranspeicher (einschalig)	Folienabdeckung aus einer einzigen Membran  - mastgestützt	alle stehenden Behälter verbreitet bei älteren und kleinen Anlagen	größeres Speichervolumen preisgünstig  Möglichkeit optischer Prozesskontrolle	konstantes Gasvolumen, anfällig gegenüber Witterung, Wind und Schnee  Folien können bei Unterdruck einreißen
Doppelmembranspeicher (zweischalig)	Innenfolie als gasdichte Membran, Außenfolie als Schutzhülle  - mastgestützt  - Tragluftdach	bei allen stehenden Behältern, ist Standard	größeres Speichervolumen, witterungsbeständiger als einschalig  Möglichkeit optischer Prozesskontrolle permanent geringer Vor- druck geliefert	aufwändiger durch erhöhten Folienbedarf  Folien können bei Unterdruck einreißen Energiebedarf für Stützluft

Die Abdichtung der Foliendächer erfolgt über eine sog. Seegerdichtung, eine direkt in der Wandkrone des Behälters eingelassene Rinne, in die die Gasmembran mit einem Pressluftschlauch eingeklemmt wird. Diese Art der Dichtung erfordert absolute Rundheit des Behälters. Eine weitere Option ist die Klemmschlauchdichtung mit umlaufender Klemmschiene. Der Klemmschlauch wird mit einem Anpressdruck von ca. 5 bar beaufschlagt (Abbildung 3.3.4).



**Abbildung 3.3.4 Systeme zur Foliendachdichtung; Links: Seeger-Verschluß mit Schiene in Behälterwand; Mitte: Außenklemmschiene; Rechts: Anbringen eines Pressschlauches an Außenklemmschiene; Fotos: Biogashandbuch Bayern (links)**

Generell sind Maßnahmen zu ergreifen, die Folien vor Unterdruckschäden schützen. Die Folie kann ohne Unterdrucksicherung bei wenig Gasentwicklung wegen der Motoransaugung durch das Stützgerippe gezogen werden. Meist wird ein drucksensitives Abschalten des Motors zusätzlich zu den ohnehin geforderten passiven Über-/ Unterdrucksicherungen realisiert.

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Bei Beton- und Stahlabdeckungen ist die Dichtheit der Decke sicherzustellen. Grundsätzlich ist diese Art der Abdeckung als emissionsfrei einzustufen. Bei Gasspeichermembranen besteht eine geringfügige Diffusionsrate von 1-5 ‰ des Biogases. Sollten die Gasspeicher weniger als 0,5 Tagesproduktionen erfassen, wird die Installation einer Gasverbrauchseinrichtung (Fackel, Kessel) vorgesehen.

Einschalige EPDM-Folie bedingt eine gewisse Geruchsemission durch Diffusion im Normalbetrieb, was jedoch noch keine Maßnahme erforderlich macht. Problematisch hingegen ist die z.B. durch Winddruck bedingte unbemerkte Freisetzung von Biogas über die Über-/ Unterdrucksicherung. Ein solches Emissionsverhalten kann durch Einsatz einer Gasspeicherregelung weitestgehend verhindert werden. Im Falle starrer einschaliger Abdeckungen – mit Mittelstütze (Foliendach) - wäre die Gasspeicherregelung druckbasiert ausgeführt, ansonsten gasfüllstands basiert (bei Folienhaube).

Bei zweischaliger Bauweise in Ausführung als Tragluftdach ist die Geruchsfreisetzung gemindert (Mittelstütze oder Tragluftdach). Auf Löcher und Risse in den Folien sowie auf Schäden an der Dichtung ist dennoch stets zu achten. Unkontrollierte Gasfreisetzungen sind bei zweischaligen Membranen seltener. Für weitestgehenden Emissionsschutz ist dennoch eine Gasspeicherregelung empfehlenswert. Diese wäre in diesem Fall gasfüllstands basiert, da der Gasdruck konstant gehalten wird. Eine ausführliche Beschreibung der Gasspeicherregelung erfolgt unter 4.3.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Bei Foliengasspeichern befinden sich anfällige Stellen für Leckbildung befinden sich entlang der Dichtung, wo der Klemmschlauch herausrutschen oder die Folie sich zurückziehen kann. Solche Öffnungen sind im Sommer an Kondenswasseraustritt, im Winter an der Dampffahne bzw. Eiszapfenbildung zu erkennen.

Zur Schadenslokalisierung ist bei zweischaligen Systemen wegen der Vergiftungsgefahr nicht zwischen die Innen- und die Außenhülle zu klettern! Vielmehr ist die äußere Hülle an der verdächtigten Stelle abzunehmen. Bei Wartungsmaßnahmen muss häufig über Gas gearbeitet werden. Es empfiehlt sich, den Behälter zuvor durch rechtzeitigen Stopp der Fütterung und Ablüften gasfrei zu machen (Ex-Schutz bei Durchlaufen der UEG beachten).

Im Extremfall können Betondecken durch Betonkorrosion derart Schaden nehmen, dass es zum Einbruch kommt. Dem wird durch hochwertige Beschichtung der Betonoberfläche im Gasraum, z.B. durch dreifachen Epoxydharzanstrich, vorgebeugt. Der Einbruch deutet sich vorher durch Risse in der Betondecke an.

### **3.3.1.3 Externe Speichersysteme**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Der Gasspeicher befindet sich separat und abseits der gaserzeugenden Einheit. Externe Gasspeicher können als Niederdruck-, Mittel- und Hochdruckspeicher ausgefertigt sein. Generelle Vorteile sind, dass beim Öffnen des Fermenters kaum gespeichertes Gas verloren geht und bei Gasmessungen im Gasraum des Fermenters aufgrund kleiner Gasmenge aussagekräftig der aktuelle Prozesszustand beschrieben wird. Nachteil externer Speicher ist der erhöhte Platz- und Kostenbedarf. Eine Übersicht über externe Speicherarten im Niederdruckbereich gibt Tabelle 3.3.2. und Abbildung 3.3.5.

**Tabelle 3.3.2 Übersicht externe Gasspeicher im Drucklos- und Niederdruckbereich**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Folienkissenspeicher	in festen Altgebäuden (Silo, Scheune)  in neuem Gebäude, z.B. Leichtbauhalle auf Betondecke eines Fermenters frei liegend bzw. unter Überdachung	Betriebe, die Gebäude verfügbar haben  Spezialfälle, z.B. wenn Fermenter unterirdisch Behälter mit Betondecke kleinere Speicher	preisgünstig bei vorhandenem Gebäude leicht zugänglich  Platz sparend  leicht zugänglich	Volumen (Form/Menge) ggf. begrenzt zusätzlicher Platzbedarf relativ kleines Volumen Witterung und Sonne ausgesetzt
Komplettsystem	Doppelmembranspeicher	Speicher auf Gelände beliebig positionierbar	flexible und modulare Aufstellung	zusätzlicher Platzbedarf
Gasometer	Gasglocke in einer Wassertasse	in warmen Ländern, nicht in D üblich	erzeugt Vordruck zur Einsparung eines Verdichters	in D frostgefährdet

**Abbildung 3.3.5 Beispiele für externe Gasspeicher; Links: Folienspeicher in Gebäude; Rechts: freistehende Doppelmembranspeicher**

Als separate Gasspeicher im Niederdruckbereich werden meist Gasspeichersäcke, die von einer Witterschutzhülle umgeben sind, oder feste Speicher verwendet. Die Speicherung unter erhöhten Drücken – im Mitteldruck- und Hochdruckbereich – weist einen geringeren Platzbedarf als Niederdruckspeicher auf. Die Speicherung erfolgt in Stahlbehältern bzw. Stahlflaschen. Allerdings kostet die Kompression des Gases zusätzliche Energie und ist damit kostenintensiv. Im europäischen Ausland kommen Hochdruckspeicher für Biogas insbesondere dann zum Einsatz, wenn Fahrzeugtreibstoff bereitgestellt wird und keine Anbindung an ein Gasnetz vorhanden ist.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Zwar handelt es sich bei eingehausten separaten Gasspeichern um geschlossene Systeme, jedoch sind diese nicht hermetisch dicht. Die Ausführungen zur Gasdiffusion durch Folien gelten analog zu den behältergebundenen Speichern. Zudem sind die zu den Speichern führenden zusätzlichen Gasleitungen und deren Armaturen auf Dichtheit zu prüfen.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Zur Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären sollte der Zwischenraum bzw. der Lagerraum natürlich bzw. technisch diagonal belüftet werden. Die Begehung des Bereiches zwischen Gashülle und äußerer Ummantelung von Gasspeichern (Außenhülle bzw. Gebäude) ist nur nach eingehender Untersuchung der Gasatmosphäre zulässig. Bei Mittel- und Hochdruckspeicherung sind zusätzlich die Vorschriften für Gaslagerung unter Druck zu beachten.

### 3.3.2 Gasaufbereitung

#### 3.3.2.1 Entfernung von Feuchte, Aerosolen und Spurengasen

Rohbiogas ist nahezu 100 %ig mit Wasserdampf gesättigt. Zudem befinden sich eine Reihe von Partikeln und Spurengasen im Gas. In der Gesamtheit führen diese Verunreinigungen aufgrund der abrasiven und korrodierenden Wirkungen zu Schäden an Buntmetallen in Geräten zur Gasverwertung, z.B. BHKW-Motoren. Aufgrund der Substratbeschaffenheit sind die Schädwirkungen bei abfallwirtschaftlichen Biogasanlagen besonders ausgeprägt. Je nach Erfordernis gibt es unterschiedlich intensive Bemühungen zur Gasaufbereitung im Vorfeld der Verwertung.

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Bei etlichen Anlagen ist eine Entfeuchtung mit einfacher Entschwefelung des Rohbiogasstroms ausreichend, so z.B. bei Substratgemischen aus Rindergülle und Maissilage um die Gewährleistungsanforderungen für die Gasverwertungseinrichtungen einzuhalten. Bei Einsatz von Schweinegülle und abfallwirtschaftlichen Anlagen muss oftmals noch eine Ammoniakentfernung betrieben werden. Aufwändigere Gasreinigungseinrichtungen entfernen die meisten Schadschubstanzen simultan (Tabelle 3.3.3.).

Viele Biogasanlagen beschränken sich auf Entfeuchtung durch Leitungsverlegung im Erdreich mit Kondensatabscheider, untergebracht in einem Kondensatschacht (Abb. 3.3.6). Der Erfolg dieser Methode ist als mäßig zu bewerten. Sicherer sind z.B. Gaskühler. Als biologische Entschwefelungsmaßnahme der Wahl gilt das Einblasen von Luftsauerstoff in die Gasphase. Einsparungen in der Gasaufbereitung haben Zusatzkosten bei der – meist – motorischen Gasverwertung durch häufigere Ölwechsel, Wartungen Schäden und Lebenszeitverkürzung zur Folge. Daher ist es grundsätzlich empfehlenswert, eine möglichst leistungsfähige Gasreinigung zu installieren, die ggf. mit verminderten Wartungskosten verbunden auch ökonomisch vorteilhaft ist.

**Tabelle 3.3.3 Übersicht Gasaufbereitung I (zur Verstromung)**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Entfeuchtung	Leitung im kühlen Erdreich bzw. Erdwärmehaustauscher mit Kondensatschacht (Abb. 3.3.6)	kleine Anlagen mit weiten Strecken oder genügend Freifläche	einfacher und preisgünstiger Aufbau	Entfeuchtung nicht immer ausreichend, besonders im Sommer
	elektrisch betriebener Gaskühler	eher große Anlagen	zuverlässiges und gleichmäßiges Ergebnis	energieaufwendig, erhöht den Eigenstromverbrauch
Entschwefelung	biologisch intern = Lufteinblasen in den Gasspeicher	verbreitet als alleinige Methode bei landw. Anlagen	einfach und preisgünstig	nicht einfach regelbar
	biologisch extern = Kolonne mit Füllkörperpackung	bei größeren Anlagen im abfallw. und landw. Bereich	zuverlässig, keine Korrosion im Fermentergasraum	aufwändige Wartung
	Sulfidfällung = Zugabe von Fe-III-Cl in Flüssigphase	landw. und abfallw. Anlagen mit erhöhten H <sub>2</sub> S-Gehalten	einfach und gut dosierbar; bei H <sub>2</sub> S-Spitzen schnelle Wirkung erreichbar	Chemikalieneinsatz

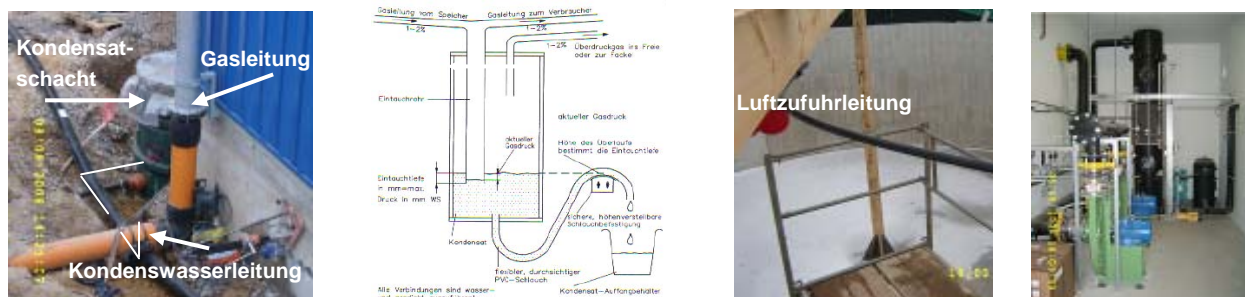
**Fortsetzung Tabelle 3.3.4 Übersicht Gasaufbereitung I (zur Verstromung)**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Entschwefelung	Aktivkohlefilter I = katalytische Spaltung/Adsorption an einfache Aktivkohle	Anlagen mit empfindlichen Geräten zur Gasverwertung, z.B. Gasturbine, vereinzelt auch bei BHKW	zuverlässig, auch Minderung von Siloxanen	hoher Aufwand bei Installation und Wartung
Ammoniakentfernung	Aktivkohlefilter II = Adsorption an dotierte Aktivkohle  Abgasrückführung am Motor (kühlt) = NH <sub>3</sub> -Minderung	zur Feinreinigung, falls für nachfolgende Nutzung erforderlich  zur Grundabreinigung von NH <sub>3</sub> – keine vollständige Entfernung	zuverlässig  ohne Chemikalien, ohne Rückstände	hoher Aufwand bei Installation und Wartung  zusätzlicher Regelungsaufwand am Motor
Komplettsysteme	Kühlaggregat (Füllkörperkolonne) = Gas und Kaltwasser im Gegenstrom	bei großen Anlagen zusätzlich zur Erdreichkühlung	definierte Gastemperatur einstellbar, vorteilhaft für Motoren	erhöhter Energie- und Wartungsaufwand
	Kühlaggregat zzgl. alkalische Gaswäsche (H <sub>2</sub> S-Mind.)	große Anlagen mit erhöhten H <sub>2</sub> S-Werten, zusätzlich	kompakt	erhöhter Reinigungs- und Wartungsaufwand
	Kühlaggregat zzgl. saure Gaswäsche (NH <sub>3</sub> -Minderung)	große Anlagen mit erhöhten NH <sub>3</sub> -Werten, zusätzlich	kompakt	sehr aufwändig

Der angemessenen Aufbereitungsmaßnahme geht eine Gasanalyse sowie Betrachtung der nachgeschalteten Strecke voraus. So treten Siloxane (organische Siliziumverbindungen) vornehmlich bei Kläranlagen auf, aber auch bei der Vergärung abfallwirtschaftlicher Substrate.

Beim Einsatz von Wäscherkolonnen ist die Chemikaliendosierung sehr genau einzustellen, sonst tritt kein Minderungseffekt bei den Schadgasen ein. Es ist auf ausreichende Kontaktzeit und Kontaktdauer zwischen Chemikalie und Gas zu achten.

Unabhängig von allen vorausgegangenen Maßnahmen befindet sich ein Gasfilter zur Abscheidung feinsten Partikel direkt vor dem Motor.



**Abbildung 3.3.6 Vorrichtungen zur Biogasaufbereitung; Links, Mitte Links: Kondenswasserabfuhr aus einer Gasleitung; Mitte: Entschwefelung durch Luftoxidation; Rechts: Gaswäsche in Füllkörperkolonne; Fotos: alle DBFZ**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Entfeuchtung mit Kondensatwasserschacht (KWS): Der Füllstand im KWS ist stets zu kontrollieren, sonst kann über den Schacht Gas entweichen oder Luft in das Gassystem gelangen.

Bei biologischer Entschwefelung mit Lufteinblasung in den Fermentergasraum muss die Dosierung dem aktuellen Biogasstrom fortlaufend angepasst werden. Eine zu niedrige oder zu hohe Luftdosierung mindert den Erfolg der Entschwefelung, da die Schwefelbakterien nicht mehr im optimalen Milieu arbeiten können. Die zu hohe Luftdosierung erhöht zudem den Stickstoffanteil im Biogasstrom, was bei der motorischen Verbrennung zu vermehrter Stickoxidbildung führt.

Die Zugabe eisenhaltiger Chemikalien ist sparsam vorzunehmen, da sonst eine übermäßige Exposition über die Gärrestausbringung in Böden und Grundwasser erfolgt.

Der Einsatz von Wäscherkolonnen bedingt die regelmäßige Abreinigung der Füllkörper von schwefeligen Anhaftungen. Im Normalbetrieb erfolgt dies durch Austrag von Waschflüssigkeit. Diese ist in das Biogassystem zurückzuspeisen (Fermenter oder Gärrestlager) und dient dort als Dünger. Der Schwefel sollte jedoch nicht in die Kanalisation geleitet werden, wo eine unnötige Belastung nachgeordneter Kläranlagen eintritt. Die Kolonnen sind auf wasserdichtem Untergrund zu errichten.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Entfeuchtung mit Kondensatwasserschacht: Grundsätzlich sind Schächte so auszuführen, dass der Einstieg nicht erforderlich ist. Sollte dies dennoch erforderlich sein, so ist der Einstieg nur über fest angebrachte Leitern und nur nach vorheriger Prüfung auf das eventuelle Vorhandensein von toxischen Gasen (z.B. CO<sub>2</sub>) vorzunehmen.

Die biologische Entschwefelung ist üblicherweise nicht mit Gefährdungen verbunden. Jedoch ist darauf zu achten, dass kein Gas in geschlossene Gebäude zurückströmt, z.B. bei Ausfall der Luftpumpe und gleichzeitig Undichtigkeiten an Leitungsarmaturen. In diesem Falle ist die Bildung einer Ex-Atmosphäre zu vermeiden.

Wäscherkolonne: Bei Normalbetrieb sind bei Umgang mit Chemikalien die SDB zu beachten. Die Füllkörperkolonne muss regelmäßig entschwefelt werden. Aus Sicherheitsgründen ist die von Füllkörpern befreite Kolonne nicht zu besteigen.

## **3.3.2.2 Aufbereitung zu Erdgas- bzw. Treibstoffqualität**

### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

In den vergangenen 2 Jahren hat sich die Verwendung von Biogas zur Einspeisung in das Erdgasnetz stark entwickelt. Zudem gibt es erste Ansätze zur Verwendung des Energieträgers als Treibstoff. Beide Optionen bedürfen einer weitergehenden Gasaufbereitung, als unter 3.3.2.1. beschrieben. Prinzipiell ist zusätzlich zu den vorherigen Maßnahmen die CO<sub>2</sub>-Komponente im Biogas weitestgehend zu entfernen. Dazu stehen verschiedene Verfahren in Marktreife zur Verfügung (Tabelle 3.3.4).

Weitere Verfahren wie Membrantrennverfahren und kryogene Verfahren sind auf internationalen Märkten kommerziell verfügbar.

Grundsätzlich ist die Frage der Wärmebereitstellung für den Biogasprozess zu lösen, da anders als bei der motorischen Verbrennung keine Abwärme anfällt. Daher sind Optionen wie die Teilstromführung des nicht aufbereiteten Biogases über ein kleines BHKW oder einen Heizkessel für den jeweiligen Standort zu prüfen.



**Tabelle 3.3.5 Übersicht Gasaufbereitung II (zur Einspeisung/Treibstoffnutzung)**

Typ	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vorteile	Nachteile
Druckwasserwäsche (DWW)	Lösen des CO <sub>2</sub> unter Druck in Wasser	alle Anlagen	flexibel, Trocknung und Co-Absorptionen incl.	hoher Eigenstromverbrauch
Druckwechseladsorption (PSA = Pressure-Swing-Adsorption)	Verbringen des CO <sub>2</sub> unter Druck in Aktivkohle oder ein Molekularsieb	alle Anlagen	wenig Energieverbrauch, gut für kleine Kapazitäten	weniger Methanausbeute
Niederdruckverfahren	chemische Wäsche, Lösen des CO <sub>2</sub> in Chemikalie:	bisher landw. und erste abfallw. Anlagen	keine Druckbedingungen, weniger Eigenstromverbrauch	sehr wärmebedürftig, ohne Wärmeerzeuger nicht anwendbar
	Aminwäsche (MEA)		sehr gute Beladungskapazität und Selektivität	erhöhter Regenerationsaufwand
	Genosorb		weniger Aufwand zur Regeneration	erhöhter Methanschluß (2-4 %)

Andere Aufgaben wie Staubentfernung und Gastrocknung können von den Gasaufbereitungsverfahren II (z.T. in Kombination mit anderen Verfahren, die von den Herstellern dann mit angeboten werden) mitgeleistet werden. Ein Verzicht auf Elemente der Gasaufbereitung I wäre dennoch im Einzelfall zu prüfen. Aufgrund der Tatsache, dass in diesem Bereich verstärkte Forschungsanstrengungen zu verzeichnen sind, ist zu erwarten, dass gerade in diesem Technologiefeld zukünftig neue Verfahren auf den Markt kommen.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die vorgestellten Gasaufbereitungsverfahren II können einen relevanten Methanschluß von mehr als 1 Vol.-% der erzeugten Methangasmenge aufweisen. Daher ist auf exakte Einstellungen und eine ordentliche Betriebsführung zu achten. Eine andere Möglichkeit besteht in der Nachoxidation des Abfallgasstromes. Hierbei ggf. anfallende Abwärme ist zur Nutzung verfügbar. Der im EEG 2009 neu eingeführte Technologiebonus sieht eine maximale Methanemission in die Atmosphäre bei der Aufbereitung von Biogas von 0,5 % vor. Je nach Aufbereitungsverfahren sind ggf. sekundäre Maßnahmen zur Methanminderung im Abgas erforderlich, z.B. flammenlose Oxidation/katalytische Abgasreinigung/ Schwachgasnachverbrennung mit Wärmenutzung (vgl. 3.3.3.2).

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die Umgebung Gas führender Aufbereitungseinrichtungen kann je nach Ausführung der Anlage explosionsgefährdeter Bereich sein. Bei allen druckbehafteten Verfahren sind die Bestimmungen für Druckbehälter zu beachten. Für chemisch basierte Verfahren gelten die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter (SDB). Für Wartungsarbeiten an Kolonnen gelten die Ausführungen analog zu 3.3.2.1.

### 3.3.3 Gasverwertung

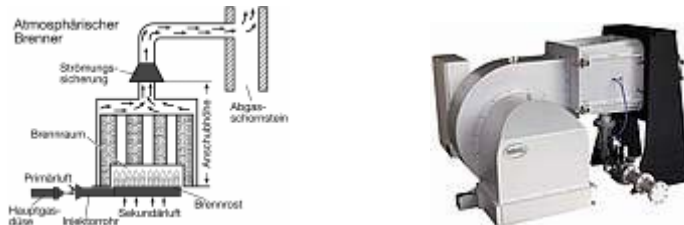
#### 3.3.3.1 Thermische Nutzung

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Verbrennung von Biogas zur ausschließlichen Wärmeerzeugung findet aktuell selten Anwendung. Grundsätzlich können hierfür Geräte mit atmosphärischem Brenner und Gasgebläsebrenner eingesetzt werden.



Atmosphärische Brenner befeuern einfache Heizkessel, Brennwertkessel oder Durchlauferhitzer (Gas-therme) im Leistungsbereich von 5 bis 30 kW. Die Wärmeerzeuger sind meist in ein System mit Pufferspeicher eingebunden, an den die Wärmeverbraucher angeschlossen sind. Der erforderliche Gasvordruck von 8 mbar wird in einigen Fällen bereits in der Biogasanlage erzeugt. Größere Leistungsbereiche werden durch Gebläsebrenner abgedeckt. Die erforderlichen Vordrücke von 15 mbar werden durch Gasverdichter, z.B. Seitenkanalgebläse, erzeugt (Abbildung 3.3.7).



**Abbildung 3.3.7 Beispiele für thermische Biogasnutzung; Links: Prinzip des atmosphärischen Brenners; Rechts: Gebläsebrenner**

Die direkte Biogasverbrennung findet fast nur in Heizwerken, der industriellen anaeroben Abwasserreinigung und der Klärgasnutzung Anwendung. Ansonsten existieren Heizkessel als Gasverbrauchseinrichtung eher für Havariefälle zur schadlosen Methanoxidation bei Sicherstellung einer Wärmeversorgung. Im Zuge des EEWärmeG kann die Wärmeerzeugung für bestimmte Standorte mit hohem Wärmebedarf künftig wieder interessant werden. Erste Projekte realisieren Gaszufuhrleitungen über längere Strecken (20 km) anstatt des Wärmetransportes zu den Wärmeabnehmern.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die Emissionen biogasbetriebener Allgasgeräte sind nach Anpassung an die Brennstoffart mit denen fossiler Brennstoffe vergleichbar. Brennwertkessel sind zur Vermeidung von Korrosion mit SO<sub>2</sub>-Abscheidung ausgestattet. Im Allgemeinen gilt der Vorteil, dass bei der Verbrennung von Biogas kein fossiles CO<sub>2</sub> freigesetzt wird.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Sicherheitstechnisch bestehen für biogasbetriebene Allgasgeräte keine besonderen Anforderungen oder Gefahren. Die oben beschriebene Gasaufbereitung ist jedoch durchzuführen, um übermäßigen Verschleiß des Gerätes zu vermeiden.

### **3.3.3.2 Gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme bzw. Kälte**

Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken – Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) – ist die derzeit standardmäßige Verwertungsart von Biogas. Im Normalfall wird das BHKW bei der KWK stromgeführt betrieben, was durch das EEG bedingt ist. Die Wärme entsteht als Koppelprodukt und wird zur Bereitstellung der Prozessenergie und weitere externe Zwecke verwendet. Über Absorptions-Kältemaschinen ist Abwärme auch in Kälte umzuwandeln – Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK).

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Betrachtung der verfügbaren Techniken unterteilt sich in Blockheizkraftwerke (BHKW), Elemente zur Wärmebereitstellung und Kälteerzeugung.

## (a) BHKW

Als Stand der Technik ist die Anwendung von Verbrennungsmotoren anzusehen. Diese sind meist als Gas-Otto-Motor oder als Zündstrahlgerät ausgeführt. Gas-Otto-Motoren werden überwiegend im höheren Leistungsbereich ( $> 250 \text{ kW}_{\text{el}}$ ) eingesetzt und erreichen in der Praxis elektrische Wirkungsgrade von ca. 40 bis 42 % bei Vollastbetrieb. Vorteile bestehen im hohen Gesamtwirkungsgrad bis zu 90 % sowie der erhöhten Betriebszeit von etwa 80.000 – 96.000 Bh. Der Mindestmethangehalt liegt bei 45 Vol.-%. Zündstrahlmotoren werden überwiegend im kleinen Leistungsbereich bis zu  $350 \text{ kW}_{\text{el}}$  eingesetzt. Die Geräte weisen einen erhöhten elektrischen Wirkungsgrad bis zu 45 % auf und sind unanfällig gegenüber Schwankungen der Gaszusammensetzung, wenn Heizöl bzw. Pflanzenöl eingesetzt wird (seit 2006 nur noch regenerative Stoffe).

In der Praxis werden oft beide Motorenarten kombiniert, beispielsweise Gasmotoren für den Grundlastbetrieb, Zündstrahlmotoren für Anfahr-, Spitzenlast- und Ersatzbetrieb. Weitere BHKW-Arten, die derzeit erst sehr eingeschränkte kommerzielle Anwendung finden, sind Stirlingmotoren, Mikrogasturbinen und die Brennstoffzelle.

## (b) Wärmeauskopplung zur Wärmebereitstellung

Verfügbare Geräte zur Nutzbarmachung thermischer Energie sind Wärmetauscher und Wärmespeicher. Als thermische Wirkungsgrade werden etwa 45 % erreicht. Abwärme wird zur Materialtrocknung (z.B. für Agrarprodukte) oder für Nah- und Fernwärmesysteme sowie für mobile Wärmesysteme eingesetzt. Mithilfe von ORC-Technik kann Abwärme auch zusätzlich zu Strom umgesetzt und dadurch der elektrische Wirkungsgrad auf insgesamt bis zu 48 % gesteigert werden. Erste Pilotprojekte sind diesbezüglich umgesetzt worden.

## (c) Wärmeauskopplung zur Umwandlung in Kälte

Ausgekoppelte Abwärme wird mit Absorptionskältemaschinen in nutzbare Kälte umgewandelt. Diese kann insbesondere im Sommer zur Klimatisierung von Räumen und Ställen, z.B. in der Schweinezucht, genutzt werden. Die Anwendung ist derzeit in der Praxis noch sehr selten.

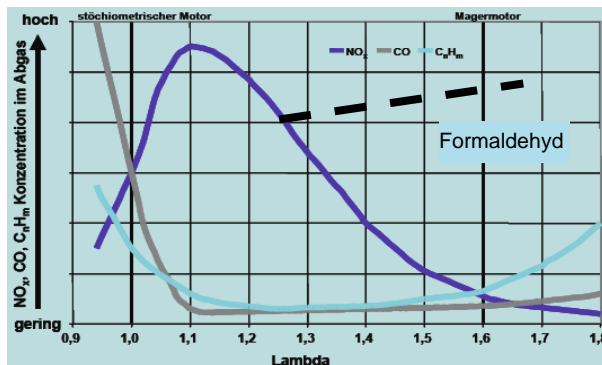


**Abbildung 3.3.8** Beispiele zur gekoppelten Kraft-Wärme-Erzeugung; Links: BHKW bei der Montage; Mitte: Wärmeauskopplung an Wärmeverteilstation; Rechts: Prinzip der Kälteerzeugung aus Wärme; Fotos: DBFZ

Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Besonderes Augenmerk der Emissionsbetrachtung liegt aufgrund der überwiegenden Anwendung derzeit auf der Verstromung von Biogas in BHKW. Nachfolgend sind die verfügbaren Techniken zur Vermeidung oder Minderung der abgasbedingten Emissionen aus biogasbetriebenen Verbrennungsmotoren genannt. Die Verstromung von Biogas in BHKW kann den Ausstoß von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ), Kohlenmonoxid (CO) unverbrannten Kohlenwasserstoffen ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ) und Formaldehyd bedingen. Eine simultane Unterdrückung sämtlicher Abgasarten ist problematisch, da sich diese als Funktion der Luftüberschusszahl  $\lambda$  mitunter

gegenläufig entwickeln. Dies ist beispielsweise bei  $\text{NO}_x$  und Formaldehyd im betriebsrelevanten Bereich von  $\lambda = 1,3$  bis  $1,6$  der Fall (Abbildung 3.3.9).



**Abbildung 3.3.9:  $\text{NO}_x$ , CO und  $\text{C}_m\text{H}_n$  als Funktion der Luftüberschusszahl, ergänzt um die Komponente Formaldehyd (qualitativ) [Quelle: GE-Jenbacher GmbH (Firmenschrift); ergänzt]**

Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung gliedern sich in motorseitige (primäre) Maßnahmen und nachgeschaltete (sekundäre) Maßnahmen. In einigen Fällen – z.B. bei stickstoffarmen Substraten – reichen motorseitige Maßnahmen aus, um alle Abgaskomponenten unter die geforderten Grenzwerte einzustellen. Ist dies nicht möglich, besteht eine potenzielle Abgasminderungsstrategie darin, die eine Komponente motorseitig zu drosseln, während die andere – dann verstärkt sich bildende – Komponente über eine nachgeschaltete Maßnahme eliminiert wird. Tendenziell muss bei Zündstrahlmotoren gegenüber Gasmotoren verstärkt auf die Einhaltung der Abgasgrenzwerte geachtet werden [z.B. Aschmann: 17. Jahrestagung].

(a) Motorseitige Maßnahmen:

Bei den heute oft eingesetzten Motoren mit Magerverbrennung entsteht grundsätzlich weniger  $\text{NO}_x$ -Ausstoß als bei der stöchiometrischen Lambda-1-Technik. Die dafür in Kauf zu nehmende Minderleistung wird durch den Einsatz von Abgasturboladern ausgeglichen. Grundsätzlich kann das Niveau der Formaldehydkonzentration durch Wartungs- und Reinigungsarbeiten am Motor gesenkt werden /Eb/. Zurzeit existieren unterschiedliche Auffassungen darüber, ob die Entstehung von Formaldehyd motorseitig weit unter den Grenzwert von 60 mg/l minimiert werden kann. Es wurden Untersuchungen mit Einstellungen am Luftmischer und dem Zündzeitpunkt vorgenommen, welche zu unterschiedlichen Ergebnissen führten /LfU Bayern/. (vergleiche hierzu auch FVV-Vorhaben 918 „Formaldehyd-Wirkzusammenhänge und Kapitel 5.1.2.3)

(b) Sekundärmaßnahmen:

Als dem motorischen Verbrennungsprozess nachgeordnete Maßnahmen stehen derzeit zwei wesentliche Techniken zur Verfügung. Der Magerverbrennung wird ein Oxidationskatalysator zur CO-Minderung und ggf. Formaldehydminderung nachgeschaltet. Die Standzeit im Biogasbetrieb ist momentan noch umstritten. In jedem Fall sind Katalysatorgifte zum funktionierenden Betrieb des Katalysators zu beachten. Die motorische Unterdrückung von Formaldehyd bedingt einen erhöhten Ausstoß von  $\text{NO}_x$ , welcher wirksam durch den Einsatz von Selektiver-Katalytischer-Reduktion (SCR) unterbunden werden kann. Diese Technik ist für kleinere Biogasanlagen ( $< 500 \text{ kW}_{\text{inst}}$ ) aber als teuer einzuschätzen.

Weitere potenzielle Emissionsarten bestehen in Flüssigkeitsaustritt und Lärm. Durch Aufstellen in einer Wanne werden Ölkontaminationen vermieden. Die Reduzierung von Lärmemissionen ist beherrschbar. Lärm wird durch Einbau entsprechender Schalldämmung am BHKW-Gebäude bzw. Container unter die gebietsbezogenen geforderten Grenzwerte der TA Lärm gebracht.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Beim Anfahren eines BHKW nach längerer Stillstandszeit kann es erforderlich sein, die Gaszufuhrleitung zu entlüften, z.B. durch Aufsetzen eines Schlauches auf ein geöffnetes Ventil. Besser ist eine geschlossene Installation mit kontrollierter Abfuhr des Luft-Gas-Gemisches ins Freie. Hierdurch wird die Bildung eines zündfähigen Gemisches im BHKW-Raum vermieden.

Grundsätzlich sind heiße Oberflächen am BHKW, besonders der wärmeleitenden Rohre und Wärmetauscher zu meiden. Bei Einhaltung der üblichen Vorsichtsmaßnahmen müssen diese nicht abgeschirmt sein. Elektrische Einrichtungen dürfen nur vom zugelassenen Elektriker, elektrische Leitungen ab 10 kV nur durch speziell zugelassene Starkstromelektriker geöffnet werden.

Hinsichtlich der Schallemissionen ist anzumerken, dass nach neueren Erkenntnissen auch tieffrequente Schallwellen die Gesundheit beeinträchtigen können, auch wenn diese nicht immer wahrgenommen werden. Durch den Einbau geeigneter Abgasschalldämpfer ist eine wirksame Unterdrückung zu bewerkstelligen.

### **3.3.3.3 Einspeisung in Gasnetze und Treibstoffnutzung**

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Alternativ zur Vor-Ort-Verstromung setzt sich seit ca. 1,5 Jahre vor Drucklegung verstärkt die Einspeisung von – aufbereitetem – Biogas in Gasnetze durch. Derzeit existieren bundesweit ca. 15 Projekte in Betrieb. Zu unterscheiden ist zwischen dem öffentlichen Gasnetz, meist das Niederdruckgasnetz (5 bar) und regional begrenzten Mikrogasnetzen.

Nach der seit dem 08.04.2008 gültigen GasNZV muss der Biomethanerzeuger für die Einspeisung in das Erdgasnetz nur noch die Kriterien gemäß der DVGW-Regeln G260 und G262 sowie den Anschlussdruck sicherstellen. Die Gasübergabestation, bestehend aus Rohrleitungen, Armaturen und Messeinrichtungen, obliegt dem Gasnetzbetreiber (Abbildung 3.3.10).

Bei Einspeisung in Mikrogasnetze kann durch die Nutzer und Erzeuger der Verzicht auf eine CO<sub>2</sub>-Abtrennung vereinbart werden. Die Endnutzertechnik wie BHKW oder Gastherme müssen hierfür entsprechend eingestellt werden.

Die Verfügbarkeit aus dem öffentlichen Gasnetz ermöglicht auch eine Nutzung von Biomethan als Treibstoff. Derzeit existieren erste kommerzielle Biomethantankstellen in Deutschland, vor allem aber in Schweden und der Schweiz. Jenseits der Direktbetankung mit Biomethan besteht die Strategie der Beimischung von Biomethan zu Erdgas für die Betankung an Erdgastankstellen. Ausgehend von der Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Gaswirtschaft sollen bis 2010 10% und bis 2020, 20% des als Fahrzeugtreibstoff abgesetzten Erdgases durch Biomethan ersetzt werden. Die Betankung wird hier nicht weitergehend als Bestandteil der Biogastechnik abgehandelt.



**Abbildung 3.3.10 Übergabe von aufbereitetem Biogas zur weiteren Nutzung mit einer Gaseinspeisestation**

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Unmittelbare Emissionen von Schadgasen und CO<sub>2</sub> durch Gaseinspeiseanlagen sind im Normalbetrieb nicht zu befürchten, da die Anlagen gasdicht sind.

Die Einspeisung von Biogas in das Gasnetz bedingt eine Prozesswärmeerzeugung durch ein kleines BHKW oder einen Heizkessel am Standort der Biogasanlage. Hierfür gelten die oben genannten Bedingungen. Für den Fall einer technisch bedingten Einspeisesperre sind an den Gaserzeugerstandorten Gasspeicher und Notfackel vorgesehen.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Aus Sicherheitsgründen wird das Biogas vor der Einspeisung odoriert, d.h. mit einem Warngeruch beaufschlagt. Zudem ist der Wobbe-Index (Quotient aus Brennwert und Dichte) sicherheitstechnisch relevant, da Endabnahmegeräte darauf eingestellt sind. Die Anpassung des Wobbe-Index erfolgt durch Luft- bzw. Flüssiggaszugaben, was eine Beachtung der Ex-Schutzvorschriften erfordert. Die Gasdruckerhöhungsstation unterliegt der Druckbehälterverordnung und befindet sich in der Zuständigkeit des Gaserzeugers.

## **3.4 Gärrestmanagement**

### **3.4.1 Gärrestlagerung**

#### **3.4.1.1 Feste Gärreste**

##### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit:

Feste Gärreste sind stapelbar oder schüttfähig und fallen sowohl bei der Feststofffermentation, als auch als separierter Bestandteil des Gärproduktes der Nassfermentation an. Je nach Verwendungszweck werden die festen Gärreste auf unterschiedliche Art und Weise gelagert. Verbreitet ist die Lagerung auf befestigten Plätzen unter freiem Himmel oder in Hallen, sowie in offenen, z. T. mobilen Behältnissen und Containern. Die Lagerflächen müssen dabei den Anforderungen des Gärproduktes genügen. Abtropfende Perkulationsflüssigkeit und Presswasser dürfen nicht in den Boden und in Gewässer eindringen. Die Lagerung von Haufwerken erfolgt daher auf flüssigkeitsdichten Belägen aus Beton oder Asphalt und ähnelt der der Festmistlagerung (vgl. 3.1.2.1 Feststofflagerung). Dabei muss die mechanische und chemische Beanspruchung der Bauteile (Boden und ggf. Anschüttwände aus Ortbeton oder Betonsegmenten) beachtet werden. Austretende Flüssigkeiten werden gesammelt und z.B. in das Gärrestlager zurückgeführt. Zum Teil werden auch leere Fahrsilos als Lagerfläche bis zur weiteren Verarbeitung genutzt. Container aus Stahl werden vornehmlich beim Abpressen der Festfraktion aus dem flüssigen Gärrest verwendet. Diese werden bspw. unter den für die Fest-Flüssig-Trennung verwendeten Separator gestellt und nach vollständiger Befüllung gewechselt. Auf diese Weise kann der feste Gärrest ohne Radlader oder ähnlichem Gerät per LKW zur Verwertung transportiert werden. Nachteil können die offene Ausführung und die teilweise nicht dicht ausgeführten Behälter sein, bei denen ein Flüssigkeitsaustritt nicht ausgeschlossen werden kann. In Tabelle 3.4.1 sind verschiedene Lagermöglichkeiten zusammengefasst.

##### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen:

Alle Lagerungsmöglichkeiten führen zu klima- und z. T. geruchsrelevanten Emissionen. Die Gesamtheit der Geruchsemissionen ist aber weitaus geringer als beispielsweise von unvergorenem Wirtschaftsdünger. Trotzdem muss bei der Lagerung mit Stickstoffverlusten in die Atmosphäre in Form von NH<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O gerechnet werden. Hinzu kommen noch mögliche Restausgasungen von CH<sub>4</sub>, die allerdings durch den Kontakt der Methan bildenden Bakterien mit dem Luftsauerstoff zeitlich begrenzt sind. Zur Minderung



der Emissionen sollte nach Möglichkeit eine zügige Weiterverarbeitung der Gärreste erfolgen. Durch eine weitgehende Trocknung der Feststoffe können die biochemischen Prozesse im Gärrest vermindert bzw. unterbunden werden. Auch die geschlossene Nachkompostierung mit erzwungener Belüftung und Abluftreinigung durch Biofilter oder weitergehende Maßnahmen (z.B. thermische Nachverbrennung bei Abfallbehandlungsanlagen, vgl. Kapitel 5.1.2.1 Behandlung der Prozessabluft) können Anwendung finden. Die Durchführung von Gärtests des (separierten) Gärproduktes kann Aufschluss darüber geben, ob das Substrat ausreichend vergoren wurde. Ggf. kann hier über die Prozesssteuerung/ Betriebsweise Einfluss auf die Qualität des Prozesses und die Emissionen (Restaugasung von Methan) genommen werden.

Die wassergefährdenden Eigenschaften des Gärrestes müssen bei der Gestaltung der Lagerstätte Berücksichtigung finden. Alle Lagerplätze müssen flüssigkeitsdicht ausgeführt sein und eine Möglichkeit der Sickerwasserfassung besitzen. Auch muss der Eintrag zusätzlicher Oberflächenwässer oder von Niederschlägen unterbunden werden (Überdachung, Planen, Schwellen am Fuß des Lagers). Hier kann sich ggf. an den Vorschriften für den Bau von ortsfesten Festmistlagerstätten orientiert werden. Die zuständigen Behörden, beispielsweise Wasserwirtschaftsämter, sind frühzeitig in die Planung einzubeziehen. Eine Übersicht möglicher Emissionen zeigt Tabelle 3.4.2.

**Tabelle 3.4.1 Technische Eigenschaften - Lagerung feste Gärreste**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Bodenplatte im Freien	in Beton oder Gussasphalt ausgeführt, nach unten flüssigkeitsdicht mit Gefälle zur Ablaufmöglichkeit mit angeschlossener Fassung des Oberflächenwassers, z. T. mit Anschüttwänden und Überdachung	Lagerung großer Volumina, Kapazitäten für 180 Tage Lagerung realisierbar	Stickstoffverluste bei langer Lagerung; bei nicht abgedeckter Lagerung sind Auswaschungen von Nährstoffen durch Niederschlags-eintrag möglich; u. U. sind erhebliche Flüssigkeitsmengen zu fassen
Lagerhalle	Halle mit Betonboden oder Gussasphalt nach unten dicht ausgeführt; Ablaufmöglichkeit in Sickerwasserfassung, z. T. Lagerbuchten mit Anschüttwänden aus Betonsegmenten	witterungsunabhängig	Belüftung erforderlich, erhöhter baulicher und technischer Aufwand gegenüber der Lagerung im Freien
Behälter	Behälter aus Stahl, meistens nach oben offen	zu anderen Anwendungen transportierbar	Bei freier, nicht überdachter/ abgedeckter Aufstellung Auswaschungen von Nährstoffen durch Niederschlags-eintrag möglich, Behälter z. T. nicht flüssigkeitsdicht

**Tabelle 3.4.2 Emissionsverhalten - Lagerung fester Gärreste**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Bodenplatte im Freien	NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, z. T. CH <sub>4</sub> , Sickerwässer, ggf. Geruch	Überdachung, Sickerwasserfassung, flüssigkeitsdichte Bodenplatte, wenn mögl. schnelle Weiterverarbeitung
Lagerhalle		Sickerwasserfassung, flüssigkeitsdichte Bodenplatte, wenn mögl. schnelle Weiterverarbeitung, ggf. Hallenluftabsaugung mit geeigneter Abluftreinigung (z.B. Biofilter, Wäscher)
Behälter		wenn notwendig flüssigkeitsdichte Behälter oder Sickerwasserfassung über flüssigkeitsdichte Aufstellfläche, wenn mögl. schnelle Weiterverarbeitung, Aufstellung in Hallen mit angeschlossener Abluftfassung möglich, ggf. mit geeigneter Abluftreinigung (z.B. Biofilter)

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung:

Da die Lagerung fester Gärreste auch mit An- und Abtransportvorgängen verbunden ist, muss der Verkehr mobiler Geräte beachtet werden. Ein Anfahrerschutz vor gefährdeten Anlagen- und Gebäudeteilen sowie geeignete Signalgebung der Fahrzeuge zum Warnen von Personal sind nur zwei Beispiele möglicher Sicherheitsmaßnahmen. Aus dem frischen Gärrest heraus kann es zu Restausgasungen und starken Wasserdampfreisetzungen kommen. Bei der Lagerung in Hallen kann eine Belüftung ggf. mit Hallenabsaugung und Reinigung durch Wäscher und/oder Biofilter notwendig werden, um ggf. angrenzende Arbeitsbereiche in Bezug auf die Arbeitsplatzbedingungen (MAG-Werte) begehbar zu halten. Bei einer offenen Lagerung sind mögliche Belastungen vor Ort aufgrund von Verdünnungseffekten geringer. Vergleiche hierzu Tabelle 3.4.3.

**Tabelle 3.4.3 Sicherheitsmaßnahmen - Lagerung fester Gärreste**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Bodenplatte im Freien	Verkehr, Arbeitsschutz in Bezug auf MAG-Werte	ggf. Anfahrerschutz für gefährdete Anlagen- und Gebäudeteile, optische und akustische Signalgebung zur Warnung von Personal ; ggf. (technische) Entlüftung bei Lagerung in Hallen zur Reduzierung der örtlichen Belastung
Lagerhalle		
Behälter		

### 3.4.1.2 Flüssige Gärreste

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit:

Grundsätzlich kann die Lagerung in Erdbecken und in zylindrischen oder rechteckigen Behältern (Hoch- und Tiefbehälter) erfolgen. Erdbecken sind meist rechteckige, in den Boden eingelassene und mit Kunststoffolie ausgekleidete Lager. Der größte Teil dieser Becken ist nach oben offen, nur wenige Becken sind mit einer Folie zur Emissionsminderung abgedeckt. Sie sind gekennzeichnet durch große Volumina und relativ geringe spezifische Baukosten. Häufiger angewendet werden Behälter aus Beton und Stahl/Stahl-Emaille (vgl. hierzu Tabelle 3.1.11 im Kapitel 3.1.2.2 Flüssigkeitslagerung). Diese können in Über- oder Unterflurbauweise errichtet werden und müssen den Anforderungen des Boden- und Gewässerschutzes genügen. Eine Zusammenfassung der Eigenschaften von Erdbecken und Behältern zeigt Tabelle 3.4.4.

**Tabelle 3.4.4 Leistungsfähigkeit - Lagerung flüssiger Gärreste**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Erdbecken	Mit Kunststoffolie ausgekleidete Bodengrube, meistens rechteckig mit abgeschrägter Böschung; zweilagig mit Leckageerkennung ggf. Ausrüstung mit einer nicht gasdichten, schwimmenden PE-Folie, Rührwerk zum homogenisieren	sehr preiswert im Vergleich zu Hochbehältern; relativ schnell zu errichten; Bau großer Volumina möglich, nahezu wartungsfrei; einfaches Aufrühren durch Schlepper- oder Tauchmotorrührwerk; durch Emissionsschutzfolie Minderung von NH <sub>3</sub> -Emissionen mögl.	Ausgasen von CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> und N <sub>2</sub> O, Stickstoff- bzw. Düngewertverlust, Geruchsemissionen und Niederschlagseintrag bei offenen Erdbecken
Behälter	meist zylindrische oder rechteckige Behälter aus Stahl, Stahl-Emaille oder Beton, als Hoch- oder Tiefbehälter, Rührwerk zum homogenisieren, offen oder mit Abdeckung (gasdicht/ nicht gasdicht), meist unbeheizt aber auch mit Heizung und Dämmung für nachträgliche intensivere Restgasfassung mögl.	Vorteile durch Abdeckbarkeit: kein Niederschlagseintrag, Minderung der Geruchsemissionen, Minimierung des Düngewertverlustes, zusätzlicher Gasspeicher und Restgaserfassung bei gasdichter Ausführung	Ausgasen von CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> und N <sub>2</sub> O, Stickstoff- bzw. Düngewertverlust, Geruchsemissionen und Niederschlagseintrag bei offenen Behältern; Ausgasen von NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, Methan, bei Behältern mit nicht gasdichter Abdeckung,



Die Gärrestlager können mit einem Rührwerk ausgestattet sein, um vor der Entnahme den Gärrest zu homogenisieren. Zum Einsatz können dabei fest installierte und mit einem eigenen Motor versehene Rührwerke (z.B. Tauchmotorrührwerk) oder über eine Zapfwelle per Traktor angetriebene Seitenrührwerke kommen. Bei kleineren Anlagen, die über keine Abdeckung verfügen, werden auch traktorengetriebene Stab- oder Gelenkmixer (Schlepperrührwerk) verwendet.

Das Volumen der Gärrestlager wird maßgeblich durch den optimalen Zeitpunkt der Gärrestausrückführung auf die zu düngenden Flächen bestimmt. In diesem Zusammenhang verbietet die Düngeverordnung ein Ausbringen der Gärreste vom 1. November bis zum 31. Januar auf Ackerland und vom 15. November bis zum 31. Januar auf Grünland. Generell darf die Feldapplikation nicht auf wassergesättigte oder überschwemmte, gefrorene oder durchgängig mit mehr als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckte Böden erfolgen. Die Mindestlagerdauer der Gärreste ist in den JGS-Verordnungen der Länder geregelt und beträgt 180 Tage. Da durch ungünstige Witterungsverhältnisse die Böden über einen längeren Zeitraum nicht für die Ausbringung von Gärresten geeignet sein können, kommen manche Anlagen an die Grenzen ihrer Lagerkapazität. Im Einzelfall kann es je nach Region und örtlichen Gegebenheiten zweckmäßig sein, die Lagerkapazität zu erhöhen, sodass ein größerer Zeitraum überbrückt werden kann.

Gärreste die nicht für die Feldapplikation bestimmt sind (z.B.: durch Einschränkungen der Bioabfallverordnung), unterliegen dieser Regelung nicht. Bei ihnen richtet sich das vorzuhaltende Lagervolumen nach den sich anschließenden Behandlungsschritten des Gärrestes und der daraus resultierenden erforderlichen Pufferkapazität.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen:

Eine offene Lagerung führt zu klima- und geruchsrelevanten Emissionen. Diese sind temperaturbedingt im Sommerhalbjahr höher als im Winter. Bedeutsam für die Emissionen sind die effektive Verweilzeit der Substrate im Fermenter und der erzielte Abbaugrad der organischen Substanz. Insbesondere bei einstufigen Anlagen besteht die Möglichkeit, dass durch eine hohe Raumbelastung sowie Kurzschlussströmungen wenig oder nicht vergorenes Material aus dem Fermenter in das Gärrestlager gelangt. Eine Restausgasung ist die logische Folge. Dabei können Biogas nebst Ammoniak, Lachgas und weiteren klimarelevanten Emissionen entstehen. Das Restgaspotential kann je nach Prozessführung und Anlagenaufbau 3 bis 10% betragen (bei 22°C, ermittelt durch /4/).

Bei offener Lagerung gelangen alle ausgasenden Stoffe ungehindert in die Atmosphäre. Besonders Geruchsemissionen (z.B. Ammoniak) werden als belästigend empfunden. Auch wenn die Geruchsbelastung des Gärrestes geringer ist als bei unvergorener Gülle, so stellen die Ammoniakemissionen eine Reduzierung des im Gärrest gelösten Stickstoffs und somit eine Minderung der Düngequalität dar. **Daher ist die offene Lagerung, bezogen auf die Investitionskosten, zwar die preiswerteste, aber insgesamt die umweltunfreundlichste und für den Landwirt die am meisten verlustbehaftete Technologie.**

Eine Möglichkeit Geruchsemissionen dauerhaft zu senken, sind bspw. nichtgasdichte Abdeckungen (Emissionsschutzdächer) von Behältern und Erdlagern. Diese Abdeckungen sind jedoch mit einem erhöhten monetären und baulichen Aufwand verbunden. Darüber hinaus kann unter einem solchen Dach ein Biogas-Luft-Gemisch, welches ein zusätzliches Sicherheitsrisiko (Ex-Zone) für die Anlage darstellt, entstehen. Andere Formen der Emissionsminderung sind das Auftragen von Schwimmkörpern und Schwimmfolien aus Kunststoff oder anderen Materialien, die weder untergerührt werden können noch biologisch abbaubar sind. Bei der Verwendung einer Schwimmfolie können die Stickstoffverluste bspw. um ca. 75 – 95 % des  $\text{NH}_4\text{-N}$  gesenkt werden /5/.

**Gasdicht geschlossene Lagerbehälter sind am besten geeignet, Emissionen zu vermeiden.** Auch hier können die Stickstoffverluste im Vergleich zur offenen Lagerung um mehr als 85 % reduziert werden (Vergleich der Lagerung vergorener und unvergorener Rinder- und Schweinegülle /5/). Der Düngewert des Gärrests bleibt weitgehend erhalten und das zusätzlich energetisch verwertbare Biogas sorgt für ei-

nen entsprechenden Mehrertrag. Dadurch können sich diese Abdeckungen, die technisch und finanziell am aufwändigsten sind, unter Umständen nach wenigen Jahren amortisieren. **Gasdicht abgedeckte Behälter sind daher bei der Planung und dem Bau einer Biogasanlage nicht abgedeckten Behältern oder Erdbecken vorzuziehen.** Viele Neuanlagen werden mittlerweile nur noch mit der Auflage einer gasdichten Abdeckung genehmigt (z. B. Bayern: Abdeckung bei Abfall- und NaWaRo - vergärenden Anlagen; vgl. Biogashandbuch Bayern Kapitel 2.2.2). Auch der Gesetzgeber übt auf die Anlagengestaltung Einfluss aus. Im novellierten EEG (Einführung zum 01.01.2009) erhalten nach BImSchG genehmigte Anlagen nur den NaWaRo-Bonus bei Nutzung gasdicht abgedeckter Gärrestlager. Verschiedene Arten der Abdeckungen und deren Emissionsverhalten sind in Tabelle 3.4.5 dargestellt.

**Tabelle 3.4.5 Behälterabdeckungen**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
nicht gasdichte Abdeckung (Emissionsschutzabdeckung)	einschaliges, ggf. mastgestütztes Foliendach bei Hochbehältern; schwimmende Abdeckung (Folien oder Schwimmkörper) bei Lagunen und Hochbehältern mit Öffnung für ein Rührwerk	Reduzierung von Geruchsemissionen und Stickstoffverlusten, kein Niederschlagseintrag bei Foliendächern und teilweise Schwimmfolien	Ausgasen von Methan, Anreicherung eines Methan-Luft-Gemisches im Behälter möglich
gasdichte Abdeckung	ein- oder zweischaliges, ggf. mastgestütztes Foliendach; zweischaliges Tragfolienluftdach; Betondeckel; GFK-Abdeckung; Stahlblechdach	mögliche Geruchsstoff- und Gasfassung und energetische Verwertung; kein Niederschlagseintrag; Düngewert der Gülle bleibt weitgehend erhalten, Amortisation nach wenigen Jahren möglich	hoher baulicher Aufwand, gasdichte Abdeckungen für Erdbecken selten ausgeführt

Neben den Anforderungen an luftgetragene Emissionen, sind auch wasserrechtliche Anforderungen zu erfüllen. Hierbei sind alle Behälter absolut flüssigkeitsdicht mit entsprechenden Sicherheitseinrichtungen auszuführen. Je nach Behälterausführung können dies bspw. Überfüllsicherungen und Leckageerkennungsmassnahmen bei Behältern ohne einsehbarer Fußpunkt sein. Die Leckageerkennung besteht i. d. R. aus einer Dichtungsbahn, einem Leckageerkennungsrän und einem Kontrollrohr. Rohrleitungsanschlüsse unterhalb des Flüssigkeitsspiegels des Behälters sind in der Regel mit zwei Schiebern auszustatten. Hier handelt es sich meist um einen Automatikschieber und einen manuell betätigten Schieber. Der Abfüllplatz ist als flüssigkeitsdichte befestigte Fläche auszuführen, dessen Entwässerung in die Biogasanlage erfolgt. Darüber hinaus sollte schon beim Bau auf entsprechende qualitative Ausführung geachtet werden. Fugen, Nähte, Anschlussstellen und Sicherheitseinrichtungen sind durch regelmäßige Kontrollgänge zu inspizieren und zu warten. In Tabelle 3.4.6 sind mögliche Emissionen und Maßnahmen zu deren Vermeidung aufgeführt.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Infolge der Nachgärung können teilweise beachtliche Mengen Biogas entstehen. Wesentlichstes Sicherheitsrisiko sind dessen Brennbarkeit und die Explosionsgefahr bei Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre in Luft. Bei abgedeckten Behältern sind entsprechende Explosionsschutzvorkehrungen zutreffen (vgl. Kap. 5.2.1 Explosionsschutz). Abgesenkte offene Behälter und Erdbecken sind bspw. durch Ketten oder Umzäunungen gegen Hineinfallen zusichern. Des Weiteren sind die Vorgaben der Gassicherheit beim Befahren der Behältern und Gruben zu beachten. Eine kurze Übersicht gibt Tabelle 3.4.7.

**Tabelle 3.4.6 Emissionsverhalten - Lagerung flüssiger Gärreste**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
offene Erdbecken und Behälter	permanentes Ausgasen von Ammoniak, Methan und Lachgas je nach Schwimmdeckenausbildung oder -aufbringung, mögl. Flüssigkeitsaustritt	ggf. Aufbringen einer Abdeckung; Prüfung auf Dichtigkeit und regelmäßige Sichtkontrolle; in Abh. der Lagerausführung Leckageerkennung und Überfüllsicherung notwendig, ausreichend dimensionierter Freibord um Regenwasser aufzunehmen, manueller und automatischer Schieber an Flüssigkeitsstutzen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels
Erdbecken und Behälter mit nicht gasdichter Abdeckung	reduzierte Ausgasung von Ammoniak, Methan und Lachgasemission, mögl. Flüssigkeitsaustritt	Prüfung auf Dichtigkeit und regelmäßige Sichtkontrolle; in Abh. der Lagerausführung Leckageerkennung und Überfüllsicherung notwendig manueller und automatischer Schieber an Flüssigkeitsstutzen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels
Behälter mit gasdichter Abdeckung	mögl. Flüssigkeitsaustritt	Prüfung auf Dichtigkeit und regelmäßige Sichtkontrolle; in Abh. der Lagerausführung Leckageerkennung und Überfüllsicherung notwendig manueller und automatischer Schieber an Flüssigkeitsstutzen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels

**Tabelle 3.4.7 Sicherheitsmaßnahmen - Lagerung flüssiger Gärreste**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
offene Erdbecken und Behälter	Gefahr des Hineinfallens, Erstickungs- und Vergiftungsgefahr beim Begehen des Behälters	Einzäunen oder Absperrketten anbringen; Personenschutz beachten, insbes. bei Befahrung von Behältern
Erdbecken und Behälter mit nicht gasdichter Abdeckung	Gefahr des Hineinfallens, Erstickungs- und Vergiftungsgefahr beim Begehen des Behälters; Explosionsgefahr	Einzäunung, Absperrketten o. ä. anbringen, persönliche Schutzausrüstung, Freimessen und Belüften, Fluchthelfer, ggf. Ex-Zonen festlegen und Zündquellen vermeiden
Behälter mit gasdichter Abdeckung	Erstickungs- und Vergiftungsgefahr beim Begehen des Behälters; Explosionsgefahr	persönliche Schutzausrüstung, Freimessen und Belüften persönliche Schutzausrüstung, Fluchthelfer, ggf. Ex-Zonen festlegen und Zündquellen vermeiden

### 3.4.2 Gärrestenachbehandlung und Verwertung

Im Allgemeinen wird der Großteil der anfallenden Gärreste als organischer Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Dies geschieht meist ohne eine spezielle Aufbereitung des Gärrests. Bei der Verwendung als Dünger ist generell zu beachten, dass die Grenzwerte bezüglich der zulässigen Schadstoffkonzentrationen und der Störstoffanteile gemäß DüMV Anhang 2, Tabelle 1 und BioAbfV § 4 eingehalten werden. Darüber hinaus dürfen nur Gärreste als Dünger in Verkehr gebracht werden, deren Ausgangs- und Zuschlagstoffe in Tabellen 11 und 12 der DüMV gelistet sind. Dies gilt sowohl für unbehandelte als auch behandelte Gärreste. Da in den folgenden Unterkapiteln nur am Rande auf die Gärrestausrückung eingegangen wird, bietet z.B. das Biogashandbuch Bayern in Kapitel 1.6 bzw. Kap. 2.2.7 ausführlichere Informationen zum Thema ([www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)).

#### 3.4.2.1 Feste Gärreste

Feste Gärreste, beispielsweise von Festmist oder Energiepflanzen, können unaufbereitet auf das Feld als Dünger aufgebracht werden. Voraussetzung ist, dass der Gärrest streu- und rieselfähig, also gut verteilbar ist. Hierfür stehen verschiedene landwirtschaftliche Geräte zu Verfügung.

Allgemein können feste Gärreste aus der Feststofffermentation oder aus der Separation flüssiger Gärreste durch verschiedene Aufbereitungsschritte entsprechend der gewünschten Verwertung konditioniert werden. Hauptverwertungsweg ist die Verwendung als Düngemittel. Daneben ist zusätzlich die Nutzung als Brennstoff möglich. Aufbereitungsverfahren sind z. B. die Nachkompostierung in geschlossenen Boxen, die Trocknung mittels Warmluftzufuhr über Trommel-, Schubwende-, Bandrockner bzw. durch Selbsterhitzung und technische Belüftung (verfahrenstechnisch mit der geschlossenen Kompostierung gleichzusetzen) und die sich einer Vortrocknung und Granulierung anschließende Pelletierung. Diese Verfahren können zur Schaffung gut lagerfähiger und/oder brennbarer Produkte (niedriger Wassergehalt) angewendet werden. Hierbei wird auf die mögliche Entstehung von Emissionen durch geruchsintensive Stoffe wie Ammoniak und auf eine mögliche Staubentwicklung hingewiesen. Ggf. sind solchen Aufbereitungsanlagen Abluftreinigungsanlagen, wie Staubfilter, Wäscher und Biofilter oder weitergehende Maßnahmen nachgeschaltet (siehe Kapitel 5.1.2.1 Behandlung der Prozessabluft).

Die Verwendung als Düngemittel sollte bevorzugt in Betracht gezogen werden, da sich so Nährstoffkreisläufe schließen und die Verwendung mineralischer Dünger reduzieren lassen. Dies hat enorme positive Umwelteffekte und kann sich bei einem guten Stoffstrommanagement der Biogasanlage auch wirtschaftlich als vorteilhaft erweisen. Einen Überblick über verschiedene Aufbereitungs- und Verwertungspfade gibt Tabelle 3.4.8.

### 3.4.2.2 Flüssige Gärreste

Auch flüssige Gärreste werden im überwiegenden Teil aller Anwendungen ohne Aufbereitungsschritte als Düngemittel eingesetzt. Aufbereitungsschritte für eine anderweitige Verwendung werden beispielsweise notwendig, wenn Substrate eingesetzt werden, die nicht als Ausgangsstoffe für die Aufbereitung von oder als Zugabe zu Düngemitteln entsprechend der Tabellen 11 und 12 der DüMV zugelassen sind oder wenn Gärreste aus wirtschaftlicher Sicht für eine Feldapplikation nicht geeignet erscheinen bzw. keine Flächen verfügbar sind. Ausführlichere Informationen zum Thema Gärrestausbringung und Schadstoffgrenzwerte bietet z.B. das "Biogashandbuch Bayern" in Kapitel 1.6 bzw. Kap. 2.2.7

Besonders die mechanische Separation mittels Pressschnecken steht bei der fest-flüssig-Trennung im Mittelpunkt (vgl. Abbildung 3.4.1). Des Weiteren werden bspw. Dekanter, Zentrifugen und vereinzelt auch Schwingsiebe eingesetzt. Von Vorteil ist die relativ einfache, gut verfügbare Technik. Nachteilig ist die fehlende Möglichkeit der Abtrennung von Nährstoffen (gezielte Nährstoffaufteilung feste/flüssige Phase). Die erzielbaren Trockensubstanzgehalte sind variabel einstellbar und können bis zu 35 % erreichen. Eine Vorstufe der mechanischen Separation kann die Fällung von Nährstoffen (Phosphor) mittels Eisen- und Aluminiumsalzen, sowie die sich anschließende Ausflockung durch Zugabe von Polymeren sein. Durch Sedimentation oder Filtration werden die Feststoffe dann bspw. einem Dekanter oder der Pressschnecke zugeführt. In einem bestimmten Wertebereich kann hier Einfluss auf den Nährstoffgehalt der Phasen ausgeübt werden. An diese Verfahren zur groben Trennung der festen und flüssigen Phase, können sich bei weiterem Aufbereitungsbedarf bspw. Ultrafiltration und Umkehrosiose anschließen. Die Ultrafiltration dient als eine Art Feinsieb, indem der vorbehandelte Gärrest durch Polymer- oder Keramikmembranen geführt wird. Die Feinreinigungsleistung ist sehr hoch, geht aber mit einem entsprechenden Betriebs- und Wartungsaufwand einher. Der Vorteil von Verfahren auf Basis der Umkehrosiose ist das Aufkonzentrieren gelöster Nährstoffe, die als Dünger verwertet werden können. Das andererseits entionisierte Wasser hat eine hohe Reinheit, so dass es z. B. in den Vorfluter eingeleitet werden kann. Dies bewirkt eine enorme Volumenreduzierung des zu behandelnden Gärrests. Nachteilig sind die hohen Investitionskosten, sowie die vorhergehend notwendige mechanische Separierung. Einige Hersteller bieten Komplettlösungen an und stellen Aufbereitungssysteme zur Feinreinigung z. B: in Containerbauweise bereit (vgl. Abbildung 3.4.1), bei der modular auf verschiedene Massenströme und Anforderungen eingegangen werden kann.

**Tabelle 3.4.8 Übersicht Gärrestenachbehandlung und Verwertung**

Art	Gärrest	Behandlung	Verwertung
fest	Gärreste, gut streu-, rieselfähig und verteilbar sind (z.B. Festmist)	keine	Dünger
	Gärreste aus der Feststofffermentation und abgepresste Gärreste aus der Flüssigvergärung (z.B. pflanzliche Stoffe aus verschiedenen Bereichen, Speisereste, Biotonne, Tierische Nebenprodukte (Kat.3), Gülle, Festmist Jauche)	geschlossene Kompostierung	Dünger, Erde
		Trocknung (Trommel-, Schubwende-, Band-trockner)	Dünger, Weiterverarbeitung Granulierung / Pelletierung
	Gärreste, die nicht für eine Feldapplikation genutzt werden dürfen (z.B. Hausmüll aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit Vergärungsstufe)	Trocknung (technisch mit der geschlossenen Kompostierung vergleichbar) -eventuell mit sich anschließender weiterer mechanischer Aufbereitung und Stofftrennung	Brennstoff und/oder Reststoff (inert) für Deponierung
	vorgetrocknete Gärreste	Granulierung/ Pelletierung	Dünger, Brennstoff
flüssig	Gärreste aus der Flüssigvergärung (z.B. pflanzliche Stoffe aus verschiedenen Bereichen, Speisereste, Biotonne, Tierische Nebenprodukte (Kat.3), Gülle, Festmist Jauche)	keine	Dünger, Rezirkulat zum Anmischen
		chemische Trennung: Fällung (Zugabe von Eisen- und Aluminiumsalzen) - Erzielen eines phosphathaltigen Düngers Flockung (Zugabe von Polymeren) - Verklumpung und anschließende fest-flüssig-Trennung durch Sedimentation, Filtration	flüssige Phase: Dünger oder zur weiteren Aufbereitung, feste Phase vgl. oben
		mechanische Separation (Presskolben, Schwingsiebe, Dekanter, Zentrifugen, Ultrafiltration)	flüssige Phase: Dünger oder zur weiteren Aufbereitung, Einsatz als Prozesswasser oder Rezirkulat zum Anmischen, feste Phase vgl. oben
		Umkehrosiose	entionisierte Phase - bspw. Einleitung in Vorfluter, aufkonzentrierte Phase als Flüssigdünger



**Abbildung 3.4.1 Pressschnecke (links), Membran-Containeranlage mit Ultrafiltration und Umkehrosiose (rechts); Fotos: FAN Separator (links), Haase Energietechnik (rechts)**

### 3.5 Literatur

- /1/ Görisch U, Helm M (Hrsg.), Biogasanlagen -Planung, Errichtung und Betrieb von landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen, Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 2006
- /2/ Jung, U.: Erste Ergebnisse der Trocken-Nass-Simultanvergärung Halle-Lochau – Qualitätskompost aus festen Gärresten; Fachvortragsreihe "Bioabfallbehandlung und -verwertung" der Gütegemeinschaft Kompost Region Berlin/Brandenburg/Sachsen-Anhalt anlässlich der Grünen Woche 2007; Berlin; 26.01.2007
- /3/ Jung, U.: Abfallwirtschaftliche Vergärungsanlage Halle-Lochau – Ergebnisse zu Komposterzeugung und Biogasertrag; Beitrag zum Biomasse-Forum "Weiterentwicklung der biologischen Abfallbehandlung vor dem Hintergrund von TA-Luft und EEG" (Download, [www. abfallforum.de](http://www.abfallforum.de)), Witzenhausen, 24./25.10.2007
- /4/ FNR (Hrsg.); Ergebnisse des Biogas-Messprogramms: erstellt durch die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft; Gülzow 2005
- /5/ Hersener J.-L., Meier U., Dinkel F.: Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung; Im Auftrag des Amt für Umweltschutz Kanton Luzern und in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie, Schweiz, Schlussbericht April 2002



## 4 Anlagenbetriebsweise

Erkenntnisse über den optimalen Betrieb einer Anlage sind Bestandteil einer Beschreibung zum Stand der Technik ("Gute fachliche Praxis") da nur das optimale Zusammenspiel von Mensch und Technik eine zielgerechte und nachhaltige Energieträgerbereitstellung ermöglichen. Die Herangehensweise an diese Frage erfolgt in zwei Schritten. Zum einen erfolgt eine grundsätzliche Betrachtung der Betriebskonzepte, welche bereits bei Planung und Bau der Anlage zu beachten ist. Zum anderen wird in einem zweiten Schritt das praktische Betriebsmanagement vor Ort betrachtet.

Häufig besteht ein Zusammenhang zwischen der Betriebsweise und der eingesetzten Technik. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird auf entsprechende Ausführungen in den anderen Kapiteln jeweils nur verwiesen. Die Grundlagen zu Betriebsparametern wie Raumbelastung, Verweilzeit etc. werden als bekannt vorausgesetzt. Die Art der Beschickung – kontinuierlich/ semikontinuierlich/ diskontinuierlich – wurde bereits unter 3.2.1. Fermenterbauformen behandelt.

### 4.1 Verfahrensvarianten

#### 4.1.1 Trockensubstanzgehalt

##### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

Zwischen den Begriffen "Nassvergärung" und "Trockenvergärung" (besser: Feststoffvergärung) besteht keine eindeutige Abgrenzung. Im Folgenden wird daher lediglich von der Vergärung pumpfähiger bzw. stapelfähiger Substrate gesprochen.

In durchmischten Rundbehältern können sowohl pumpfähiger Substrate, als auch in bestimmtem Umfang stapel- und schüttbare Substrate vergoren werden, während in speziell entwickelten Systemen mit Boxenfermentern ausschließlich stapelbare Materialien verarbeitet werden können..

Bei Nassvergärungsverfahren sind Trockensubstanzgehalte von bis zu 10 Masseprozent in der Fermenterflüssigkeit vorzufinden. Als Faustregel gilt eine Grenze von 15 Masseprozent für die Pumpbarkeit. Jedoch ist diese Angabe auch qualitativ zu werten. Einige Substrate mit feindisperser Partikelverteilung sind auch bei TS-Gehalten von bis zu 20 Masseprozent noch pumpfähig, beispielsweise dispergierte Speisereste aus dem Tankfahrzeug. Hingegen liegen andere Substrate bereits bei 10 Masseprozent in der stapelbaren Form vor, wie z.B. Obstschalen.

Bei der Feststoffvergärung sind oft Perkolationsverfahren mit Batchbatterien – häufig 4 Boxenfermenter – zu finden. Der groß dimensionierte Perkolattank (ca. 50 % Raumvolumen des Gesamtvolumens der Batchbatterie) fungiert gleichzeitig als Methanstufe. Das Perkolat wird redundant über dem Gärgut versprüht, dies bedeutet täglich eine Umwälzung des Perkolattanks bezogen auf die Batchbatterie.

##### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Der bei der Nassvergärung erreichbare Abbaugrad ist von mehreren Prozessparametern (z.B. Temperatur, Verweilzeit, Durchmischung) abhängig. Des Weiteren sind bei Abfallsubstraten - je nach Substratart mehr oder weniger - aufwändige Aufbereitungsschritte erforderlich, die aufgrund der Materialbewegung mitunter Geruchsemissionen bedingen können. Diese werden durch eine Einhausung mit Ablufferfassung und Ableitung über eine Biofilteranlage gemäß TA Luft neutralisiert.

Bei der Feststoffvergärung in Boxensystemen kann eine aufwändige Vorbereitung des Materials entfallen. Verpackungsreste und andere nichtvergärbare Bestandteile verbleiben als sog. "Strukturgut" im Gärkörper und werden erst am Ende der Prozesskette durch Aussiebung entfernt. Im Gärrest können unvergorene Zonen vorliegen, die Methanfreisetzung zur Folge haben. Diese Erscheinung kann durch ge-

schickte Einlagerungstechnik des Gärkörpers weitgehend minimiert werden, so z.B. durch Schichtung von Gärgut und – weiterem – Strukturmaterial, wie z.B. Strauchgut. Insbesondere bei Batch-Vergärungsverfahren, bei denen das Material wieder mit mobiler Technik aus dem Gärraum entnommen werden muss, sind Emissionen aus der Phase der Herstellung einer begehbaren Atmosphäre im Fermenter zu erwarten, da bei der Belüftung noch im Fermenter enthaltenes und weiter im Gärgut gebildetes Methan an die Umgebung abgegeben wird. Wie bereits in 3.2.1.3 beschrieben, wird zur Minderung von Methangasaustritten abschnittsweise abgelüftet. In Phase 1, während noch hohe Methangehalte im Abgas sind, erfolgt die Ablufführung, z.B. mit Motorabgas, in das geschlossene Gassystem. In Phase 2, bei nunmehr verbleibenden Spuren von Methan im Abgas, erfolgt die Ablufführung über den Biofilter an die Umgebung (vgl. Abbildung 4.1.1).

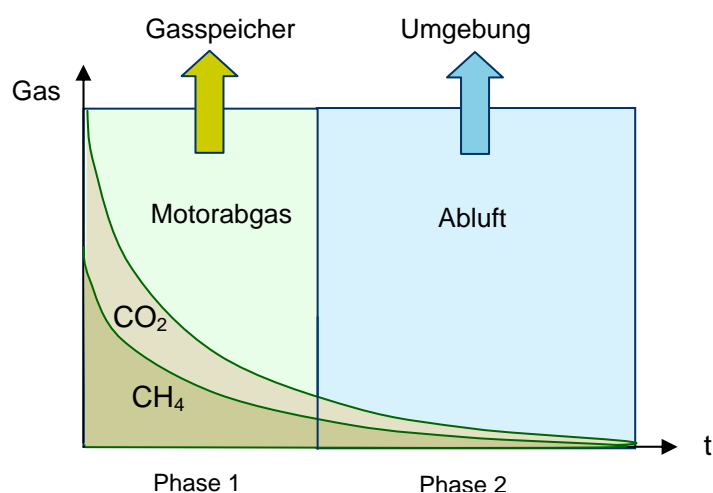


Abbildung 4.1.1 Abschnittsweises Ablüften von Boxenfermentern

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die Vergärungsverfahren funktionieren weitestgehend störungs- und gefahrenfrei, wenn die Anwendung im Sinne des beabsichtigten Konzeptes erfolgt. Verfahrensbedingte Probleme treten vermehrt ein, sobald Substrate einer bestimmten Konsistenz nicht im dafür entwickelten Verfahren eingesetzt werden. Beispiele für solche problembehafteten Betriebsweisen sind einerseits das Einbringen von stapelbaren Monochargen in gerührte Rundbehälter mit der möglichen Folge erhöhter Schäden an Rührwerken und Verstopfungen in Leitungen. Andererseits ist die Verwendung strukturarmer Stoffe in Boxenfermentern schwierig. Dieses Vorgehen führt im Boxenfermenter zum Verstopfen der Abflüsse und damit verbunden zum Aufbau einer Flüssigkeitssäule im Fermenter. Beim Öffnen der Tür kommt es in diesem Fall zu einer schlagartigen Entleerung.

Darüber hinaus werden bei Batch-Vergärungsverfahren, bei denen das Material wieder mit mobiler Technik aus dem Gärraum entnommen werden muss, während der Phase der Herstellung einer begehbaren Atmosphäre im Fermenter und beim Wiederanfahren nach erneuter Befüllung die Explosionsgrenzen mehrfach durchfahren. Dies muss messtechnisch ausreichend kontrolliert erfolgen. Zudem ist eine Türöffnung in dieser Phase zu unterbinden.

#### **4.1.2 Anzahl der Prozessphasen und Prozessstufen**

##### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

Als Phase wird das biologische Milieu - Hydrolyse- bzw. Methanisierungsphase – mit den jeweils spezifischen Prozessbedingungen wie pH-Wert und Temperatur verstanden. Im Falle der Verarbeitung im sel-

ben Behälter wird von einphasiger Prozessführung gesprochen. Bei Durchführung von Hydrolyse und Methanisierung in getrennten Behältern ist der Betrieb zweiphasig. Die Stufe bezeichnet den Prozessbehälter unabhängig von der biologischen Phase. Demnach ist eine Anlage bestehend aus Hydrolysebehälter, Fermenter und Nachgärbehälter zweiphasig aber dreistufig (bei abgedecktem Gärrestlager vierstufig).

Bei den **kontinuierlichen Verfahren** existieren im Wesentlichen drei Varianten. Eine gasdicht verschlossene Vorlage bzw. eine Hydrolysestufe wird als eigenständige Phase betrachtet. Eine ausführliche Beschreibung ist in der *Handreichung Biogas* gegeben /1/.

- 1) Durchflussverfahren: Dem Fermenter schließt sich ein offenes Gärrestlager an. Diese Variante ist zweistufig, da das offene Gärrestlager nicht gleichzeitig als Prozessbehälter fungiert. Das offene Gärrestlager ist nicht mehr als Stand der Technik zu betrachten, obwohl die Mehrzahl der bisher bestehenden Biogasanlagen so ausgeführt ist (vgl. Abbildung 4.1.2).
- 2) Speicherverfahren: Fermenter und Gärrestlager bestehen aus einem einzigen Behälter. Dies entspricht einer zweistufigen Betriebsweise (vgl. Abbildung 4.1.3).
- 3) Kombiniertes Durchfluss-Speicherverfahren: Diese Variante besteht aus Fermenter und gasdicht abgedecktem Gärrestlager. Das Verfahren ist zweistufig, da vom Gärrestlager noch Biogas erfasst wird (vgl. Abbildung 4.1.4).

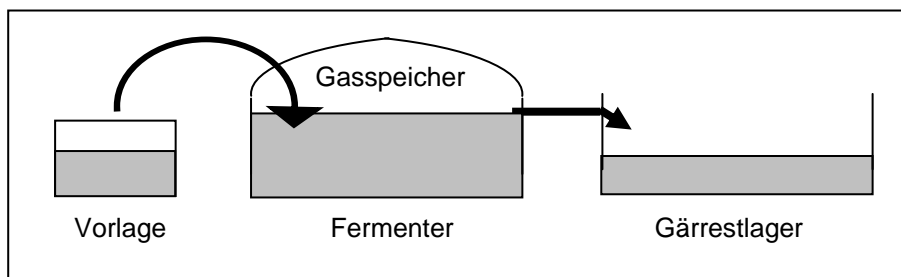


Abbildung 4.1.2 Durchfluss-Verfahren (zweiphasig, zweistufig) /1/

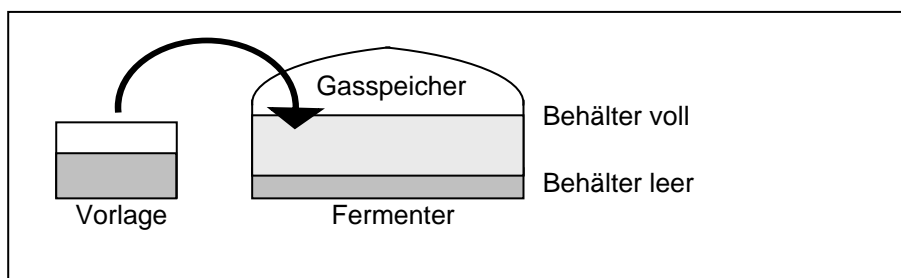


Abbildung 4.1.3 Speicher-Verfahren (zweiphasig, zweistufig) /1/

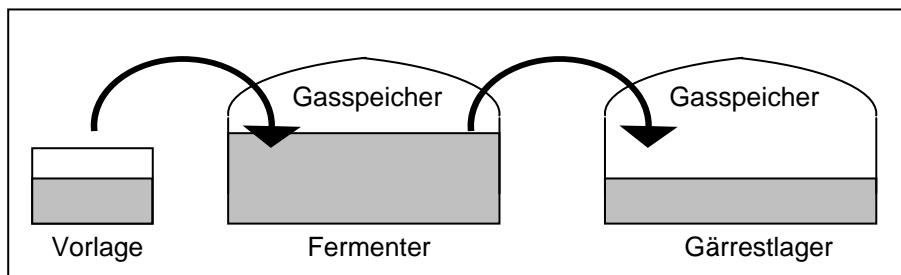
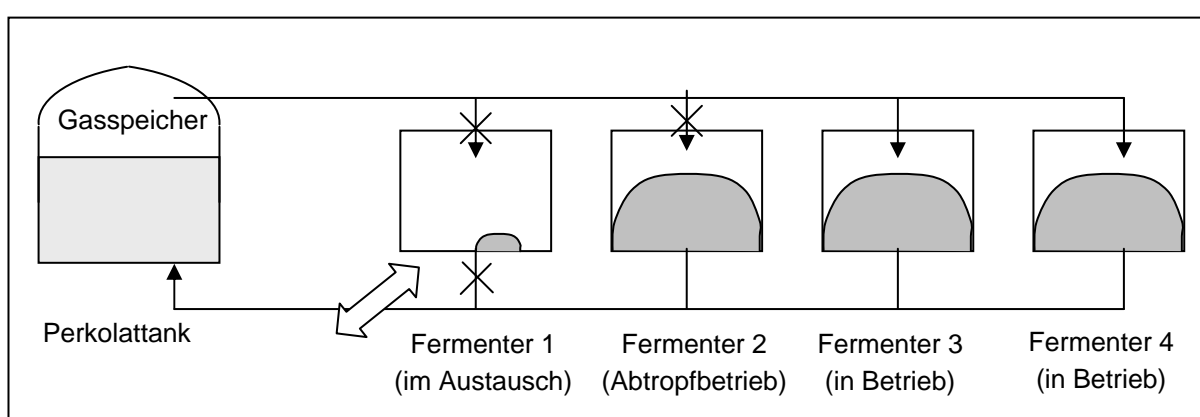


Abbildung 4.1.4 Kombiniertes Durchfluss-Speicher-Verfahren (zweiphasig, dreistufig) /1/

Bei sämtlichen Verfahrensvarianten wird eine regelmäßige Beschickung in kleinen Mengen vorausgesetzt - insbesondere im einphasigen Betrieb ohne Hydrolysestufe. Eine stoßweise Beschickung führt zur Überlastung der Fermenterbiologie. Mehrstufiger Betrieb eröffnet die Option der Rückführung von mit Methanbildnern angereichertem Material aus dem Nachgärer bzw. dem – abgedeckten (!) – Gärrestlager in den Fermenter mit dem Ziel der Stabilisierung der Methangärphase. Das konkrete Rückführverhältnis ist je nach Anlage zu ermitteln.

Im Vergleich hierzu hat sich bei den **diskontinuierlichen Verfahren** eine meist zweistufige Betriebsweise herauskristallisiert. Die beiden Stufen bestehen in der Regel aus Boxenfermentern (-batterien) und Perkolat Speicher. Die Fermenterbatterie besteht meist aus vier Einheiten. Dadurch wird ein quasikontinuierlicher Betrieb erreicht. Während ein Fermenter sich im Materialaustausch befindet, sind drei weitere Fermenter im Betrieb. Der jeweils nächste Fermenter wird zum Wechsel vorbereitet, indem das Perkolatregime eingestellt wird (Abtropfbetrieb). Näheres zeigt Abbildung 4.1.4.



**Abbildung 4.1.5 Diskontinuierliches Verfahren mit Perkolattank und Viererbatterie**

Des Weiteren können die diskontinuierlichen Verfahren in ein- und zweiphasige Variante untergliedert werden:

- 1) Feststoffvergärung einphasig: Das Gärgut in der Boxenkammer wird angeimpft und stark perkoliert, so dass zeitnah die Methanphase eintritt. Im Perkolat Speicher ist dauerhaft die Methanphase gegeben.
- 2) Feststoffvergärung zweiphasig: Es erfolgt keine Animpfung des Gärgutes bei moderater Perkolation im Boxenfermenter. Hierdurch wird hauptsächlich ein Milieu der Versäuerung und Hydrolyse in der Boxenkammer geschaffen, der Perkolat Speicher verbleibt als alleinige Methanphase.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Kontinuierliche Verfahren erbringen bei kurzer Verweilzeit im zweiphasigen und auch im mehrstufigen Betrieb eine erhöhte Gasproduktion aufgrund des weitergehenden Organikabbaus und der Verminderung des Austrages von Frischmaterial. Gleichzeitig entstehen derart weniger Methanemissionen bei der Gärrestlagerung und -ausbringung. Andererseits stellt sich bei zweiphasiger Betriebsweise die Frage nach dem Verbleib der Hydrolysegase. Deren Ableitung über Biofilter mindert lediglich die Geruchsemissionen, nicht aber den ggf. auftretenden Methanschluß sowie Lachgas- und H<sub>2</sub>S-Emissionen. Aus diesem Grunde empfiehlt sich die Einleitung der Hydrolysegase in den Gasspeicher. Diese Maßnahme mindert zwar geringfügig die Gasqualität, mildert aber die gesamte Emissionspalette der klimawirksamen Spurengase, da diese die Gasaufbereitungsstrecke mit motorischer Verbrennung durchlaufen. Bei einer gut geführten Hydrolyse (ohne Rückführung von Fermenterinhalt oder Gärresten) können die Hydrolysegase auch aus-

schließlich aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoffanteilen bestehen, die ggf. nicht für die weitere Verwertung geeignet sind.

Das Speicher-Durchflussverfahren ist gilt als Verfahren der Wahl. Die in diesem Zusammenhang vorgenommene gasdichte Gärrestlagerabdeckung bringt außer dem ökologischen Effekt der Emissionsvermeidung klimawirksamer Gase auch einen wirtschaftlichen Vorteil. Bei den üblichen Verweilzeiten ist mit einer Restausgasung von 5 – 15 % /2/ der technisch-wirtschaftlich erzielbaren Gesamtgasmenge zu rechnen. Aus diesem Ansatz ergibt sich eine Refinanzierung der Gärrestlagerabdeckung in einem Zeitraum von 7 – 8 Jahren. Dies ist weit unterhalb der kalkulierten Gesamtlaufrzeiten von 20 – 25 Jahren.

Bei diskontinuierlichen Verfahren resp. Feststoffvergärung besteht im einphasigen Betrieb im gesamten System leicht basisches Milieu. Dieser Umstand begünstigt Carbonat-Ablagerungen und Kristallbildung in Rohren und Pumpen mit der Folge von Verstopfungen im Perkolatsystem. Ein Ausfall der Perkolation führt in den Boxenfermentern zu einem unvollständigen Fettsäureabbau mit übel riechenden Geruchsemissionen bei der Entnahme des Gärgutes. Zur Vorbeugung gegen Ausfälle der Perkolation wird die Perkulationsmenge als Kontrollparameter eng überwacht sowie regelmäßige Rohrinnenreinigungen vorgenommen. Zweiphasiger Betrieb erlaubt das abwechselnde Durchspülen der Rohrleitungen mit versäuertem Sickerwasser aus den Fermentern. Dadurch wird die Bildung der Ablagerungen verhindert.

Unbenommen von solchen Vorfällen fällt stets ein Gärrest an, welcher Emissionspotenzial hinsichtlich klimarelevanter Ausgasungen besitzt. Es gilt bei der Einstellung der Verweilzeit ein Optimum zwischen Wirtschaftlichkeit (eher kurz) und weitgehender Umsetzung der Biomasse (eher lang) zu finden. Je nach Substrat und System bieten sich Verweilzeiten zwischen 3 und 5 Wochen je Charge an. Nach der Entnahme ist das Material durch unmittelbare gründliche Durchmischung, z.B. durch Kompostwender, zu lüften, wodurch von der anaeroben in die aerobe Fahrweise überführt wird. Dies mindert den besonders klimarelevanten Methanausstoß.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Unabhängig von kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Betriebsweise gilt der Befund, dass sich mit zunehmender Anzahl von Phasen und/oder Stufen die biologische Effizienz des Verfahrens verbessert, aufgrund des erhöhten technologischen Aufwandes jedoch auch die Störanfälligkeit zunimmt. Insbesondere bei unkontrollierter Rückvermischung von Gärs substrat aus der Methanphase in die Hydrolysephase sind biologische Überreaktionen nicht auszuschließen (vgl. Ausführungen zu Pumpendichtheit in 3.2.3.).

Bei einigen Anlagen ist die gelegentlich erforderliche Materialrückführung aus einem Gärrestlager in den Fermenter nicht immer über die Zentrale Pumpensteuerung (ZPS) geregelt, an die zumeist Fermenter und Nachgärer angeschlossen sind. Zur Umpumpung finden stattdessen externe Schlauchverbindungen über äußere Behälteranschlüsse Anwendung. Ein derartiger Betrieb ist bei Überwachung vorzunehmen, um unkontrolliertes Auslaufen großer Behälter mit nachfolgender Gasfreisetzung zu verhindern.

### **4.1.3 Prozesstemperaturführung**

#### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

Grundsätzlich existieren die zwei Temperaturbereiche mesophil und thermophil. Entgegen zu Lehrbuchangaben werden in der betrieblichen Praxis breitere weitergesteckte Bereichsgrenzen erreicht, d.h. von 36°C bis 44°C für mesophile und 50°C bis 58°C für thermophile Betriebsführung.

Durch thermophile Betriebsweise kann gegenüber mesophilem Betrieb eine bessere Biogausbeute – jedoch eine nur geringfügig bessere Methanausbeute – erreicht werden. Jedoch ist der thermophile Betrieb mit Instabilitäten behaftet, weil im Vergleich zum mesophilen Betrieb eine eingeschränkte Diversität

an Mikroorganismen besteht. In der Praxis äußert sich dies an der größeren Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen, insbesondere Temperaturabsenkung.

Bislang existieren unterschiedliche Erkenntnisse darüber, welche Temperaturführung bei mehrstufigem Betrieb zu bevorzugen ist. Einen Überblick über die gängigsten Argumente gibt Tabelle 4.1.1.

**Tabelle 4.1.1 Übersicht zur Temperaturführung bei mehrstufigem Betrieb**

Fermenter	Nachgärer	Vorteile	Nachteile
mesophil	mesophil	stabile Biologie	Organikabbau dauert länger
thermophil	mesophil	schneller Strukturaufschluss, bessere Fließfähigkeit in weiterer Prozesskette	Biologie anfällig, da Fermenterbiologie am empfindlichsten
mesophil	thermophil	stabile Biologie bei leicht erhöhter Gasausbeute und guter Fließfähigkeit ab Nachgärer	erhöhte Ammoniakanteile im Biogasstrom belasten BHKW-Motor (s.u.)
thermophil	thermophil	erhöhte Gasausbeute (jedoch bei etwas geringerem Methangehalt)	anfällige Fahrweise, i.d.R. weniger Energie für externe KWK-Nutzung verfügbar

Welche Kombination zum Einsatz kommt, hängt oftmals von der Substratzusammensetzung ab. Am weitesten verbreitet ist die Kombination mesophil/ mesophil, so bei Einsatz von Gülle und den meisten Nachwärsen. Komponenten mit thermophiler Betriebsweise finden gelegentlich bei Substraten mit erhöhtem Fasergehalt Anwendung, so z.B. bei Grünschnitt oder Gemüseabfällen.

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Die thermophile Betriebsweise führt zu erhöhten Anteilen von Spurengasen wie  $H_2S$  und N-Verbindungen im Biogasstrom. Hierdurch erhöhen sich potenziell die Abgaswerte der motorischen Verbrennung. Dies kann jedoch durch motorische bzw. sekundäre Maßnahmen abgefangen werden und stellt keine zusätzliche Emissionsgefährdung dar. Ebenso wenig erfolgt eine relevant stärkere Diffusion von Biogasmolekülen durch die Gasspeicherfolie bei aufgesetztem Membranspeicher.

Mit steigender Temperatur - bei thermophiler Betriebsweise - verschiebt sich das  $NH_3-NH_4-N$ -Gleichgewicht zu Gunsten des vergleichsweise giftigen Ammoniaks, welches aber im geschlossenen System verbleibt. Der erhöhte Energieeintrag schmälert die externe KWK-Anwendung und somit das  $CO_2$ -Minderungspotenzial.

Durch mesophile Betriebsführung wird bei gleicher Verweilzeit weniger Organik abgebaut, was durch längere Verweilzeiten ausgeglichen werden kann. Nicht abgebaute Organikreste könnten bei offenem Gärrestlager Emissionen zur Folge haben. Grundsätzlich führt jede Behandlung in einer Biogasanlage zu einer verbesserten Hygienisierungswirkung gegenüber der Nichtbehandlung von Substraten. Die Hygienisierungswirkung des thermophilen Betriebes ist weitergehend als die des mesophilen Betriebes.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Thermophile Betriebsweise mindert einerseits das Risiko von technischen Ausfällen, da aufgrund geringerer Viskosität des Gärgutes Pumpen und Armaturen geschont werden. Dies setzt allerdings voraus, dass Kunststoffrohre und -teile als auch Betonkonstruktionen auf die höheren Temperaturen (und die damit verbundenen Spannungen) ausgelegt sind. Andererseits vergrößert sich die Gefahr von Schaumbildung, welche bei heftigem Auftreten zum Austritt von Gärflüssigkeit über die Sicherungseinrichtungen führen kann. Geeignete Maßnahmen bestehen in einer verstärkten Prozessüberwachung (s.u.).



#### 4.1.4 Prozessunterstützende Zusatzstoffe

##### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

Üblicherweise sind im Biogasprozess alle für die Aktivität der Mikroorganismen erforderlichen Substanzen ausreichend vorhanden. Jedoch hat sich bei den in der Vergangenheit verstärkt zum Einsatz gekommenen Monovergärungen - insbesondere von Maissilagen - gezeigt, dass nach mehreren Monaten Betriebszeit Mangelercheinungen auftreten können. Diese wirken sich meist in einer Minderung der Gasqualität aus, d.h. einem geringeren Methangehalt. Ebenso kann eine Minderung der Gasmenge die Folge sein. Aufgrund dieser Beobachtungen hat sich eine Diskussion zum Einsatz von Zusatzstoffen entwickelt, welche auftretende Mangelercheinungen mildern oder beheben sollen.

Grundsätzlich gibt es drei Kategorien von Zusatzstoffen. Hierzu zählen Nährstoffe, unterteilt in Spurenelemente bzw. Mikronährstoffe (Kobalt, Nickel, Selen, Kupfer, Zink, Molybdän und Mangan) und Makronährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalzium etc.), Enzyme zum Zwecke der Aufspaltung von komplexen Substanzen sowie Füllkörper bzw. mineralische Substanzen als zusätzliche Anwachfläche für Mikroorganismen. Durch den Einsatz von Zusatzstoffen wird hauptsächlich ein erhöhter Methangehalt im erzeugten Biogas angestrebt.

Nach jetziger Erkenntnis ist die Wirksamkeit von Zusatzstoffen je nach Kategorie unterschiedlich zu bewerten. Durch den Einsatz von Mikronährstoffen konnten Ergebnissteigerungen bis zu 10 % gegenüber KTBL-Werten und zusätzliche Prozesssicherheit erreicht werden /3/. Hingegen wurde wenig Auswirkung durch den Einsatz von Makronährstoffen oder den Zusatz schwer abbaubarer Substanz als Besiedlungsfläche für Mikroorganismen berichtet /4/.

##### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Prozesshemmung – auch durch Nährstoffmangel – ist grundsätzlich zu vermeiden, da dies zu unvergorenen Bestandteilen bei der Gärrestausrückführung und damit verbunden ggf. zu zusätzlichen Emissionen führen kann. Nährstoffausgleich wird z.B. bei Monovergärung angewandt. Die Ausführung von Monovergärungen bedingt die Anlage von Silagelagern, welche zur weitgehenden Emissionsvermeidung entsprechend der Ausführungen zur Lagerung von Substraten ausgeführt werden.

Direkte Emissionswirkung ist kaum zu befürchten: Cellulasepräparate sowie andere Zusatzstoffe unterliegen nicht der Einstufung nach den Wassergüteklassen des Wasserhaushaltsgesetzes (WGK). Trotzdem sollen sie nicht unverdünnt in Erdreich, Gewässer und Abfluss gelangen /SDB/.

##### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Spezifische Sicherheitsrisiken sind beim Einsatz von Fermentationshilfsstoffen bei Beachtung der Sicherheitsdatenblätter (SDB) nicht zu befürchten. Der Umgang mit Stoffen in Pulverform ist als gesundheitsschädlich gemäß SDB eingestuft. Das Material ist nicht einzuatmen, Staubentwicklung bedingt hypothetisch die Gefahr von Entflammbarkeit und Staubexplosion (vgl. Kapitel 5. Sicherheit).

#### 4.2 Betriebsziele

Ungeachtet der Verfahrensvarianten bestehen grundlegende Betriebsziele, die der Anlagenbetreiber festlegt. Auf stofflicher Ebene wird zwischen durchsatz- oder energieorientierter Fahrweise unterschieden, während auf energetischer Ebene Ein- und Mehrmotorenanlage sowie strom- oder wärmegeführter Betrieb vorgegeben werden.

#### 4.2.1 Stoffliche Ausrichtung

##### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

Bei durchsatzorientiertem Betrieb erfolgt die Verarbeitung großer Substratmengen in kurzer Verweilzeit. Einbußen bei der Gasausbeute sowie Gasbildungsschwankungen werden in Kauf genommen. Dieses Vorgehen ist tendenziell bei abfallwirtschaftlichen Anlagen vorzufinden, welche Einnahmen vorwiegend durch Inputgebühren generieren. Die Einnahmen durch Verstromung des Biogases nach EEG sind nachgeordnet.

Die energieorientierte Betriebsweise basiert auf dem sparsamen Einsatz von Substraten. Durch entsprechend moderate Raumbelastung und ausreichend lange Verweilzeiten wird eine optimale spezifische Gasausbeute erzielt. Diese Strategie wird vor allem von Nawaro-Anlagen mit finanzieller Belastung durch den Rohstoffankauf, aber grundsätzlich von allen Anlagen die auf der Basis des Energieverkaufes errichtet werden, verfolgt. Die Betriebseinnahme wird durch Verstromung des Biogases nach festen Vergütungssätzen und Boni nach EEG erzielt.

Diese dargestellten Ansätze stellen jeweils Extrema dar, während der reale Betrieb häufig aus Mischformen besteht.

##### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Ein durchsatzorientierter Betrieb neigt bei Einsatz heterogener Substrate mitunter zu kurzfristig starker Gasbildung mit möglicher Folge von Gasaustritt über die Sicherungseinrichtungen, wobei dies nicht an der (Sicherheits-)Technik liegt. Durch angepasstes Rührregime und Temperaturbeeinflussung können die Gasschwankungen bei gegebener Fermenter- und Gasspeichergröße gedämpft werden. Darüber hinaus können Gärreste hohe Restgaspotenziale aufweisen.

Bei energieorientiertem Betrieb kann es zu langen Lagerzeiten für Substrate kommen, was Geruchsemissionen durch vorzeitigen unkontrollierten Abbau verursachen kann. Nach Maßgabe sind die Substrate daher möglichst zeitnah zur Beschickung zu akquirieren oder bei der Lagerung einzuhausen.

##### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Der durchsatzorientierte Betrieb birgt die potenzielle Gefahr der biologischen Übersteuerung mit den unerwünschten möglichen Folgen. Zudem ergibt sich eine schleichende Gefährdung durch starken Verschleiß, den nicht rechtzeitigen Austausch abgenutzter und schadhafter Teile (wie Pumpenflügel, Rührblattlager etc.). Es empfiehlt sich die zwingende Einhaltung des Wartungs- und Instandhaltungsplanes.

Die mitunter übermäßig lange Vorlagerung von Substraten bei energieorientierter Betriebsweise kann zu hygienischen Problemen führen. Insbesondere, wenn für eine angepasste Anlagenfütterung eine Vielzahl verschiedener Substratsorten vorgehalten wird, ist jedes einzelne Gut zu überwachen. So können z.B. Grassubstrate zu Selbstentzündung führen. Die Handhabung solcher Substrate erfordert eine entsprechend angemessene Aufmerksamkeit.

#### 4.2.2 Energetische Ausrichtung (Stromerzeugung)

Nachfolgende Betrachtungen beziehen sich auf die bisher überwiegend angewandte Biogasnutzung der motorischen Verbrennung zur Stromerzeugung. Zu den unter 3.3.3.2 erfolgten technischen Ausführungen existieren verschiedene Formen der betrieblichen Ausrichtung einer Verstromungsanlage. Der Betrieb kann zum einen als Ein- oder Mehrmotorenanlage erfolgen. Des Weiteren wird zwischen strom- und wärmegeführter Betriebsweise unterschieden. In den hier ausgeführten Betrachtungen wird der mittlerweile überwiegend ausgeführte Betrieb mit Gas-Otto-Motor betrachtet.

### Erprobte Betriebsweise und Leistungsfähigkeit

#### (a) Ein- oder Mehrmotorenanlage:

Die Verstromung in Einmotoranlagen ist aufgrund der größeren Modulleistung tendenziell mit einem etwas höheren elektrischen Wirkungsgrad verbunden, als wenn die gleiche Leistung durch mehrere kleine Motoren erbracht wird. Zudem sind geringere spezifische Investitionskosten und Betriebskosten aufzuwenden. Diese Vorzüge kommen jedoch nur bei durchgehendem Volllastbetrieb zum Tragen. Bei Wartung und Motorausfall ergeben sich Probleme bei der Gasverwertung, so dass im Regelfall eine Notfackel zum Einsatz kommt. Auf größere Schwankungen in der Gasbildung ist die Einmotorenanlage alleinig nicht so gut vorbereitet, was jedoch durch eine entsprechend größere Auslegung der Gasspeicher abgedeckt werden kann.

Daher wird häufig das Mehrmotorenprinzip angewandt. Hierdurch wird prinzipiell eine Redundanz gesichert, welche eine durchgehende Gasverwertung im betriebswirtschaftlichen Sinne ermöglicht. Der Einsatz von zwei oder mehreren Modulen geht allerdings bei gleicher Gesamtleistung mit geringfügigen Einbußen beim Wirkungsgrad einher. Aufgrund des umfangreicheren Technikeinsatzes fällt ein erhöhter Wartungsaufwand an (Gasfilterwechsel, Ölwechsel etc.).

#### (b) BHKW strom- oder wärmegeführt:

Biogas-BHKW sind aufgrund des EEG grundsätzlich stromgeführt, d.h. der BHKW-Betrieb ist auf maximale Stromerzeugung zur Einspeisung nach EEG ausgelegt. In der Praxis bedeutet dies, den Motor auf Volllast zu fahren, bei Erfordernis auch im verschleißbehafteten Taktbetrieb oder im mit Wirkungsgradeinbußen verbundenen Teillastbetrieb. Überschüssige Restwärme wird nach Möglichkeit an weitere Verbraucher abgegeben oder notfalls über Tischkühler mit hohem Energiebedarf an die Umgebung abgegeben. Im Zuge der neuen EEG-Gesetzgebung soll diese Praxis jedoch beendet und durch umfassende Wärmeverwertungskonzepte ersetzt werden.

### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Der Einmotorbetrieb ermöglicht aufgrund der effektiveren Verbrennung – spezifisch höherer Wirkungsgrad – etwas geringere Abgasemissionswerte. Andererseits besteht im Versagensfall die Gefahr des Gasaustritts. Daher erfolgt in der Regel der Einsatz einer Notfackel oder die Kombination mit einem größeren als sonst üblichen Gasspeicher (bis zu 6 h Gasproduktion anstelle der üblichen 1-3 h). Weitere, nachgeordnete Maßnahmen sind unten dargestellt. Die Mehrmotorenanlage bedingt spezifisch etwas höhere Abgasemissionswerte im Dauerbetrieb. Beispielsweise wurden bei 190 kW-Gasmotoren höhere Werte für NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>-Äquivalente gemessen als bei 324 kW oder 526 kW-Modulen /5/. Relevant wird dieser Befund jedoch erst bei Überschreitung von Grenzwerten. Bei Nichtnutzung überschüssiger Abwärme ergibt sich ein Defizit bei der CO<sub>2</sub>-Emissions-Minderung.

### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Der Einmotorbetrieb an sich ist nicht mit Sicherheitsrisiken behaftet. Zu beachten ist, dass es sich im Versagensfall um einen Komplettausfall der Verstromungseinrichtung handelt. Es gelten die unten gemachten Ausführungen. Die Mehrmotorenanlage wird meist in einem einzigen Raum betrieben, z.B. ein BHKW-Gebäude oder ein Container. Insofern ist bei Wartung und Reparatur eines Motors auf Lärm und heiße Oberflächen des anderen Moduls zu achten. Ansonsten bestehen keine durch Mehrmotorbetrieb verursachten spezifischen Risiken.

Bei stromgeführter Betriebsweise kann insbesondere bei Einmotoranlagen häufiger Taktbetrieb erforderlich sein. Durch das damit einhergehende Anfahren des Motors können die bereits unter 3.3.3.2. genannten Probleme durch Luft in der Gaszufuhrleitung entstehen. Analog wird mit der kontrollierten Entfernung

der Luftblasen verfahren. Teillastbetrieb bedingt keine spezifischen Risiken. Es ist jedoch kritisch zu prüfen, welche Umstände Teillastbetrieb erforderlich machen. Besteht z.B. trotz konstantem Fütterregime eine reduzierte Gasproduktion, ist die Ursache für den Gasmangel sowie dessen mögliche Sicherheitsrelevanz zu erkunden. Die Ursache kann in einer Hemmung der Biologie begründet sein oder wg. Prozessführung (Temperatur), kann aber auch in einem Leck bestehen oder auch in einer Schwimmdecke im Fermenter. Wird die Schwimmdecke nicht rechtzeitig bekämpft, kann dies eine biologische Überreaktion überhaupt erst auslösen.

Bei Komplettausfall der Verstromungseinrichtung ist das anfallende Biogas kontrolliert zu verbrauchen. Dies kann außer bei technischen Pannen auch aufgrund vom Anlagenbetreiber unverschuldeter äußerer Ereignisse erforderlich werden, z.B. bei Fernabschaltung der Anlage durch den Netzbetreiber wegen Netzüberlastung. Für diesen Fall ist zumindest eine der aufgeführten nachgeordneten Maßnahmen vorgesehen:

- Eine stationäre und automatisch zuschaltende Notfackel verbrennt das weiterproduzierte Biogas und verhindert derart die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre im Anlagenbereich. Die Fackel als Gasverwertungseinrichtung ist jedoch immer die schlechteste Variante, da kein energetischer Nutzen generiert wird.
- Stattdessen kann ein Brenner mit Kessel installiert werden. Auf diese Weise wird zumindest die Betriebstemperatur der Fermenter sichergestellt und ggf. nutzbare Wärme bereitgestellt.
- Als weitere Option ist das Vorhalten eines Ersatz-BHKW (ohne Netzeinspeisung) möglich. Der Einsatz alter Motoren stellt eine preisgünstige Lösung dar. Hinsichtlich der Genehmigung ist die regionale Handhabung zu beachten. Ein Motor kann u. U. anstelle einer Fackel eingesetzt werden, wenn dieser gegen die Motoren des Regelbetriebs verriegelt ist und nur wenige Stunden im Jahr läuft.

Auf Basis dieser Optionen existieren mehrere Möglichkeiten, unkontrollierten Gasaustritt regelungstechnisch zu verhindern, die unter 4.3.2 Prozessregelung vorgestellt werden.

### 4.3 Überwachungs- und Regelungskonzepte

Kapitel 4.3. beinhaltet die Beschreibung weitergehender Maßnahmen zur Vermeidung vorgenannter Probleme. Daher erfolgt nicht die übliche Einteilung in Techniken, Emissionen und Sicherheitsrisiken. Maßnahmen zur Erfassung von Prozessparametern sind in 4.3.1. dargestellt. Die Verarbeitung von Prozessdaten in einer Prozessregelung ist in 4.3.2. abgehandelt.

#### 4.3.1 Prozessüberwachung

Bei der Erfassung von Prozessparametern ist es von großer Bedeutung, dass bei der Berechnung berücksichtigt wird, wie bzw. an welchen Messorten die verschiedenen Kennwerte erfasst werden und ob die Berechnung daher zulässig ist. Als Beispiel hierfür ist anzuführen: Erfassung von Gasvolumenstrom und Gasqualität erfolgen zweckmäßig zwischen Entschwefelungseinrichtung und Zufuhr in das BHKW.

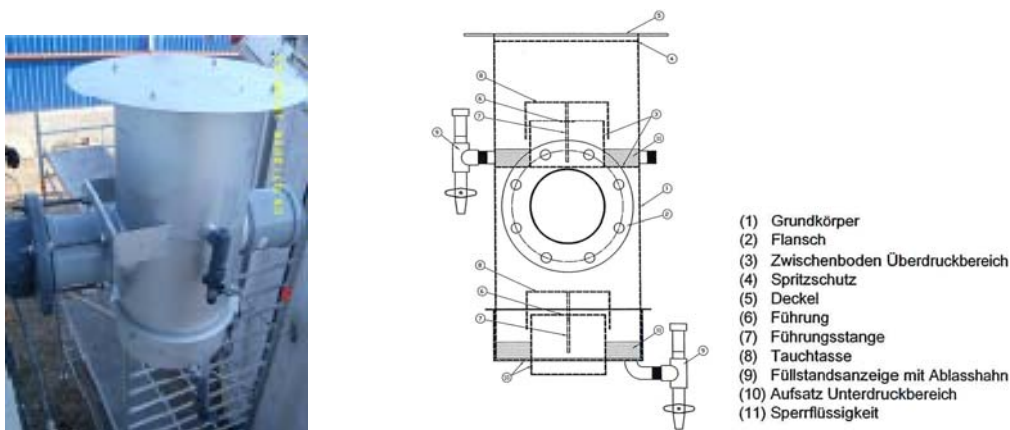
(a) Überwachung der Substratzufuhr in Art und Menge:

Eine wesentliche Maßnahme zur Vermeidung von biologisch bedingten Havarien ist die Kontrolle und Beeinflussung der Substratzufuhr. Diese erfolgt zweckmäßigerweise über Waagen bzw. Durchflussmengenähler im Einbringbereich (vgl. Kapitel 3.1.2.1 Feststofflagerung, Erfassung).

## (b) Gasdrucküberwachung:

Die Gasdrucküberwachung mit Über-/ Unterdrucksicherungen an Behältern stellt gleichzeitig eine Sicherheitseinrichtung dar, die Schäden an der Gasmembran, Behälter- oder Rohrbersten vermeiden hilft. Der stets korrekte Wasserstand und der Frostschutz durch Glykollzugabe im Winter sind von sehr hoher Bedeutung (Abbildung 4.3.1).

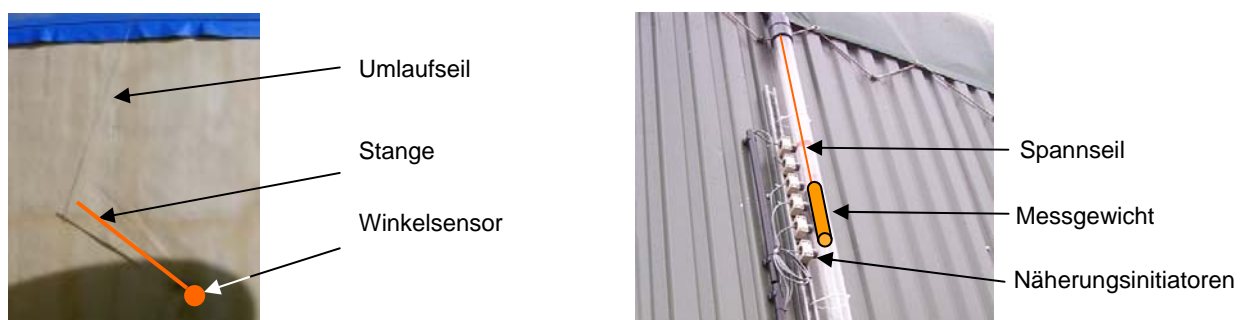
Es existieren Messeinrichtungen zur Erfassung von Zeitpunkt und Volumen abgeblasener Gasmengen. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass dieses Hilfsmittel lediglich zur Eingrenzung und Behebung von Störungsursachen zu verwenden ist. Das regelmäßige Abblasen von Biogas über die Ü/U-Sicherung ist keinesfalls als Standard hinzunehmen. In diesem Zusammenhang sind auch die außerplanmäßigen Gasverluste durch Winddruck auf die Folien zu beachten. Dieser Effekt kann durch angepasste Einstellung des Füllstandes der Sperrflüssigkeit weitgehend vermieden werden.



**Abbildung 4.3.1 Über-/Unterdrucksicherung; Einbausituation und Prinzipskizze; Foto: DBFZ; Skizze: KD-System**

## (c) Gasmengenmessung und Gasanalyse:

Zur Bewertung der Gasmengenentwicklung wird bei Doppelmembrandächern in der Ausführung als Tragluftdach ein Umspannseil mit Stange und Winkelsensor angebracht. Das durch den Gasstand erzeugte elektrische Signal (meist 4...20 mA-Signal) wird an die Leitwarte übertragen und dort visualisiert. Im Falle stempelgestützter Foliendächer kommen ein Spannseil mit Umlenkrolle, Messgewicht und Näherungsinhibitoren zum Einsatz (Abbildung 4.3.2).



**Abbildung 4.3.2 Links: Bestimmung der Gasmenge durch Umspannseil mit Winkelsensor; Rechts: Bestimmung durch Näherungsinhibitoren (rechts); Foto: DBFZ**

Der vom BHKW angeforderte Gasvolumenstrom wird zentral vor Eintritt in die Gasregelstrecke gemessen. Das Gas sollte an dieser Stelle bereits getrocknet sein. Als gut funktionierendes Messprinzip haben sich thermische Sonden erwiesen. Mechanische Volumenstrommessgeräte wie z.B. Flügelradsonde sind aufgrund der Feuchtigkeit im Gas nicht geeignet und führen zu Fehlmessungen.

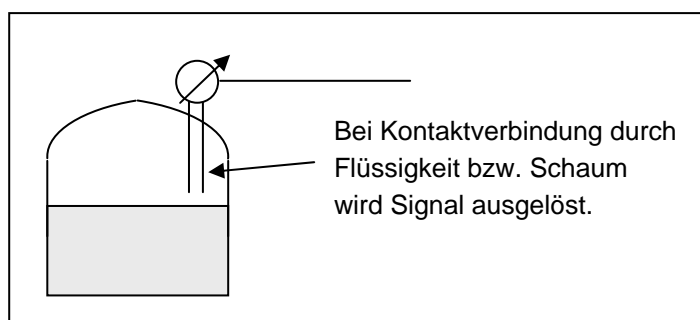
Die Gasanalyse erfolgt zum einen durch mobile Gasmessgeräte zur Einzelüberwachung der Behälter. Eine zentrale Erfassung der Gaszusammensetzung vor Eintritt in die Gasregelstrecke erfolgt über ein stationäres Gasmessgerät. Die üblichen Parameter sind  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$ , wobei die ersten drei Größen kontinuierlich erfasst werden sollten. Der  $\text{H}_2\text{S}$ -Wert wird lediglich periodisch (z.B. stündlich) angefordert, was zur Schonung des elektrochemischen Sensors dient (Abbildung 4.3.3).



**Abbildung 4.3.3 Gasmessgeräte; Links: stationäres Gerät; Rechts: mobiles Gerät für Einzelanalysen, auch einstellbar für Personenschutz; Fotos: DBFZ, Sewerin**

(d) Füllstands- und Schaumüberwachung:

Bei Fermentern mit pumpfähigem Inhalt werden Füllstände und teilweise Schaumbildung überwacht. Hierzu dienen Drucksensoren, elektrochemische Sensoren und gelegentlich Infrarot-Sensoren. Die Sinnhaftigkeit von Schaumsensoren ist umstritten, da diese eine Scheinsicherheit vorgeben könnten. Spricht ein Schaumsensor im Falle einer biologischen Überreaktion an, bleiben nur noch wenige Minuten Reaktionszeit für den Betreiber bis zum Schaumeintritt in die Gasentnahme bzw. im Extremfall bis zum Aufreißen des Foliendaches. Ohne Schaumsensor muss der Betreiber Beschickungsvorgänge vermeiden, die zur Übersteuerung der Anlage führen (Abbildung 4.3.4).



**Abbildung 4.3.4 Prinzip der Füllstands- bzw. Schaummessung**

(e) Temperaturüberwachung:

Die Temperaturerfassung jedes Prozessbehälters ist unerlässlich. Temperaturfühler (als PT 100) auf verschiedenen Höhen eines Behälters vermitteln ein Bild über die korrekte Betriebstemperatur zur Erhaltung des stabilen Prozessregimes.



## (f) Erfassung prozessbiologischer Parameter:

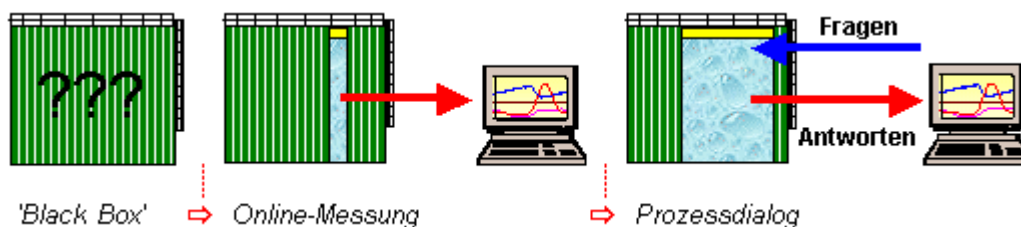
Mittlerweile hat sich die Überwachung der Prozessparameter pH-Wert, FOS/TAC und ggf. weiterer Größen wie die Gesamt- und Einzelfettsäuren (HAc, HPr) als Standard durchgesetzt. Auf Basis der Parametermatrix erhält der Betreiber einen detaillierten Überblick über den biologischen Prozesszustand. Diese Erkenntnisse können für eine erfolgreiche Prozessregelung verwendet werden. Eine Erfassung ist aber in der Regel nur durch manuelle Probenahme und externe Analyse möglich, wobei erste automatische Geräte für die Erfassung derartiger Kenngrößen auf den Markt gekommen sind.

### 4.3.2 Prozessregelung

#### 4.3.2.1 Technische Grundlagen

Stand der Technik ist die Übertragung der in einfacher Weise online erfassbaren Messdaten in eine zentrale Leitwarte, d.h. Temperaturen, Gasfüllstände und Gaszusammensetzung vor der motorischen Verbrennung. Zusätzlich erfolgt die manuelle Einarbeitung der prozessbiologischen Parameter in eine zentrale Datei im Leitwarten-PC. Zur Prozessregelung erfolgt – i.d.R. täglich – die Festlegung von Substratmenge und -zusammensetzung durch Bedienung der Stellglieder (Pumpen vom PC aus, Beschickung der Zufuhreinrichtung durch entsprechende Vorrichtungen).

Die Regelung erfolgt in den überwiegenden Fällen erfahrungsbasiert durch den Betreiber. Einige – hauptsächlich größere Anlagen > 500 kW – arbeiten mit einer - in ersten Ansätzen - modellbasierten Prozessregelung. Eingehende Prozessdaten werden von einem mathematischen Prozessmodell verarbeitet, welches Handlungsempfehlungen zur Prozessführung ausgibt. Eine solche Unterstützung entbindet den Betreiber jedoch nicht von der Anlagenüberwachung (Abbildung 4.3.5).



**Abbildung 4.3.5 Modellbasierte Anlagenregelung am Beispiel der dynamischen Betriebsführung; Skizze: UTEC /6/**

Zusätzlich zur Prozessregelung aus der zentralen Leitwarte besteht die Möglichkeit zur Fernüberwachung und -regelung. Dazu wird die Visualisierung des Leitwarten-PC durch ein geeignetes Programm auf einen Fern-PC übertragen, z.B. beim Anlagenhersteller, Betriebsleiter. Alarmmeldungen werden auf das Bereitschaftstelefon des Anlagenleiters übertragen. Je nach Ausgestaltung des Regelungsregimes können bestimmte Eingriffe aus der Ferne vorgenommen werden, z.B. das Ein- und Ausschalten von Rührwerken.

Die Daten des BHKW können ebenfalls an einen Fern-PC, bei entsprechender vertraglicher Gestaltung auch an den Sitz des BHKW-Herstellers, übertragen werden. Eingriffe aus der Ferne erfolgen je nach Regelungsregime. Problemlos ist das Verändern der Leistungsanforderung. Nicht empfohlen wird die Möglichkeit eines Motorstarts aus der Ferne. Aus Sicherheitsgründen soll der Motor nur vor Ort gestartet werden. Die Klärung weitergehender und allgemeiner Sicherheitsfragen erfolgt in Kap. 5 Übergreifende Sicherheitsaspekte.

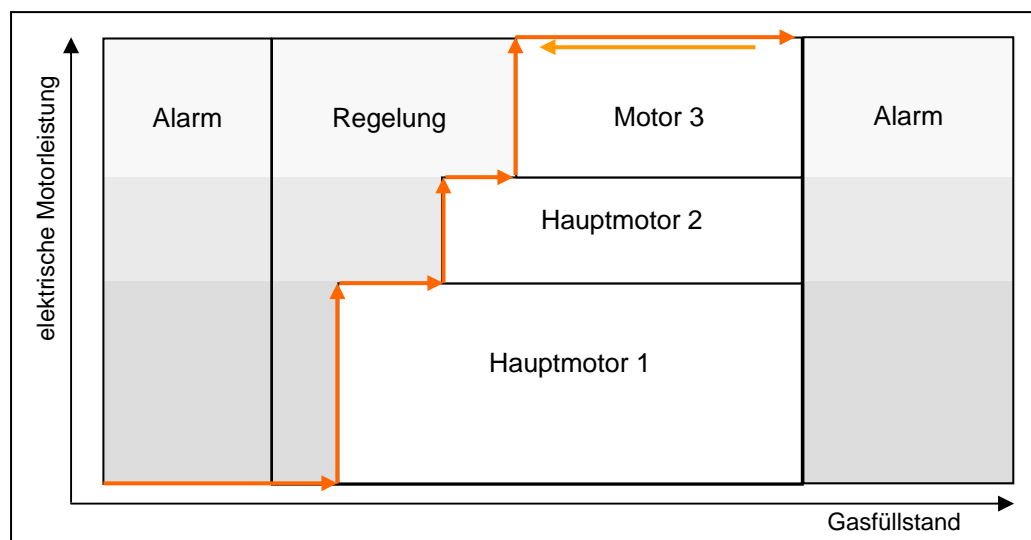
#### 4.3.2.2 Regelungstechnische Beispiele

##### a) Prozessbiologische Regelung

Standardmäßig erfolgt die Regelung von Biogasanlagen auf Basis der biochemischen Analysewerte. Im Wesentlichen wird auf die Einhaltung folgender Parameter geachtet: pH-Wert  $> 7,0$  FOS  $< 4.000$  mg/l; kleiner Propionsäureanteil; FOS/TAC  $< 3$ . Entscheidend sind dabei nicht die absoluten Werte, sondern die langfristige Entwicklung. Jede Biogasanlage hat ihr spezifisches Wertespektrum, welches vom Betreiber zu ermitteln ist.

##### b) Gasstandsregelung

Auf Basis der Gasstandserfassung erfolgt die Gasstandsregelung bzw. füllstands-basierte Motorregelung, welche bei schwankendem Gasertrag einen kontinuierlichen Gasstrom für den BHKW-Motor gewährleistet. Diese Regelung erfordert einen Mehrmotorenbetrieb, bei welchem die Maschinen je nach Gasentwicklung zu- bzw. abgeschaltet werden. Diese Methode vermeidet weitgehend unnötiges Austreten von Biogas aus der Über-/Unterdrucksicherung. Das Funktionsprinzip zeigt Abbildung 4.3.6. Eine ausführliche Darstellung erfolgt im Biogashandbuch Bayern /7/ /Ebertsch/.



**Abbildung 4.3.6 Gasstandsregelung nach dem Mehrmotorenprinzip /Fiedler/**

Alternativ kann bei Verzicht auf mehrere Motoren ein erweitertes Gasspeichervolumen vorgesehen werden. Im Normalfall ist der Gasspeicher zu 50 % gefüllt, Schwankungen in der Gasproduktion werden über Änderungen des Füllstandes kompensiert /Stach/. Diese Methode ist ggf. preisgünstiger in der Investition gegenüber dem Mehrmotorenprinzip.

#### 4.4 Literatur

- /1/ Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow 2006
- /2/ Daniel, J.; Scholwin, F.: Materialband: O – Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen; Im Rahmen des BMU-Forschungsvorhabens "Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland"; FKZ: 0327544; 05/2008
- /3/ Friedmann, H. und J.: Optimierung der Biogasproduktion aus Nachwachsenden Rohstoffen durch den Einsatz von Mikronährstoffen – ein Erfahrungsbericht; 17. Jahrestagung des Fachverband Biogas e.V.; 15.-17.01.2008
- /4/ Lemmer, A.; Preißler, D.; Oechsner, H.: Optimale Versorgung der Biogasanlage mit Makro- und Mikronährstoffen; 17. Jahrestagung des Fachverband Biogas e.V.; 15.-17.01.2008
- /5/ Aschmann, V.: Effizienz und Umweltverträglichkeit biogasbetriebener BHKW; 17. Jahrestagung des Fachverband Biogas e.V.; 15.-17.01.2008
- /6/ UTEC GmbH Bremen; Zugriff auf Website am 27.11.2008
- /7/ Biogashandbuch Bayern, elektronische Ausgabe <http://www.lfu.bayern.de>

## 5 Übergreifende Umweltschutz- und Sicherheitsaspekte

### 5.1 Umweltschutz

#### 5.1.1 Sicherung der Hygienisierungsanforderungen gem. Verordnung (EG) Nr. 1774/02

Biogasanlagen zur Verarbeitung tierischer Nebenprodukte nach VO (EG) 1774/2002 Hygieneverordnung /1/ müssen zum Schutz vor hochinfektiösen Seuchen Auflagen im Umgang mit den zu verarbeitenden Substraten befolgen. Hierzu gehören z.B. die strikte Trennung von reinen und unreinen Bereichen für pasteurisierungspflichtiges Material (schwarz/weiß Trennung), das Aufstellen von Reinigungs- und Ungezieferbekämpfungsplänen, das Säubern und eventuelles Desinfizieren von Behältern und Fahrzeugen und die Hygienisierung des Substrates.

Je nach Kategorie des Materials werden verschiedene Behandlungs- und Verwertungspfade vorgegeben (Einteilung entsprechend VO (EG) 1774/2002 Kapitel II Artikel 4 bis 6). Material der Kategorie 2 und 3 kann nach entsprechender Behandlung (Sterilisation, Hygienisierung) in einer nach Artikel 15 der EU-Hygieneverordnung zugelassenen Biogasanlage verarbeitet werden. Ggf. zu beachten sind die teils unterschiedlichen Verwertungswege des Gärrestes in Anhängigkeit ihrer Klassifizierung (Kategorie 2 oder 3). Milch, Kolostrum und Milcherzeugnisse der Kategorie 3 können in Biogasanlagen ohne Pasteurisierung/Entseuchung als Rohstoff verwendet werden, wenn die zuständige Behörde der Auffassung ist, dass sie nicht die Gefahr bergen, schwere übertragbare Krankheiten zu verbreiten.

Material der Kategorie 3, das in einer Biogasanlage mit Hygienisierungseinheit verwendet wird, muss folgende Mindestanforderungen erfüllen: maximale Korngröße 12 mm, Mindesttemperatur des gesamten Materials 70 °C und bei einer unterbrechungsfreien Verweilzeit von 60 Minuten. Material der Kategorie 2, mit einer Korngröße von max. 50mm, muss für mindestens 20 Minuten bei 133 °C und 3 bar einer Sterilisation unterzogen werden.

#### Verfügbare Techniken und Leistungsfähigkeit

Die Hygienisierung bei 70 °C erfolgt in einem beheizten, wärmedämmten und teilweise gerührten Vorlagebehälter, der teilweise mit anderen Behältern im Batchverfahren, semikontinuierlich oder kontinuierlich betrieben wird. Kommen Stoffe zum Einsatz die aufgrund ihrer Eigenschaften (z. B. versäuerte Substrate) oder durch die thermische Behandlung chemische Aggressivität entwickeln, dürfen nur entsprechend beständige Materialien verwendet werden, wie z. B. Edelstahl oder epoxidharz-, keramik- oder PEHD-beschichtete Werkstoffe. Die benötigte Wärme kann durch das BHKW bereitgestellt und über innen- oder außenliegende Wärmeübertrager an das zu hygienisierende Material übergeben werden (auch doppelwandige Hygienisierungsbehälter möglich). Bei einer Drucksterilisation bei 133 °C und 3 bar wird als Wärmequelle die Abgaswärme des BHKW genutzt. Reicht diese nicht aus, muss ein zusätzlicher Kessel beigestellt werden. Als Heizmedium dient Dampf oder ein Thermoöl. Thermoöl hat gegenüber Dampf den Vorteil, dass es vollständig im Kreislauf geführt wird und damit kein Frischwasser wie bei der Dampferzeugung notwendig ist. Darüber hinaus arbeitet der Thermoölkreislauf auf einem niedrigeren Druckniveau. Nach der Sterilisation gelangt das Material in einen Entspannungsbehälter, in dem der Wärmeinhalt zurück gewonnen wird. Möglicherweise ist das Substrat nach dessen Behandlung zusätzlich zu kühlen. Dabei sollte eine Wärmerückgewinnung zur Vorheizung des frischen Substrates aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht Standard sein.

Die Einbindung der Hygienisierung/Sterilisation in den Prozess kann vor bzw. nach der Fermentationsstufe erfolgen. Vorteil der Voranschaltung ist der zusätzliche Materialaufschluss. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der Teilstromhygienisierung, d.h. beim Einsatz mehrerer Substrate müssen nur die hygienisierungspflichtigen behandelt werden. Dies führt zu geringeren Investitionskosten und zu Einsparungen

im Betrieb der Anlage. Bei der dem Fermenter nachgeschalteten Hygienisierung muss das gesamte vergorene Substrat behandelt werden. Dafür ist das vergorene Substrat durch seine erhöhte Homogenität und Fließfähigkeit leichter zu hygienisieren. Auch Verstopfungen und Anhaftungen von verfestigten Fetten in Rohrleitungen und Behältern der Hygienisierungsstufe infolge von Betriebsausfällen oder Wartungsarbeiten treten bei der nachgeschalteten Variante nicht auf. Abbildung 5.1.1 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Hygienisierungsanlage, Tabelle 5.1.1 gibt einen Überblick über die hier genannten Verfahren.



**Abbildung 5.1.1 Hygienisierung; Foto: TEWE Elektronik**

#### Emissionsverhalten und Minderungsmaßnahmen

Werden Substrate eingesetzt die aufgrund ihrer Eigenschaften oder durch die thermische Behandlung chemische Aggressivität entwickeln, dürfen nur entsprechend beständige Materialien verwendet werden. Eine hochwertige Aufbereitung (z.B. Zerkleinerung des Materials und Störstoffauslese von Metall-, Glas- oder Knochenanteilen) erhöht zusätzlich die Lebensdauer des Aggregates, der Pumpen und Ventile.

Um einer unvollkommenen Hygienisierung bzw. Sterilisation zu begegnen, müssen entsprechend Hygiene-VO die Temperatur und Aufenthaltszeit (Massenstrom) gemessen und dokumentiert werden. Eine mögliche Kontamination von Substraten durch nicht oder unzureichend hygienisierte Substrate ist zum Einen durch eine unumgehbare und nicht manipulierbare Hygienisierung, als auch durch ein entsprechendes Sicherheitssystem (Stopp der Anlage bei Nichteinhaltung der Hygienisierungsanforderungen) sicherzustellen. Dafür sind entsprechend geeichte Mess- und Steuerungsgeräte, sowie Warngeräte, die optisch und akustisch ein eventuelles Fehlverhalten anzeigen, zu installieren. Außerdem ist auf die strikte schwarz/weiß-Trennung zu achten. So ist die unreine (schwarze) Seite der Anlage (mechanische Aufbereitung) von der reinen (weißen) Seite (Hygienisierung) zu trennen.

Um dem Substrat während des Erwärms die Möglichkeit zur Ausdehnung zu geben (drucklose Hygienisierung), sind die geschlossenen Behälter mit einem Entlüftungsstutzen versehen. Bei Immissionschutzrechtlicher Relevanz ist eine Abluffassung mit entsprechender Reinigung vorzusehen, da ansonsten mit Geruchsemissionen zu rechnen ist.

#### Potenzielle Sicherheitsrisiken, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung

Die Gefährdung durch das Berühren heißer Oberflächen ist z.B. durch entsprechende Dämmung, Berührungssicherung und ggf. Hinweise auf heiße Anlagenteile zu minimieren. Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Temperatur- und Druckaufbau, wie z.B. Sicherheitsventil und Ausdehnungsgefäß oder Entspannungstopf, sind in den Heizkreis der Hygienisierungseinheit zu integrieren. Unter Dampf und Druck stehende Leitungen sind mit Kappenventilen gegen unzulässiges Absperrern zu sichern. Des Weiteren müssen Rohrleitungen und Behälter entsprechend des Mediums und der Druckstufe gekennzeichnet werden.

**Tabelle 5.1.1 Technische Eigenschaften Hygienisierung/Sterilisation**

Typ	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Hygienisierung	Parameter: Korngröße 12 mm, 70 °C, 60 Minuten; drucklos; geschlossene, wärmege-dämmte und ggf. gegen chemischen Angriff beständige Behälter, z. T. mit Rührwerk; Heißwasser beheizt;	Nutzung der BHKW-Abwärme meist ausrei-chend	nur für Material der Katego-rie 3
Drucksterilisation	Parameter: Korngröße max. 50mm, 20 Minu-ten, 133 °C, 3 bar; , wärmege-dämmte und ggf. gegen chemischen Angriff beständige Behälter, z. T. mit Rührwerk; Dampf oder Thermoöl beheizt; Nutzung der Abgaswärme des BHKW, teilweise zusätzlicher (Dampf)-kessel nötig	für alle Materialien (Katego-rie 2 und 3) anwendbar, erreichen sehr hoher Sterili-tät (auch hitzresistente Mik-roorganismen werden ab-getötet)	erhöhter technischer Auf-wand für Sterilisation (even-tuell zusätzlicher Kessel, Druckbehälter, Armaturen für Dampfanwendung erforder-lich)

**Tabelle 5.1.2 Emissionsverhalten Hygienisierung/Sterilisation**

Typ	Emissionsart und Relevanz	Maßnahmen
Hygienisierung	Geruch, ggf. Keime bei Nichteinhalten der Hygienisie-rungsanforderungen	z.B. Abgasfassung und Reinigung über Luftwäscher und/oder Biofilter (falls Immissionsschutzanforderungen dies verlangen) Unumgehbarkeit des Prozesses, Überwachung der Prozesspa-rameter (z. B. Temperaturlaufzeichnung), strikte schwarz/weiß Trennung
Drucksterilisation	ggf. Keime bei Nichteinhalten der Hygienisierungsanforde-rungen	Unumgehbarkeit des Prozesses, Überwachung der Prozesspa-rameter (z. B. Temperaturlaufzeichnung), strikte schwarz/weiß Trennung

**Tabelle 5.1.3 Sicherheitsmaßnahmen Hygienisierung/Sterilisation**

Typ	Sicherheitsaspekt	Maßnahmen
Hygienisierung, Drucksterilisation	heiße Oberflächen	heiße Bauteile dämmen, Berührungsschutz (bspw. Gitter o.ä.), Hinweisschilder; Sicherheitseinrichtungen wie z. B. Sicherheitstemperaturbegrenzer, Sicherheits-ventil oder Entspannungstopf gegen unzulässigen Temperatur- und Druckanstieg

Es werden weitere Anforderungen an die Hygiene entsprechend Hygiene-VO (EG) 1774/2002 gestellt, die in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit der Anlagen als Grundvoraussetzung anzusehen sind. Einen guten Überblick bietet das Biogashandbuch Bayern Kapitel 2.2.6 Veterinärrechtliche Voraussetzungen für den Betrieb von Biogasanlagen /2/. Im Folgenden werden einige wichtige Punkte aufgezählt:

- keine Rekontamination der Gärprodukte durch Behandlung oder Lagerung
- räumliche Trennung der Anlage von Tieren, Tierfutter und Einstreu
- schnelle Verarbeitung hygienisierungspflichtigen Materials
- Hygieneschleuse mit Reinigungs- und Desinfektionsmöglichkeit für Mitarbeiter und Fahrzeuge (Hände, Schuhe, Räder) bei der Verarbeitung hygienisierungspflichtiger Materialien auf tierhaltenden Betriebs-räumliche Trennung von unreinem und reinem Bereich, Hygieneschleuse mit Reinigungs- und Desin-fektionsmöglichkeit für Mitarbeiter und Fahrzeuge (Hände, Schuhe, Räder)
- wasserundurchlässiger, befestigter und witterungsunabhängiger Bereich zur Reinigung und Desinfek-tion von Fahrzeugen mit Erfassung und Ableitung der verschmutzten Wässer in Kanalisation



- geeignete Einrichtung zur Reinigung und Desinfektion von Behältern mit Erfassung und Ableitung der verschmutzten Wässer in Kanalisation (z.B. in einer Behälterwaschstraße); siehe Abbildung 5.1.2
- dokumentierter Ungezieferbekämpfungsplan als Voraussetzung gezielt gegen Vögel, Nager und Insekten und anderes Getier vorzugehen (Aufstellen und Auslegen von Fallen und Köder, welche regelmäßig zu kontrollieren und gegebenenfalls zu erneuert sind)



**Abbildung 5.1.2 Behälterwaschstraße; Foto: Refood**

### 5.1.2 Sicherung der Luftreinhalte (Abluftreinigung)

Maßgebende gesetzliche Grundlage ist das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG /3/). In Verbindung mit verschiedenen Verordnungen und Richtlinien, wie z.B. TA-Luft /4/, Geruchsmissionsschutzrichtlinie (GIRL /5/) und 30. BImSchV /5/ (nur für Biogasanlagen zur Vergärung von Siedlungsabfällen) regelt es neben der Vorgabe von Grenzwerten bezüglich Emissionen und Immissionen auch bauliche Aspekte (Positionierung und Höhe von Abluft- und Abgaskaminen, Abstandsregelungen, geschlossen auszuführende Anlagenteile, etc.), deren Ausführung Bedingung für die Genehmigung einer Biogasanlage sind. Dabei ist die Genehmigung nach BImSchG für den Bau und Betrieb von Biogasanlagen allgemein von den in der 4. BImSchV /7/ aufgeführten Mengenschwellen abhängig. Werden diese „Genehmigungsschwellen“ erreicht oder überschritten, so ist die Anlage nach dem BImSchG zu genehmigen, anderenfalls kann die Genehmigung nach dem Baurecht erfolgen.

Im Folgenden sollen zusätzlich zu den baulichen Maßnahmen der vorangehenden Kapitel technische Maßnahmen erläutert werden, welche die geforderte Luftreinheit gewährleisten sollen.

#### 5.1.2.1 Behandlung der Prozessabluft

Für die Reinigung geruchsbelasteter Abluft und Luft mit geringen Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen sind Biofilter sehr gut geeignet. Durch die biochemische Umsetzung durch auf einem organischen oder anorganischen Trägermaterial sitzende Mikroorganismen zu Wasser und CO<sub>2</sub> werden Geruchs- und Schadstoffe im Vergleich zu anderen Verfahren kostengünstig und mit einer hohen Reinigungsleistung behandelt. Biofilter werden als offene Flächenfilter (Abbildung 5.1.3), als geschlossene Filter in Containerbauweise oder als Standrundfilter ausgeführt. Während Standrundfilter eher für kleinere Volumenströme ausgelegt sind, können Flächen- und Containerfilter große Mengen geruchsintensiver Abluft verarbeiten. Hierzu werden speziell die Containerfilter parallel aber auch in Reihe zu einer Gesamtanlage zusammengeschaltet und die gesammelte Abluft auf die einzelnen Module verteilt. Im Gegensatz zu den Flächenfiltern können die Containermodule auch übereinander gestellt werden, was zu einem enormen Platzersparnis führt. Ein anderer Vorteil dieser Bauweise ist deren geschlossene Ausführung, in der sich die Lebensbedingungen der Mikroorganismen besser konditionieren lassen. Dies trifft auch für Standrundfilter zu. Eine Vorkonditionierung der zu reinigenden Abluft findet im Luftbefeuchter statt, welcher dem Biofilter vorangeschaltet ist. Neben der notwendigen Befeuchtung der Abluft wird die-

se gleichzeitig gewaschen und so teilweise von Staubpartikeln und wasserlöslichen Stoffen befreit. Diese Technik ist für die meisten Biogasanlagen ausreichend. Enthält die Abluft hohe Konzentrationen an Ammoniak oder Schwefelwasserstoff, so kann die Reinigungsleistung des Wäschers durch Waschflüssigkeiten wie verdünnte Schwefelsäure oder Natriumhydroxid erhöht werden. Dies ist vor allem bei Abfallbehandlungsanlagen zur aeroben und anaeroben Behandlung von Haushaltsabfällen (biogene Fraktion) der Fall. Besonders bei hohen Ammoniakkonzentrationen ist eine Reinigung vorzusehen, da ansonsten im Biofilter eine Umwandlung zu klimaschädlichem Lachgas erfolgt. Hierfür werden die Waschflüssigkeiten in konzentrierter Form in Leihgebinden oder Flüssigkeitslagern vorgehalten und über Dosiertechnik dem Wäscher zugeführt. Verbrauchte Waschflüssigkeiten werden ebenfalls gesammelt, gelagert und entsprechend ihrer Eigenschaften verwertet oder entsorgt. Da es sich um konzentrierte Laugen und Säuren handelt, sind entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B. Brille, Handschuhe, doppelwandige Behälter und Rohrleitungen, Sicherheitswannen) vorzusehen. Hier sind die Anforderungen an den Arbeits- und Umweltschutz (speziell wasserrechtliche Aspekte) zu berücksichtigen. Bei sehr hohen Konzentrationen von Geruchsstoffen kann es notwendig werden statt der Biofilter eine thermische Nachverbrennung einzusetzen. Diese beseitigt meist mit Hilfe einer Stützfeuerung alle organischen Verbindungen, auch Methan, welches im Biofilter nicht umgesetzt werden kann. Der Nachteil der Nachverbrennung sind neben den hohen Investitionskosten auch die enormen Betriebskosten, da bei einem nicht autothermen Betrieb (selbstgängige Verbrennung aus der zu behandelnden Abluft heraus) enorme Mengen Brenngas für die Stützfeuerung benötigt werden.



**Abbildung 5.1.3 Flächenbiofilter; Foto: DBFZ**

### 5.1.2.2 Behandlung nichtverwertbaren Biogases (Gasfackel)

Gasfackelanlagen werden in der Regel als sekundäre Gasverbrauchseinrichtung eingesetzt, um im Notfall (z.B. Ausfall des BHKW) oder auch gezielt (z.B. Motorwartung, Anfahren einer Biogasanlage) nicht verwertetes Biogas zu verbrennen. Das im Biogas enthaltene Methan wird zu Wasser und Kohlendioxid verbrannt. So kann selbst bei einfach ausgeführten Fackeln eine Verminderung des organischen Kohlenstoffs im Abgas um > 99 % erreicht werden.

Fackelanlagen können unterschiedlich ausgeführt sein. Je nach Art können sie Biogas ab einem minimalen Methangehalt von 10 bis 15 Vol.-% verbrennen. Hierbei arbeiten sie in einem Temperaturbereich von 800 bis 1.200°C. Die Verbrennung kann offen (sichtbare Flamme) oder in einem Fackelrohr (Flamme nicht sichtbar) erfolgen. Stationär errichtete Anlagen sind meist freistehend, können aber auch als Systemlösung auf dem BHKW-Container installiert sein. Bei größeren Anlagen ist eine fest installierte Fackel empfehlenswert, um im Notfall die Abgabe von Biogas an die Atmosphäre zu verhindern.

Auf Biogasanlagen können neben stationär errichteten Gasfackeln auch mobile Fackeln zum Einsatz kommen. Hierfür halten verschiedene Firmen auf Anhänger vormontierte Gasfackeln bereit, die innerhalb einer vereinbarten Zeit zur Biogasanlage transportiert und dort einsatzbereit montiert werden. Bei dieser Praxis sind unbedingt die Größe des Gasspeichers und die Verfügbarkeit der mobilen Fackel sowie die notwendige Zeit, resultierend aus Anfahrtsweg und Aufbau während der Planung der Anlage zu berücksichtigen. Nur wenn der vorhandene Gasspeicher die gesamte Gasproduktion bis zum Anspringen der mobilen Fackel aufnehmen kann, ist dies ein sinnvolles Konzept, um das Abblasen von Biogas zu ver-

meiden. Des Weiteren sind bauliche und technische Maßnahmen, wie das Einrichten einer ebenen, standsicheren Aufstellfläche und das Vorhalten entsprechender, zuvor abgestimmter Medienanschlüsse wie Spannungsversorgung und Biogasanschluss (mit Absperrarmatur seitens der Biogasanlage) auf der Biogasanlage vorzuhalten.

Gasfackeln können effektiv das Freisetzen von Geruchsstoffen und klimarelevanten Gasen vermeiden. Bei der Verwendung als Notfackel zur Vermeidung von unvorhersehbaren, kurzzeitigen und gefährlichen Betriebszuständen werden keine Anforderungen in Bezug auf die Abgaswerte gestellt. Ist der Einsatz der Gasfackel durch die Integration in den regulären Anlagenbetrieb nicht nur auf den Notbetrieb beschränkt, so werden nach TA-Luft höhere Anforderungen an die Fackel gestellt. Ein Beispiel für die Integration in den regulären Anlagenbetrieb kann das Vorsehen einer Fackel beim Ablüften von Boxenfermentern sein. Auch bei regelmäßigem Anspringen der Gasfackel zum Kappen von Spitzen in der Gasproduktion, werden definierte Verbrennungsbedingungen (Abgastemperatur 1.000°C, Verweilzeit der Abgase im Brennraum 0,3 Sekunden lt. TA-Luft Punkt 5.4.8.1.a.2.1) gefordert, da die Fackel in diesem Fall nicht mehr als Notfackel (unvorhersehbare Betriebsstörung) betrachtet werden kann.

Unmittelbar vor der Gasfackel muss eine Flammendurchschlagsicherung installiert sein, die ein Rückschlagen offener Flammen in das gasführende System verhindert. Durch Regelungs- und Überwachungseinrichtungen muss sichergestellt werden, dass das der Fackel zugeführte Biogas sicher gezündet und verbrannt wird. Das Abgas der Gasfackel muss in eine freie Luftströmung senkrecht nach oben abgeleitet werden, wobei die Ableitung über Dach oder über eine Abgasleitung erfolgen muss, deren Mündung mindestens 3 m über dem Boden liegt und mindestens 5 m von Gebäuden und Verkehrswegen entfernt ist. Zusätzlich sind ggf. Sicherheitsabstände zu Gaslagern zu berücksichtigen.

### 5.1.2.3 Behandlung von Motorenabgasen

Wie unter Kapitel 3.3.3.2 beschrieben, findet die Biogasnutzung hauptsächlich in Blockheizkraftwerken mit Gas-Otto- oder Zündstrahlmotoren statt. Wichtigste Luftschadstoffe die bei der Verbrennung von Biogas entstehen, sind Kohlenmonoxid, Stick- und Schwefeloxide, organische Verbindungen wie Formaldehyd sowie Ruß-/Staubpartikel bei Zündstrahlmotoren. In der TA-Luft /4/ (gültig für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung ab 1 MW) sind für diese Stoffe Grenzwerte veranschlagt, die durch innermotorische Maßnahmen wie Senkung der Verbrennungstemperatur (Magermixmotor bei Gas-Otto-Motoren), Anpassung des Verdichtungsverhältnisses und des Zündzeitpunktes sowie durch eine Abgaskühlung eingehalten werden können. Allerdings hat sich in der Praxis herausgestellt, dass einige BHKW die Abgasgrenzwerte teilweise überschreiten. Speziell die Stickoxid- und Formaldehydemissionen stehen dabei in der Diskussion. Ohne weitergehende nachgeschaltete Abgasreinigungsmaßnahmen ergreifen zu müssen, können durch eine entsprechende Betriebsführung die Emissionen durch die motorische Verbrennung reduziert werden:

- Reinigung des Biogases von Spurengasen, Partikeln und Wasserdampf mindestens auf die Anforderungen der Motoren (Herstellervorgabe), regelmäßige Kontrolle von Abscheidern und Filtern
- regelmäßige Wartung mit kurzen Wartungsintervallen
- Motorwartung (z.B. Ölwechsel, Ventilspiel) immer in Verbindung mit einer Abgasmessung (Kontrolle und gegebenenfalls Justierung der Abgaskennwerte)
- Einstellung eines emissionsarmen Betriebs in den Grenzen der TA-Luft bei optimierten Wirkungsgrad; keine Leistungsoptimierung zu Lasten der Emissionswerte

Ist eine weitere Minimierung des Ausstoßes von Stickoxiden angestrebt, so werden weitergehende, außermotorische Maßnahmen notwendig, wie z.B. der Einsatz einer selektiven katalytischen Reduktion (SCR). Diese Technologie mindert den Ausstoß von Stickoxiden mittels Eindüsung von Ammoniak oder Harnstoff in den Abgasstrom.

In Bezug auf Formaldehydemissionen scheint es derzeit nicht möglich, einen Emissionswert von 60 mg/Nm<sup>3</sup> (TA – Luft) innermotorisch ohne Abgasnachbehandlung weiter zu minimieren, ohne entweder unzulässig hohe Mengen an Stickoxiden zu emittieren oder einen erhöhten Brennstoffverbrauch, bezogen auf den Punkt maximalen Wirkungsgrades, in Verbindung mit drastisch erhöhten thermischen Belastungen einzelner Motorbauteile akzeptieren zu müssen /8/. Das EEG 2009 /9/ hat deshalb für Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen durch Erhöhung der Vergütung von 1 Ct/kWh für die Minimierung der Formaldehydkonzentration im Abgas einen Anreiz geschaffen, Motoren mit sekundärer Abgasreinigungstechnik nachzurüsten. Die Bund/Länderarbeitsgruppe Immissionsschutz (LAI) hat die Voraussetzung für die Vergütungserhöhung konkretisiert und vorerst einen Emissionswert von 40 mg/Nm<sup>3</sup> festgelegt.

Unter sekundärer Abgasreinigungstechnik werden Technologien wie die thermische Nachverbrennung oder der Oxidationskatalysator verstanden. Beide bewirken die Verminderung von unvollständig oxidierten Kohlenwasserstoffen, wie Formaldehyd und Kohlenmonoxid. Allen Abgasreinigungstechnologien (ausgenommen die thermische Nachverbrennung) ist die Notwendigkeit einer u. U. aufwendigen Rohgasreinigung gemein, da sonst ein schneller Verschleiß durch Belegung und Zerstörung der Reaktionsflächen der Katalysatoren und Regeneratoren besteht. Dies ist auch der Grund, weshalb Lambda-1-Motoren in Verbindung mit 3-Wege-Katalysatoren keine Anwendung finden. Über die technische und wirtschaftliche Darstellbarkeit der Verfahren wird derzeit intensiv diskutiert. Verschiedene Hersteller haben bereits das Thema der Reinigung von Biogas und Motorenabgasen aufgegriffen und treten verstärkt mit entsprechenden Systemen auf den Markt. An dieser Stelle wird auf die Ergebnisse des Forschungsprojektes (FVV-Vorhaben 918 „Formaldehyd-Wirkzusammenhänge“) hingewiesen, welche die Wirkmechanismen und mögliche Lösungsstrategien zur Emissionsminderung aufzeigen ([www.fvv-net.eu/aktuelles](http://www.fvv-net.eu/aktuelles)). Derzeit laufen weitere Forschungsvorhaben, die die Formaldehydproblematik von biogasbetriebenen BHKW näher untersuchen. Genannt werden kann die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie initiierte „Studie zur Ermittlung der optimalen Wartungsintervalle und Wartungsschritte für die in Sachsen am häufigsten eingesetzten BHKW-Motoren-Spezifikationen“ welche maßgeblich von der HTW Dresden bearbeitet wird.

### 5.1.3 Gewässerschutz

Viele Anlagenteile von Biogasanlagen beherbergen oder verarbeiten wassergefährdende Stoffe, wie z. B. Jauche, Gülle, Sickersäfte sowie andere Betriebs- und Schmierstoffe und unterliegen somit den nachfolgend beschriebenen Regelungen des Wasserrechts. Dies betrifft u. a. die Bereiche der Substratanlieferung und -übergabe, die Lagerung der Eingangssubstrate und Gärreste, Gärbehälter und substratführende Leitungen und Pumpen, Lagerung von Betriebs- und Schmierstoffen sowie Ölvorlagen von Hydraulikaggregaten und BHKW und anderer Betriebsmittel. Zur Vermeidung von Umweltschäden und Gesundheitsgefahren müssen u. a. die in den vorangegangenen Kapiteln 3 und 4 beschriebenen technischen Anforderungen erfüllt sein. Durch unsachgemäße bauliche Ausführung oder Handhabung der Anlage, deren Komponenten sowie von Betriebs- und Einsatzstoffen besteht die Gefahr, dass wassergefährdende Stoffe in den Boden und/oder Gewässer gelangen. Je nach emittiertem Stoff oder Stoffgemisch werden unterschiedliche Beeinträchtigungen der Umwelt hervorgerufen, wie z.B.

- Eutrophierung von Gewässern durch den Eintrag von Stickstoff und Phosphat, z.B. durch Jauche, Gülle, Sickerwässer,

- toxische Wirkung bspw. bei Mikroorganismen und Fischen durch den Eintrag von u. U. in Substraten (z.B. Klärschlamm) enthaltenen Schwermetallen,
- z. T. toxische Wirkung und Bewirken des Zusetzens und Verklebens von Oberflächen (Verminderung der Sauerstoffzufuhr, Erstickungsgefahr) im Boden, Gewässeroberflächen und an Lebewesen durch Öle und andere Schmierstoffe.

Grundsätzlich muss beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen dem Wasserhaushaltsgesetz WHG §19g entsprochen werden. Nach § 19g Abs. 1 WHG müssen Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen so beschaffen sein, dass „...eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist...“. Privilegiert werden Jauche, Gülle und Sickersäfte (JGS) nach § 19g Abs. 2 WHG, sodass bei ihrer Handhabung der bestmögliche Schutz der Gewässer gewährleistet sein muss.

Die Einstufung von Stoffen in verschiedene Wassergefährdungsklassen erfolgt bundeseinheitlich durch die Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe VwVwS (vom 17.05.1999 und deren Änderung vom 27. Juli 2005). Durch die oben angesprochene Ausnahmeregelung für Jauche, Gülle und Sickersäfte werden diese Stoffe nicht in Wassergefährdungsklassen eingestuft. Hingegen sind die technischen Anforderungen, die an die Anlagen zu stellen sind, in den Wassergesetzen der Länder und deren untergesetzlichem Regelwerk (Verordnungen über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) der Länder) geregelt. Die technischen Anforderungen richten sich sowohl nach der Gefährlichkeit des verwendeten Stoffes (WGK) als auch nach dem verwendeten Volumen und nach dem jeweiligen Standort der Anlage (z.B. in Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten) /10/.

Momentan befinden sich wasserrechtliche Regelungen auf Bundesebene in Vorbereitung. Es soll ein völlig neuer Rechtsrahmen mit dem Ziel der Vereinheitlichung und Vereinfachung unterschiedlicher Landesregelungen geschaffen werden. Inwieweit bestehende gesetzliche Regelungen übernommen oder angepasst werden, wird derzeit noch diskutiert, sodass keine abschließende Aussage zur künftigen Ausgestaltung dieser Regelungen aus gewässerschutzrechtlicher Sicht getroffen werden kann.

Den Gewässerschutz derzeit betreffende rechtliche Vorschriften und Regelungen des Bundes und der Länder können u. a. im Internet unter [www.umweltdigital.de](http://www.umweltdigital.de) eingesehen werden.

#### 5.1.4 Lärmschutz

Geräuschemissionen treten beim Betrieb einer Biogasanlage vornehmlich durch mobiles Ladegerät und den Betrieb des BHKW auf. Bei immissionsrechtlicher Relevanz können nachfolgend genannte Beispiele zum Lärmschutz beitragen: der Fahrbetrieb durch Radlader oder Stapler kann beispielsweise durch einen automatisierten Substrateintrag mit Vorlage reduziert werden. Die Geräuschemissionen durch das BHKW werden durch entsprechende Schallschutzabdeckungen und durch die Aufstellung in geschlossenen Räumen oder Containern realisiert. Zusätzlich werden Schalldämpfer an Zu- und Abluftöffnung, sowie bei Bedarf im Abgasrohr (Abgasschalldämpfer) des BHKW installiert. Besonders tiefe Frequenzen können teilweise durch die eingebauten Abgasschalldämpfer nicht eliminiert werden. Hier besteht die Möglichkeit des nachträglichen Einbaus eines Tieftonschalldämpfers (z.B. Reflexionsschalldämpfer), der Frequenzen ab 50 Hz effektiv herausfiltert. Weitere technische Maßnahmen können die Aufstellung geräuscharmer Luftkühler sowie die Vermeidung von Körperschallübertragung über Abluftkamin, Kühler oder Motor durch schallentkoppelte Befestigungen darstellen.

Die Immissionsgrenzwerte für Lärm sind in der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm“ (TA - Lärm /11/) geregelt. Für die einzelnen Gebiete (z. B. Wohngebiete, Gewerbegebiete, etc.) sind Geräuschpegel - Richtwerte festgesetzt, welche nicht überschritten werden dürfen. Neben den oben genannten Maßnahmen zum Lärmschutz, können im Vorfeld durch den Anlagenbetreiber/-planer über die



Wahl des Standortes, über Ausrichtung des Betriebsgeländes und der Gebäude sowie über die Wahl der Baustoffe (Schalldämmmaß) Vorkehrungen für einen emissionsarmen Betrieb getroffen werden.

### 5.1.5 Naturschutz

Umweltschutzbelange sind entsprechend der Festlegungen in den Planungsunterlagen umzusetzen. Das können Ausgleichsmaßnahmen entsprechend Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG /12/) und dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG /13/) sein (hier sind Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen durch die geplante Einführung bundeseinheitlicher Regelungen im Rahmen des Naturschutzes zu erwarten), wie z.B. Renaturierungsmaßnahmen durch Begrünungen oder Anlegen von einheimischen, standortgerechten Baum- und Straucharten (immer in Abstimmung und gemäß Auflagen der Genehmigungsbehörde). Dazu gehört auch der Erhalt landschaftsprägender Gehölze als Brut- und Lebensraum von Kleinsäugetern, Vögeln, Reptilien und Weichtieren. Zusätzlich sind auf dem Gelände der Biogasanlage weitere Vorkehrungen zu treffen. So ist beispielsweise der Feuerlöschteich (nur wenn erforderlich und nach Prüfung vorhandener Löschwassereinrichtungen, z. B. Hydranten) mit einer sanften Böschung oder Ausstiegshilfen zum Schutz von Kleintieren zu versehen. Unter der Maßgabe von genügend Zufluchts- und Schutzplätzen kann dieser auch bei Erfordernis entschlammt und entkrautet werden (günstiger Zeitraum August/September). Auch Schächte und Behälter können als Fallen wirken und sind möglichst abzudecken (hier greift auch der Arbeitsschutz). Notwendige Grasmahden (Herbst) und Gehölzverschnitte (Frühjahr) sind aus Gründen des Artenschutzes zeitlich versetzt und schonend durchzuführen. Eine weitere Maßnahme im Sinne des Vogelschutzes ist das Vermeiden großer, glänzender Oberflächen durch die geeignete Wahl von Baumaterialien und Anstrichen.

## 5.2 Anlagenschutz

### 5.2.1 Explosionsschutz

Die folgenden Kapitel geben einen grundlegenden Einblick in die Thematik des Explosionsschutzes. Es wird auf die nachstehenden gesetzlichen Regeln und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften verwiesen, die umfangreiche und detaillierte Informationen zu Schutzmaßnahmen baulicher, technischer sowie organisatorischer Art enthalten.

- Richtlinie 94/9/EG „Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen“ /14/
- Richtlinie 99/92/EG „Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können“ /15/
- Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG /16/
- Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV /17/
- Explosionsschutzverordnung - 11. GPSGV /18/
- TRBS 1111 Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung /19/
- TRBS 2152 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines /20/
- TRBS 2152 Teil 1 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung /21/
- TRBS 2152 Teil 2 Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre /22/
- TRBS 2152 Teil 4 Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes /23/
- BGR 104 Explosionsschutz-Regeln /24/



Anmerkung: gegenwärtig wird der Textteil der BGR 104 ohne Anlagen und ohne Beispielsammlung in die Technischen Regeln zur Betriebssicherheit überführt. Hierbei wurden bereits die Teile E1 und E3 der BGR 104 in die TRBS 2152 Teil 2 und 4 übernommen. Auch der Teil 1 der TRBS 2152 liegt vor, Teil 3 ist in Arbeit. Um dem Nutzer ein in sich geschlossenes Basiswerk zum Explosionsschutz bereitzustellen, hat man sich entschlossen (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung), die Explosionsschutz-Richtlinie als Ganzes zu erhalten. Die entsprechenden Textpassagen werden durch die beschlossenen Technischen Regeln zur Betriebssicherheit ersetzt.

Weitere Informationen können dem im Juni 2009 von der KAS verabschiedeten Merkblatt 12 "Sicherheit in Biogasanlagen" entnommen werden.

### 5.2.1.1 Gefährdungsbeurteilung und Explosionsschutzdokument

Der Arbeitgeber (i.d.R. der Biogasanlagenbetreiber) hat zum Schutz der Beschäftigten mögliche Gefährdungen zu ermitteln, zu bewerten und durch geeignete Maßnahmen zu minimieren. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung gem. ArbSchG und BetrSichV sind, neben weiteren Belangen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (siehe Kapitel 5.3 Arbeitsschutz), auch Gefahren durch Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären (g. e. A.) zu berücksichtigen. Dies ist dann der Fall, wenn der Arbeitgeber nicht sicher verhindern kann, dass es zu Bildung einer g. e. A. kommt. Im Sinne der das ArbSchG ergänzenden Anforderungen der BetrSichV (§3), sind

- die Wahrscheinlichkeit und die Dauer des Auftretens g. e. A.,
- die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins, der Aktivierung und des Wirksamwerdens von Zündquellen einschließlich elektrostatischer Entladungen und
- das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkungen von Explosionen

zu prüfen und zu beurteilen. Hierfür hat der Arbeitgeber, unabhängig von der Zahl der Beschäftigten sicherzustellen, dass vor Inbetriebnahme der Anlage ein Explosionsschutzdokument erstellt wird. Dieses ist in gleicher Weise wie die Gefährdungsbeurteilung fortlaufend den aktuellen Gegebenheiten der Anlage anzupassen. Aus dem Explosionsschutzdokument gem. §6 BetrSichV muss insbesondere hervorgehen,

- dass die Explosionsgefährdungen ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind,
- dass angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen,
- welche Bereiche entsprechend Anhang 3 BetrSichV in Zonen eingeteilt wurden und
- für welche Bereiche die Mindestvorschriften gemäß Anhang 4 BetrSichV gelten.

Ein Muster eines Explosionsschutzdokumentes stellt der Fachverband Biogas auf seiner Internetseite <http://www.biogas.org/> bereit. Ein beispielhafter Aufbau ist auch in der BGR 104, Abschnitt E6 dargestellt, in dem viele, nicht nur den Explosionsschutz betreffende, Angaben enthalten sind. Diese, auch den übergreifenden Arbeitsschutz betreffende Angaben zu organisatorischen Maßnahmen, wie z.B. Unterweisung von Beschäftigten, Koordination von Arbeiten und Arbeitsfreigaben, Arbeitsplatzprüfung, wiederkehrende Prüfungen von Anlagen und Komponenten, Beschilderung und Ausweisung von Flucht und Rettungswegen sind in den Folgekapiteln (Unterkapitel zu 5.2 Anlagenschutz und Kapitel 5.3 Arbeitsschutz) kurz dargestellt. Die oben genannten Quellen können lediglich als Hilfestellungen zur Erstellung des Explosionsschutzdokumentes herangezogen werden, da der Arbeitgeber (i. d. R. der Biogasanlagenbetreiber) eigenverantwortlich, die realen Verhältnisse der Anlagenausführung und Betriebsweise berücksichtigend (Einzelfallprüfung), das Explosionsschutzdokument zu erstellen hat. Vertiefend

kann in den gesetzlichen Vorschriften (z.B. ArbSchG, BetrSichV) und den untergeordneten technischen Regelwerken nachgeschlagen werden.

### 5.2.1.2 Vermeiden gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre

Eine explosionsfähige Atmosphäre gemäß TRBS 2152 Teil 1 (BGR 104) tritt dann auf, wenn ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich ein Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt (i. S. der selbstständigen Fortpflanzung der Reaktion), vorhanden ist. Tritt eine explosionsfähige Atmosphäre in einer solchen Menge (gefährdrohende Menge) auf, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten oder Dritter erforderlich werden, so wird dies als gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (g. e. A.) bezeichnet. Zur Vermeidung einer g. e. A. können technische und organisatorische Maßnahmen ergriffen werden. Organisatorische Maßnahmen allein sind i. d. R. nicht ausreichend, um einen den Sicherheitserfordernissen angemessenen Explosionsschutz zu gewährleisten, ergänzen aber die vorhandenen technischen Maßnahmen. In den Kapiteln 3 Anlagentechnik und 4 Anlagenbetriebsweise wurden bereits verschiedene Maßnahmen zur Vermeidung einer g. e. A. dargestellt, auf die an dieser Stelle verwiesen wird. Weitergehende Ausführungen sind bspw. in den TRBS 2152 Teil 2, der TI4 Anhang 10 und der BGR 104 Abschnitt E7 beschrieben.

### 5.2.1.3 Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche

Die Ex-Zoneneinteilung erfolgt anhand der Wahrscheinlichkeit und der Dauer des Auftretens von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären in bestimmten Anlagenbereichen. Diese Bereiche werden entsprechend der BetrSichV vom Anlagenbetreiber selbstständig und eigenverantwortlich anhand der Zoneneinteilung lt. EG Richtlinie 1999/92 (siehe Tabelle 5.2.1) festgelegt.

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären durch Gas-, Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische. Generell müssen die Zonen bei jeder Biogasanlage individuell, je nach Ausrüstung und Betriebsweise entsprechend der Gefährdungsbeurteilung eingeteilt werden. Dabei werden die Zonen für den Normalbetrieb, d.h. für den Betrieb innerhalb der Anlagenparameter definiert, wobei für die Einteilung der Zonen in Verbindung mit deren räumlicher Ausdehnung folgende Kriterien für die Beurteilung herangezogen werden müssen: Menge, Dichte und Druck des austretenden Gases, Ort des Austritts bzw. des Entstehens einer explosionsfähigen Atmosphäre sowie bauliche Gegebenheiten (z.B. Eindringen in Räume, mögliche Zündquellen) und Qualität der technischen Maßnahmen zur Vermeidung und Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (z.B. Lüftung, Inertisierung). Im Wartungs- und Störfall (An- und Abfahren, Reinigen, Umrüsten, Warten und Reparieren der Anlage, technische Störungen und Havarien), bei dem es zu einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre kommen kann, sind die für den Normalbetrieb definierten Zonen oftmals nicht ausreichend und nicht anwendbar. Diese Situationen müssen bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung und des Explosionsschutzdokumentes entsprechend berücksichtigt und vorab dokumentiert werden.

**Tabelle 5.2.1 Definition der Explosionsschutzonen für Gase und Aerosole nach Richtlinie 1999/92/EG**

Gase	Zone 0	explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig
------	--------	--

	Zone 1	Normalbetrieb bei dem gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln auftritt
	Zone 2	Normalbetrieb bei dem eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt
Staub	Zone 20	explosionsfähige Atmosphäre ist in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden
	Zone 21	Normalbetrieb bei dem sich gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub bilden kann
	Zone 22	Normalbetrieb bei dem eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Die Einteilung von Explosionsschutzzonen für Staub (20, 21, 22) spielen eine eher untergeordnete Rolle. Hier wird jedoch auf feste, staubartige Betriebshilfsmittel hingewiesen, die bei unsachgemäßer Handhabung kurzzeitig eine explosionsfähige Atmosphäre verursachen können. Hier sind Vorkehrungen zu treffen, die eine sichere Lagerung und einen gefahrlosen Umschlag gewährleisten (z. B. Verpackungen und Behältnisse fest verschlossen, ausreichend belüftete Räume, ggf. Zwangsbelüftung). Sind technische und organisatorische Maßnahmen zur sicheren Vermeidung einer explosionsfähigen Atmosphäre nicht ausreichend, so müssen auch hier Zonen definiert und sekundäre Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen ergriffen werden.

#### 5.2.1.4 Vermeidung von Zündquellen

##### Elektrische Betriebsmittel

Kann eine Gefährdung durch explosionsfähige Atmosphären nicht ausgeschlossen werden, so müssen in den entsprechenden Bereichen (Zone 0 bis 2 bzw. 20 bis 22) alle potentiellen Zündquellen entfernt werden. Ist dies nicht möglich, so müssen durch den Einsatz von explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln und anderer baulicher sowie organisatorischer Maßnahmen Zündquellen sicher vermieden werden. Elektrische Betriebsmittel müssen hierbei den Anforderungen der Explosionsschutzverordnung (11. GPSGV) bzw. EU - Richtlinie 94/4/EG entsprechen, die unter anderem eine Einteilung der Betriebsmittel in Kategorien in Abhängigkeit der Ex-Zone vorsieht (vgl. Tabelle 5.2.2).

**Tabelle 5.2.2 Zusammenstellung Gerätekategorie und EX-Zonen nach RL 94/9/EG**

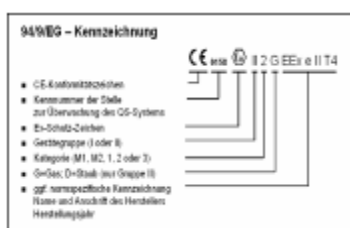
Ex-Zonen nach Richtlinie 9/92/EG	einsetzbare Gerätekategorien der Gerätegruppe II	Mindestanforderung an das Betriebsmittel
0	1	Vorhandensein zweier unabhängiger Schutzsysteme
1	1 und 2	Sicher bei normalem Betrieb und üblichen Fehlern
2	1, 2 und 3	Sicher im normalen Betrieb

An diesen Geräten müssen gut lesbar und unauslöschbar folgende Angaben zu finden sein:

- Name und Anschrift des Herstellers
- CE-Kennzeichnung,
- Bezeichnung der Serie und des Typs,

- gegebenenfalls die Seriennummer,
- das Baujahr,
- das spezielle Kennzeichen zur Verhütung von Explosionen X gefolgt von dem Kennzeichen, das auf die Kategorie verweist,
- für die Gerätegruppe II der Buchstabe „G“ (für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas- Dampf-, Nebel-, Luft-Gemische vorhanden sind) und/oder der Buchstabe „D“ (für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann).

Zusätzlich und wenn erforderlich müssen auch alle für die Sicherheit bei der Verwendung unabdingbaren Hinweise angebracht werden /14/. Eine beispielhafte Kennzeichnung zeigt Abbildung 5.2.1 Kennzeichnung nach Richtlinie 94/9/EG.



**Abbildung 5.2.1 Kennzeichnung nach Richtlinie 94/9/EG; Abbildung: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz**

Alle Teile von Biogasanlagen mit dem Einsatz von Geräten und Schutzsystemen gem. Richtlinie 94/9/EG (z. B. Gaswarnanlage) in explosionsgefährdeten Bereichen, gelten i. S. der BetrSichV §1 als überwachungsbedürftige Anlagenteile und unterliegen somit der Prüfpflicht nach den §§ 14 und 15 der BetrSichV. Das heißt: Prüfungen sind durch eine anerkannte, befähigte Person oder zugelassene Überwachungsstelle i. S. der TRBS 1203, Teil 1 vor der Inbetriebnahme, nach wesentlichen Änderungen und in wiederkehrend in Abständen, mindestens aber alle 3 Jahre durchzuführen.

### Zündquellen

Neben der Verwendung explosionsgeschützter Betriebsmittel müssen weitere Zündquellen definiert und durch bauliche und organisatorische Maßnahmen ausgeschlossen werden. In Tabelle 5.2.3 sind Zündquellen aufgeführt und mit Praxisbeispielen hinterlegt. Zündquellen sind in BGR 104 Abschnitt E 2.3 ausführlich beschreiben.

**Tabelle 5.2.3 Zündquellen**

Zündquellen lt. BGR 104, Abschn. E 2.3	Beispiele	mögliche Maßnahmen zur Vermeidung
Heiße Oberflächen	Turbolader, Brennraum der Notfackel,	Abstand, Verhindern des Eindringens von Gas in Maschinenraum - gasdichte Wanddurchführung von Rohren und Kabeln; Schnellschlussventil außerhalb des Maschinenraumes (BHKW) bei Ansprechen der Gaswarneinrichtung im Maschinenraum vorteilhaft; organisatorische Schutzmaßnahmen: Betriebsanweisung, kein ständiger Arbeitsplatz, Arbeitsfreigaben, Schweißerlaubnis, Unterweisungen
Flammen und heiße Gase	Arbeiten mit offener Flamme wie Schweißen	Verbot offener Flammen, Betriebsanweisung, kein ständiger Arbeitsplatz, Arbeitsfreigaben, Schweißerlaubnis, Unterweisungen

	o. ä., Rauchen	
Mechanisch erzeugte Funken	durch Arbeiten wie Schlagen, Abtragen, Trennen	Ex-geschütztes Werkzeug, Berieselung oder Nässung der Arbeitsstelle, ausreichende Belüftung (u. U. zwangsweise Bewitterung), Betriebsanweisung, kein ständiger Arbeitsplatz, Arbeitsfreigaben, Unterweisungen
Elektrische Anlagen	Funken bei Schaltvorgängen, lose Kontakte	Verwenden explosionsgeschützter Betriebsmittel und/oder Stromlosschalten nicht explosionsgeschützter Betriebsmittel bei Auftreten einer g. e. A., Verhindern des Eindringens von Gas in Schaltraum - gasdichte Wanddurchführung von Rohren und Kabeln

**Fortsetzung Tabelle 5.2.3 Zündquellen**

Zündquellen lt. BGR 104, Abschn. E 2.3	Beispiele	mögliche Maßnahmen zur Vermeidung
Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz	Induktionsschweißanlagen, Körper- oder Erdschluss elektrischer Betriebsmittel	Wartung, Betriebsanweisung, kein ständiger Arbeitsplatz, Arbeitsfreigaben, Schweißerlaubnis, Unterweisungen
Statische Elektrizität	aufgeladene, voneinander getrennte Teile mit unterschiedlichen Potentialen	elektrisch leitfähige Kunststoffrohre, Gesamtpotentialausgleich aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile, nicht statisch aufladbare Schutzausrüstung/ -kleidung
Blitzschlag		Blitzschutz, Erdung, Gesamtpotentialausgleich aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile, Überspannungsschutz,
Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9 kHz bis 300 GHz	Funkgeräte, Mobiltelefone	Nutzungsverbot, organisatorische Schutzmaßnahmen: Betriebsanweisung, kein ständiger Arbeitsplatz, Unterweisungen
Elektromagnetische Strahlung der Frequenzen von $3 \cdot 10^{11}$ Hz bis $3 \cdot 10^{15}$ Hz bzw. Wellenlängen von 1000 $\mu\text{m}$ bis 0,1 $\mu\text{m}$	selten auftretend, möglich durch Vermessungseinrichtungen	Betriebsanweisung, Arbeitsfreigaben, Unterweisungen
Ionisierende Strahlung	selten auftretend, möglich bei Bauteilprüfungen mit Röntgenstrahlung	Betriebsanweisung, Arbeitsfreigaben, Unterweisungen
Ultraschall	durch Messgeräte, wie Füllstandsüberwachung oder Durchflussmessung	explosionssgeschützte Betriebsmittel oder Stromlosschaltung bei Überschreitung $\text{O}_2$ -Gehalt im System bzw. $\text{CH}_4$ -Gehalt außerhalb des Systems (Gasmess- und Warneinrichtung)
Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase		
Chemische Reaktionen	Wärmefreisetzung bei Regeneration von Eisenhydroxid (Entschwefelung), mögliche Selbstentzündung von Biomüll, Aktivkohle	Vermeidung bzw. ortstrennte Aufbereitung und/oder Lagerung, konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung unzulässiger Erwärmung

**5.2.1.5 Konstruktiver Explosionsschutz**

Sind vorgenannte Maßnahmen zur Vermeidung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre (vgl. auch TRBS 2151 Teil 2) und zu Vermeidung von Zündquellen (vgl. BGR 104 Abschnitt E2) nicht durchführbar, nicht sinnvoll oder nicht ausreichend sicher, werden konstruktive Maßnahmen erforderlich, die die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß reduzieren. Dazu gehören:

- Verwenden von Armaturen und gasbeaufschlagten Anlagenteilen mit DVGW-Zulassung, anderenfalls ist die Druckfestigkeit, die dem zehnfachen des Betriebsüberdrucks entspricht, nachzuweisen
- Einsatz von Flammendurchschlagsicherungen vor und möglichst nahe an den Verwertungseinrichtungen (Heizkessel, BHKW, Gasfackel); Einbauanweisungen der Hersteller sind zu beachten

Weitere Informationen können z.B. der TRBS 2152 Teil 4 und anderen technischen Regelwerken entnommen werden.



### 5.2.2 Brandschutz

Bereits während der Planung einer Biogasanlage sind die Belange des Brandschutzes zu berücksichtigen. Die beim Bau umzusetzenden brandschutztechnischen Erfordernisse fließen in die vom Anlagenbetreiber zu erstellende Brandschutzordnung und Brandschutzplan ein, welche in enger Abstimmung mit der zuständigen Feuerwehr und dem Versicherer erarbeitet werden sollten. Das so abgestimmte Konzept ist der zuständigen Genehmigungsbehörde vor Inbetriebnahme der Biogasanlage vorzulegen.

Im Folgenden sind, in Ergänzung zu den vorherigen Kapiteln, bauliche und auch organisatorische Brandschutzmaßnahmen zur Minimierung der Gefahr eines Brandes und dessen Auswirkungen beispielhaft aufgeführt, die je nach Anlagengestaltung (Einzelfallprüfung) zur Anwendung kommen können:

- Einbau von Brandschutzklappen und Kabelabschottung mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bei Durchquerung verschiedener Brandabschnitte und Schutzwände, sowie Verwendung von Brandschutztüren (feuerbeständig und selbstschließend) in Schutzwänden (Feuerwiderstandsklasse T 90 gemäß DIN 4102)
- Gewährung eines ausreichend großen Abstands heißer Bauteile (z.B. Abgasrohr des BHKW) von Wänden und Wandverkleidungen und/oder Dämmungen heißer Bauteile; Berücksichtigung von Baustoffklassen
- sensorische und/oder visuelle Raumüberwachung auf Rauchgas- und Brandentwicklung (auf Eignung von Rauchgas- und Brandmeldern für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen - Ex-Zonen - achten, vergleiche Kapitel 5.2.1.3 Vermeiden wirksamer Zündquellen)
- Prüfung nutzbarer Löschwassereinrichtungen (z.B. Hydrant, Löschwasserteich) mit Nachweis der erforderlichen Löschwassermenge
- Einrichtung und Ausweisung von Fluchtwegen und Rettungsplänen (vorgeschriebene Bemessung und Kennzeichnung)
- Ausweisung von Rauchverboten und Verboten gegen Feuer und offenes Licht; in Bezug sich überschneidende Brandschutz- und Ex-Bereiche sind auch Maßnahmen, wie unter Kapitel 5.2.1.3 Vermeiden wirksamer Zündquellen beschrieben, notwendig
- Brandlasten, die zum Übergreifen des Brandes auf andere Gebäudeteile führen können, sind zu entfernen oder zu vermindern

Weiterführende Vorschriften und Regeln zum Brandschutz sind beispielsweise in den Landesbauordnungen, der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 13/1-2 „Feuerlöschleinrichtungen“ und der BGR 133 „Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern“ niedergelegt.

### 5.2.3 Wartung und Instandhaltung

Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sollen einen reibungs- und gefahrlosen Betrieb der Biogasanlage gewährleisten. Allgemein sind dabei in bestimmten Intervallen diverse Kontrollgänge zur Prüfung der Anlagenparameter und Funktionsfähigkeit von Anlagenkomponenten zu tätigen. Hierzu zählen die Dokumentation verfahrenstechnischer Parameter (z.B. Gasmenge und -qualität, Temperatur, pH-Wert und weitere prozessbiologische Kenndaten), Kontrolle von Betriebszuständen (z.B. Füllstände, Dosiermengen) und Funktionsprüfungen von Schalteinrichtungen (z.B. Schieber, Ventile, Sicherheitseinrichtungen). Alle bei den Kontrollgängen aufgezeichneten Parameter und ausgeführte Tätigkeiten sind im Betriebstagebuch zu dokumentieren. Hier werden auch alle Stoffe (z.B. Substrate, Hilfs- und Betriebsstoffe wie Wasser, Enzyme, Fällmittel, Gärreste), welche in die Anlage gelangen oder diese verlassen, einschließlich der Angaben zur Herkunft, Art, Menge und Qualität verzeichnet. Darüber hinaus sind anwe-

sende Personen wie z.B. betriebseigenes Personal, beauftragte Firmen oder Besucher in das Betriebs-tagebuch aufzunehmen.

Neben den schon beispielhaft genannten Parametern und Anlagenkomponenten, werden nachfolgend weitere Beispiele gegeben, die einem Wartungs- und Instandhaltungsregime unterliegen:

Kabel sollten in Schutzrohren und abgedeckten Kanälen aus Stahl oder Kunststoff zu verlegen, um mechanische Beschädigungen, beispielsweise durch Anfahren oder Nagerverbiss, zu vermeiden. Auch Wanddurchführungen sind entsprechend gegen das Eindringen von Kleintieren abzudichten. Kabelabdeckungen und Wanddurchführungen sind in regelmäßigen Abständen auf Unversehrtheit zu überprüfen.

Dämmmaterialien mit Blechverkleidungen zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen und Einnisten von Kleintieren, sind gelegentlich zu inspizieren. Vogel- und Insektenschutzgitter sowie Vliesfilter am Ein- und Auslass von Lüftungsöffnungen (z.B. bei Aufstellräumen von BHKW und Kompressoraggregaten) sind zu kontrollieren und gegebenenfalls zu reinigen.

Bei Bedarf, z.B. bei Biogasanlagen mit Bioabfallverwertung, werden Köder ausgelegt und falls notwendig Kammerjäger bestellt. Diese Maßnahmen sind in entsprechenden Köderplänen und Ungezieferbekämpfungsplänen zu dokumentieren und entsprechende Warnschilder anzubringen.

Bei Frostgefahr sind Maßnahmen gegen das Einfrieren von Leitungen und Armaturen zu ergreifen. Mögliche Vorkehrungen sind das Anbringen von Begleitheizungen und Wärmedämmungen, Verwenden von Frostschutzmitteln (z.B. Wasservorlage der Über- und Unterdrucksicherung - Achtung anderes Ansprechverhalten!) oder, dort wo möglich und zulässig, das völlige Entleeren von Leitungen (z.B. Wasser-schläuche für Reinigungsarbeiten).

Der Füllstand der Über-/Unterdrucksicherung ist regelmäßig zu prüfen.

Rohrleitungen, Armaturen und Behälter müssen durch regelmäßiges Begehen der Anlage auf deren Dichtheit geprüft werden. Dies kann durch die eigene Sinneswahrnehmung (z. B. über Geruch, Geräusche, Schlieren- und Eisbildung, sowie über Schaumbildung bei Zuhilfenahme von Lecksuchsprays) oder mittels mobilem Leckanzeigergerät und/oder tragbarer Gaswarneinrichtung erfolgen.

### 5.3 Arbeitsschutz

Der Arbeitsschutz befasst sich mit Verhütung von Arbeitsunfällen und arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren sowie mit der menschengerechten Gestaltung der Arbeit. Wichtige rechtliche Grundlagen bilden u. a. das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG/16/), Geräte und Produktsicherheitsgesetz (GPSG /25/), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV /17/), Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV /26/), Gefahrstoffverordnung (GefStoffV /27/) und Biostoffverordnung (BioStoffV /28/). Dieser gesetzliche Rahmen schafft die Grundlage für die Gestaltung von Arbeitsmitteln, -stoffen, -verfahren, bei denen technische Mängel sowie organisatorisches und individuelles Fehlverhalten verringert oder ausgeschlossen werden sollen. Von den Berufsgenossenschaften werden auf dieser Basis Unfallverhütungsvorschriften erstellt, welche wesentliche Vorgaben des Gesetzgebers enthalten. Neben den allgemeinen Unfallverhütungsvorschriften BGV A1 "Grundsätze der Prävention" und der VSG 1.1 „Allgemeine Vorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz“ existieren auch speziellere Vorschriften, bspw. zum Umgang mit schweren Maschinen und Apparaten sowie zu elektrischen Anlagenteilen. Diese sind auf den Internetseiten der gewerblichen und landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften abrufbar ([www.lsv.de](http://www.lsv.de), [www.arbeitssicherheit.de](http://www.arbeitssicherheit.de)).

#### 5.3.1 Gefährdungsbeurteilung

Das ArbSchG (§§ 5 und 6) stellt die Grundlage der Gefährdungsbeurteilung dar. Der Betreiber hat die Pflicht bei Beschäftigung von mehr als zehn Personen das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, die von

ihm festgelegten Maßnahmen des Arbeitsschutzes und das Ergebnis ihrer Überprüfung zu dokumentieren. Finden die das ArbSchG ergänzenden Anforderungen der BetrSichV, der BioStoffV oder der GefStoffV Anwendung, so ist die Dokumentation unabhängig der Anzahl der Beschäftigten durchzuführen. Die Gefährdungsbeurteilung ist, je nach Gefahrenlage, entsprechend der genannten Verordnungen anzupassen und zu konkretisieren. Hierbei sind für alle Betriebszustände, wie z.B. Normalbetrieb, An- und Abfahren, Wartungs- und Reparaturarbeiten Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen, welche ständig auf aktuellstem Stand zu halten sind. Weiterführende Informationen zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung sowie zur Wirkung und Eindämmung von Gefährdungen enthält u. a. die Sonderschrift S42 „Ratgeber zur gefährdungsbezogener Beurteilung von Arbeitsschutzmaßnahmen“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)/29/.

### 5.3.2 Betriebsanweisung

Eine umfassende Anlagendokumentation ist Voraussetzung für sicheres Betreiben der Anlage. Der Anlagenbetreiber hat bei Erhalt der Dokumentation der Komponentenhersteller zu prüfen, ob alle notwendigen Konformitätserklärungen und Betriebsanweisungen vorliegen. Diese ermöglichen die Prüfung der Einsatzfähigkeit der Produkte, z.B. Ex-Zonentauglichkeit oder anderer technischer Parameter (Aufstellungs- und Einbauvorschriften). Zudem werden Sicherheitshinweise beim Betrieb der Anlage/des Bauteils und Hinweise zu Verhaltensweisen im Gefahrenfall gegeben. Diese sind unter anderem in ein betriebliches Sicherheitskonzept einzubinden. Ein weiterer Bestandteil der Dokumentation ist das nach der Fertigstellung der Anlage aktualisierte Anlagenschema und Fließbild mit korrekter Nennung und Darstellung des Einbauortes aller Anlagenkomponenten (Ventile, Pumpen, Sensoren, etc.). In Abhängigkeit der Einbausituation der Komponenten und der Anlagenbetriebsweise muss der Betreiber eine Betriebsanweisung erstellen, die alle Anlagenzustände (z.B. Normalbetrieb, An- und Abfahren der Anlage, Wartungs- und Reparaturarbeiten) umfasst. Anhand dieser sind die Beschäftigten regelmäßig (jährlich) zu unterweisen. Musterbeispiele für verschiedene Betriebszustände gibt z.B. die Technische Information 4 der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften in den Anhängen 1 bis 7 /30/.

### 5.3.3 Arbeitsstätte

Der Arbeitgeber (i. d. R. Biogasanlagenbetreiber) hat dafür zu sorgen, dass von der Arbeitsstätte keine Gefährdung für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten ausgeht. Arbeitsstätten gemäß Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) sind Orte in Gebäuden oder im Freien, die sich auf dem Gelände eines Betriebes oder einer Baustelle befinden, die zur Nutzung für Arbeitsplätze vorgesehen sind oder zu denen Beschäftigte im Rahmen ihrer Arbeit Zugang haben. Dazu gehören auch Verkehrswege und Fluchtwege (inkl. Notausgänge), Lager und Maschinenräume (z.B. Substratlager, BHKW - Betriebsraum), Sozial- und Sanitärtrakte, wie Umkleide-, Wasch- und Toilettenräume sowie Pausen- und Bereitschaftsräume und weitere Nebenräume und Unterkünfte.

Neben den arbeitsschutztechnischen Anforderungen an die bauliche und technische Ausgestaltung von Arbeitsplätzen, wie z.B. die Sicherung von Gefahrenbereichen durch Geländer und Ketten um oder durch Abdeckungen von Gruben und Kondensatschächten, das Anbringen eines Anfahrsschutzes vor relevanten Anlagenteilen, das Begrenzen der Fahrsilohöhe, die arbeitsgerechte Gestaltung des Arbeitsplatzes (z.B. Größe, Luftversorgung oder Beheizung der Leitwarte) oder das zur Verfügung stellen von Sozialräumen wie Toiletten, Umkleide- und Waschgelegenheiten, werden weitere Anforderungen an den Betrieb der Biogasanlage gestellt. Diese sind z. B.:

- das Bereitstellen von Reinigungsmöglichkeiten für Beschäftigte entsprechend den hygienischen Erfordernissen; weiterreichende hygienische Maßnahmen werden u. a. bei der Annahme von Substraten gemäß VO (EG) 1774/2002 (vgl. Kapitel 5.1.1) und anderer noch zu hygienisierender Substrate (z.B.

Bioabfälle) notwendig; bei Anwendbarkeit der BioStoffV, sind auch die Hygieneanforderungen der mit der BioStoffV in Verbindung stehenden TRBA (Technische Regeln biologische Arbeitsstoffe) zu berücksichtigen;

- Verwenden persönliche Schutzausrüstung; diese können sich je nach Gefährdungsbeurteilung und Arbeitsplatz unterscheiden; Verwendung finden sollten z. B. Gurte, Dreibeine, Winden als Einstiegshilfen für Behälter, Helm, Handschuhe, Schutzbrille, Gehörschutz (Beurteilungsschallpegel darf max. 85 dB (A) entsprechen), umgebungsluftunabhängiger Atemschutz, mobile Gasmessgeräte zum Freimessen;
- das Anbringen der Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnungen; beschildern und kennzeichnen gemäß BGV A8 "Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung" (vgl. auch ASR A1.3) oder VSG 1.5 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“; dazu zählen auch das Ausweisen von Flucht- und Rettungswege sowie spezieller Gefahrenbereiche, in denen die Anforderungen der BioStoffV oder GefStoffV gelten;
- das Warten und Prüfen von Sicherheitseinrichtungen (Beleuchtung, Feuerlöscheinrichtungen, Notauschalter u. a.);
- das Freihalten von Fluchtwegen und Notausgängen sowie das Bereithalten von Mitteln zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen;

Der Biogasanlagenbetreiber hat die Wirksamkeit der Arbeitsschutzmaßnahmen zu überprüfen und erforderlichenfalls den geänderten Umständen anzupassen. Mindestens einmal im Jahr ist für alle Mitarbeiter eine aktenkundige Unterweisung zu Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit durchzuführen. Es können bei Erfordernis Übungen und Probealarme durchgeführt werden.

Zur Konkretisierung der ArbStättV bezüglich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von Schutzmaßnahmen, existieren verschiedene Arbeitsstätten-Richtlinien. Diese werden momentan in die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) überführt. Sie bestehen bis zur Bekanntmachung entsprechender Technischer Regeln (ASR), längstens jedoch bis 2010 fort. Bisher veröffentlichte ASR sind A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“ und A2.3 „Fluchtwegen, Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan“. Unter [www.baua.de](http://www.baua.de) können diese bezogen werden.

#### 5.3.4 Arbeitsmittel und überwachungsbedürftige Anlagen

Maßgebend sind hier die Forderungen der BetrSichV, welche die Anforderungen des ArbSchG konkretisiert. Den Beschäftigten dürfen nur solche Arbeitsmittel ausgehändigt werden, die für die am Arbeitsplatz gegebenen Bedingungen geeignet und bei deren bestimmungsgemäßer Benutzung Sicherheit und Gesundheitsschutz gewährleistet sind (§4 BetrSichV). Demnach müssen Arbeitsmittel entsprechend beschaffen sein, um ein gefahrloses Arbeiten zu ermöglichen. Hierzu werden im Anhang 1 BetrSichV Hinweise zu Mindestvorschriften verschiedener Arbeitsmittel gegeben. Allgemein müssen diese dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) und der Maschinenrichtlinie (MRL) entsprechen. Aus der BetrSichV §10 ergeben sich für diese Geräte Prüfpflichten (Prüfung durch anerkannte befähigte Personen gem. TRBS 1203 Teil 1), deren Intervalle der Anlagenbetreiber in Abhängigkeit der Gefährdungsbeurteilung festlegt.

Werden Geräte und Schutzsysteme im Sinne der Explosionsschutzrichtlinie 94/9/EG in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt, so gelten diese gem. BetrSichV §1 als überwachungsbedürftige Anlagenteile und unterliegen somit der Prüfpflicht nach den §§ 14 und 15 der BetrSichV. D. h. Prüfungen sind auch hier durch eine anerkannte, befähigte Person oder zugelassene Überwachungsstelle i. S. der TRBS 1203, Teil 1 durchzuführen. Dies hat vor der Inbetriebnahme, nach wesentlichen Änderungen, außergewöhnlichen Ereignissen und in wiederkehrenden Abständen, mindestens aber alle 3 Jahre, zu geschehen.

### 5.3.5 Gefahrstoffe

Stoffe, von denen eine Gefährdung der Sicherheit und Gesundheit für Beschäftigte und andere Personen sowie eine Gefährdung der Umwelt ausgeht, werden allgemein als Gefahrstoffe bezeichnet. In Art und Eigenschaften werden sie z.B. in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) definiert. Gefahrstoffe können demnach in verschiedenen Formen und Aggregatzuständen (fest, flüssig, gasförmig, staubförmig, als Aerosole) auftreten und besitzen gefährdende oder schädigende Eigenschaften, wie z.B. „gesundheitsschädigend“, „ätzend“, „giftig“, „karzinogen“ oder „umweltgefährdend“ (vergleiche GefStoffV §4). Aber auch Stoffe, die anhand ihrer physikalischen Eigenschaften (z.B. „hochentzündlich“ oder „leichtentzündlich“) eine Gefährdung darstellen können, werden als Gefahrstoffe eingestuft.

Für gefährliche Stoffe kommen bei Menschen drei Aufnahmewege in Betracht: Verschlucken (orale Aufnahme), Einatmen (inhalative Aufnahme) und Aufnahme über die Haut (dermale Aufnahme). Die Wirkungen können kurzfristig (akut) oder langfristig (chronisch) auftreten. Bei der Gefahrenabschätzung ist neben der Toxizität einer Verbindung auch die Menge der freigesetzten bzw. vom Betroffenen aufgenommenen Substanz von großer Bedeutung. Auch die Umwelt kann auf unterschiedliche Weise durch chemische Stoffe geschädigt werden. Betroffen sind sowohl Pflanzen als auch Tiere. Neben dem direkten Einwirken der Gefahrstoffe können Chemikalien ebenso in den unbelebten Teilen der Natur deponiert werden. Dort können diese Schadstoffe von Pflanzen oder Tieren aufgenommen, über weite Strecken transportiert und über die Nahrungskette bis zum Menschen weitergegeben werden. Im Fall der Vergärung von Biomasse können insbesondere persistente Tierarzneimittel und Pflanzenschutzmittel, die auch während der Vergärung nicht abgebaut werden, als Beispiele hierfür genannt werden.

In Biogasanlagen besitzen insbesondere diverse Gase gefährdende Eigenschaften. Dies sind Biogas (Methan), Schwefelwasserstoff, Stickstoffmonoxid – und -dioxid, Kohlenmonoxid – und -dioxid sowie Ammoniak. Aber auch Betriebsstoffe, wie z.B. mineralische Schmierstoffe und Öle, Hilfsmittel zur Desodorierung oder zur Entschwefelung, können Gefahrstoffe darstellen. Entsprechende Stoffeigenschaften sind in den Tabellen A.1 bis A.4 im Anhang hinterlegt. Ausführliche Informationen zu Gefahrstoffen und anderen chemischen Stoffen enthält die Stoffdatenbank GESTIS. Hier werden Wirkung, Schutz- und Erste Hilfe Maßnahmen beschrieben sowie auf gesetzliche und berufsgenossenschaftliche Regelungen verwiesen ([www.dguv.de](http://www.dguv.de)). Weitere Regelungen im Gefahrstoffbereich stellen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) dar, die beim Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erhältlich sind ([www.baua.de](http://www.baua.de)).

Bei der Erzeugung und Verwendung von Biogas bestehen neben der Brand- und Explosionsgefahr, wie unter Kapitel 5.2. Anlagenschutz beschrieben, Lebens- und Gesundheitsgefahr durch Vergiften und Erstickten beim Einatmen von  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{NH}_3$ . Aufgrund dessen soll im Folgenden auf die Gassicherheit näher eingegangen werden.

Ein gefährdeter Bereich ist bspw. die Substratannahme. Hier ist speziell auf die Entstehung von sehr giftigem Schwefelwasserstoff zu achten. Eine Gefährdung tritt in besonderem Maße bei der Kovergärung eiweißreicher Substrate (Abfälle, tierische Nebenprodukte) auf, bei der durch chemische Säure/Base-Reaktionen schlagartig enorme Mengen Schwefelwasserstoff entstehen können. Zur Vermeidung der unkontrollierten Freisetzung dient eine geschlossene Ausführung der Annahme (Befüllen von flüssigen Substraten über feste Flanschverbindungen, Befüllstutzen oder geschlossene Förderschnecken). Die entstehenden Gase sind durch eine Zwangsentlüftung (Unterdruckhaltung) der Grubenabluft sicher abzuführen. Dabei ist der Luftstrom zu überwachen und bei Ausfall der Entlüftung muss eine Sicherheitsfolgeschaltung in Kraft treten, die eine Alarmierung (optisch und akustisch) und das Geschlossenhalten der Grubenöffnung beinhaltet. Die Eignung der Lüftungsanlage ist durch eine befähigte Person nachzuweisen und jährlich einer Prüfung zu unterziehen. Zu beachten sind auch die Anforderungen an den Explosionsschutz, da Schwefelwasserstoff in Verbindung mit Luftsauerstoff explosionsfähige Gemische bilden



kann. Die räumliche Trennung des Annahmebereiches von anderen Betriebsbereichen dient der Eindämmung einer möglichen Freisetzung von Schwefelwasserstoff. Darüber hinaus sollte die Substratvorlage (Vorgrube o. ä.) nach Möglichkeit vollständig entleert werden. Über die Substratwahl kann, durch das Nutzen von Verdünnungs- und Puffereffekten, auf die Bildung gefährlicher Gase Einfluss genommen werden. Schnelltests und Deklaration zu den Einsatzstoffen ermöglichen dem Betreiber die bessere Einschätzung möglicher Gefahren durch das Mischen von Substraten.

Unter bestimmten Voraussetzungen können weitere Gase bzw. Gärgase bei der Anlieferung (durch Vermischung verschiedener Substrate) sowie bei der Lagerung von Substraten auftreten. Dies sind z.B. Kohlendioxid und Ammoniak, welche erstickende ( $\text{CO}_2$ ) und vergiftende Eigenschaften ( $\text{NH}_3$ ) besitzen. Kann das Austreten von gefährlichen Gasen nicht ausgeschlossen werden, so sind entsprechende Gaswarngeräte zu installieren, die bei Auftreten einer gefährlichen Konzentration das anwesende Personal alarmieren. Für weitere Informationen wird auf das UBA - Informationspapier „Zur Sicherheit bei Biogasanlagen“ /31/ verwiesen.

Da Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff schwerer als Luft sind, reichern sich diese bevorzugt in Gruben und Schächten (z.B. Pumpen- und Kondensatschächte) an. In Behältern, die zu Wartungs-, Inspektions-, oder sonstigen Arbeiten geöffnet werden müssen, können außerdem auch Gase wie z.B.  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$  und  $\text{NO}_2$  bei Hochsilos und  $\text{NH}_3$  auftreten. Grundsätzlich besteht in Behältern und Gruben eine Gefährdung durch sauerstoffverdrängende und/oder giftige Gase. Darüber hinaus bestehen auch hier die Gefahr der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre bei Anwesenheit von Methan oder Schwefelwasserstoff und die Gefahr von Verletzungen durch Einbauten, Gerätschaften und Stürze.

Vor dem Begehen von Gruben, Schächten oder Behältern sind diese freizumessen. Hierbei sollte die Atmosphäre mindestens auf die Gase Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff hin überprüft werden. Ist mit dem Auftreten von Wasserstoff oder Ammoniak zu rechnen, ist die ergänzende Messung dieser Stoffe vorteilhaft. Behälter sind nach Möglichkeit vollständig zu entleeren und ein Eindringen von Stoffen (z.B. Biogas, Substrat) durch Absperren von Ventilen und Schiebern, zu verhindern. Behälter und Gruben sind ausreichend zu belüften. Kann dies über einen natürlichen Luftwechsel nicht garantiert werden, so sind technische Vorkehrungen zur Bewitterung zu treffen. Je nach Gefährdung kann der Einsatz eines umgebungsunabhängigen Atemluftgerätes notwendig werden. Gurtsysteme und Hubgeräte schützen vor Stürzen in die Tiefe und können auch zur Rettung aus Behältern genutzt werden. Hierfür ist immer ein Sicherungsposten aufzustellen, welcher im Notfall helfend tätig wird. Ausführliche Informationen zum Befahren von Gruben und Behältern und den notwendigen Sicherungsmaßnahmen geben verschiedene Berufsgenossenschaftliche Vorschriften und Informationsblätter, z.B. die BGR 117 „Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ ([www.arbeitssicherheit.de](http://www.arbeitssicherheit.de)) und die VSG 2.8 „Gütlelagerung, Gruben, Kanäle und Brunnen“ ([www.lsv.de](http://www.lsv.de)).

Für die hier allgemein dargestellten Gefährdungen durch Gase und andere Stoffe, sind anlagenbezogene Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen. Gemäß §7 GefStoffV und ArbSchutzG hat der Betreiber die stoffabhängige Gefährdungen zu beurteilen, Schutzmaßnahmen zu ergreifen und diese dem aktuellen Erkenntnisstand anzupassen. Dies beinhaltet u. a. auch die Gefährdungsbeurteilung durch mögliche Brand- und Explosionsereignisse aufgrund der Eigenschaften von Biogas. In §12 und Anhang III Nr.1 der GefStoffV wird auf die besonderen Anforderungen an Schutzmaßnahmen eingegangen (vgl. auch Kapitel 5.2). Die auf Basis der Gefährdungsbeurteilung erstellte Betriebsanweisung, soll Informationen über die Gefährdungen am Arbeitsplatz, Schutzmaßnahmen, Verhalten im Gefahrenfall und Erste-Hilfe-Maßnahmen geben. Die Technische Information 4 der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften stellt beispielhaft im Anhang 11 ein Muster der „Betriebsanweisung – Gülle- und Biogase“ bereit. Die Beschäftigten sind mindestens einmal jährlich arbeitsplatzbezogen zu unterweisen.



### 5.3.6 Biologische Arbeitsstoffe

Biologische Arbeitsstoffe sind Mikroorganismen, einschließlich gentechnisch veränderter Mikroorganismen, Zellkulturen und humanpathogener Endoparasiten, die beim Menschen Infektionen, sensibilisierende oder toxische Wirkungen hervorrufen können (§2 Biostoffverordnung (BioStoffV)). Meist ist die Zusammensetzung der auftretenden biologischen Arbeitsstoffe nicht bekannt und unterliegt Schwankungen in Menge, räumlicher Ausdehnung und zeitlichem Anfall. Es ist eine Gefährdungsbeurteilung gemäß BioStoffV durchzuführen, in der auftretende Mikroorganismen und Erreger in Risikogruppen (§§ 3 und 4 BioStoffV und Anhang III EG-Richtlinie 2000/54) eingeteilt, die Gefährdung bezogen auf Betriebsabläufe und Arbeitsverfahren (Art und Dauer einer möglichen Exposition und Übertragungswege) sowie zu ergreifende Gegenmaßnahmen dargestellt werden. Dem entsprechend sind arbeitsplatzbezogene Betriebsanweisungen zu erstellen und das Personal mindestens einmal jährlich zu unterweisen.

Beispiele für eine Gefährdung sind das Einatmen schimmelpilz-, bakterien- oder endotoxinhaltiger Stäube oder Aerosole, z. B. aus feucht gewordener Silage oder Hühner-Trockenkot, der Kontakt mit Bioabfällen oder der Umgang mit Kofermenten, die einer Hygienisierung zu unterziehen sind.

Zur Vermeidung von Gesundheitsgefahren müssen verschiedene bauliche, technische und organisatorische (inkl. personenbezogener) Schutzmaßnahmen getroffen werden, die anlagenindividuell anzupassen sind. Hierfür stehen u. a. die nachfolgenden Technischen Regeln zu biologischen Arbeitsstoffen zur Verfügung, die bei der Beurteilung von Gefahren und notwendigen Schutzmaßnahmen helfen sollen:

TRBA 214 Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft /32/,

TRBA 230 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft und bei vergleichbaren Tätigkeiten /33//34/,

TRBA 500 Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen /34/.

Diese können auf der Internetseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin bezogen werden ([www.baua.de](http://www.baua.de)).

## 5.4 Literatur

- /1/ 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 (ABl. L 273 vom 10.10.2002, S. 1); zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 2007/2006 der Kommission vom 22. Dezember 2006 (ABl. L 379 vom 28.12.2006, S. 98)
- /2/ Biogashandbuch Bayern Materialienband 2.2.6 - Veterinärrechtliche Voraussetzungen für den Betrieb von Biogasanlagen - Stand März 2007, [www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm), Zugriff 11.11.2008
- /3/ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002(BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2007(BGBl. I S. 2470)
- /4/ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002
- /5/ Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) In der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)
- /6/ Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 317)"
- /7/ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes -Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 23. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2470)
- /8/ Stellungnahme vom Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V. (VDMA), Fachverband Motoren und Systeme, übermittelt am 3. Dezember 2008
- /9/ Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien - Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074)
- /10/ Informationen des Umweltbundesamtes, FG II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Gewässergüte und Wasserwirtschaft, Grundwasserschutz; übersendet am 25.11.2008
- /11/ Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz --Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)
- /12/ Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege - Bundesnaturschutzgesetz vom 25. März 2002 (BGBl. I S. 1193), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986)
- /13/ Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757, 2797), zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986)
- /14/ Richtlinie 94/9/EG „Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen“ vom 23.März 1994, zuletzt geändert am 26.1.2000 (ABl. EG Nr. L21 S.42)
- /15/ EU - Richtlinie 99/92/EG „Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können“, Stand: 16. Dezember 1999
- /16/ Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz -

- ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 30. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2130)
- /17/ Verordnungen über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV), 27. September 2002 (BGBl. I S. 3777), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261)
- /18/ Elfte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) vom 12. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1914), zuletzt geändert durch Artikel 18 des Gesetzes vom 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2)
- /19/ TRBS 1111 Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung, enthalten in BGR 104, Ausgabe Januar 2007
- /20/ TRBS 2152 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines, enthalten in BGR 104, Ausgabe Januar 2007
- /21/ Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS 2152 Teil 1) - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung (Bundesanzeiger Nr. 103a vom 2. Juni 2006)
- /22/ Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS 2152 Teil 2) - Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (Bundesanzeiger Nr. 103a vom 2. Juni 2006)
- /23/ Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS 2152 Teil 4) Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (GMBI. 2008, Nr. 26, S. 530)
- /24/ Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen vom Juni 2008, Kooperation des DGUV mit dem Car Heymanns Verlag, 2009, [www.arbeitssicherheit.de](http://www.arbeitssicherheit.de)
- /25/ Geräte- und Produktsicherheitsgesetz vom 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2 (219)), zuletzt geändert durch Artikel 3 Abs. 33 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)
- /26/ Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2007 (BGBl. I S. 1595)
- /27/ Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen - Gefahrstoffverordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758, 3759), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768)
- /28/ Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung -BioStoffV), 27. Januar 1999 (BGBl. I S. 50), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261)
- /29/ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen - Handbuch für Arbeitsschutzfachleute, Sonderschrift S42, 4. aktualisierte Auflage, Dortmund/ Berlin 2004
- /30/ Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.); Technische Information 4 - Sicherheitsregeln für Biogasanlagen; Kassel; Oktober 2008; [www.lsv.de](http://www.lsv.de)
- /31/ UBA, BLB: Informationspapier „Zur Sicherheit bei Biogasanlagen“; Juni 2006, [www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3097.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3097.pdf), Zugriff 09/2008
- /32/ Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe 214 - Abfallbehandlungsanlagen einschließlich Sortieranlagen in der Abfallwirtschaft (TRBA 214), Ausgabe: April 2007, GMBI. Nr. 35 vom 27. Juli 2007, S. 709-720

- /33/ Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe 230 - Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft und bei vergleichbaren Tätigkeiten (TRBA 230), Ausgabe: November 2007, GMBI. Nr. 4 vom 14. Februar 2008, S. 72-81
- /34/ Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe 500 - Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen (TRBA 500), Ausgabe: März 1999



## Anhang

**Tabelle A.1 Betriebsstoffe, Chemikalien (Auswahl)**





Stoff / Chemikalie	Umweltrelevanz*	Gesundheitsrelevanz, Arbeitsschutz
Desinfektionsmittel	wassergefährdend	oftmals reizend, gesundheitsschädlich
Desodorierungsmittel	wassergefährdend	in hoher Konzentration reizend und gesundheitsschädlich
Eisen-II-chlorid	wassergefährdend	gesundheitsschädlich
Eisen-III-chlorid	wassergefährdend	gesundheitsschädlich
Eisenhydroxid	wassergefährdend	gesundheitsschädlich
Flüssiggas		leicht- bzw. hochentzündlich, explosionsgefährlich
Propylen- und Ethylenglykol (Frostschutzmittel, Kühlmittel)	wassergefährdend	gesundheitsschädlich (Ethylenglykol)
Natronlauge	wassergefährdend	stark ätzend
Odorierungsmittel	wassergefährdend	in hoher Konzentration reizend
Schmierstoffe und Öle; mineralisch	wassergefährdend	leicht- bzw. hochentzündlich
Schwefelsäure	wassergefährdend	stark ätzend
schweflige Säure	wassergefährdend	stark ätzend

\* Näheres zur Einstufung von Stoffen in verschiedene Wassergefährdungsklassen in Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe VwVwS (vom 17.05.1999 und deren Änderung vom 27. Juli 2005)

**Tabelle A.2 Gasförmige Emissionen bei Biogasanlagen (Auswahl)**

Komponente	wesentliche Eigenschaften/ AGW *	Ex-Grenzen Vol-% in Luft	Klima- und Umweltrelevanz**	Gesundheitsrelevanz	
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	farblos, stechender Geruch, leichter als Luft, AGW: 20ppm = 14 mg/m <sup>3</sup>	15 - 30	wassergefährdend		giftig, Atemgift, kann explosive Gemische mit Luft bilden, starke Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt
flüchtige Fettsäuren (z.B. Ameisen-, Essigsäure)	säuerlicher Geruch	k. A.	ungefährlich		ungefährlich, nur in hohen Konzentrationen leicht ätzend
Formaldehyd (CH <sub>2</sub> O)	farblos, (süßlich-) stechend, beißender Geruch, geringfügig schwerer als Luft	7 - 73	wassergefährdend		kann explosive Gemische mit Luft bilden, Verdacht auf krebserzeugende Wirkung, giftig, Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt

**Fortsetzung Tabelle A.2 Gasförmige Emissionen bei Biogasanlagen (Auswahl)**

Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	farblos, geruchlos, schwerer als Luft, AGW: 5.000ppm = 9.100mg/m <sup>3</sup> = 0,5 Vol%	keine	Treibhausgas, GWP Faktor = 1		erstickend, lagert in Gruben, am Boden
Kohlenmonoxid (CO)	farblos, geruchlos, geringfügig leichter als Luft, AGW: 30ppm = 35mg/m <sup>3</sup>	12,5 - 74	wasser-gefährdend		giftig, Atemgift, kann explosive Gemische mit Luft bilden
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	farblos, fast geruchlos, in hoher Konzentration schwach süßlich, schwerer als Luft,	k. A.	Treibhausgas GWP Faktor = 310, wasser-gefährdend		brandfördernd, lagert in Gruben, am Boden
Methan (CH <sub>4</sub> )	farblos, geruchlos, leichter als Luft	4,4 - 16,5	Treibhausgas GWP Faktor = 25		hochentzündlich, bildet mit Luft ein explosives Gemisch
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	farblos, Geruch nach faulen Eiern (in höheren Konz. Betäubung der Geruchsrezeptoren), schwerer als Luft, AGW: 10 ppm = 14 mg/m <sup>3</sup> (alte TRGS)	4,3 - 45,5	wasser-gefährdend		hochentzündlich, bildet mit Luft ein explosives Gemisch, sehr giftig, starkes Atemgift! lagert in Gruben, am Boden
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	farblos, stechender Geruch, deutlich schwerer als Luft	keine	wasser-gefährdend		sehr giftig, Atemgift! ätzend, reagiert mit Luftsauerstoff und Luftfeuchte zu Schwefelsäure, lagert in Gruben, am Boden.
Stickstoffmonoxid (NO)	farblos, geringer Geruch,	k. A.	wasser-gefährdend		sehr giftig, Atemgift! Ätzend, brandfördernd,
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	rotbraun, geringer Geruch, deutlich schwerer als Luft	k. A.	wasser-gefährdend		sehr giftig, Atemgift! ätzend, brandfördernd, lagert in Gruben, am Boden
Wasserstoff (H <sub>2</sub> )	farblos, geruchlos, deutlich leichter als Luft	4 - 75			hochentzündlich, bildet mit Luft explosive Gemische; in sehr hohen Konzentrationen erstickend

\* Arbeitsplatzgrenzwert. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA) hat in der „Grenzwertliste 2008“ die neuesten Grenzwerte der TRGS 900, TRGS 903 und TRGS 905 veröffentlicht.

\*\* mögliche Wassergefährdung des Emittenten nur beim Übergang in eine wässrige Lösung; Näheres zur Einstufung von Stoffen in verschiedene Wassergefährdungsklassen in Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe VwVwS (vom 17.05.1999 und deren Änderung vom 27. Juli 2005)





**Tabelle A.3 Flüssige Emissionen bei Biogasanlagen (Auswahl)**

Komponente	Wesentliche Eigenschaften	Umweltrelevanz*	Gesundheitsrelevanz
flüssige Gärreste, Gülle	typischer unangenehmer Geruch	wassergefährdend, darf nicht in Kanalisation, Grundwasser oder in Oberflächengewässer gelangen	kann gesundheitsgefährdende Frachten enthalten, kann Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt hervorrufen
Motoren- und Schmieröle	typischer Geruch, meist farblos, Altöl mit brauner bis schwarzer Farbe	wassergefährdend, darf nicht in Kanalisation, Grundwasser oder Oberflächengewässer gelangen	wirkt brandfördernd, Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt
Sickerwässer	unangenehm riechend	wassergefährdend, WGK je nach darin enthaltenen Stoffen unterschiedlich, darf nicht in Kanalisation, Grundwasser oder in Oberflächengewässer gelangen	kann gesundheitsgefährdende Frachten enthalten, kann Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt hervorrufen
wasserlösliche und höhere Fettsäuren	säuerlicher Geruch	ungefährlich, bei Emulsionsbildung bzw. Ausbildung einer organischen Phase ist diese wassergefährdend (darf nicht in Kanalisation, Grundwasser oder Oberflächengewässer gelangen)	ungefährlich, nur in hohen Konzentrationen leicht ätzend, die organische Phase

\* Näheres zur Einstufung von Stoffen in verschiedene Wassergefährdungsklassen in Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe VwVwS (vom 17.05.1999 und deren Änderung vom 27. Juli 2005)

**Tabelle A.4 Aerosole, Geruch, Lärm bei Biogasanlagen**

Komponente	Wesentliche Eigenschaften	Ex-Grenzen	Klima- und Umweltrelevanz	Gesundheitsrelevanz
Aerosole - Nebel	Zweistoffgemisch, fein verteilte Flüssigkeitströpfchen in Luft	k. A.	evtl. lokale Schädigung	Aerosole können, je nach Art, Haut- und Augenreizungen verursachen
Aerosole - Staub	Zweistoffgemisch, fein verteilte Feststoffpartikel in Luft	Getreidestäube UEG ab 30 g/m <sup>3</sup> ; Futtermittelstäube UEG ab 60 g/m <sup>3</sup> 	unbedenklich, da nur lokal und zeitlich begrenzt, z. B. Abkippvorgang an einer Schüttgasse.	organische Stäube (Getreidestaub) können mit Luft explosive Gemische bilden, mechanische Reizung von Haut und Atemwegen, sehr feine Stäube können lungengängig sein
Geruch	Geruchsstoffe sind NH <sub>3</sub> und H <sub>2</sub> S (siehe gasförmige Emissionen), niedermolekulare Aminverbindungen, organische Säuren (vgl. Tabelle A.2. gasförmige Emissionen)	NH <sub>3</sub> : 15 - 30 Vol-% in Luft H <sub>2</sub> S: 4,3 - 45,5 Vol-% in Luft 	u. U. wassergefährdend (z. B. NH <sub>3</sub> und H <sub>2</sub> S)	Geruchsstoffe meist vor einer Gesundheitsbeeinträchtigung sehr gut wahrnehmbar (tiefe Geruchsschwelle); bei gesundheitsgefährdenden Konzentrationen (stoffabhängig): (starke) Reizwirkung bei Haut- oder Augenkontakt, (sehr) giftig - Atemgift (NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S), können z. T. explosive Gemische mit Luft bilden, (vgl. Tabelle A.2 gasförmige Emissionen)
Lärm	Schall unterschiedlicher Wellenlänge und Intensität	nicht anwendbar	Beeinträchtigungen und Störungen von Verhaltensweisen und Lebensräumen von Tieren	psychische Belastung, Herz-Kreislaufkrankungen, Beeinträchtigung des Hörvermögens bis hin zu Gehörschäden oder Ohrgeräuschen